

ФИЦ
КНЦ
РАН

- БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
- НАУКИ О ЗЕМЛЕ
- ИСТОРИЯ
- ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ
- ЖИЗНЬ НАУКИ.
- КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ
- КНИГОИЗДАНИЕ
- ЮБИЛЯРЫ

ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

3/2019



3/2019 (11)

Издается с декабря 2009 года
DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3
ISSN 2307-5228

0+

ВЕЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

Научно-информационный журнал

Основан в 2009 году
Выходит 4 раза в год

Учредитель — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»

Свидетельство о регистрации СМИ

ПИ № ФС77-74987 от 22.02.2019
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Главный редактор, председатель Редакционного совета
С. В. КРИВОВИЧЕВ, чл.-корр. РАН, д. г.-м. н., проф.

Заместитель главного редактора

В. К. Жиров, чл. - корр.
Ответственный секретарь
А. С. Карпов, к. т. н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В. А. МАСЛОБОВЕВ, д. т. н., руководитель редколлегии;
Н. К. БЕЛИШЕВА, д. б. н.;
Е. А. БОРОВИЧЕВ; к. б. н.;
О. Б. ГОНТАРЬ, к. б. н. (ПАБСИ КНЦ РАН);
П. Б. ГРОМОВ, к. т. н.;
В. Е. ИВАНОВ, д. ф.-м. н.;
А. А. КОЗЫРЕВ, д. т. н., проф., заслуженный деятель науки РФ;
В. В. МЕГОРСКИЙ, к. м. н.;
Д. В. МОИСЕЕВ, к. г. н. (ММБИ КНЦ РАН);
А. Г. ОЛЕЙНИК, д. т. н.;
Т. В. РУНДКВИСТ, к. г.-м. н.;
С. В. ФЕДОСЕЕВ, д. э. н.

Печатается по решению Ученого совета ФИЦ КНЦ РАН.

Публикация статей не является свидетельством того, что издатель разделяет мнения их авторов; ответственность за суждения и оценки, выраженные в публикуемых статьях, лежит исключительно на авторах.

184209, г. Апатиты, Мурманская обл.,
ул. Ферсмана, 14
Тел.: 8-81555-79-754
E-mail: a.mendeleva@ksc.ru

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Б. В. ЕФИМОВ, д. т. н., проф., заслуженный энергетик РФ;
В. К. ЖИРОВ, чл.-корр. РАН, д. б. н., проф.;
Б. В. КОЗЕЛОВ, д. ф.-м. н. (ПГИ);
Н. Е. КОЗЛОВ, д. г.-м. н., проф.;
С. А. КУЗНЕЦОВ, д. х. н. заслуженный металлург РФ;
Ф. Д. ЛАРИЧКИН, д. э. н., проф., заслуженный экономист РФ;
С. В. ЛУКИЧЕВ, д. т. н.;
Д. В. МАКАРОВ, д. т. н.;
Г. Г. МАТИШОВ, академик РАН, д. г. н., проф. (ММБИ КНЦ РАН);
А. И. НИКОЛАЕВ, чл.-корр. РАН, д. х. н., проф.,
заслуженный деятель науки РФ;
В. А. ПУТИЛОВ, д. т. н., проф.; заслуженный деятель науки РФ;
И. А. РАЗУМОВА, д. и. н., проф.

Научное издание

Ответственный редактор А. С. Менделева
Редакторы: С. А. Шарам, Е. Н. Еремеева (англ. яз.)
Технический редактор В. Ю. Жиганов

Подписано к печати 07.11.2019.
Дата выхода в свет 08.11.2019. Формат бумаги 60×84 1/8
Усл. печ. л. 17,2. Заказ № 35 Тираж 300 экз.
Свободная цена.

Адрес учредителя, издателя и типографии: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН»
184209, г. Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана, 14

Журнал включен в систему Российского индекса
научного цитирования.

Подписной индекс в каталоге «Почта России» — П3898

С требованиями к авторам статей, редакционной политикой журнала, а также с архивом выпущенных номеров можно ознакомиться на сайте журнала по адресу:
<http://www.naukaprint.ru/zhurnaly/vestnik/>.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр Российской академии наук», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Виноградова И. А., Жукова О. В., Горанский А. И.

Возрастная динамика ионорегулирующей функции почек самцов крыс
в условиях световой депривации..... 5

Другова Т. П.

Листостебельные мхи поселка Нивский (Мурманская область)..... 13

Катола В. М.

Добыча россыпного золота: проблемы экологии и здоровья золотодобытчиков..... 33

Кашулина Г. М.

Влияние географического фактора на химический состав растений..... 38

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Ветрин В. Р.

Геохимия и условия кристаллизации субщелочных и щелочных гранитов Кейвского мегаблока..... 45

Евзеров В. Я.

Позднеплейстоцен-голоценовые отложения в окрестностях Ладожской котловины
и в Ладожском озере в связи с дегляциацией региона..... 50

Калюжный И. Л.

Содержание незамерзшей влаги в сезонно-мерзлом деятельном слое
болот Кольского полуострова..... 55

Каспарьян Э. В., Федотова Ю. В., Кузнецов Н. Н.

Развитие представлений о естественном напряженном состоянии массивов скальных пород.... 65

Козлов Н. Е., Сорохтин Н. О., Мартынов Н. О., Марчук Т. С.

Геодинамика Кейвского домена: петрогеохимический аспект 80

Любич В. А.

Исследование амплитудно-фазовых характеристик горизонтальных компонент фиктивного
магнитного тока при проведении геофизических работ радиоголографическим методом..... 87

ИСТОРИЯ

Шахнович, М. М.

Средневековые волокнистые структуры Мурманского побережья Баренцева моря..... 101

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Минин В. А., Рожкова А. А., Бежан А. В.

Возможные направления интеграции возобновляемых источников энергии
в энергетическое хозяйство Мурманской области..... 124

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Емельянова Е. Е.

Опорные направления развития муниципалитетов Арктики:
отечественный и зарубежный опыт..... 134

ЖИЗНЬ НАУКИ. КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ..... 144

КНИГОИЗДАНИЕ..... 146

ЮБИЛЯРЫ..... 148

3/2019 (11)

Published since December 2009
DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3
ISSN 2307-5228

HERALD

of the Kola Science Centre of RAS

Publisher – Federal State Budgetary Science Institution Federal Research Centre “Kola Science Centre of RAS”

Mass Media Registration Certificate

ПИ № ФС77-74987 issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media on February, 22 2019.

Editor-in-Chief and Chairman of the Editorial Council

S. V. KRIVOVICHEV, Corr. Member of RAS, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Prof.

Vice Editor-in-Chief

V. K. Zhiron, Cor. Member of RAS

Responsible Secretary

A. S. Karpov, PhD

EDITORIAL BOARD

V. A. MASLOBOEV, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Editorial Board;
N. K. BELISHEVA, Dr. Sci. (Bio);
E. A. BOROVICHEV, PhD (Bio);
O. B. GONTAR', PhD (Bio), PABGI KSC RAS;
P. B. GROMOV, PhD (Eng.);
V. E. IVANOV, Dr. Sci. (Phys. & Math.);
A. A. KOZYREV, Dr. Sci. (Eng.), Honoured Scientist of the RF, Prof.;
V. V. MEGORSKY, PhD (Medicine);
D. V. MOISEEV, PhD (Geography), MMBI KSC RAS;
A. G. OLEJNIK, Dr. Sci. (Eng.);
T. V. RUNDKVIST, PhD (Geol. & Mineral.);
S. V. FEDOSEEV, Dr. Sci. (Econ.)

Published by decision of Academic Council of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of RAS”.

EDITORIAL COUNCIL

B. V. EFIMOV, Dr. Sci. (Eng.), Honoured Power Engineer of the RF, Prof.;
V. K. ZHIROV, Corr. Member of RAS, Dr. Sci. (Bio), Prof.;
B. V. KOZELOV, Dr. Sci. (Phys. & Math.), PGI;
N. E. KOZLOV, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Prof.;
S. A. KUZNETZOV, Dr. Sci. (Chem.), Honoured Metallurgist of the RF;
F. D. LARICHKIN, Dr. Sci. (Econ.), Honoured Economist of the RF, Prof.;
S. V. LUKICHEV, Dr. Sci. (Eng.);
D. V. MAKAROV, Dr. Sci. (Eng.);
G. G. MATISHOV, Academician of RAS, Dr. Sci. (Geography), Prof., MMBI KSC RAS;
A. I. NIKOLAEV, Corr. Member of RAS, Dr. Sci. (Chem.), Honoured Scientist of the RF, Prof.;
V. A. PUTILOV, Dr. Sci. (Eng.), Honoured Scientist of the RF, Prof.;
I. A. RAZUMOVA, Dr. Sci. (History), Prof.

Scientific Publication

Executive Editor A. S. Mendeleva
Editors: S. A. Sharam, Ye. N. Yeremeyeva (English)
Technical Editor V. Yu. Zhiganov

The journal has been included in the Russian Science Citation Index (RISC) since 2009.

Subscription index: П3898 (Russian Post catalog).

Statements and opinions expressed in the articles are those of the author(s) and not necessarily those of the Publisher. The Publisher disclaims any responsibility or liability for the published materials.

184209, Fersman str., 14, Apatity, Murmansk Oblast
Tel. 8-81555-79-754
E-mail. a.mendeleva@ksc.ru

Information for authors, our policy and archive:
<http://www.naukaprint.ru/zhurnaly/vestnik/>.

© Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Centre “Kola Science Centre of RAS”, 2019

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCE

<i>Irina A. Vinogradova, Oksana V. Zhukova, Anatoly I. Goransky</i> Age Dynamics of Ion-Regulating Renal Function of Male Rats in Conditions of Light Deprivation.....	5
<i>Tatjana P. Drugova</i> Mosses of Nivskij Settlement (Murmansk Region).....	13
<i>Viktor M. Katola</i> Retrieval of Alluvial Gold: The Problems of Ecology and Health of Golden Miners.....	33
<i>Galina M. Kashulina</i> The Impact of Geographical Factors on Chemical Composition of Plants.....	38

EARTH SCIENCES

<i>Valery R. Vetrin</i> Geochemistry and Conditions of the Crystallization of Subalkaline and Peralkaline Granites of the Keivy Megablock.....	45
<i>Vladimir Ya. Yevzerov</i> Late Pleistocene-Holocene Deposits in the Ladozhskaya Basin Area and in Ladoga Lake in Relation to the Deglaciation of the Region.....	50
<i>Igor L. Kalyuzhny</i> Content of Non-Frozen Moisture in a Seasonally Frozen Active Layer of the Kola Peninsula Marshes.....	55
<i>Eduard V. Kasparyan, Iuliia V. Fedotova, Nikolai N. Kuznetsov</i> Development of Conceptions about the Natural Stress State of Hard Rock Massifs.....	65
<i>Nikolai E. Kozlov, Nikolai O. Sorokhtin, Evgeniy V. Martynov, Tatyana S. Marchuk</i> Geodynamics of the Keivy Domain: a Petrogeochemical Aspect.....	80
<i>Vladimir A. Ljubchich</i> The Investigation of Amplitude-Phase Characteristics of Horizontal Components of the Fictitious Magnetic Current in the Process of Geophysical Explorations by Using the Radioholographic Method.....	87

HISTORY

<i>Mark M. Shakhnovich</i> Medieval Portages ("Voloki") on the Murmansk Coast of the Barents Sea.....	101
--	-----

ENGINEERING SCIENCES

<i>Valery A. Minin, Anastasia A. Rozhkova, Alexey V. Bezhan</i> Possible Directions for the Integration of Renewable Energy Sources in the Energy Sector of the Murmansk Region.....	124
--	-----

ECONOMIC SCIENCES

<i>Elena E. Emelyanova</i> The Reference Directions of Development of Municipalities of the Arctic	134
---	-----

CONFERENCES	144
--------------------------	-----

NEW BOOKS	146
------------------------	-----

ANNIVERSARIES	148
----------------------------	-----

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.5-12

УДК 57.023

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ИОНРЕГУЛИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ПОЧЕК САМЦОВ КРЫС В УСЛОВИЯХ СВЕТОВОЙ ДЕПРИВАЦИИ

И. А. Виноградова, О. В. Жукова, А. И. Горанский
ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

Аннотация

Целью исследования явилось изучение ионорегулирующей функции почек в условиях постоянной темноты. Половозрелые крысы-самцы одномесячного возраста ($n = 35$) были переведены в условия световой депривации, где находились в течение 2 лет. Ежемесячно в пробах крови и мочи определяли содержание ионов натрия и калия и рассчитывали показатели ионорегулирующей функции почек: концентрационный индекс, очищение плазмы от ионов натрия/калия, экскрецию ионов натрия/калия, натрий-калиевый коэффициент крови и мочи. С возрастом у животных контрольной группы наблюдали уменьшение диуреза и выведение электролитов с мочой. Длительное пребывание самцов крыс в условиях световой депривации явилось причиной десинхроноза почечных функций, приводящего к изменению экскреторной функции и нарушению ее циркадианного ритма. В то же время по мере старения не наблюдалось возрастной задержки натрия, а калийуретическая функция оставалась относительно стабильной: показатели очищения плазмы и экскреции ионов были выше по сравнению аналогичными параметрами контрольной группы. Мультифакториальный характер представленных изменений связан с избыточной секрецией мелатонина шишковидной железой, деятельностью ренин-ангиотензин-альдостероновой системы и влиянием этих биологических активных веществ на функции почечных канальцев.

Ключевые слова:

крысы, функции почек, натрий, калий, световая депривация.

AGE DYNAMICS OF ION-REGULATING RENAL FUNCTION OF MALE RATS IN CONDITIONS OF LIGHT DEPRIVATION

Irina A. Vinogradova, Oksana V. Zhukova, Anatoly I. Goransky
Petrozavodsk State University

Abstract

The aim of the study was to evaluate the ion-regulating renal function in constant darkness. One month old mature male rats ($n = 35$) were transferred to light deprivation conditions, where they stayed for two years. Every month the content of sodium and potassium ions in blood and urine samples was determined and ion-regulating renal function indicators were calculated: concentration index, plasma purification from sodium/potassium ions, excretion of sodium/potassium ions, sodium-potassium coefficient of blood and urine. With aging in the control group animals a decrease in diuresis and excretion of electrolytes in urine was observed. The long stay in light deprivation conditions was the cause of male rats renal functions desynchronosis which lead to excretory dysfunction and a violation of its circadian rhythm. At the same time, no age-related sodium retention was observed with aging, and the potassium-uretic function remained relatively stable: plasma purification and ion excretion rates were higher compared to similar parameters of the control group. The multifactorial nature of that changes is associated with the melatonin excessive secretion in the pineal gland, the renin-angiotensin-aldosterone system activity and the influence of these biological active substances on the renal tubules functions.

Keywords:

rats, kidney function, sodium, potassium, light deprivation.



Введение

Сохранение здоровья населения северных регионов в настоящее время является важной задачей. Известно, что мелатонинергическая система и шишковидная железа участвуют в организации циркадианных и циркануальных ритмов

физиологических функций организма животных и человека, включая водно-солевой обмен и работу почек [1, 2]. На любой организм оказывает влияние состояние окружающей среды в целом, хотя в ряде случаев отдельные ее факторы оказываются ведущими.

В условиях Европейского Севера одним из наиболее изученных факторов является контрастная фотопериодика. Однако исследования касаются в основном изучения изменений, возникающих в условиях круглосуточного освещения («белые ночи», «световое загрязнение») и приводящих к гипофункции шишковидной железы и дефициту мелатонина в организме. Работ, которые посвящены влиянию на организм нарушений светового режима, связанных с увеличением темновой фазы («полярная ночь», «световая депривация»), значительно меньше, хотя нарушения циркадианных ритмов как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения световой фазы являются фактором, приводящим к развитию десинхроноза.

Большинство функций почек претерпевают циркадианные и циркануальные изменения. Установлено, что циркадианная и циркануальная периодичность характерна не только для диуреза, но и для выделения ионов натрия, калия и хлора, а также для экскреции кальция, фосфатов, сульфатов, креатинина, мочевины и других веществ. Поэтому исследования по изучению изменений почечных функций в условиях нарушенного светового режима представляются достаточно интересными. Кроме того, циркадианные ритмы физиологических функций закономерно изменяются в течение онтогенеза человека и животных, обнаруживая признаки возрастного десинхроноза. Происходящее по мере старения организма возрастное снижение почечных функций (в среднем на 42 %) способствует развитию хронической болезни почек, которая встречается в возрастной популяции у людей старше 65 лет в 20–25 % случаев [3]. С другой стороны, существуют региональные особенности суточной и сезонной динамики показателей работы почек. Ионорегулирующей функции почек принадлежит значительная роль в работе клубочкового аппарата и почечных канальцев. Эта функция — важный параметр для оценки работы почки в целом [4]. Участие эпифиза и мелатонина в ионорегулирующей функции почек, а также в регуляции водно-солевого обмена является актуальным для изучения.

Цель — изучить изменение ионорегулирующей функции почек самцов крыс в процессе онтогенеза в условиях световой депривации.

Материалы и методы

В работе были использованы 70 крыс-самцов собственного разведения. Животных содержали в стандартных условиях вивария с поддержанием постоянной температуры в помещении (18–22 °С) и относительной влажности воздуха 50–55 %, на стандартном сбалансированном пищевом рационе, со свободным доступом к воде. Половозрелые крысы-самцы одномесячного возраста ($n = 35$) были переведены в условия постоянной темноты (DD; освещенность 0–0,5 лк; красный свет включали для проведения манипуляций с животными, кормления и ухода). Контрольная группа ($n = 35$) была оставлена в условиях стандартного чередующегося фиксированного режима освещения (LD; 750 лк; по 12 ч — свет и темнота). Работа проведена в соответствии с Директивой Европейского союза 2010/63/EU о защите животных, используемых в научных целях [5].

Ежемесячно крыс взвешивали и помещали в обменные клетки для сбора суточной мочи [1, 6], а также производили забор крови из хвостовой вены. В собранных пробах определяли содержание ионов натрия и калия ионоселективным методом на анализаторе-иономере ЭЦ-58 (Россия).

На основании полученных данных по общепринятым методикам [7, 8] рассчитывали показатели, которые характеризуют ионорегулирующую функцию почек:

- концентрационный индекс ($U/P_{Na(K)}$);
- очищение плазмы от ионов натрия (калия) ($C_{Na(K)}$);
- экскреция ионов натрия (калия) ($E_{Na(K)}$);
- натрий-калиевый коэффициент крови и мочи (Na/K_{pl} , Na/K_{ur}).

Параметры пересчитывали на 100 г массы тела животного.

Полученные в экспериментах результаты подвергали статистической обработке. Анализ данных проводили в статистической программе STATGRAPH общепринятыми методами вариационной статистики. Достоверность результатов оценивали по непараметрическому U-критерию Вилкоксона — Манна — Уитни, достоверно различающимися признавали значения при $p < 0,05$; при $0,05 < p < 0,1$ различия между средними имели тенденцию к достоверности.

Результаты и их обсуждение

Влияние мелатонинергической системы на водно-солевой обмен представляется очевидным, если учитывать хронобиотическую активность этой системы. В ходе эксперимента было установлено, что у крыс контрольной группы достоверное изменение концентрации ионов натрия (P_{Na}) в плазме крови происходило с 6-й по 12-й месяцы жизни, что соответствует возрастным изменениям, происходящим при формировании почек в постнатальном онтогенезе. Это указывает на то, что процесс фильтрации в раннем возрасте доминирует над процессом реабсорбции. В дальнейшем в процессе онтогенеза у крыс-самцов группы LD была выявлена тенденция к росту P_{Na} от 3-го к 18-го месяцу, затем содержание ионов натрия в возрасте двух лет снизилось, что, по всей видимости, обусловлено возрастным нарушением фильтрационной способности почек [9]. При отсутствии достоверных изменений содержания ионов натрия в моче (U_{Na}) до 12-месячного возраста наблюдалось резкое снижение содержания этих ионов в моче в возрасте 18 месяцев с одновременным резким снижением экскреции и очищения ионов Na^+ , которое сохранялось и в 24-месячном возрасте. Концентрационный индекс натрия (U/P_{Na}) был достоверно снижен в 18-м и 24-м месяцах ($p < 0,05$), что отображает клубочково-канальцевую связь и подтверждается показателями натрийуретической функций почек (табл. 1). Баланс между содержанием Na^+ в крови и моче достигался за счет изменения диуреза у стареющих животных, что согласуется с литературными данными [10].

Таблица 1
Table 1

Возрастная динамика показателей натрийуретической функции почек крыс-самцов
Age dynamics of indicators of natriuretic renal function of male rats

Показатель Indicator	Возраст (мес.) / Age (months)				
	3	6	12	18	24
1	2	2	4	5	6
Стандартное освещение, контрольная группа / Standard lighting, control group					
P_{Na} (мэкв/л) концентрация ионов натрия в плазме P_{Na} (mEq/l) sodium ion concentration in plasma	121,2±0,6	126,6±0,4	142,0±0,8 ¹⁾	151,07±2,0 ¹⁾	141,6±1,3 ¹⁾
U_{Na} (мэкв/л) концентрация ионов натрия в моче U_{Na} (mEq/l) urinary sodium ion concentration	23,5±0,6	21,6±1,2	21,4±1,9	13,24±2,2 ¹⁾	13,83±0,4 ¹⁾

Продолжение таблицы 1
Table 1(Continued)

1	2	2	4	5	6
U/P _{Na} концентрационный индекс ионов натрия U/P _{Na} sodium ion concentration index	0,19±0,06	0,17±0,02	0,15±0,4	0,09±0,002 ¹⁾	0,01±0,001 ¹⁾
C _{Na} (мл/сек/100) очищение крови от ионов натрия C _{Na} (ml/sec/100) purification of blood from sodium ions	0,59±0,02	0,62±0,08 ¹⁾	0,54±0,02 ¹⁾	0,36±0,01 ¹⁾	0,31±0,03 ¹⁾
E _{Na} (мэкв/сут/100) экскреция ионов натрия E _{Na} (mEq/day/100) excretion of sodium ions	70,0±0,1	78,8±0,2 ¹⁾	77,4±2,1 ¹⁾	51,9±1,1 ¹⁾	44,4±3,2 ¹⁾
Световая депривация, опытная группа / Light deprivation, experienced group					
P _{Na} (мэкв/л) концентрация ионов натрия в плазме P _{Na} (mEq/l) sodium ion concentration in plasma	119,7±0,8	125,1±1,0 ¹⁾	142,8±0,5 ¹⁾	138,4±1,8 ^{1,2)}	148,6±4,1 ^{1,2)}
U _{Na} (мэкв/л) концентрация ионов натрия в моче U _{Na} (mEq/l) urinary sodium ion concentration	25,2±0,6	28,3±1,1 ^{1,2)}	23,99±1,6	13,3±1,2 ¹⁾	14,1±0,4 ¹⁾
U/P _{Na} концентрационный индекс ионов натрия U/P _{Na} sodium ion concentration index	0,21±0,07	0,23±0,06 ²⁾	0,17±0,6 ¹⁾	0,1±0,003 ¹⁾	0,09±0,002 ^{1,2)}
C _{Na} (мл/сек/100) очищение крови от ионов натрия C _{Na} (ml/sec/100) purification of blood from sodium ions	0,88±0,05 ²⁾	0,97±0,09 ^{1,2)}	0,75±0,04 ^{1,2)}	0,47±0,07 ^{1,2)}	0,38 ±0,04 ^{1,2)}
E _{Na} (мэкв/сут/100) экскреция ионов натрия E _{Na} (mEq/day/100) excretion of sodium ions	99,3±1,8 ²⁾	113,2±1,6 ^{1,2)}	96,4±1,3 ²⁾	62,2±0,9 ^{1,2)}	59,9±4,6 ^{1,2)}

¹⁾ $p < 0,05$ — различия по сравнению с показателем у крыс в возрасте 3 месяцев в группе статистически достоверны (критерий Вилкоксона — Манна — Уитни).

²⁾ $p < 0,05$ — различия по сравнению с показателем у крыс контрольной группы в соответствующем месяце статистически достоверны (критерий Вилкоксона — Манна — Уитни).

¹⁾ $p < 0,05$ — differences compared to the index in rats aged 3 months in the group are statistically significant (Wilcoxon — Mann — Whitney test).

²⁾ $p < 0,05$ — differences compared to that in rats of the control group, statistically significant in the corresponding month (Wilcoxon — Mann — Whitney test).

Концентрация ионов калия в плазме (P_K) плавно увеличивалась у особей к двухлетнему возрасту по сравнению с трехмесячными самцами, особенно резким был скачок показателей между 6- и 12-месячными животными, когда P_K повысилась в 1,2 раза (табл. 2). Концентрация ионов калия в моче (U_K) у особей младше 12 месяцев так же, как и U_{Na}, не претерпевала каких-либо достоверных изменений: в моче U_K у крыс в возрасте 18 месяцев имела тенденцию

к снижению, хотя достоверных различий с показателями предыдущих месяцев не наблюдалось, а в возрасте 2 лет параметры вновь возвращались к исходным значениям. Таким образом, изменения показателей U_K были более стабильными, чем аналогичные параметры U_{Na} .

Таблица 2

Table 2

Возрастная динамика показателей ионорегулирующей функции почек крыс-самцов
Age dynamics of indicators of ion-regulating kidney function of male rats

Показатель Indicator	Возраст (мес.) / Age (months)				
	3	6	12	18	24
1	2	3	4	5	6
Стандартное освещение, контрольная группа / Standard lighting, control group					
P_K (мэкв/л) концентрация ионов калия в плазме P_K (meq/l) plasma potassium ion concentration	4,3±0,4	5,6±0,2 ¹⁾	7,1±0,06 ¹⁾	7,06±0,3 ¹⁾	7,42±0,3 ¹⁾
U_K (мэкв/л) концентрация ионов калия в моче U_K (meq/l) urinary potassium ion concentration	11,2±0,4	12,4±0,11 ¹⁾	12,2±0,6 ¹⁾	9,02±1,2 ¹⁾	12,48±0,5 ¹⁾
U/P_K концентрационный индекс ионов калия U/P_K concentration index of potassium ions	2,6±0,4	2,2±0,01	1,71±0,04 ¹⁾	1,27±0,03 ¹⁾	1,68±0,08 ¹⁾
C_K (мл/сек/100) очищение крови от ионов калия C_K (ml/sec/100) purification of blood from potassium ions	7,8±0,2	8,03 ±0,3	6,19 ±0,1 ¹⁾	4,97 ±0,2 ¹⁾	5,39±0,3 ¹⁾
E_K (мэкв/сут/100) экскреция ионов калия E_K (mEq/day/100) excretion of potassium ions	40,1±0,2	45,2 ±0,4 ¹⁾	44,1 ±6,1 ¹⁾	38,25 ±1,1 ¹⁾	40,1±0,4
Na/K_{pl}	28,2±0,3	22,6 ±0,4 ¹⁾	20,0 ±0,14 ¹⁾	16,7±0,7 ¹⁾	19,0±0,7 ¹⁾
Na/K_{ur}	2,09±0,2	1,74 ±0,04 ¹⁾	1,75 ±0,14 ¹⁾	1,46±0,8 ¹⁾	1,11±0,7 ¹⁾
Световая депривация, опытная группа / Light deprivation, experienced group					
P_K (мэкв/л) концентрация ионов калия в плазме P_K (meq/l) plasma potassium ion concentration	6,1±0,14 ²⁾	10,4±0,12 ^{1,2)}	6,99±0,11 ¹⁾	7,98±1,1 ¹⁾	6,93±0,13 ^{1,2)}
U_K (мэкв/л) концентрация ионов калия в моче U_K (meq/l) urinary potassium ion concentration	12,0±0,8	18,1±1,5 ^{1,2)}	11,36±0,5 ²⁾	11,6±1,8 ²⁾	12,0±0,6
U/P_K концентрационный индекс ионов калия U/P_K concentration index of potassium ions	1,97±0,02 ²⁾	1,74±0,02 ^{1,2)}	1,63±0,04 ^{1,2)}	1,45±0,07 ^{1,2)}	1,73±0,04 ¹⁾
C_K (мл/сек/100) очищение крови от ионов калия C_K (ml/sec/100) purification of blood from potassium ions	6,8±0,4 ²⁾	7,3±0,92	7,2±0,6 ²⁾	5,18±0,6 ¹⁾	7,35±0,06 ^{1,2)}

Продолжение таблицы 2
Table 2 (Continued)

1	2	3	4	5	6
Е _к (мэкв/сут/100) экскреция ионов калия Е _к (mEq/day/100) excretion of potassium ions	52,2±2,2 ²⁾	72,4 ±3,2 ^{1,2)}	47,8±4,0	54,3±0,4 ²⁾	51,2±0,4 ²⁾
Na/K _{pl}	19,6±1,6 ²⁾	12,2 ±0,2 ^{1,2)}	20,3±0,6	17,3±0,8	21,4±1,4 ²⁾
Na/K _{ur}	2,1±0,5	1,59±0,09 ²⁾	2,11±0,11 ²⁾	1,15±0,9 ¹⁾	1,18±0,6 ¹⁾

¹⁾ $p < 0,05$ — различия по сравнению с показателем у крыс в возрасте 3 месяцев в группе статистически достоверны (критерий Вилкоксона — Манна — Уитни).

²⁾ $p < 0,05$ — различия по сравнению с показателем у крыс контрольной группы в соответствующем месяце статистически достоверны (критерий Вилкоксона — Манна — Уитни).

¹⁾ $p < 0,05$ — the differences compared with the index in rats aged 3 months in the group are statistically significant (Wilcoxon — Mann — Whitney test).

²⁾ $p < 0,05$ — the differences compared with the indicator in the rats of the control group in the corresponding month are statistically significant (Wilcoxon — Mann — Whitney test).

Концентрационный индекс ионов калия (U_K/P_K) достоверно снижался к 18 месяцам ($p < 0,05$) и повышался к концу жизни. Показатели очищения крови от ионов калия (C_K) изменялись параллельно значениям экскреции (E_K) — снижались к 18 месяцам и повышались к 2 годам. Самые низкие значения натрий-калиевого коэффициента (Na/K_{pl}) наблюдались в крови самцов возраста 1,5 лет, а самые низкие значения Na/K_{ur} — в моче к концу второго года жизни. Очевидно, что возрастные изменения механизмов регуляции обмена воды и электролитов в значительной мере ограничивают их компенсаторно-приспособительные возможности [11].

При исследовании влияния световой депривации на ионорегулирующую функцию почек в процессе онтогенеза следует учитывать тот факт, что мелатонин, в избытке вырабатываемый в полной темноте, взаимодействуя с МТ₁-мелатониновыми рецепторами, циклически регулирует проницаемость клеток нефрона путем активации протеинкиназы С, изменения структуры микроворсинок и цитоскелета [12], также этот гормон может опосредованно изменять системные механизмы управления почечными функциями [13]. Регуляторные системы, функционирующие в почках, синхронизированы с циркадианными ритмами выделения с мочой ионов калия, натрия, креатинина, мочевины, потребления воды и диуреза [14]. В различных экспериментальных работах показано, что в условиях фиксированного стандартного фотопериода (по 12 ч — свет и темнота) экскреторная функция почек остается достаточно постоянной в течение всей жизни животных [15]. В то время как в условиях нарушенного светового режима (как в сторону увеличения светового, так и в сторону увеличения темного периода) развиваются ренальные дисфункции, являющиеся проявлением десинхроноза [2].

У самцов, находящихся в постоянной темноте, в процессе онтогенеза P_{Na} только в возрасте 18 месяцев достоверно отличалась от показателей контрольной группы. Другие же показатели натрийуретической функции почек (U_{Na} , C_{Na} , E_{Na}) или имели тенденцию к повышению, или были достоверно выше, чем аналогичные показатели у группы LD. Коэффициент U/P_{Na} практически не отличался в динамике от показателей контроля на протяжении всего исследования, хотя у 6- и 24-месячных животных достоверно был выше ($p < 0,05$). Таким образом, в группе DD наблюдалась гипернатриемия, в отличие от группы LD (табл. 1). В предыдущих наших исследованиях было показано ускоренное созревание почечного аппарата у молодых самцов крыс с нарушением ионорегулирующей функции почек под влиянием постоянного освещения [16]. Однако пребывание в условиях световой депривации также изменяет возрастную динамику ренальных функций, аналогично введению экзогенного мелатонина: повышает экскрецию

и нарушает канальцевый транспорт натрия, угнетает реабсорбцию в проксимальных и дистальных канальцах [13]. С другой стороны, в некоторых работах показано, что содержание крыс в DD-условиях незначительно изменяет суточную динамику синтеза мелатонина (повышает уровень дневного и снижает концентрацию ночного мелатонина) и не нарушает циркадианного ритма синтеза кортикостерона [17].

В условиях световой депривации показатели ионного обмена — E_K и C_K — были достоверно выше в 18–24 и 12–24 месяцев соответственно, по сравнению с контрольной группой, что, в свою очередь, способствует потере организмом ионов калия. Показатель P_K в 3 и 6 месяцев был выше, а в 24 месяца — ниже, чем значения в группе LD, что может указывать на более медленное созревание, а затем и старение почечного аппарата. Это косвенно подтверждается значениями индекса U/P_K , который у молодых самцов был ниже, а у старых выше контрольных значений. Становится понятным, что состояние внутрпочечных механизмов авторегуляции является важным критерием комплексной оценки почечной функции в различных физиологических условиях [3].

Снижение коэффициента Na/K_{pl} у молодых и старых крыс группы DD ($p < 0,05$), вероятно, связано с изменением плазменной концентрации альдостерона, обеспечивающего реабсорбцию натрия в дистальном нефроне (табл. 2). Известно, что уровень альдостерона в крови подвергается циркадианным колебаниям у крыс с акрофазой в ночное время и с минимальными значениями в дневное время [10], что и обусловило ослабление канальцевой реабсорбции натрия. Не исключены взаимодействия шишковидной железы и ренин-ангиотензин-альдостероновой системы. Коэффициент Na/K_{ur} у зрелых крыс был выше, а у старых (18-месячных) — ниже значений контрольной группы. Еще одной причиной данных изменений, возможно, является изменение хроноритмической концентрации глюкокортикостероидов, которые также могут приводить к натрийуретическому эффекту. Кроме того, опыты *in vitro* доказали прямое воздействие мелатонина на функцию почечного эпителия, а управление циркадианной ритмикой работы почек шишковидной железой является доказанным фактом в физиологии [13].

Выводы

Таким образом, длительное пребывание самцов крыс в условиях световой депривации следует рассматривать как одну из причин десинхроноза почечной ионорегулирующей функции, приводящей к изменению экскреторной функции почек и нарушению ее циркадианного ритма. В процессе старения возникает возрастное уменьшение почечного кровотока и гломерулярной фильтрации, что способствует задержке натрия за счет возникающего вторичного гиперальдостеронизма. В наших исследованиях, проводимых в условиях постоянной темноты, по мере старения крыс задержки натрия не наблюдалось, а калийуретическая функция оставалась относительно стабильной. Механизмы, лежащие в основе этой тенденции, носят мультифакториальный характер и связаны с изменениями в секреции мелатонина шишковидной железой, деятельности ренин-ангиотензин-альдостероновой системы и функции почечных канальцев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов В. Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения. 2-е изд., перераб. и доп. 2008. Т. 1. СПб.: Наука, 2008. С. 468.
2. Горанский А. И., Виноградова И. А. Осмо- и ионорегулирующая функция почек в условиях сезонного колебания освещенности на Европейском Севере // Световой режим, старение и рак: сб. науч. тр. II Рос. симп. с междунар. участием. Киров: МЦНИП, 2013. С. 46–54.
3. Влияние пептидов на морфофункциональное состояние почек старых крыс / И. И. Заморский [и др.] // Успехи геронтологии. 2018. Т. 31, № 4. С. 498–504.
4. Наточин Ю. В., Кузнецова А. А. Инкреторная функция почки // Успехи физиологических наук. 2010. Т. 41, № 3. С. 28–43.
5. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council on the protection of animals used for scientific purposes // Official J. European Union. 2010. L276. Vol. 53. P. 33–80.
6. Методические подходы к изучению функции почек в эксперименте на животных / В. М. Брюханов [и др.] // Нефрология. 2009. Т. 13, № 3. С. 52–62.
7. Наточин Ю. В. Физиология почки: формулы и расчеты. Л.: Наука, 1976. 268 с.
8. Шюк О. Функциональное исследование почек. Прага: Авиценум, 1975. 333 с.
9. Айзман Р. И. Формирование функции почек и водно-солевого обмена в онтогенезе // Новые исследования. 2009. № 3. С. 108–120.
10. Рыкунова А. Я.

Изменение светового режима как стрессовый фактор, влияющий на экскреторную функцию почек крыс. 2012. Т. 14, № 1. С. 42–43. **11.** Bai J. J., Tan C. D., Chow B. K. C. Secretin, at the hub of water-salt homeostasis // *Am J. Physiol Renal Physiol*. 2017. Vol. 312, No. 5. P. 852–860. **12.** Мелатонин и ритм функций почек / В. П. Пишак [и др.] // *Здоровье и образование в XXI веке*. 2013. Т. 15, № 1–4. С. 205–208. **13.** Арушанян Э. Б., Ованесов К. Б. Значение мелатонина для деятельности почек // *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2018. Т. 13, № 1-1. С. 120–126. **14.** McMullan C. J., Curhan G. C., Forman J. P. Association of short sleep duration and rapid decline in renal function // *Kidney Int*. 2016. Vol. 89, No. 6. P. 1324–1330. **15.** Подколотный Н. Л., Твердохлеб Н. Н., Подколотная О. А. Анализ циркадного ритма биологических процессов в печени и почках мыши // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017. Т. 21, № 8. С. 903–910. **16.** Барсукова Е. Ю., Горанский А. И., Виноградова И. А. Осмо- и ионорегулирующая функции почек у молодых крыс в условиях повышенной освещенности // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2012. Т. 6, № 127. С. 35–39. **17.** Disruption of circadian rhythms due to chronic constant light leads to depressive and anxiety-like behaviors in the rat / A. Tapia-Osorio [et al.] // *Behav. Brain. Res*. 2013. Vol. 252. P. 1–9.

Сведения об авторах

Виноградова Ирина Анатольевна — доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой фармакологии, организации и экономики фармации Петрозаводского государственного университета

E-mail: irinav@petsru.ru

Жукова Оксана Валентиновна — старший преподаватель кафедры фармакологии, организации и экономики фармации Петрозаводского государственного университета

E-mail: zhykovaohana@yandex.ru

Горанский Анатолий Иванович — доктор медицинских наук, профессор кафедры фармакологии, организации и экономики фармации Петрозаводского государственного университета

E-mail: kbzd@petsru.ru

Author Affiliation

Irina A. Vinogradova — Dr. Sci. (Medicine), Full Professor, Head of the Department of Pharmacology, Pharmaceutical Economics and Policy of Petrozavodsk State University

E-mail: irinav@petsru.ru

Oksana V. Zhukova — Senior Lecturer, Department of Pharmacology, Organization and Economics of Pharmacy of Petrozavodsk State University

E-mail: zhykovaohana@yandex.ru

Anatoly I. Goransky — Dr. Sci. (Medicine), Full Professor, Department of Pharmacology, Organization and Economics of Pharmacy of Petrozavodsk State University

E-mail: kbzd@petsru.ru

Библиографическое описание статьи

Виноградова, И. А. Возрастная динамика ионорегулирующей функции почек самцов крыс в условиях световой депривации / *И. А. Виноградова, О. В. Жукова, А. И. Горанский* // *Вестник Кольского научного центра РАН*. — 2019. — № 3 (11). — С. 5–12.

Reference

Vinogradova Irina A., Zhukova Oksana V., Goransky Anatoly I. Age Dynamics of Ion-Regulating Renal Function of Male Rats in Conditions of Light Deprivation. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3. (11), pp. 5–12. (In Russ.).

ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫЕ МХИ ПОСЕЛКА НИВСКИЙ (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)*

Т. П. Другова

ФГБУН Полярно-альпийский ботанический сад-институт
им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН

Аннотация

Впервые проведено бриофлористическое исследование поселка Нивский. Список мхов поселка насчитывает 96 мхов и содержит данные о местообитаниях и субстратах, наличии спорофитов и выводковых почек. Обсуждаются особенности флоры мхов поселка по сравнению с другими изученными флорами урбанизированных территорий Мурманской области. На территории поселка выявлен один вид, занесенный в Красную книгу Мурманской области (2014) с категорией охраны 3 — *Aongstroemia longipes* (Sommerf.) Bruch et al., и два вида с категорией охраны «бионадзор» — *Brachythecium rutabulum* Bruch et al. и *Schistidium crenatum* H.H.Blom, а также пять редких в регионе эпилитов — *Schistidium apocarpum* (Hedw.) B.S.G., *S. crassipilum* H.H. Blom, *S. dupretii* (Ther.) W.A. Weber, *S. lancifolium* (Kindb.) H.H. Blom. и *S. submuticum* Broth. ex H.H.Blom.

Ключевые слова:

листочастые мхи, бриофлора поселка, аннотированный список.

MOSSSES OF NIVSKIJ SETTLEMENT (MURMANSK REGION)

Tatjana P. Drugova

Avronin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of KSC RAS

Abstract

List of mosses of Nivskij Settlement has been compiled for the first time, it includes 96 species. Data on habitats and substrates, presence of sporophytes or gemmae are provided. Peculiarities of Nivskij Settlement flora in comparison with explored urban floras of the region are discussed. Bryofloristic composition of Nivskij is rich due to high diversity of habitats and slight degree of anthropogenic transformation. Moss flora of Nivskij is rich in species of wet and paludified habitats (*Hygrohypnella ochracea* (Turner ex Wilson) Ignatov & Ignatova, *Hygrohypnum luridum* (Hedw.) Jenn., *Ochyraea duriuscula* (De Not.) Ignatov & Ignatova, *Scorpidium* spp., *Sphagnum* spp., *Warnstorfia* spp.).

In comparison with other urban floras of the Murmansk Region, bryoflora of Nivskij contains a great number of *Schistidium* species. Most of them are restricted to Niva River rocky habitats and concrete blocks of Nivskij Channel embankment. Synanthropic part consists of 49 species, most of them were found on anthropogenic habitats in many towns of the region. Rare mosses: *Aongstroemia longipes* (Sommerf.) Bruch et al., *Brachythecium rutabulum* Bruch et al. and *Schistidium crenatum* H.H.Blom, — species from the Murmansk Region Red List (2014) and rare epilithes with few points of occurrence in region: *Schistidium apocarpum* (Hedw.) B.S.G., *S. crassipilum* H.H.Blom, *S. dupretii* (Ther.) W.A.Weber, *S. lancifolium* (Kindb.) H.H.Blom. and *S. submuticum* Broth. ex H.H.Blom. were found in Nivskij Settlement.

Keywords:

mosses, moss flora of settlement, check-list.

* Работа выполнена в рамках темы ПАБСИ КНЦ РАН № 0229-2016-0001, а также частично при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-44-510841).



Введение

Нивский ($67^{\circ}17'53''$, $32^{\circ}28'48''$) — сельский населенный пункт в Кандалакшском районе Мурманской обл. (рис. 1). Поселок располагается на правом берегу р. Нива в 16 км к северу от Кандалакши и 188 км к югу от Мурманска. В 2 км от Нивского находится железнодорожная станция Пинозеро. История основания поселка связана со строительством первенца трех гидроэлектростанций каскада Нивских ГЭС — Нива ГЭС-2 у Плесозера, начатым осенью 1930 г. Одновременно с ним строилось поселение для рабочих-спецпереселенцев, его первое название — Нивастрой. Статус рабочего поселка был присвоен в 1933 г., Нива ГЭС-2 запущена в 1934 г. По окончании строительства в Нивском произошел резкий спад населения — с более чем 7 тыс. до приблизительно 1 тыс. чел. (численность жителей поселка в 2012 г. составляла 1240 чел.) [1]. Из предприятий в поселке функционировала котельная и гидроэлектростанция Нива ГЭС-2. В советское время (1975 г.) был образован совхоз «Нивский», в 2003 г. он был признан банкротом.

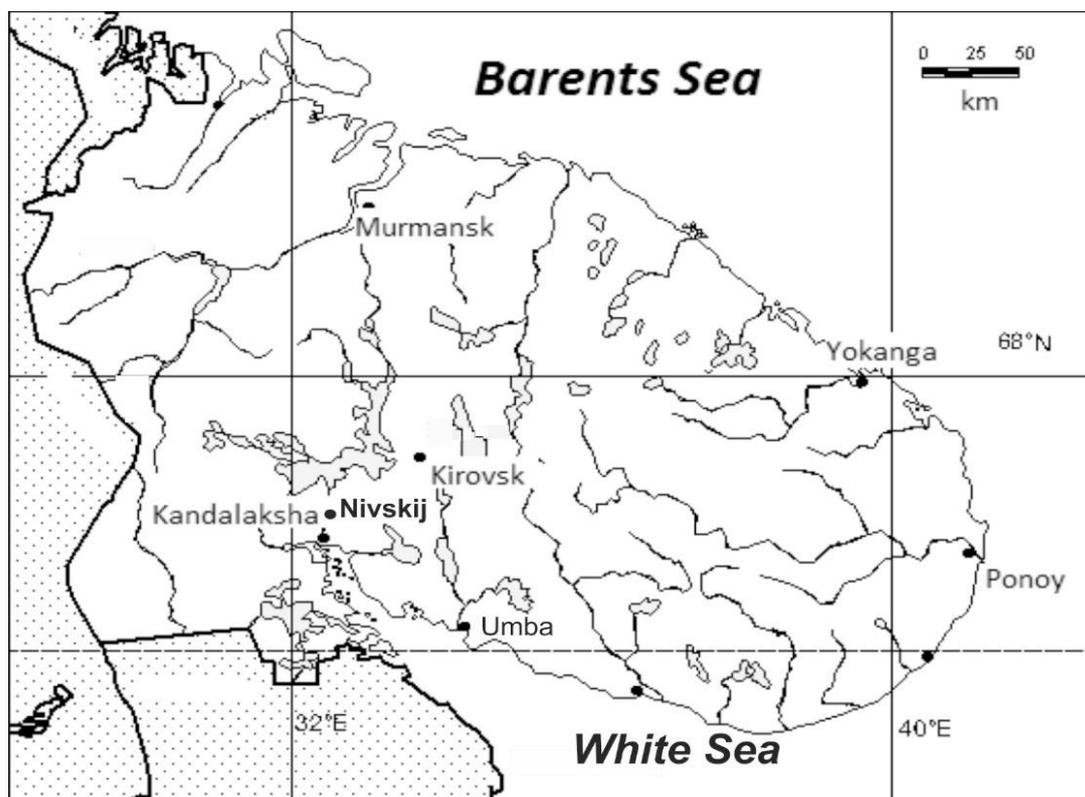


Рис. 1. Расположение пос. Нивский

Fig. Location of Nivskij Settlement

Поселок Нивский находится в центральном климатическом районе Мурманской обл., где климат характеризуется континентальностью [2]. Территория, на которой он располагается, сложена гнейсами и амфиболитами беломорской серии. Безморозный период длится в среднем от 100 до 110 дней. Среднегодовая температура воздуха -1°C , среднегодовое количество осадков — 550–600 мм. Почвы района работ — подзолы иллювиально-малокумулятивные маломощные [3].

Площадь поселка вместе с прилегающими дачными участками и огородами равна приблизительно 3 км^2 . В Нивском всего две улицы, дома городского типа находятся в основном в центре, а около половины площади отведено под поля и дачные участки. Высота центра над уровнем моря — 99 м.

Поселок Нивский расположен на правом берегу р. Нива, свое начало она берет в самом большом озере Мурманской обл. — Имандра. Это крупная, порожистая река с каменистыми берегами и быстрым течением. В северной части поселка на оз. Пинозеро располагается

водосбросная плотина ГЭС-2, регулирующая объем воды в реке и перенаправляющая часть воды по искусственно созданному руслу — приводящему каналу ГЭС-2 (Нивский канал), ширина русла около 30 м.

Нивский канал, пройдя через машинный зал ГЭС, возвращается в русло реки на юго-западной окраине поселка (отводящая часть канала). Русло Нивы в момент обследования бриофлоры представлено нагромождениями камней и каменных глыб, среди которых протекают небольшие водотоки, перемежающиеся лужицами со стоячей водой. Средняя ширина реки около 50 м, имеется два расширения — озера (плеса) вниз по течению. На юго-западной окраине поселка вблизи машинного зала ГЭС-2 река переходит в широкое русло (в месте впадения в нее отводного канала). Кроме р. Нива в поселке протекает еще одна река — Теньте, которая впадает в Нивский канал. Ширина реки около 5 м, берега густо поросли ивовым разнотравным лесом.

На территории поселка имеются участки северотаежных сосняков зеленомошных, мохово-кустарничковых и лишайниково-зеленомошных (около 20 % исследованной территории). В основном сосняки произрастают по небольшим возвышенностям между Нивским каналом и Нивой в северо-восточной части. Встречаются ивняки в низинах и по берегам водоемов. Имеются заболоченные участки — олиготрофное болото с редкими сухими елями и системой озерков на юго-западной окраине Нивского и два небольших минеротрофных вахтовых и вахтово-гипновых болотца на правом берегу Нивы. В разных частях имеются понижения рельефа с водой, обросшие ивняком и осочником по берегам. Большие площади заняты полями с разнотравьем, а также огородными участками (около 50 % исследованной территории).

Материалы и методы

Бриофлористическое исследование территории Нивского проводилось в июне-июле 2018 г. в течение 6 дней. Поселок исследовался как в пределах административных границ, так и на непосредственно прилегающих к ним участках с различной степенью антропогенного воздействия, которые могли быть интересны бриофлористически (берег оз. Пинозеро, прилегающий к Нивскому с северо-востока, правый берег и русло р. Нива, место соединения Нивы с отводящим каналом ГЭС-2 на юго-западе поселка). Изучены разнообразные типы экотопов (жилая зона, дачные участки, гаражи, поля, берега рек, озера и канала, леса и заболоченные участки) и субстратов.

Среди субстратов наиболее представлены почва как с нарушенным, так и с хорошо развитым напочвенным покровом, камни и горные породы, самые редкие — разлагающаяся древесина, растительные остатки, опад. Довольно слабо представлены такие характерные для других урбанизированных территорий субстраты антропогенного происхождения, как бетон и асфальт, поскольку в поселке зона застройки очень небольшая. Всего собрано и определено около 200 образцов мхов. Определение видов осуществлялось традиционным сравнительным анатомо-морфологическим методом с использованием отечественных и зарубежных руководств [4–26]. Образцы хранятся в гербарии Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ) (КРАБГ), данные этикеток доступны для просмотра в информационной системе CRIS (Cryptogamic Russian Information System, krabg.ru/cris/?q=node/16). Объем таксонов и номенклатура даются в соответствии со списком мхов Восточной Европы и Северной Азии [27].

Результаты и обсуждение

Аннотированный список мхов пос. Нивский насчитывает 96 видов с указанием всех типов местообитаний и субстратов и наличия спорофитов (S+) или выводковых тел (gemm.) (табл.). Для частых видов перечисляются типы местообитаний и субстратов, для редких на территории поселка мхов местообитания и гербарные номера в CRIS приводятся полностью.

Список видов мхов поселка Нивский
Check-list of the mosses of the Nivskij Settlement

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Amblystegium serpens</i> (Hedw.) Bruch et al. S+	Жилая зона, берега рек и канала, ивняки, леса, русла ручьев, камни, глина, почва, кора, бетон, асфальт, кирпич Living zone, banks of rivers and channel, willow thickets, forests, stream beds; stones, clay, soil, bark, concrete, asphalt, brick
<i>Aongstroemia longipes</i> (Sommerf.) Bruch et al. S+	Северная часть поселка, обочина грунтовой дороги, открытое место, незадернованная почва, КРАБГ 123867; правый берег Нивского канала, откос к набережной, борт канавы с водой, незадернованная сырая почва, КРАБГ 123876 Northern part of the settlement, roadside, open habitat, exposed soil, КРАБГ 123867; right bank of Nivskij Channel, slope near the bank, ditch with water, open wet soil, КРАБГ 123876
<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwägr.	Правый берег р. Нива, небольшое открытое минеротрофное болото; на почве и кочках Right bank of Niva River, small open minerotrophic fen; on soil and hummocks
<i>Barbula convoluta</i> Hedw.	Жилая зона, гаражи, берега Нивского канала, рекреационные лужайки, обочины дорог; незадернованная почва, мелкозем, бетон Living zone, garages, banks of Nivskij Channel, recreation meadows, roadsides; open soil, fine earth, concrete
<i>Barbula unguiculata</i> Hedw. S+	Гаражи на юго-западной окраине поселка, оголенная мелкокаменистая почва, КРАБГ 123618; северная часть поселка, обочина грунтовой дороги, открытое место, незадернованная почва, КРАБГ 123867 Garages in the south-western part of the settlement, open stony soil, КРАБГ 123618; northern part of the settlement, roadside, open habitat, open soil, КРАБГ 123867
<i>Brachythecium albicans</i> (Hedw.) Bruch et al.	Левый берег р. Теньте в месте впадения в Нивский канал, на дне и стенке бетонной отводной канавы, КРАБГ 123542 Left bank of Ten'te River near inflowing into Nivskij Channel, bottom and wall of the concrete ditch, КРАБГ 123542
<i>Brachythecium rivulare</i> Bruch et al.	Южная часть поселка, правый берег р. Нива у впадения в нее отводящего канала ГЭС, песчаная сырая почва между камнями, КРАБГ 123688 Southern part of the settlement, right bank of Niva River near inflowing of diverter channel of hydroelectric power station into Niva, sandy wet soil among stones, КРАБГ 123688
<i>Brachythecium rutabulum</i> (Hedw.) Bruch et al.	Северная часть поселка, ивовый лес травяной, понижение с водой, на почве, КРАБГ 123879 Northern part of the settlement, willow herbal forest, depression with water, on soil, КРАБГ 123879
<i>Brachythecium salebrosum</i> (F. Weber & D. Mohr) Bruch et al.	Леса, берега рек, берега Нивского канала, ивняки, жилая зона, гаражи; почва, мелкозем, кора, комли, гнилая и обработанная древесина, бетон Forests, banks of rivers, banks of Nivskij Channel, willow thickets, living zone, garages; soil, fine earth, bark, tree bases, decaying and treated wood, concrete

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Brachythecium turgidum</i> (Hartm.) Kindb.	Правый берег Нивского канала, бетонные плиты набережной, КРАВГ 123411 Right bank of Nivskij Channel, concrete blocks, КРАВГ 123411
<i>Bryum argenteum</i> Hedw. S+	Жилая зона, огородные участки, гаражи, берега Нивского канала, тропы, незадернованная почва, мелкозем, бетон Living zone, garden plots, garages, banks of Nivskij Channel, trails; open soil, fine earth, concrete
<i>Bryum elegans</i> Nees	Берега Нивского канала и р. Теньте, ивовые травяные леса; сырая почва, бетон Banks of Nivskij Channel and Ten'te River, willow herbal forests; wet soil, concrete
<i>Bryum lonchocaulon</i> Müll. Hal. S+, anth., arch.	Русло р. Нива, горизонтальная поверхность каменной глыбы с почвенными наносами, КРАВГ 123824 Bed of Niva River, horizontal surface of stone block with soil deposits, КРАВГ 123824
<i>Bryum longisetum</i> Blandow ex Schwägr. S+	Южная часть поселка, правый берег р. Нива у впадения в нее отводящего канала ГЭС, рекреационная лужайка на берегу, поросшая злаками; на песке, КРАВГ 123810 Southern part of the settlement, right bank of Niva River near inflowing of diverter channel of hydroelectric power station into Niva, recreation grass meadow; on sand, КРАВГ 123810
<i>Bryum pallens</i> Sw. ex anon. S+, anth., arch	Берега и русло р. Нива; берега Нивского канала, сырые и заболоченные понижения, борта канав; почва, песок, трещины в камнях с почвенными отложениями Banks and bed of Niva River, banks of Nivskij Channel, wet and paludified depressions, walls of ditches; soil, sand, cracks in stones with soil deposits
<i>Bryum pallescens</i> Schleich. ex Schwägr. S+, anth., arch	Русло р. Нива, берега Нивского канала, сосновые леса, ивняки, жилая зона, гаражи, огородные участки, рекреационные лужайки, тропы, обочины дорог; незадернованная почва, мелкозем, гниющая древесина, трещины в камнях с почвенными отложениями, бетон Bed of Niva River, banks of Nivskij Channel, pine forests, willow thickets, living zone, garages, garden plots, recreation meadows, trails, roadsides; open soil, fine earth, decaying wood, cracks in stones with soil deposits, concrete
<i>Bryum pseudotriquetrum</i> (Hedw.) P. Gaertn., B. Mey. & Scherb.	Жилая зона, берега и русла рек и ручьев, берега оз. Пинозеро, заболоченные понижения, минеротрофные болота, мочажины в них, огородные участки, борта канав, лужайки; почва, камни, каменные глыбы, валуны, песок, асфальт, КРАВГ 123822 Living zone, banks and beds of rivers and streams, banks of Pinozero Lake, paludified depressions, minerotrophic fens and flarks in it, garden plots, walls of ditches, meadows; soil, stones, stone blocks, boulders, sand, asphalt, КРАВГ 123822
<i>Bucklandiella microcarpa</i> (Hedw.) Bednarek-Ochyra & Ochyra	Леса, ивняки, берега рек; камни Forests, willow thickets, banks of rivers; stones

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Calliergon cordifolium</i> (Hedw.) Kindb.	Берега и русла рек и ручьев, сырые леса, сырые и заболоченные понижения, минеротрофные болота; почва, камни Banks and beds of rivers and streams, wet forests, wet and paludified depressions, minerotrophic fens; soil, stones
<i>Calliergon giganteum</i> (Schimp.) Kindb.	Русло р. Нива, берег оз. Пинозеро, минеротрофные болота, сырые и заболоченные понижения, канавы, сырые овраги и леса, ивняки; почва, камни Bed of Niva River, bank of Pinozero Lake, minerotrophic fens, wet and paludified depressions, gitches, wet ravines and forests, willow thickets; soil, stones
<i>Calliergonella lindbergii</i> (Mitt.) Hedenäs	Берега и русла рек, берег оз. Пинозеро, сырые леса, сырые понижения, влажные обочины лесных дорог; почва, песок, глина Banks and beds of rivers, bank of Pinozero Lake, wet forests, wet depressions, moist forest roadsides; soil, sand, clay
<i>Campylium stellatum</i> (Hedw.) C. Jens.	Северная часть поселка, понижение с водой, обросшее густым ивняком, на почве между стеблями осок, КРАВГ 123654; южная часть поселка, правый берег р. Нива у впадения в нее отводящего канала ГЭС, песчаная сырая почва между камней, КРАВГ 123688 Northern part of the settlement, depression with water and dense willows at margins, on soil between sedges stems, КРАВГ 123654; southern part of the settlement, right bank of Niva River near inflowing of diverter channel of hydroelectric power station, sandy wet soil among stones, КРАВГ 123688
<i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid. S+	Жилая зона, берега и русла рек, берега Нивского канала, оз. Пинозеро, леса, луговины, тропы, гаражи, канавы; кострища, незадернованная почва, мелкозем, камни, горные породы, бетон, асфальт, железо, обработанная гнилая древесина Living zone, banks and beds of rivers, banks of Nivskij Channel and Pinozero Lake, forests, trails, garages, ditches; bonfire sites, open soil, fine earth, stones, rocks, concrete, asphalt, iron, treated decaying wood
<i>Cinclidium stygium</i> Sw.	Берега рек, заболоченные понижения, минеротрофные болота, мочажины в них; почва Banks of rivers, paludified depressions, minerotrophic fens and flarks in it; soil
<i>Climacium dendroides</i> (Hedw.) F.Weber & D.Mohr	Берега и русло р. Нива, берега Нивского канала и оз. Пинозеро, леса, ивняки, луговины, рекреационные лужайки; почва, песок, камни Banks and bed of Niva River, banks of Nivskij Channel and Pinozero Lake, forests, willow thickets, meadows; soil, sand, rocks
<i>Cratoneuron filicinum</i> (Hedw.) Spruce	Правый берег р. Теньте, ивовый лес травяной, на сырой почве у воды, КРАВГ 123637 Right bank of Ten'te River, willow herbal forest, moist soil near water, КРАВГ 123637

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Dicranella grevilleana</i> (Brid.) Schimp.	Берега Нивского канала, луговины, канавы, обочины дорог; незадернованная почва Banks of Nivskij Channel, meadows, ditches, roadsides; open soil
<i>Dicranella schreberiana</i> (Hedw.) Hilf. ex H.A.Crum & L.E.Anderson	Юго-западная часть поселка, гаражи, мелкокаменистая незадернованная почва, КРАВГ 123618; правый берег р. Нива, каменистый обрыв к реке, поросший сосняком, на валуне, КРАВГ 123660 South-west part of Nivskij Settlement, garages, open stony soil, КРАВГ 123618; right bank of Niva River, stony gorge with pine forest, on boulder, КРАВГ 123660
<i>Dicranum flexicaule</i> Brid.	Южная окраина поселка у дачного кооператива «Плесозеро», гаражи, на гнилом бревне, КРАВГ 123644; сосняк лишайниково-кустарничковый, на почве с хвоей, КРАВГ 123657 South outskirts of Nivskij Settlement near "Plesozero" country cooperative, garages, rotten log, КРАВГ 123644; pine lichen-dwarf shrub forest, soil with pine needles, КРАВГ 123657
<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.	Леса; почва Forests; soil
<i>Didymodon fallax</i> (Hedw.) Zander S+	Северная часть поселка, обочина лесной дороги, открытое место, на потрескавшемся бетоне, КРАВГ 123872 Northern part of Nivskij Settlement, forest roadside, open habitat, cracked concrete, КРАВГ 123872
<i>Distichum inclinatum</i> (Hedw.) Bruch et al. S+	Юго-западная окраина поселка, гаражи, зарастающее кострище, КРАВГ 123473 South-west outskirts of Nivskij Settlement, garages, overgrowing bonfire site, КРАВГ 123473
<i>Ditrichum flexicaule</i> (Schwägr.) Hampe	Берега Нивского канала, р. Теньте, леса, рекреационные лужайки, обочины дорог, тропы; почва, мелкозем, бетон Banks of Nivskij Channel and Ten'te River, forests, recreation meadows, roadsides, trails; soil, fine earth, concrete
<i>Drepanocladus aduncus</i> (Hedw.) Warnst. S+	Берега и русла рек, берега оз. Пинозеро, леса, лужайки, сырые понижения; почва, опад, камни, глина Banks of rivers, banks of Pinozero Lake, forests, meadows, wet depressions; soil, decaying plants, stones, clay
<i>Drepanocladus polygamus</i> (Bruch et al.) Hedenäs	Русла рек, сырые понижения, сырые ивняки; почва, камни, горные породы Beds of rivers, wet depressions, wet willow thickets; soil, stones, rocks
<i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	Русла ручьев, Нивского канала; камни Beds of streams and Nivskij Channel, stones
<i>Funaria hygrometrica</i> Hedw. S+	Юго-западная окраина поселка, гаражи, в зарастающем кострище на почве, КРАВГ 123473 South-western outskirts of Nivskij Settlement, garages, overgrown bonfire site, on soil, КРАВГ 123473
<i>Grimmia donniana</i> Sm. S+	Правый берег Нивского канала, на бетонных плитах набережной, КРАВГ 123636 Right bank of Nivskij Channel, concrete blocks of embankment, КРАВГ 123636

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Helodium blandowii</i> (F.Weber & D.Mohr) Warnst. S+	Русло р. Нива, леса, минеротрофное болото; почва Bed of Niva River, forests, minerotrophic fen; soil
<i>Hygrohypnella ochracea</i> (Turner ex Wilson) Ignatov & Ignatova	Русла и берега рек, ручьев, берега Нивского канала, сырые рекреационные лужайки; камни, горные породы, почва Beds and banks of rivers, streams, Nivskij Channel, wet recreation meadows; stones, rocks, soil
<i>Hygrohypnum luridum</i> (Hedw.) Jenn.	Русла р. Нива и Нивского канала; камни, горные породы Beds of Niva River and Nivskij Channel; stones, rocks
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Bruch et al.	Леса, гаражи; почва, опад, гнилые бревна, комли Forests, garages; soil, decaying plants, rotten logs, tree bases
<i>Hymenoloma crispulum</i> (Hedw.) Ochyra S+	Берега и русла рек, берега Нивского канала, леса; бетон, камни, горные породы Banks and beds of rivers, banks of Nivskij Channel, forests; concrete, stones, rocks
<i>Kiaeria starkei</i> (F.Weber & D.Mohr) I. Hagen	Русло р. Нива; камни Bed of Niva River; stones
<i>Leptobryum pyriforme</i> (Hedw.) Wilson S+	Берега и русла рек, берега Нивского канала, леса, ивняки, тропы, гаражи, обочины дорог; незадернованная почва, кирпич, бетон, мелкозем, гнилые бревна, камни Banks and beds of rivers, banks of Nivskij Channel, forests, willow thickets, trails, garages, roadsides; open soil, brick, concrete, wine earth, rotten logs, stones
<i>Niphotrichum canescens</i> (Hedw.) Bednarek-Ochyra & Ochyra	Берега Нивского канала, леса, обочины дорог; почва, песок, мелкозем, бетон, камни Banks of Nivskij Channel, forests, roadsides; soil, sand, fine earth, concrete, stones
<i>Ochyreaea duriuscula</i> (De Not.) Ignatov & Ignatova	Русла р. Нива и Нивского канала; камни, горные породы Beds of Niva River and Nivskij Channel; stones, rocks
<i>Paludella squarrosa</i> (Hedw.) Brid.	Минеротрофные болота, мочажины и кочки в них; почва Minerotrophic fens, flarks and hummocks in it; soil
<i>Philonotis fontana</i> (Hedw.) Brid. S+	Берега и русла рек, берега Нивского канала, озера Пинозеро, леса, сырые лужайки, понижения, канавы, колеи лесных дорог, заболоченные ивняки, минеротрофные болота; почва, песок, глина, горные породы Banks and beds of rivers, Nivskij Channel, Pinozero Lake, forests, wet meadows, depressions, ditches, forest roads, paludified willow thickets, minerotrophic fens; soil, sand, clay, rocks
<i>Plagiomnium elatum</i> (Bruch et al.) T.J.Кор.	Южная часть поселка вблизи дачного кооператива «Плесозеро», правый берег р. Нива, заболоченный ивняк, на сырой почве КРАВГ 123840; северная часть поселка, берег оз. Пинозеро, ивняк разнотравный, на сырой почве, КРАВГ 123871 Southern part of Nivskij Settlement near country cooperative "Plesozero", right bank of Niva River, paludified willow, moist soil, КРАВГ 123840; northern part of Nivskij Settlement, bank of Pinozero Lake, herbal willow thickets, moist soil, КРАВГ 123871

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Plagiomnium ellipticum</i> (Brid.) T. J. Кор.	Берега и русла рек и ручьев, берег оз. Пинозеро, сырые леса и понижения, минеротрофные болота, кочки, ивняки; почва, песок, камни с почвенными наносами, опад, глина, торф Banks and beds of rivers and streams, bank of Pinozero Lake, wet forests and depressions, minerotrophic fens, hummocks, willow thickets; soil, sand, stones with soil layer, decaying plants, clay, peat
<i>Plagiomnium medium</i> (Bruch et al.) T.J.Кор.	Густой ивовый лес хвощевой, в овраге на почве с опадом, КРАВГ 123854; ивовый лес травяной, понижение с водой, на почве, КРАВГ 123879 Dense willow forest with <i>Equisetum</i> sp., in the ravine on soil with decaying plants, КРАВГ 123854; willow herbal forest, depression with water, on soil, КРАВГ 123879
<i>Plagiothecium denticulatum</i> (Hedw.) Bruch et al. S+	Леса, берега рек, ивняки; почва, комли, гнилая древесина Forests, banks of rivers, willow thickets; soil, tree bases, rotten wood
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	Леса, ивняки; почва, комли, гнилая древесина Forests, willow thickets; soil, tree bases, decaying wood
<i>Pogonatum urnigerum</i> (Hedw.) P. Beauv.	Жилая зона, берега Нивского канала, гаражи, обочины дорог, тропы; незадернованная почва, мелкозем, песок, камни Living zone, banks of Nivskij Channel, garages, roadsides, trails; open soil, fine earth, sand, stones
<i>Pohlia andalusica</i> (Höhn.) Broth. gemm. S+	Северо-восточная часть поселка, слабо задернованная песчаная почва по обочине дороги, КРАВГ 123407; сосняк кустарничковый по правому берегу Нивского канала, слабо задернованная почва по обочине лесной дороги, КРАВГ 123613 North-eastern part of Nivskij Settlement, roadside, poorly turfed sandy soil, КРАВГ 123407; pine dwarf shrub forest on the right bank of Nivskij Channel, forest roadside, poorly turfed soil, КРАВГ 123613
<i>Pohlia cruda</i> (Hedw.) Lindb.	Леса, ивняки; почва, комли, гнилая древесина Forests, willow thickets; soil, tree bases, rotten wood
<i>Pohlia filum</i> (Schimp.) Mårtensson gemm.	Жилая зона, гаражи, обочины дорог; незадернованная почва, песок, мелкозем Living zone, garages, roadsides; open soil, sand, fine earth
<i>Pohlia nutans</i> (Hedw.) Lindb. S+	Жилая зона, леса, гаражи, обочины дорог; почва, песок, комли, гнилая древесина Living zone, forests, garages, roadsides; soil, sand, tree bases, rotten wood
<i>Pohlia wahlenbergii</i> (F.Weber & D.Mohr) A.L.Andrews	Берега рек и ручьев, берега Нивского канала, сырые ивняки, понижения, лесные дороги; почва, глина Banks of rivers, streams and Nivskij Channel, wet willow thickets, depressions, forest roads; soil, clay
<i>Polytrichum commune</i> Hedw. S+	Леса, сырые понижения, олиготрофные болота, кочки; почва, камни со слоем почвы Forests, wet depressions, oligotrophic mires, hummocks; soil, stones with soil layer

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw. S+	Леса, олиго- и минеротрофные болота, кочки; почва Forests, oligotrophic mires and minerotrophic fens, hummocks; soil
<i>Polytrichum piliferum</i> Hedw. S+	Жилая зона, леса, обочины дорог, рекреационные лужайки; незадернованная почва, камни, мелкозем Living zone, forests, recreation meadows; open soil, stones, fine earth
<i>Pseudobryum cinclidioides</i> (Huebener) T. J. Kop.	Влажные леса, берег р. Теньте; почва Wet forests, bank of Ten'te River; soil
<i>Pseudocalliergon trifarium</i> (F. Weber & D. Mohr) Loeske	Южная часть поселка у дачного кооператива «Плесозеро», правый берег р. Нива, открытое минеротрофное болото, в мочажине, КРАВГ 123823 South outskirts of Nivskij Settlement near "Plesozero" country corporate, open minerotrophic fen, in the flark, KRAVG 123823
<i>Rhizomnium pseudopunctatum</i> (Bruch & Schimp.) T. J. Kop. S+	Минеротрофные болота, кочки, леса, берега Нивского канала и оз. Пинозеро, сырые понижения; почва Minerotrophic fens, hummocks, banks of Nivskij Channel and Pinozero Lake, wet depressions; soil,
<i>Sanionia uncinata</i> (Hedw.) Loeske S+	Жилая зона, гаражи, берега и русла рек и ручьев, берега Нивского канала и оз. Пинозеро, леса, ивняки, лужайки, овраги, канавы; почва, мелкозем, глина, бетон, асфальт, кирпич, комли, стволы деревьев, камни, горные породы, гнилая древесина, опад Living zone, garages, banks and beds of rivers and streams, banks of Nivskij Channel and Pinozero Lake, forests, willow thickets, meadows, ravines, ditches; soil, fine earth, clay, concrete, asphalt, brick, tree bases and trunks, stones, rocks, rotten wood, decaying
<i>Schistidium agassizii</i> Sull. & Lesq. S+	Берега и русло р. Нива, берега Нивского канала, леса; камни, горные породы, бетон Banks and bed of Niva River, banks of Nivskij Channel, forests; stones, rocks, concrete
<i>Schistidium apocarpum</i> (Hedw.) Bruch et al. S+	Берега Нивского канала; бетон, КРАВГ 123408 Banks of Nivskij Channel, concrete, KRAVG 123408
<i>Schistidium crassipilum</i> H.H. Blom S+	Берега Нивского канала, поросший сосняком крутой склон к р. Нива; бетон, камни, горные породы, КРАВГ 123614, 123617, 123660, 123889 Banks of Nivskij Channel, steep forested slope near Niva River; concrete, stones, rocks, KRAVG 123614, 123617, 123660, 123889
<i>Schistidium crenatum</i> H.H. Blom S+	Русло р. Нива, поросший сосняком крутой склон к р. Нива; камни, горные породы, КРАВГ 123889 Bed of Niva River, steep forested slope near Niva River; stones, rocks, KRAVG 123889
<i>Schistidium dupretii</i> (Thér.) W. A. Weber S+	Берега Нивского канала и р. Теньте; бетонные плиты набережной, КРАВГ 123881 Banks of Nivskij Channel and Ten'te River; concrete blocks of the embankment, KRAVG 123881

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Schistidium lancifolium</i> (Kindb.) H. H. Blom S+	Берега Нивского канала; бетонные плиты набережной, КРАВГ 123881 Banks of Nivskij Channel; concrete blocks of the embankment, КРАВГ 123881
<i>Schistidium papillosum</i> Culm. S+	Берега Нивского канала и р. Теньте; бетонные плиты набережной и бетонная отводная канава, КРАВГ 123615 Banks of Nivskij Channel and Ten'te River; concrete blocks of the embankment and concrete diverter ditch, КРАВГ 123615
<i>Schistidium platyphyllum</i> (Mitt.) Perss. S+	Русло р. Нива; камни, горные породы, КРАВГ 123873 Bed of Niva River; stones, rocks, КРАВГ 123873
<i>Schistidium rivulare</i> (Brid.) Podp. S+	Русло р. Нива, горизонтальная поверхность каменной глыбы с почвенными наносами, КРАВГ 123824; на сухой каменной глыбе, возвышающейся над водой, КРАВГ 123848 Bed of Niva River, horizontal surface of the stone block with soil deposits, КРАВГ 123824; dry stone block rising over the water, КРАВГ 123848
<i>Schistidium submuticum</i> Broth. ex H.H.Blom S+	Берега Нивского канала, русло р. Нива, обрывистый каменистый спуск к р. Нива, поросший сосняком; бетонные плиты набережной, валуны, камни, КРАВГ 123403, 123476, 123521, 123617, 123625, 123660, 123667, 123668, 123670 Banks of Nivskij Channel, bed of Niva River, steep stony slope with pine forest near Niva River; concrete blocks of the embankment, boulders, stones, КРАВГ 123403, 123476, 123521, 123617, 123625, 123660, 123667, 123668, 123670
<i>Sciuro-hypnum oedipodium</i> (Mitt.) Ignatov & Huttunen S+	Берега рек, леса; почва, опад, гнилая древесина, комли Banks of rivers, forests; soil, decaying plants, rotten wood, tree bases
<i>Sciuro-hypnum reflexum</i> (Starke) Ignatov & Huttunen S+	Жилая зона, огороды, гаражи, берега рек, леса; почва, опад, бетон, комли, стволы, гнилая древесина Living zone, kitchen-gardens, garages, banks of rivers, forests; soil, decaying plants, concrete, tree bases and trunks, rotten wood
<i>Sciuro-hypnum starkei</i> (Brid.) Ignatov & Huttunen	Леса; почва, опад, комли и стволы Forests; soil, decaying plants, tree bases and trunks
<i>Scorpidium cossonii</i> (Schimp.) Hedenäs	Северная часть поселка, берег оз. Пинозеро, в прибрежных зарослях <i>Carex rostrata</i> Stokes, на почве с водой, КРАВГ 123865 Northern part of Nivskij Settlement, bank of Pinozero Lake, coastal band with <i>Carex rostrata</i> Stokes, soil with water, КРАВГ 123865
<i>Scorpidium revolvens</i> (Sw. ex anon.) Rubers	Минеротрофные болота; сырая почва Minerotrophic fens; moist soil
<i>Scorpidium scorpidioides</i> (Hedw.) Limpr.	Минеротрофные болота, мочажины в них; почва под водой Minerotrophic fens, flarks in them; underwater soil

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Serpoleskea subtilis</i> (Hedw.) Loeske S+	Левый берег р. Теньте возле впадения в Нивский канал, бетонная набережная реки, на плитах, КРАБГ 123406 Left bank of Ten'te River near inflowing into Nivskij Channel, concrete embankment of the river, on blocks, КРАБГ 123406
<i>Sphagnum contortum</i> Schultz	Южная часть поселка вблизи дачного кооператива «Плесозеро», правый берег р. Нива, минеротрофное вахтовое болото с редкими ивами, на почве с водой, КРАБГ 123833 South outskirts of Nivskij Settlement near "Plesozero" country cooperative, right bank of Niva River, minerotrophic fen with <i>Menyanthes trifoliata</i> L. and scattered <i>Salix</i> sp., on soil with water, КРАБГ 123833
<i>Sphagnum riparium</i> Ångstr.	Северная часть поселка, окраина олиготрофного болота озеркового типа, густой ивняк по краю, на сырой почве между стеблями осок, КРАБГ 123655 Northern part of Nivskij Settlement, edge of oligotrophic pool mire, dense willows at the edge, on moist soil with sedges, КРАБГ 123655
<i>Sphagnum squarrosum</i> Crome	Минеро- и олиготрофные болота, болота озеркового типа, кочки, сырые ивняки; почва Minerotrophic fens and oligotrophic mires, pool mires, hummocks, wet willow thickets; soil
<i>Sphagnum subfulvum</i> Sjörs	Южная часть поселка вблизи дачного кооператива «Плесозеро», правый берег р. Нива, минеротрофное вахтовое болото с редкими ивами, на кочке, КРАБГ 123820 South outskirts of Nivskij Settlement near "Plesozero" country cooperative, right bank of Niva River, minerotrophic fen with <i>Menyanthes trifoliata</i> L. and scattered <i>Salix</i> sp., on hummock, КРАБГ 123820
<i>Sphagnum subsecundum</i> Nees	Южная часть поселка вблизи дачного кооператива «Плесозеро», правый берег р. Нива, минеротрофное вахтовое болото с редкими ивами, на почве, КРАБГ 123839 South outskirts of Nivskij Settlement near "Plesozero" cooperative, right bank of Niva River, minerotrophic fen with <i>Menyanthes trifoliata</i> L. and scattered <i>Salix</i> sp., on soil, КРАБГ 123839
<i>Sphagnum teres</i> (Schimp.) Ångstr.	Минеро- и олиготрофные болота, кочки, мочажины, сырые понижения, ивняки; почва Minerotrophic fens and oligotrophic mires, hummocks, flarks, wet depressions, willow thickets; soil
<i>Sphagnum warnstorffii</i> Russow	Минеротрофные болота, кочки, ивняки, канавы; почва Minerotrophic fens, hummocks, willow thickets, ditches; soil
<i>Straminergon stramineum</i> (Dicks. ex Brid.) Hedenäs	Минеро- и олиготрофные болота, болота озеркового типа, мочажины, кочки; почва Minerotrophic fens and oligotrophic mires, pool mires, flarks, hummocks; soil

Вид / species	Местообитания и субстраты / habitats and substrates
<i>Warnstorfia exannulata</i> (Bruch et al.) Loeske	Берега и русла рек, берег оз. Пинозеро, влажные леса, минеро- и олиготрофные болота, болота озеркового типа, мочажины, сырые понижения, канавы; почва, камни Banks and beds of rivers, bank of Pinozero Lake, wet forests, minerotrophic fens and oligotrophic mires, pool mires, flarks, wet depressions, ditches; soil, stones
<i>Warnstorfia fluitans</i> (Hedw.) Loeske	Берега и русла рек, сырые понижения, сырые леса, ивняки; почва, камни Banks and beds of rivers, wet depressions, wet forests, willow thickets; soil, stones
<i>Warnstorfia pseudostraminea</i> (Cardot & Thér.) Tuom. & T.J. Kop.	Юго-западная часть поселка, олиготрофное болото с редкими сухими елями и системой озерков в нижней части болота, окраина болота, сырая почва, КРАВГ 123838, 123842 South-western part of Nivskij Settlement, oligotrophic mire with scattered dead spruce trees and system of pools in lower part of the mire, edge of the mire, wet soil, КРАВГ 123838, 123842
<i>Warnstorfia sarmentosa</i> (Wahlenb.) Hedenäs	Южная часть поселка вблизи дачного кооператива «Плесозеро», правый берег р. Нива, минеротрофное вахтово-гипновое болото с редкими ивами, в мочажине, КРАВГ 123846 South outskirts of Nivskij Settlement near "Plesozero" country cooperative, right bank of Niva River, minerotrophic fen with <i>Menyanthes trifoliata</i> L., hypnum mosses and scattered <i>Salix</i> spp., in the flark, КРАВГ 123846

Таким образом, бриофлора пос. Нивский насчитывает 96 видов. По сравнению с флорами мхов городов региона это довольно богатая и интересная бриофлора, тем более если учитывать небольшой размер занимаемой территории и удаленность от крупных горных массивов. В целом бриофлору Нивского можно охарактеризовать как бореальную равнинную бриофлору с большим вкладом мхов различных переувлажненных местообитаний.

Одними из наиболее бриофлористически интересных местообитаний в Нивском являются экотопы по берегам и в русле реки Нива (рис. 2).

Широкое русло Нивы представляет собой нагромождения камней и сколов горных пород, перемежающиеся ручейками и лужами. В нескольких местах имеются участки расширений-плесов, озерков, окаймленных каменистыми берегами с небольшими почвенными отложениями на относительно ровных участках, где развиваются прибрежные злаковые или осоковые луговины. Нива располагается в понижении рельефа между невысокими крутыми холмами, поросшими сосновым лесом. Мхи экотопов русла и берегов Нивы представлены видами скально-каменистых местообитаний: *Schistidium agassizii*, *S. rivulare*, *S. platyphyllum*, *S. crenatum*, *S. submuticum* (рис. 3) (последние три — редкие в области), *Hymenoloma crispulum*, а также гигро- и гидрофитов: *Warnstorfia fluitans*, *Hygrohypnella ochracea*, *Ochyraea duriuscula*, *Hygrohypnum luridum*, *Bryum pallens* и др. (рис. 4) По берегам встречаются виды местообитаний с проточной водой (берега водотоков, ключевые болота) — *Pohlia wahlenbergii*, *Philonotis fontana*; широко распространены *Climacium dendroides*, *Calliergon* spp. и др.



Рис. 2. Русло реки Нива вблизи водосбросной плотины ГЭС-2 на оз. Пинозеро
Fig. 2. Bed of Niva River near spillway dam of hydroelectric power station HPS-2 on Pinozero Lake



Рис. 3. Мхи из рода *Schistidium* на валунах в русле р. Нива
Fig. 3. Mosses from *Schistidium* genus on boulders of Niva River bed

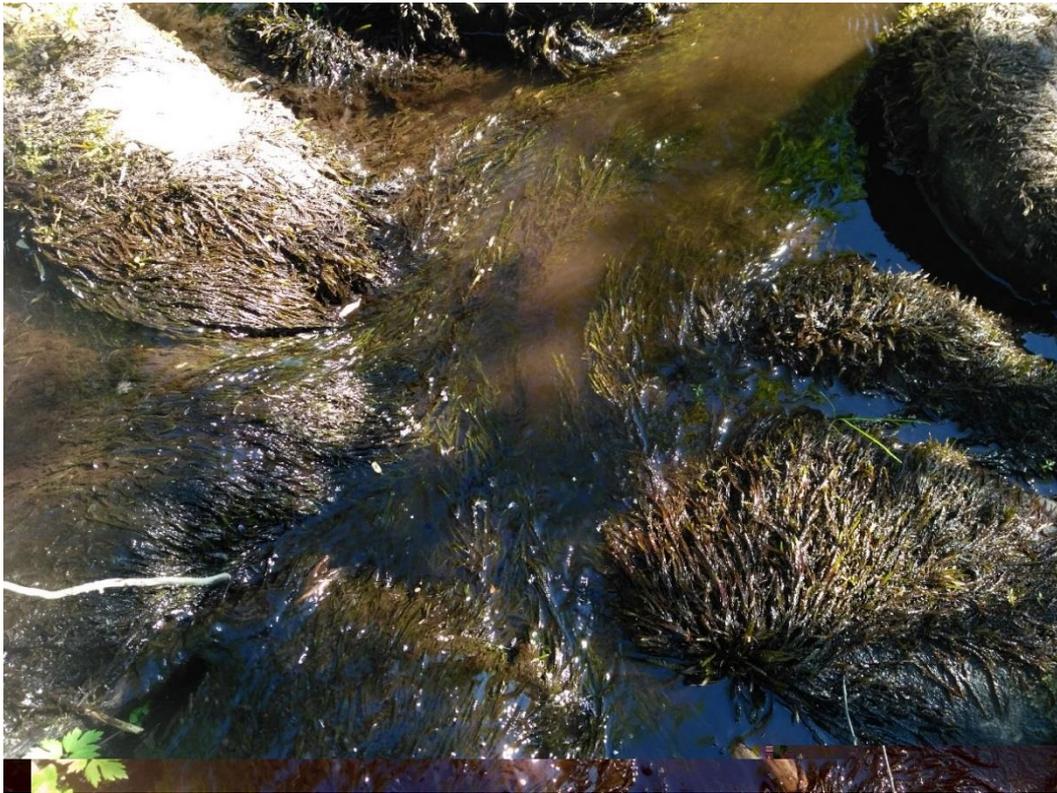


Рис. 4. Мхи-гидрофиты на камнях в русле р. Нива

Fig. 4. Hydrophyllic mosses on stones in bed of Niva River

Некоторые виды из рода *Schistidium*, выявленные на каменистых субстратах природного происхождения, кроме того, встречаются и на искусственных «каменистых» местообитаниях (бетон) Нивского канала и реки Теньте у ее впадения в Нивский канал (*Schistidium submuticum*, *S. agassizii*). Помимо них здесь также отмечены и другие редкие для Мурманской обл. представители этого рода — *S. crassipilum*, *S. lancifolium*, *S. dupretii*, *S. apocarpum*, а также *S. papillosum*, который в регионе распространен несколько шире. Эти виды массово заселяют бетонные плиты, которыми выложена набережная канала (рис. 5). При изучении бриофлоры городов и поселков Мурманской обл. было отмечено, что некоторые виды *Schistidium* в регионе приурочены именно к антропогенным каменистым субстратам — бетону и асфальту [28, 29]. Так, *Schistidium crassipilum*, помимо указанных находок в Нивском, был отмечен лишь один раз в естественных условиях — в Порьей Губе Белого моря (Кандалакшский залив), о. Шомбачий, на скалах, KAND700 [30]. Вид растет в основном на равнинных территориях, описан из Норвегии, известен из Европы и Северной Америки, обычен в Средиземноморье и южной части Скандинавии. В России встречается на Кавказе, особенно в районах распространения известняков, в южных и центральных областях европейской России, на Южном Урале и Алтае. Растет на кальцийсодержащих породах, а также на искусственных субстратах [31]. В Нивском вид был собран в четырех точках, две из которых — на бетонных плитах набережной Нивского канала и еще две — на крутом обрывистом спуске к реке Нива, каменистый склон, поросший сосняком с примесью березы, на валуне и выходе горных пород.

Schistidium lancifolium был известен в Мурманской обл. по единичным находкам с территорий городов (Кировск, Апатиты, Кола) [28, 32], а также из Порьей губы [20]. При этом лишь в Коле вид отмечен в криволесье на валуне, тогда как остальные точки приурочены к каменистым субстратам антропогенного происхождения (бетон, асфальт). В целом, *S. lancifolium* является бореально-неморальным видом Северного полушария, растет на равнинах и в лесном поясе в горах. В России известен в Карелии и Сибири, на Урале, Кавказе, Дальнем Востоке. Растет как на сухих, так и на влажных местах, на кислых и кальцийсодержащих субстратах [31]. В Нивском вид обнаружен в 6 точках, и все они на бетонной набережной Нивского канала.



Рис. 5. Бетонные плиты набережной Нивского канала — местообитание нескольких редких в Мурманской обл. видов рода *Schistidium*

Fig. 5. Concrete blocks of Nivskij Channel embankment are habitats of several rare in Murmansk Province *Schistidium* species

S. dupretii встречается в различных городах и поселках региона, а также на некоторых антропогенно преобразованных участках в окружении естественной растительности, на бетоне и асфальте. В целом это горный вид Северного полушария в России встречается в ряде областей от Карелии до Камчатки, в основном на обнажениях карбонатных пород [31]. В Мурманской обл. все находки приурочены строго к антропогенным местообитаниям, кроме одного местонахождения в природных ценозах в Сальных тундрах [20].

S. apocarpum в узком понимании, согласно обработке Х. Х. Блюма [33], принимаемом нами и в данной работе при определении видов, часто встречается только в Европе, в других местах (Мадейра, Малая Азия, Северная Америка) редок. В России он распространен в основном на северо-западе, растет на гранитных валунах и бетонных плитах [32]. В области, помимо городов, известен из трех точек — Ловозерские горы, Лавна-тундра, остров Великий (Кандалакшский заповедник), становится более частым в Карелии [20]. На урбанизированных территориях вид часто встречается вблизи Хибинского горного массива (Кировск, Апатиты, Коашва) [28, 34] и значительно реже — в удалении (Полярные Зори, Нивский). В Нивском отмечен на бетонной набережной канала.

S. crenatum ранее был выявлен в регионе: в Кандалакше (на берегу канала ГЭС-3, на сколах горных пород), в Кировске (городской парк, асфальтированная площадка [28], в районе Поноя, Мельничный ручей [20]). Это северный вид, встречающийся в центральной и северной частях Скандинавского п-ова, на севере Финляндии и в Канаде. В европейской России помимо находок в городах Мурманской обл. отмечен в Карелии и на Северном Урале, имеются спорадические находки в азиатской части. Растет на камнях как кислых, так и основных пород, в основном вблизи водоемов [31]. Находки в Нивском дают еще семь точек обнаружения в Мурманской обл. двум уже известным. *S. crenatum* занесен в Красную книгу Мурманской обл. с категорией охраны «бионадзор».

S. submuticum в Мурманской обл. помимо территорий городов был собран в естественных условиях один раз — в заповеднике «Пасвик», г. Каскама, кустарничково-лишайниковая горная тундра, на выходах коренных пород [35]. Это циркумголарктический бриофит, встречается в Северной Америке, Европе (Скандинавия, Исландия, Восточная Европа), азиатской части России. Растет в различных условиях на карбонатных породах [31]. В Нивском вид отмечен в различных местообитаниях на горных породах, камнях и бетоне.

Остальные представители рода *Schistidium* в области встречаются часто или спорадически на скально-каменистых субстратах как естественного, так и искусственного происхождения.

Еще одними из наиболее бриофлористически интересных местообитаний пос. Нивский являются небольшие участки минеротрофных вахтовых, вахово-гипновых болот по правому берегу реки Нива вблизи дачного кооператива «Плесозеро» (рис. 6). Несмотря на небольшие площади, их наличие значительно повышает разнообразие флоры мхов поселка. Исключительно здесь отмечены такие болотные бриофиты, как *Warnstorfia pseudostraminea*, *W. sarmentosa*, *Straminergon stramineum*, *Sphagnum russowii*, *S. subsecundum*, *S. subfulvum*, *S. contortum*, *Scorpidium* spp., *Pseudocalliergon trifarium*, *Paludella squarrosa* и др. — преимущественно минеротрофные виды богатых болот.



Рис. 6. Сфагновые мхи на одном из минеротрофных болот в поселке Нивский

Fig. 6. Sphagna mosses on one of the minerotrophic fens of Nivskij Settlement

Флора мхов лесных участков поселка сложена в основном обычными для таких экотопов видами: *Dicranum scoparium*, *D. flexicaule*, *Sciuro-hypnum* spp., *Plagiothecium denticulatum*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Polytrichum* spp. В целом видовой состав лесных сообществ небогат вследствие сухости большинства из них и развитой тропиной сети. Только на более или менее влажных участках (в основном по берегам реки Теньте и в нескольких сырых понижениях в различных частях поселка) видовой набор становится шире за счет появления гигрофильных мхов: *Rhizomnium pseudopunctatum*, *Plagiomnium ellipticum*, *P. medium*, *Pseudobryum cinclidioides*, *Calliergon cordifolium*, *C. giganteum* и др. Небогатый состав мхов лесных ценозов также связан с тем, что в поселке достаточно мало таких субстратов, как разлагающаяся древесина, а древесный ярус в лесах сложен в основном *Pinus friesiana* Wich. Древесные виды таких мелколиственных пород, как осина, тополь и др., на которых чаще поселяются мхи-эпифиты, в Нивском не представлены. Эпифитная флора мхов некоторых широко- и мелколиственных пород, в частности осины, для средней тайги и более южных областей России отмечается рядом авторов как наиболее богатая и уникальная по сравнению с другими древесными породами вследствие влагоудерживающей способности коры и более высокого уровня pH [36, 37]. Облигатных эпифитов при исследовании бриофлоры отмечено не было, а эпифитную флору слагают в основном эвритоппные мхи (*Amblystegium serpens*, *Sanionia uncinata*, *Sciuro-hypnum* spp., *Dicranum* spp., *Pohlia nutans*, *P. cruda* и др.).

Видовой набор мхов антропогенных местообитаний слагают также характерные для урбанофлор Мурманской обл. виды. Всего на антропогенных местообитаниях отмечено 49 видов мхов. Эта группа представлена мхами с широкой экологической амплитудой, заселяющими различные типы антропогенных местообитаний и субстратов (*Sanionia uncinata*, *Bryum pseudotriquetrum*, *Pohlia nutans*, *Ceratodon purpureus*, *Brachythecium salebrosum* и др.), видами нарушенных почв (*Aongstroemia longipes*, *Barbula convoluta*, *B. unguiculata*, *Pohlia andalusica*, *P. filum*, *Pogonatum urnigerum* и др.), а также небольшим количеством кальцефилов и эпилитов (*Didymodon fallax*, *Serpoleskea subtilis*, *Schistidium* spp., *Amblystegium serpens*, *Hymenoloma crispulum*, *Ditrichum flexicaule*). Некоторые влаголюбивые мхи появляются на переувлажненных вторичных экотопах — в канавах с водой, по влажным колеям лесных дорог, тропам, на сырых рекреационных лужайках по берегам реки Нива (*Calliergon cordifolium*, *C. giganteum*, *Hygrohypnella ochracea*, *Calliergonella lindbergii*, *Philonotis fontana*).

Бриофлора Нивского сопоставима по объему с бриофлорами таких крупных городов Мурманской области, как Полярные Зори, Кировск и Апатиты (рис. 7), несмотря на то, что площади, занимаемые этими городами, превышают площадь поселка в несколько раз. Наиболее близка к бриофлоре Нивского не только по числу видов, но и по флористическому составу флора мхов города Полярные Зори. Это вполне закономерно, учитывая близость населенных пунктов, расположенных в 10 км друг от друга, схожий равнинный характер территорий и набор местообитаний. В обоих населенных пунктах протекает река Нива, экотопы которой населены сходным набором мхов, включая и некоторые редкие в регионе бриофиты из рода *Schistidium*. Приблизительно одинаковый набор мхов произрастает и в лесных сообществах как пос. Нивский, так и города Полярные Зори. Близка по составу к этим двум флорам также и флора города Кандалакша, которая больше по объему, в основном за счет видов, обитающих по скалистым берегам и травяным луговинам побережья Баренцева моря. Близость моря и наличие таких экотопов, как затопленные или периодически орошаемые морскими брызгами скалы, скальные «ванны», в Кандалакше обуславливают появление некоторых видов, нехарактерных для центральных районов Кольского п-ова (*Grimmia muehlenbeckii*, *G. longirostris*, *Schistidium pulchrum*, *Saelania glaucescens*, *Bryoerythrophyllum recurvirostre*, *Tortella tortuosa* и др.). Так же, как и в двух вышеупомянутых населенных пунктах, в Кандалакше протекает река Нива, кроме того, город находится всего в 16 км от пос. Нивский и в 30 км от города Полярные Зори, что дает общий набор видов.

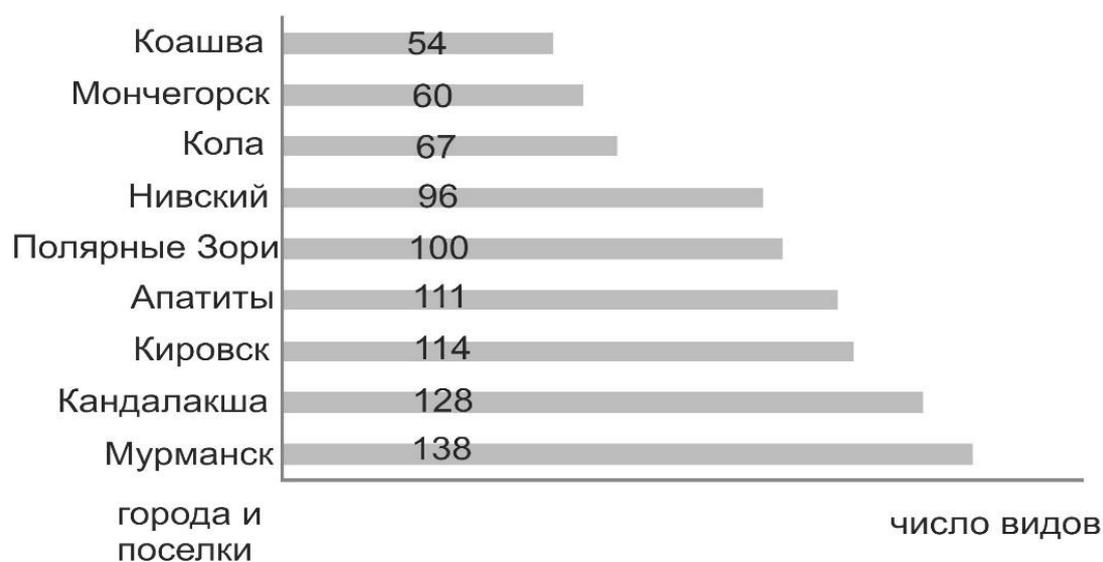


Рис. 7. Число видов мхов в городах и поселках Мурманской обл. [28, 32, 34]

Fig. 7. Number of moss species in the towns and settlements of Murmansk Region [28, 32, 34]

Флора Мурманска отличается еще большим богатством. Несмотря на включение части мхов, отмеченных в Нивском, в бриофлору Мурманска, часть кальцефилов, приуроченных в основном к набережной Нивского канала, в Мурманске не была отмечена (*Serpoleskea subtilis*, *Ditrichum flexicaule*, *Schistidium* spp.), тогда как большее видовое богатство бриофлоры столицы региона обеспечивают «северные» виды, тяготеющие к Арктике (*Andreaea blyttii*, *Loeskygnum badium*, *Pohlia crudoides*, *Sphagnum lindbergii*, *Sphagnum magellanicum* и др.). Их наличие во флоре обусловлено расположением Мурманска в лесотундре, обилием в черте города тундровых и криволесных участков, переходных и верховых болот, не представленных в Нивском.

Близки по объемам к флоре мхов Нивского бриофлоры городов Кировск и Апатиты, каждая из которых имеет свои специфические черты, обусловленные своеобразием экотопов: сохранившихся лесов с вкраплениями болот, разнообразных по древесному составу и степени увлажнения (Апатиты); горных экотопов на склонах горы Айкуайвенчорр (Кировск).

Флоры мхов остальных изученных урбанизированных территорий области (Кола, Мончегорск, Коашва) значительно меньше по объему. Это связано как с характером территорий, на которых выявлялись бриофлоры, бедной экотопов (Кола, Коашва), загрязнением и преобразованием большинства ценозов (Кола, Мончегорск) и небольшой площадью (Коашва).

В поселке в двух точках был отмечен мох *Aongstroemia longipes*, занесенный в Красную книгу Мурманской обл. с категорией охраны 3 [38]. Его обнаружение в Нивском вполне закономерно, так как мох является пионером зарастания почв и довольно часто встречается на вторичных экотопах городов Мурманской обл. Еще шесть видов эпилитов: *Schistidium apocarpum*, *S. crassipilum*, *S. crenatum*, *S. dupretii*, *S. lancifolium* и *S. submuticum*, которые отмечены в Нивском, встречаются в регионе редко. В городах эти виды обнаруживаются чаще, чем в природных сообществах, что связано с их кальцефильностью и наличием большого числа подходящих субстратов, обогащенных кальцием. Кроме того, они способны выдерживать средний уровень антропогенной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wikimapia — интерактивная карта мира: заголовок с экрана монитора компьютера. URL: <https://wikimapia.org/12676492/ru/%D0%9D%D0%B8%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9>.
2. Яковлев Б. А. Климат Мурманской области. Мурманск, 1961. 99 с.
3. Атлас Мурманской области. М., 1971. 33 с.
4. Абрамова А. Л., Савич-Любичкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель листостебельных мхов Арктики СССР. М.; Л., 1961. 715 с.
5. Савич-Любичкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель сфагновых мхов СССР. Л.: Наука, 1968. 112 с.
6. Савич-Любичкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель листостебельных мхов СССР. Верхлоплодные мхи. Л.: Наука, 1970. 826 с.
7. Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части Европейской России: в 126 т. Т. 1: Sphagnaceae — Hedwigiaceae. М., 2003. С. 1–608.
8. Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части Европейской России: в 126 т. Т. 2: Fontinaliaceae — Amblystegiaceae. М., 2004. С. 609–944.
9. Флора мхов России. *Oedipodiales* — *Grimmiales* / М. С. Игнатов [и др.]. М., 2019. Т. 2. 560 с.
10. Andrus R. E. Sphagnaceae (Peat Moss Family) of New York State // Contributions to a Flora of New York State III. N. Y. State Museum Bull, 1980. No. 442. 89 p.
11. Blom H. H. A Revision of the *Schistidium apocarpum* Complex in Norway and Sweden // Bryophyt. Bibl. 1996. Vol. 49. P. 1–333.
12. Blom H. H. Genus *Schistidium* // Nyholm E. Illustrated Moss Flora of Nordic Mosses. Fasc. 4. Aulacomniaceae — Meesiaceae — Catosciaceae — Bartramiaceae — Timmiaceae — Encalyptaceae — Grimmiaceae — Ptychomitriaceae. Lund, 1998. P. 287–330.
13. Bremer B. A Taxonomic Revision of *Schistidium* (Grimmiaceae, Bryophyta) // Linbergia. 1980. Vol. 6, No. 4. P. 1–16.
14. Czernyadjeva I. V. On the Distribution of Propaguliferous Species of *Pohlia* (Bryaceae, Musci) in Russia // Arctoa. 1999. Vol. 8. P. 51–56.
15. Flatberg K. I. Norwegian Sphagna. A Field Colour Guide // Univ. Trondheim Vitensk. mus. Rapp. Bot. Ser. 1994. No. 3. P. 1–42.
16. Flatberg K. I. Norges torvmoser. Trondheim: Akademika forlag, 2013. 307 p.
17. Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Bladmossor: Sköldmossor — blåmossor. Bryophyta: Buxbaumia — Leucobryum / T. Hallingbäck [et al.] // ArtDatabanken, SLU. Uppsala, 2006. 416 p.
18. Hallingbäck T., Lönnell N., Weibull H. Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Bladmossor: Kompaktmossor — kapmossor. Bryophyta: *Anoetangium* — *Orthodontium*. ArtDatabanken, SLU. Uppsala, 2008. 504 p.
19. Hedenäs L., Reisborg C., Hallingbäck T. Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Bladmossor: Skirmossor — baronmossor. Bryophyta: *Hookeria* — *Anomodon*. ArtDatabanken, SLU. Uppsala, 2014. 366 p.
20. Notes on Distribution of *Schistidium* species (Grimmiaceae, Bryophyta) in Murmansk Province and Karelia / E. A. Ignatova [et al.] // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 237–247.
21. The Intricate Beauty of *Sphagnum* Mosses — a Finnish Guide to Identification / J. Laine [et al.] // University of Helsinki Department of Forest Ecology Publications. 2009. No. 39. 190 p.
22. Kučera J. Illustrierter Bestimmungsschlüssel zu den mitteleuropäischen Arten der Gattung *Didymodon* // Meylania. 2000. No. 19. P. 2–48.
23. Nyholm E. Illustrated Moss Flora of Nordic Mosses. Fissidentaceae — Seligeriaceae. Lund, 1986. Fasc. 1. P. 1–72.
24. Nyholm E. Illustrated Moss Flora of Nordic Mosses. Pottiaceae — Splachnaceae — Schistostegaceae. Lund, 1989. Fasc. 2. P. 75–141.
25. Nyholm E. Illustrated Moss Flora of Nordic Mosses. Bryaceae — Rhodobryaceae — Mniaceae — Cinclidiaceae — Plagiomniaceae. Lund, 1993. Fasc. 3. P. 145–244.
26. Shaw A. J. Propaguliferous Species of *Pohlia* in North America // J. Hatt. Bot. Lab. 1981. No. 50. P. 1–81.
27. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. Check-List of Mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.
28. Другова Т. П. Сравнительный анализ бриофлор городов

Мурманской области // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 1. С. 32–49. **29.** Другова Т. П. Листостебельные мхи антропогенных местообитаний городов Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 2 (9). С. 5–14. **30.** Кожин М. Н., Игнатова Е. А. Новые находки мхов в Мурманской области // Arctoa. 2012. Vol. 21. P. 275–300. **31.** Флора мхов России. Т. 2. Oedipodiales — Grimmiales / М. С. Игнатов [и др.]. М., 2019. 560 с. **32.** Другова Т. П. Листостебельные мхи города Кола (Мурманская область) // Вестник Кольского научного центра РАН, 2018. № 2 (10). С. 87–97. **33.** Blom H. H. A revision of the Schistidium aprocarpum complex in Norway and Sweden // Bryoph. Bibl. 1996. Vol. 49. P. 1–333. **34.** Другова Т. П. Листостебельные мхи поселка Коашва (Мурманская область, Хибинские горы) // Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению: материалы междунар. науч. конф. (8–11 ноября 2017 г., Тверь) / Твер. гос. ун-т; Рус. ботан. о-во. 2017. С. 81–85. **35.** Боровичев Е. А., Бойчук М. А. Мохообразные заповедника «Пасвик» / Карельский научный центр РАН. Петрозаводск, 2018. 123 с. **36.** Шубина Т. П., Железнова Г. В. Листостебельные мхи равнинной части средней тайги Европейского Северо-Востока. Екатеринбург, 2002. 156 с. **37.** Bryophyte flora of Zentralno-Lesnoj Biosphere Nature Reserve (European Russia, Tver Province) / М. S. Ignatov [et al.] // Arctoa. 1998. No. 7. P. 45–58. **38.** Красная книга Мурманской области / ред. Н. А. Константинова [и др.]. Кемерово: Азия-Принт, 2014. 584 с.

Сведения об авторе

Другова Татьяна Петровна — кандидат биологических наук, зав. лабораторией «Гербарий» Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН
E-mail: darktanya@mail.ru

Author Affiliation

Tatjana P. Drugova — PhD (Biology), Head of Herbarium Laboratory of Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of KSC RAS
E-mail: darktanya@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Другова, Т. П. Листостебельные мхи поселка Нивский (Мурманская область) / Т. П. Другова // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 13–32.

Reference

Drugova Tatjana P. Mosses of Nivskij Settlement (Murmansk Region). *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3. (11), pp. 13–32. (In Russ.).

ДОБЫЧА РОССЫПНОГО ЗОЛОТА: ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ЗДОРОВЬЯ ЗОЛОТОДОБЫТЧИКОВ

В. М. Катола

ФГБУН Институт геологии и природопользования ДВО РАН

Аннотация

В работе представлена информация о разрушениях пойменно-русловых комплексов, лесных массивов, загрязнении водных систем и земной поверхности в северных районах Амурской обл. при добыче россыпного золота и указаны чрезвычайные факторы, влияющие на золотодобытчиков во время рабочего сезона. Электронно-микроскопический анализ плазмы крови у бульдозериста и оператора промывочного прибора показал, что в ней циркулируют образования диаметром 0,15–0,32 мкм с четкими ровными контурами, часть которых делится пополам, в нескольких плоскостях или почкованием. Эти образования расценены как элементарные тельца L-форм бактерий, поступающие в кровоток и обуславливающие бессимптомную бактериемию из-за расстройства иммунологических (иммунокомпетентные органы, ткани и клетки) и неиммунологических (механические барьеры, нормальные антитела крови, лизоцим, интерферон, лейкоциты, естественный микробиом и др.) защитных механизмов кишечной стенки. Наличие элементарных телец расценивается как переход индивидуального здоровья в предболезнь и формирование профессиональной или другой патологии.

Ключевые слова:

золотодобыча, нарушение природных экосистем, воздействие на золотодобытчиков, плазма крови, элементарные тельца L-форм бактерий, предболезнь, профессиональная патология.

RETRIEVAL OF ALLUVIAL GOLD: THE PROBLEMS OF ECOLOGY AND HEALTH OF GOLDEN MINERS

Viktor M. Katola

Institute of Geology and Nature Management of FEB RAS

Abstract

The paper presents the destruction of floodplain-riverbed complexes, forests, pollution of water systems and the earth's surface in the northern regions of the Amur Region during placer gold mining and emergency factors affecting gold miners during the working season. Electron-microscopic analysis of blood plasma from a bulldozer and a washing device operator showed that formations with a diameter of 0,15–0,32 microns circulate in it with clear even contours, some of which are divided in half, in several planes or by budding. These formations are regarded as elementary bodies of L-forms of bacteria entering the bloodstream and causing asymptomatic bacteremia due to a disorder of immunological (immunocompetent organs, tissues and cells) and non-immunological (mechanical barriers, normal blood antibodies, lysozyme, interferon, leukins, natural microbiome and other) protective mechanisms of the intestinal wall. The presence of elementary bodies is regarded as the transition of individual health to pre-disease and the formation of a professional or other pathology.

Keywords:

gold mining, disturbance of natural ecosystems, impact on gold miners, blood plasma, elementary bodies of L-forms of bacteria, pre-disease, professional pathology.



Введение

Геотектоническое расположение Амурской обл. на стыке Буреинского и Аргуно-Мамынского срединных массивов, Олекминской и Становой складчато-блоковых систем, Алданского щита, Амуро-Охотской и Селемджинской шовных зон обусловило многообразие месторождений и проявлений полезных ископаемых — россыпного и рудного золота, бурого и каменного угля, железной руды, серебра, меди, титана, молибдена и др. Но на первом месте традиционно стоит добыча золота, по объемам которого область является

одним из лидеров в Российской Федерации. В настоящее время из-за истощения золотоносности россыпей возрастает освоение коренных месторождений, тем не менее ежегодно осваивается порядка 240 россыпных объектов. В этих случаях при подготовке и добыче драгметалла уничтожаются пойменно-русловые комплексы, лесные сообщества, болота и луга, загрязняются и иссякают поверхностные и подземные воды, сокращается биологическое разнообразие и пр. Одновременно в отработанном пространстве остаются техногенные карьеры, водоемы, площадки с отстойниками и многочисленные отвалы вскрышных и промытых пород, служащие источником загрязнения депонирующих сред биосферы тяжелыми металлами и другими соединениями.

Длительная (с 1889 г.) дражная добыча золота в Зейском, Мазановском, Сковородинском, Селемджинском и Тындинском районах, приравненных к районам Крайнего Севера, разрушила водные объекты таких рек, как Зея — на 7,4 %, Селемджа — на 23,1 %, Буряя — на 2,7 % [1, 2]. Наряду с разрушением природных экосистем золотодобывающие предприятия, использующие даже современные промывочные аппараты, на всех стадиях эксплуатации россыпных месторождений несут материальные убытки, в частности, теряют в техногенных отвалах значительное количество золота.

В период рабочего сезона золотодобытчики подвергаются совокупному воздействию:

1) климатометеорологических факторов, поскольку климат Амурской обл. резко континентальный с чертами муссонности, преобладанием западного переноса воздушных масс и развитием циклонической деятельности. Рельеф северной части области открывает доступ холодным арктическим воздушным массам, определяющим большие годовые (45–50 °С) и суточные (до 20 °С) амплитуды температур. Средняя годовая температура воздуха на юге региона в июне равна +21° С, на севере — +17 °С. В январе на севере она колеблется от –26 до –32 °С. Зимний период с незначительным снежным покровом наступает с конца октября и длится до конца марта — начала апреля [3];

2) неблагоприятной обстановки в рабочей зоне (несоответствие гигиеническим нормативам микроклимата и освещенности, сырость, шум от тяжелой техники и приборов, токсичные газоаэрозольные композиции, вибрация, стресс и др.) [4, 5];

3) переменного гидрохимического и элементного состава воды для хозяйственно-питьевых нужд и производственно-технического использования, которое зависит от типа месторождения (участка), складирования на нем отходов производства, мусора, стоянок для техники, складов топлива и др.;

4) минеральной пыли разнообразного состава, обладающей токсичными, фибро-, мута-, канцерогенными и аллергенными свойствами [6].

Следует добавить также, что при открытой разработке месторождений золота производственная пыль практически всегда смешивается с пылью, поступающей в окружающую среду во время эрозии почв и лесных пожаров, с пылью деревьев и трав, спорами грибов и бактерий, что увеличивает природу вредных агентов и их количество. В конечном итоге комплекс физических, химических и биологических факторов усиливает воздействие на все системы организма рабочих, угнетает их иммунобиологическую резистентность и способствует развитию предболезненного состояния, переходящего в профессионально обусловленную и иную патологию.

Учитывая, что на всевозможные изменения окружающей среды и условия в рабочей зоне реагирует в первую очередь кровь, как высокофункциональная и морфодинамичная система, проведено исследование ее плазмы у машиниста бульдозера и оператора промывочного прибора, работающих на Соловьевском прииске.

Материал и методика исследования

Из крови респондентов, взятой во время профилактического осмотра, готовили плазму, одну каплю которой (0,1 мл) наносили на липкую поверхность ленты, фиксированной к торцу предметного столика электронного микроскопа. При комнатной температуре препараты просушивали в стерильной чашке Петри, затем напыляли углеродом в вакуумной установке ВУП-4 и просматривали в сканирующем электронном микроскопе LEO 1420 (Германия).

Результаты и их обсуждение

В плазме крови бульдозериста и оператора промывочного прибора обнаружены овальной и сферической формы гомогенные образования (тельца, структуры) с четкими ровными контурами, диаметром 0,15–0,32 мкм без каких-либо включений на поверхности или внутри (рис. 1). Кроме того, в плазме бульдозериста находились единичные клетки крови и их остатки, а в плазме оператора промывочного прибора — тени эритроцитов, что указывает на технические погрешности во время приготовления плазмы. Некоторые из выявленных в плазме крови субмикроскопических образований делились пополам, в нескольких плоскостях или, что реже, почкованием (рис. 2, б). Способы их репродукции (деления) свидетельствуют о том, что они: а) не вирусы; б) жизнеспособны, во всяком случае некоторые из них; в) метаболически активны; г) функционирующие; д) устойчивы к физиологическим, гуморальным и клеточным защитным механизмам организма и по размерам существенно меньше цельных клеток крови, даже гранул лейкоцитов. Фактически они являются трансформированными бактериальными клетками, возможно, не одного, а нескольких видов различных систематических групп. Ранее сходные структуры, определяющие скрытую, без явных клинических проявлений бактериемию, обнаружены в плазме крови здоровых жителей города Благовещенска (доноры крови, студенты, военнослужащие и др.) [7].

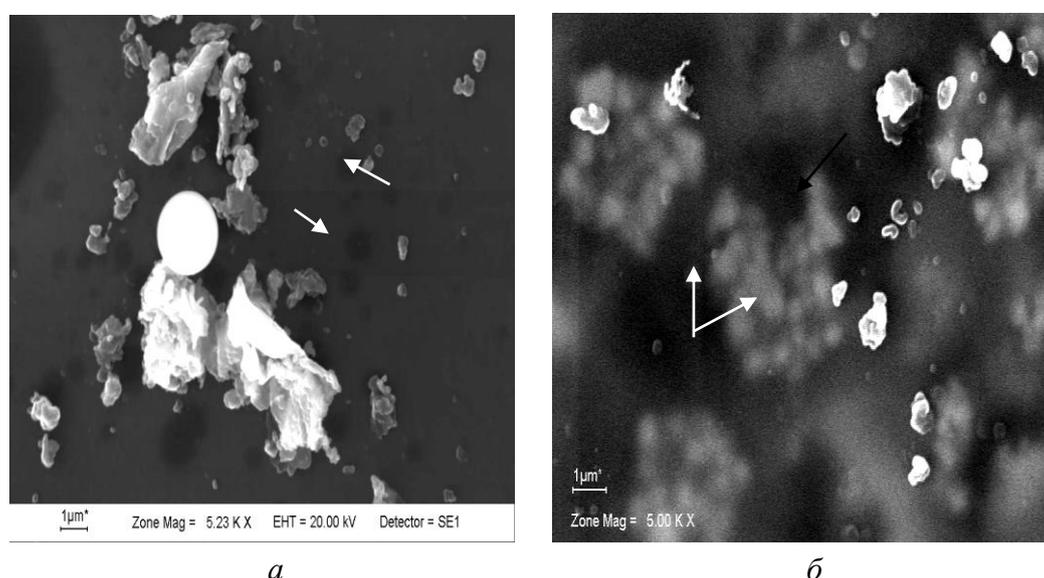


Рис. 1. Сканирующая электронная микроскопия:

а — элементарные тельца (ЭТ), их деление (маленькая стрелка), единичные клетки крови и клеточные фрагменты в плазме крови машиниста бульдозера (x3500); *б* — ЭТ и тени эритроцитов (двойная стрелка) в плазме крови оператора промывочного прибора (x5000)

Fig. 1. Scanning electron microscopy:

a — elementary bodies (EB), their division (small arrow), single blood cells and cell fragments in the blood plasma of a bulldozer driver (x3500); *b* — EB and erythrocyte shadow (double arrow) in the blood plasma of the washing device operator (x5000)

По морфологии, размерам, электронной плотности и характеру деления визуализированные в плазме крови образования полностью соответствуют элементарным тельцам, являющимся одним из компонентов сложного морфогенеза колоний L-форм бактерий [8, 9]. ЭТ состоят из трехслойной мембраны, рибосом и генома, обладают замедленным обменом веществ, устойчивостью к антибиотикам, температуре +90 °С (в течение 1–2 часов), длительному (до 10 лет) высушиванию и ультразвуку. Они способны увеличиваться в размерах и проходить через бактериальные фильтры, не культивируются на рутинных лабораторных питательных средах и не выявляются биохимическими методами. По мнению большинства исследователей, бактерии в виде ЭТ могут годами выживать в органах и тканях человека, не вызывая каких-либо выраженных морфофункциональных изменений, но симбионтное равновесие с иммунологическим

гомеостазом хозяина недолговечно. При иммунной незащищенности организма (стресс, переохлаждение, физические нагрузки, травмы и др.) персистентная инфекция в местах локализации реверсирует с восстановлением свойств своего исходного вида, после чего вновь проникает в кровь и близлежащие органы. При этом человек субъективно может не ощущать событий, происходящих в организме, хотя при лабораторных исследованиях у него можно установить ряд признаков вторичного иммунодефицита.

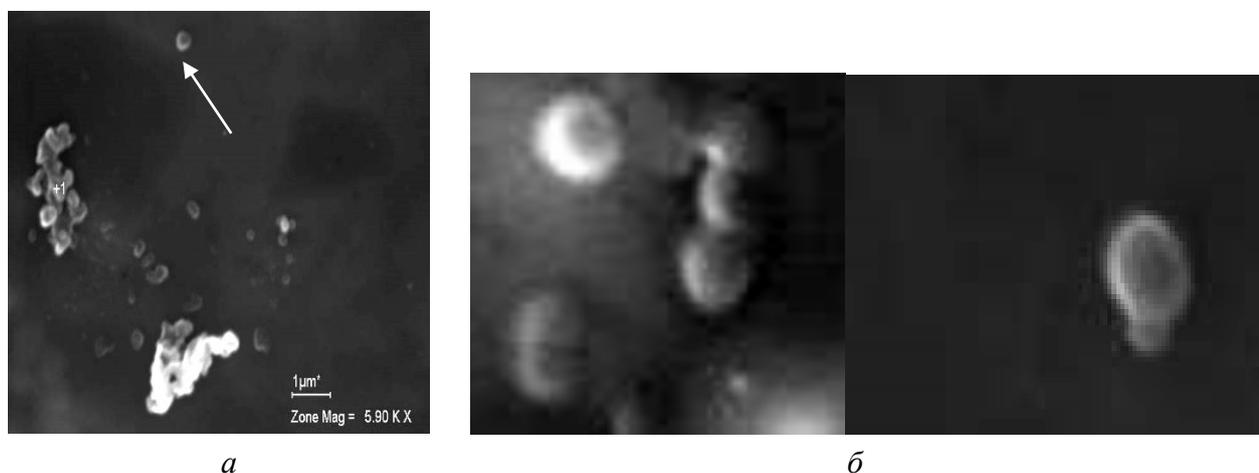


Рис. 2. Сканирующая электронная микроскопия:

- a* — ЭТ и их скопление в плазме крови практически здорового жителя Благовещенска (x5900);
б — способы деления ЭТ (препараты из плазмы)

Fig. 2. Scanning electron microscopy:

- a* — elementary bodies (EB) and their accumulation in the blood plasma of an almost healthy resident of Blagoveshchensk (x5900); *б* — methods for dividing EB (plasma preparations)

Не вдаваясь в подробности, в общих чертах проанализируем возможные причины, способные обеспечить проникновение цельных бактериальных клеток или их ЭТ в кровотоки или лимфоток. Наиболее вероятно, что неблагоприятные экзо- и эндогенные факторы (загрязнение окружающей среды, эмоциональные нагрузки, усталость, заболевания желудочно-кишечного тракта и др.) нарушают всегда существующие кооперативные и взаимовыгодные связи организма с микробиомом (прежнее название «нормальная микрофлора»), который состоит из бактерий, вирусов, грибов и архей. Истинная роль этого симбиоза изучается заново, поскольку выяснилось, что человеческий организм состоит на 10 % из собственных клеток, остальные 90 % принадлежат бактериям. Но известно, что микробиом предохраняет от действия физических и химических агентов, бактериальных токсинов и прочих веществ, способных вмешаться в биологическое равновесие между патогенными и полезными бактериями. В первую очередь они могут дезорганизовать наиболее представительные и значимые для здоровья человека микробные сообщества желудочно-кишечного тракта, а конкретнее — численность, состав и свойства микробного пейзажа толстого кишечника с последующим развитием дисбактериоза (дисбиоза). В настоящее время данный синдром встречается среди населения в 80–90 % случаев и не имеет отчетливой тенденции к снижению [10]. К сожалению, диагностировать его невозможно до тех пор, пока продукты жизнедеятельности патогенных бактерий не индуцируют воспаление и каскад патофизиологических процессов, расстраивающих функции и структуры кишечного барьера и повышающих проницаемость кишечной стенки для крупных молекул, бактерий, вирусов и солей тяжелых металлов. В этот период клетки бактерий и их ЭТ начинают переход из своей экологической ниши во внутреннюю среду, включая лимфо- и кровотоки [11]. Как раз такие события вполне допустимы у машиниста бульдозера и оператора промывочного прибора. К тому же изменения взаимоотношений их организма с микробиотой могут находиться в доклиническом (продромальном) периоде, не вызывая клинического симптомокомплекса

и существенно не влияя на самочувствие и работоспособность. Снижение у золотодобытчиков активности динамических защитно-приспособительных механизмов, поддерживающих здоровье, в той или иной степени неразрывно связано с патогенезом, о чем свидетельствует бессимптомная бактериемия, то есть циркулирующие в крови ЭТ. Их присутствие является первым сигналом перехода здоровья в стадию предболезни, не имеющей специфических признаков, за которой следует предвидеть развитие профессиональной заболеваемости или иной патологии не только в период работы на прииске, но и по ее завершении.

Выводы

Таким образом, с помощью сканирующей электронной микроскопии в плазме крови рабочих, занятых добычей россыпного золота в условиях чрезвычайных раздражителей, визуализированы ЭТ L-форм бактерий, создающих бессимптомную бактериемию. Это является наиболее ранним признаком предболезни, что позволяет вовремя проводить их хозяину различные профилактические, терапевтические или реабилитационные мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Масштаб экологических последствий добычи россыпного золота в бассейне реки Амур / Е. А. Симонов [и др.] // Реки Сибири и Дальнего Востока: материалы междунар. науч.-практ. конф. (г. Хабаровск, 30–31 мая 2012 г.). Хабаровск, 2012. С. 34–37.
2. Золотые реки: в 4 ч. Вып. 1: Амурский бассейн / Е. Г. Егидаров [и др.]; под ред. Е. А. Симонова. Владивосток; Пекин; Улан-Батор, 2012. 120 с.
3. Об охране окружающей среды и экологической ситуации в Амурской области в 2016: гос. докл. Благовещенск, 2017. 122 с.
4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 г. по Амурской области: гос. докл. Благовещенск, 2017. 122 с.
5. Мирошниченко А. Н. Медико-экологическая оценка воздействия открытой разработки золоторудных месторождений Амурской области на окружающую среду и здоровье населения // Вестник Амурского гос. ун-та. 2009. № 47. С. 68–71.
6. Профессиональная патология. Национальное руководство / Н. Ф. Измеров [и др.]; под ред. Н. Ф. Измерова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 784 с.
7. Катола В. М. Особенности бессимптомной бактериемии у практически здоровых людей // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2012. Т. 46, № 2. С. 67–69.
8. L-формы бактерий (механизм образования, структура, роль в патологии) / С. В. Прозоровский [и др.]. М.: Медицина, 1981. 236 с.
9. О роли латентных, труднокультивируемых и некультивируемых персистентных бактерий в патологии человека / И. В. Елисеева [и др.] // Анналы Мечнивского Института. 2006. № 1. С. 12–46.
10. Минушкин О. Н., Ардатская М. Д. Дисбактериоз (дисбиоз) кишечника: современное представление, диагностика и лечебная коррекция: учеб.-метод. пособие для врачей и курсантов циклов усовершенствования врачей. М., 2008. 42 с.
11. Волков В. И. Значение и механизмы транслокации кишечной микрофлоры в развитии синдрома системного воспалительного ответа и сепсиса // Военная медицина. Минск, 2010. № 3. С. 1–8.

Сведения об авторе

Катола Виктор Моисеевич — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Института геологии и природопользования ДВО РАН
E-mail: katola-amur@list.ru

Author Affiliation

Viktor M. Katola — PhD (Medicine), Researcher, Institute of Geology and Nature Management of the Far Eastern Branch of RAS
E-mail: katola-amur@list.ru

Библиографическое описание статьи

Катола, В. М. Добыча россыпного золота: проблемы экологии и здоровья золотодобытчиков / В. М. Катола // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 33–37.

Reference

Katola Viktor M. Retrieval of Alluvial Gold: Problems of Ecology and Health of Gold Miners. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3 (11), pp. 33–37. (In Russ.).

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ

Г. М. Кашулина

ФГБУН Полярно-альпийский ботанический сад-институт
им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН

Аннотация

Анализируется зависимость концентраций 20 элементов (Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, S, Sr, V и Zn) во мхах (*Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*) и листьях 7 видов сосудистых растений: черники (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), вороники (*Empetrum hermaphroditum*), березы (*Betula sp.*), ивы (*Salix sp.*), сосны (*Pinus friesiana*) и ели (*Picea obovata*) — от широты местности. Анализ выявил, что концентрации большинства элементов в растениях, включая не только важные питательные элементы — Ca, K, Mg, Mo, P и S, но и такие токсичные, как As, Cd и Pb, убывают по мере продвижения с юга на север. Локальные природные факторы и крупные источники выбросов загрязняющих веществ также могут оказать значительное влияние на уровни элементов в растениях.

Ключевые слова:

мхи, листья сосудистых растений, северо-восток Европы, элементный состав.

THE IMPACT OF GEOGRAPHICAL FACTORS ON CHEMICAL COMPOSITION OF PLANTS

Galina M. Kashulina

Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of KSC RAS

Abstract

This article analyzes the concentration dependence of the 20 elements (Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, S, Sr, V и Zn) in mosses (*Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*) and in the leaves of 7 vascular plant species: blueberries (*Vaccinium myrtillus*), cowberry (*Vaccinium vitis-idaea*), crowberry (*Empetrum hermaphroditum*), birch (*Betula sp.*), willow (*Salix sp.*), pine (*Pinus friesiana*) and spruce (*Picea obovata*) from the altitude of localities. For most species the concentrations of most elements, including not only the important nutrients — Ca, K, Mg, Mo, P and S, but toxic, such As, Cd and Pb, decrease with an increasing altitude. Local natural factors and major sources of pollutants may also have a significant impact on the levels of elements in plants.

Keywords:

mosses, vascular plants leave, North-East of Europe, elemental composition.



Введение

Потребление элементов растениями является видоспецифичным и генетически обусловленным [1]. Однако условия произрастания — климат местности, плодородие почв, увлажнение и метеорологические особенности вегетационного сезона — также способны оказать влияние на химический состав растений, обуславливая довольно широкое варьирование концентраций элементов в растениях в естественных условиях [2].

Для видов растений с широким ареалом распространения условия произрастания значительно меняются в зависимости от их географического положения. Проект «Экогеохимия Баренц региона» [3] является одним из немногих крупных проектов, результаты которого позволяют выявить влияние широты места на химический состав растений. В рамках этого мероприятия была обследована территория площадью 1,5 млн км² на северо-востоке Европы, а ее протяженность по широте составила около 2000 км. Образцы напочвенных мхов и листья 7 видов сосудистых растений отбирались наряду с почвами, верхними четвертичными отложениями и поверхностными водами. Результаты химического состава растений (уровни концентраций химических элементов, варьирование и влияние промышленного

загрязнения), полученные только на водосборной стадии этого проекта, уже были представлены в наших предыдущих публикациях [3–5]. В этой статье весь комплекс данных проекта «Экогеохимия Баренц региона» (и водосборной стадии, и регионального опробования) впервые используется для выявления влияния географического фактора, в частности широты местности, на уровни концентраций 20 элементов в растениях.

Материалы и методы исследований

В течение летних сезонов 1999, 2000 и 2001 гг. в рамках проекта «Экогеохимия Баренц региона» [3] было опробовано 1365 точек на территории 1,5 млн км², включающей всю Финляндию, Кольский п-ов, Республику Карелию, Ленинградскую, Архангельскую области, Ненецкий автономный округ и Север Республики Коми (рис. 1). Значительные размеры территории объясняют существенные различия климатических условий, в первую очередь обусловленные широтным изменением радиационно-тепловых потоков: от 72–74 ккал/см² на побережье Баренцева моря до 80 ккал/см² на юге обследованной местности. Существенную роль в формировании климата на этой территории также играет открытость воздействию морских воздушных масс: теплых из Атлантики — в юго-западной части обследованной площади и холодных арктических масс — в северной. Кроме того, в северо-западной части существенное влияние на климат оказывает морское теплое атлантическое течение Гольфстрим. Среднегодовая температура в пределах территории меняется от –6 до +4 °С. Годовое количество осадков также значительно варьирует: от 200 до более 1000 мм [3].

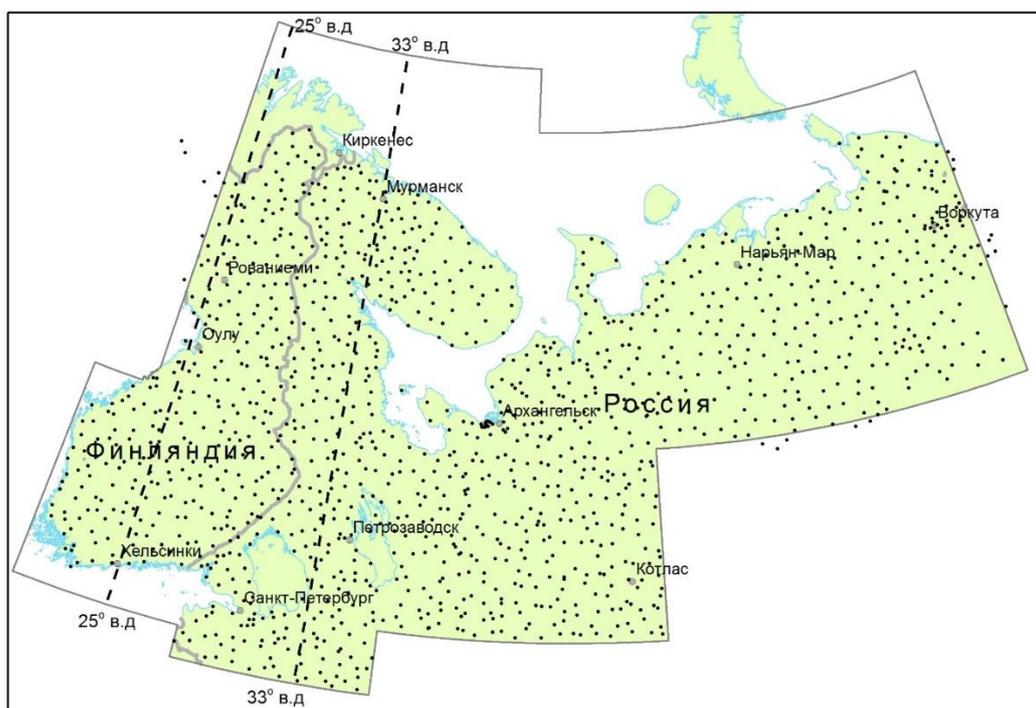


Рис. 1. Схема обследованной территории с 1365 точками регионального опробования. Пунктиром ооконтурены точки юг-север геопрофиля (представлен на рис. 2)

Fig. 1. Barents project area with 1365 sampling sites location.

Dashed lines limit the sites presented in the South-North geoprofile in the Fig. 2

На региональной стадии обследования в каждой точке опробования (рис. 1) были отобраны: наземные мхи (*Hylocomium splendens* и/или *Pleurozium schreberi*), верхний органогенный горизонт почв (горизонт O) и почвообразующий материал (горизонт C почв) [3]. Листья сосудистых растений — черники (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), вороники (*Empetrum nigrum*), березы (*Betula pubescens*), ивы (*Salix sp.*), сосны (*Pinus sylvestris*) и ели (*Picea abies*) были отобраны только на 30 площадках, равномерно распределенных по обследованной территории (данные не опубликованы). На водосборной стадии обследования отбиралось от 1 до 9 образцов

каждого вида сосудистых растений с разных участков на 9 малых водосборах [4, 5]. Содержание 20 элементов (Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Rb, S, Sr, V и Zn) определяли на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS и ICP-AES) после разложения концентрированной HNO₃ в микроволновой печи в аналитической лаборатории Геологической службы Финляндии [3–5].

Результаты и их обсуждение

Корреляционный анализ для мхов, отобранных на всей обследованной территории в ненарушенных экосистемах, выявил наличие достоверной отрицательной связи между широтой местности и концентрациями 14 элементов (табл.). Среди них большинство важных для питания растений (Ca, K, Mo, P, S) и химически близких к ним элементов (Ba, Rb, Sr), а также некоторые, которые считаются балластными (Al, Fe, V) или токсичными (Cd и Pb). Поскольку этот набор данных включает все опробованные точки на обследованной территории, то на концентрации элементов во мхах в рассматриваемом случае влияет не только широта, но и долгота, т. е., усиление континентальности климата по мере продвижения с запада на восток.

Корреляция содержания элементов во мхах (*Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*) с широтой места: для неповрежденных экосистем из всего набора данных (мох — все) и данных с геопрофиля Ю-С (мох — ГеоПр), а также в листьях/хвое сосудистых растений
Correlation of the elements content in the mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) with latitude: for undamaged ecosystems of the whole area (moss — all) and sites from S-N geoprofile (moss — GeoPro)

Элемент Element	Мох / Moss		Черника Blueberry	Брусника Cowberry	Вороника Crowberry	Береза Birch	Ива Willow	Сосна Pine	Ель Spruce
	Все All	ГеоПр GeoPro							
	N = 768	N = 254							
Al	-0,44	0,07	-0,50	-0,22	0,18	-0,31	-0,46	-0,10	0,37
As	-0,04	0,14	-0,53	-0,35	0,13	-0,46	-0,52	-0,30	-0,27
Ba	-0,19	-0,08	-0,37	-0,46	-0,49	-0,55	-0,76	0,05	-0,27
Ca	-0,13	-0,26	-0,46	-0,14	-0,60	-0,79	-0,68	-0,40	-0,17
Cd	-0,54	-0,25	-0,47	-0,42	0,05	-0,52	0,37	-0,09	-0,41
Co	-0,02	0,16	-0,05	-0,02	0,35	-0,23	-0,10	-0,15	-0,12
Cu	-0,13	-0,12	-0,23	-0,53	-0,62	-0,04	0,25	-0,10	-0,44
Fe	-0,35	0,07	-0,58	-0,29	0,12	-0,42	-0,26	-0,57	-0,07
K	-0,53	-0,21	-0,28	-0,36	-0,48	-0,36	-0,73	-0,13	-0,09
Mg	0,03	-0,32	-0,49	-0,50	-0,70	-0,63	-0,56	-0,21	-0,08
Mn	0,30	-0,01	-0,43	0,06	-0,41	-0,27	0,33	0,38	0,25
Mo	-0,32	0,11	-0,28	-0,27	-0,44	-0,33	0,31	-0,12	-0,32
Ni	0,07	0,03	-0,29	-0,11	-0,16	0,20	-0,10	-0,02	-0,08
P	-0,43	-0,30	0,10	-0,31	-0,53	0,47	0,27	-0,28	0,17
Pb	-0,64	-0,13	-0,36	-0,23	0,00	-0,52	-0,32	-0,15	0,02
Rb	-0,43	0,14	-0,58	-0,66	-0,77	-0,62	-0,45	-0,09	-0,12
S	-0,59	-0,21	-0,19	-0,21	-0,15	0,01	0,40	-0,54	-0,47
Sr	-0,18	-0,02	0,10	0,17	0,18	-0,34	-0,64	0,06	0,02
V	-0,28	0,01	-0,44	-0,18	-0,12	-0,35	-0,29	-0,10	0,12
Zn	-0,04	-0,17	0,10	-0,02	-0,71	-0,36	0,14	-0,06	0,42

Примечание. Данные с загрязненных и поврежденных экосистем в расчетах не использовались. Величины, достоверные при вероятности 95 %, выделены полужирным шрифтом.

Note. Data from polluted and damaged ecosystems were not used in the calculations. Values that are reliable at 95 % probability are shown in bold.

Расчеты корреляции для набора данных, представляющих более однородную территорию в геопрофиле (рис. 1, 2), пересекающем обследованную территорию с юга на север в диапазоне 25–33° в. д. (включает восточную часть Финляндии и Кольский п-ов, Карелию и Ленинградскую обл.), выявили наличие достоверной отрицательной корреляции концентраций во мхах Са, Сd, Сu, К, Mg, Р, Pb, S и Zn с широтой местности. То есть и этот набор данных демонстрирует, что концентрации большинства важных для питания элементов во мхах имеют тенденцию к уменьшению по мере продвижения с юга на север.

Графики (рис. 2) подтверждают, что концентрации К и S в напочвенных мхах действительно снижаются по мере продвижения с юга Ленинградской обл. и Финляндии к берегу Баренцева моря. И это снижение довольно существенно. Так, например, медиана концентраций К во мхах на участке 100 км геопрофиля на широте Санкт-Петербурга составляет около 6600 мг/кг, а на участке в 100 км перед Мурманском она уже равна около 4300 мг/кг.

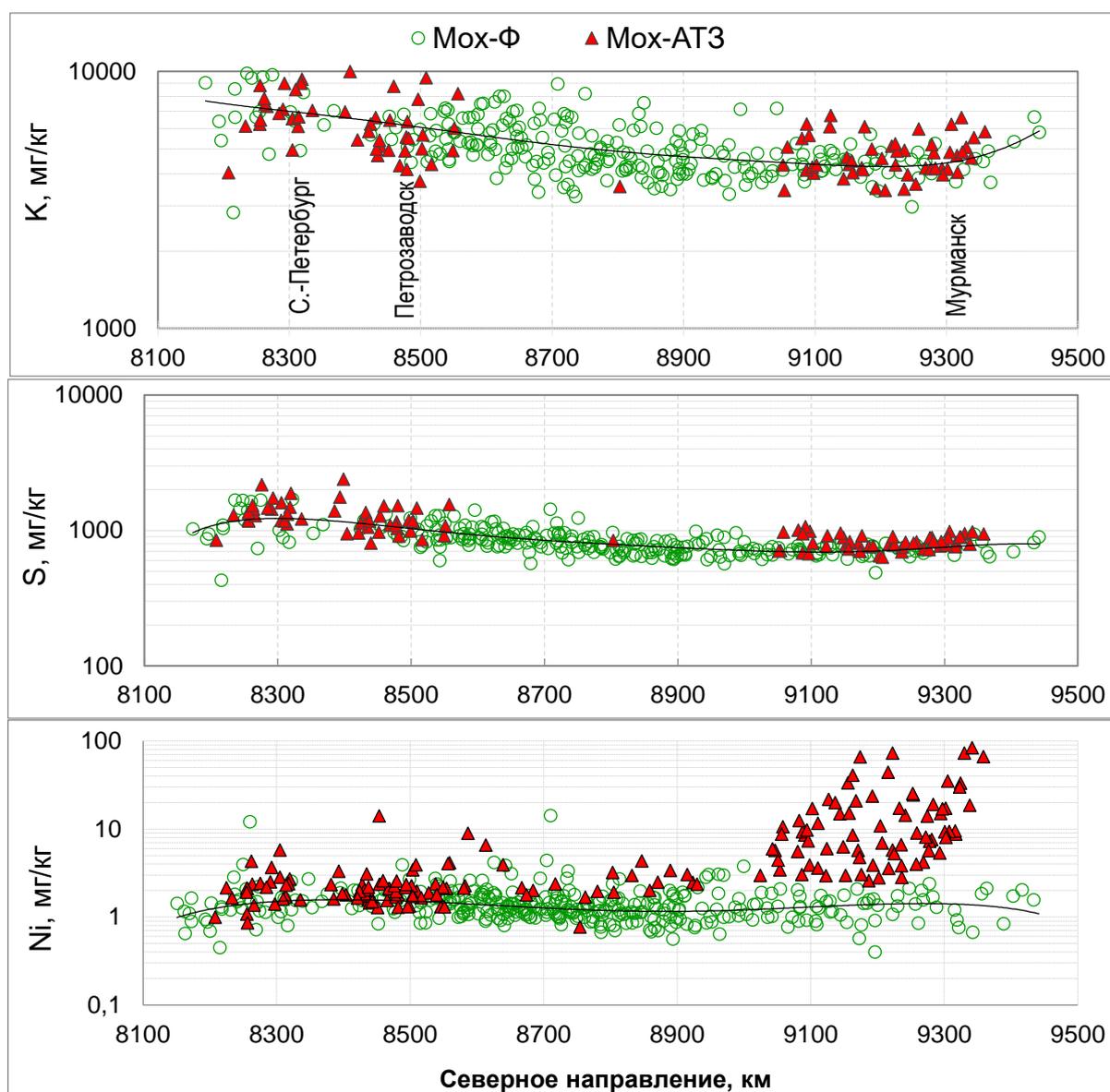


Рис. 2. Распределение К, S и Ni во мхах (*Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*) в ненарушенных (мох — Ф) и загрязненных (мох — АТЗ) экосистемах в геохимическом профиле, пересекающем обследованную территорию с юга на север в диапазоне 25–33° в. д. (рис. 1)

Fig. 2. Distribution of K, S and Ni in the mosses (*Hylocomium splendens* и *Pleurozium schreberi*) in the undamaged (green circles) and polluted (red triangle) ecosystems within S-N geoprofile, limited by 25–33° East (Fig. 1)

Аналогичный градиент для S составляет 1200 и 700 мг/кг соответственно. На рис. 2 также можно видеть некоторые другие особенности географического распределения концентраций элементов в листьях растений. Так, например, на самом южном (для Р и S и некоторых других элементов) и самом северном (для К, Р и S и некоторых других) участках геопрофиля снижение концентраций элементов во мхах не является очевидным. Это обусловлено тем, что в южной части территория подвержена влиянию теплых воздушных масс с Атлантики, а в северной — теплому морскому течению Гольфстрим, из-за чего распределение температур на этих участках не следует за широтными изменениями притока солнечной радиации, поэтому мы не видим реакции растений на широту, поскольку определяющим для растений фактором является температура.

Еще один интересный факт, который был выявлен с помощью полученных данных, — это достоверность отрицательной связи с северной широтой и сходство в широтном распределении считающихся балластными (Fe, Al, Cr) и токсичными (Cd и Pb) элементов с главными элементами питания растений. Поскольку подверженные антропогенному влиянию точки были исключены при расчетах коэффициента корреляции (табл.) и на графике (рис. 2) представлены отдельным набором данных, то можно предположить, что концентрации этих элементов также регулируются самими растениями на нужном им уровне, т. е. эти элементы также являются необходимыми для растений, как и главные питательные, только в значительно меньших количествах. Согласно современным представлениям [4, 6], нахождение всех элементов в растениях считается нормальным природным явлением.

Представление зависимости концентраций элементов от широты места в виде геохимического профиля (рис. 2) также свидетельствует о значительном влиянии локальных факторов, обуславливающих высокое локальное варьирование концентраций элементов во мхах на отдельных участках геопрофиля наряду с общей тенденцией к уменьшению с юга на север. Например, около отметки 8700 км на геопрофиле максимальная концентрация К во мхе отличается от минимальной почти в 3 раза.

Как видно на графиках (рис. 2), наличие крупных источников выбросов загрязняющих веществ в северной части геопрофиля на Кольском п-ове [3–5, 7] не сказывается на уровнях концентраций К, а также Р, Са и Mg во мхах: содержания этих элементов во мхах, на площадках, подвергающихся антропогенному воздействию, не выходили за пределы их варьирования в ненарушенных экосистемах на этом участке геопрофиля. На загрязненных площадках, даже в окрестностях медно-никелевых предприятий на Кольском п-ове, концентрации S во мхах также не были повышены, несмотря на то, что SO₂ является основным компонентом выбросов этих крупных промышленных предприятий. Отсутствие реакции сосудистых растений на повышенное содержание соединений S в окрестностях медно-никелевых предприятий подтверждают и данные мониторинговых наблюдений [3–5, 7]. В то же время концентрации основных металлов-загрязнителей — Ni (рис. 2) и Cu — во мхах в зоне воздействия медно-никелевых предприятий повышены в десятки раз по сравнению с медианой их концентраций в ненарушенных экосистемах на этом участке геопрофиля. В меньшей степени (до 2–5 раз) во мхах в центральной части Кольского п-ова увеличены содержания сопутствующих загрязнителей медно-никелевого производства — Cd, Pb, Hg, Ag, Sb, Sn и др., т. е. наличие крупных источников выбросов загрязняющих веществ на обследуемой территории может значительно повлиять на характер географического распространения уровня концентраций некоторых элементов в растениях.

Из-за небольшого числа точек опробования и количества образцов сосудистых растений коэффициенты корреляции для них были рассчитаны только для всего набора данных (табл.). Наличие связи концентраций элементов с широтой места для сосудистых растений проверялись также построением ХУ-диаграмм (рис. 3). Поскольку в расчетах и при построении графиков использовался весь набор данных, то выяснилось, что на концентрации элементов во мхах в данном случае влияет не только широта, но и долгота места. Однако и корреляция (табл.), и графики подтвердили, что содержания большинства элементов в листьях сосудистых растений также снижаются по мере продвижения с юга на север. При этом, как и для мхов, убывание с широтой места свойственно не только важным элементам питания — Са, Mg, К, Мо и химически близким — Ва, Sr, Rb, но и некоторым токсичным элементам (Al, Fe, V, Cd и Pb). Присутствие

последних во всех образцах всех видов растений подтверждает необходимость небольших количеств и этих элементов для растений [6]. Наличие и характер географического распределения Р и S в листьях зависит от вида растений. Концентрации Р убывают с широтой места для листьев кустарничков и хвой сосны. В листьях березы, наоборот, увеличиваются, а для хвой ели связь с широтой места не была выявлена. Содержание S во всех растениях, кроме ивы, медленно снижается при продвижении с юга на север, а в иве, наоборот, увеличивается. Несмотря на наличие достоверной корреляции концентраций Mn и Zn с широтой для некоторых растений, графики выявили наличие нерегулярных экстремальных значений, это означает: локальные факторы играют более важную роль в географическом распространении этих элементов.

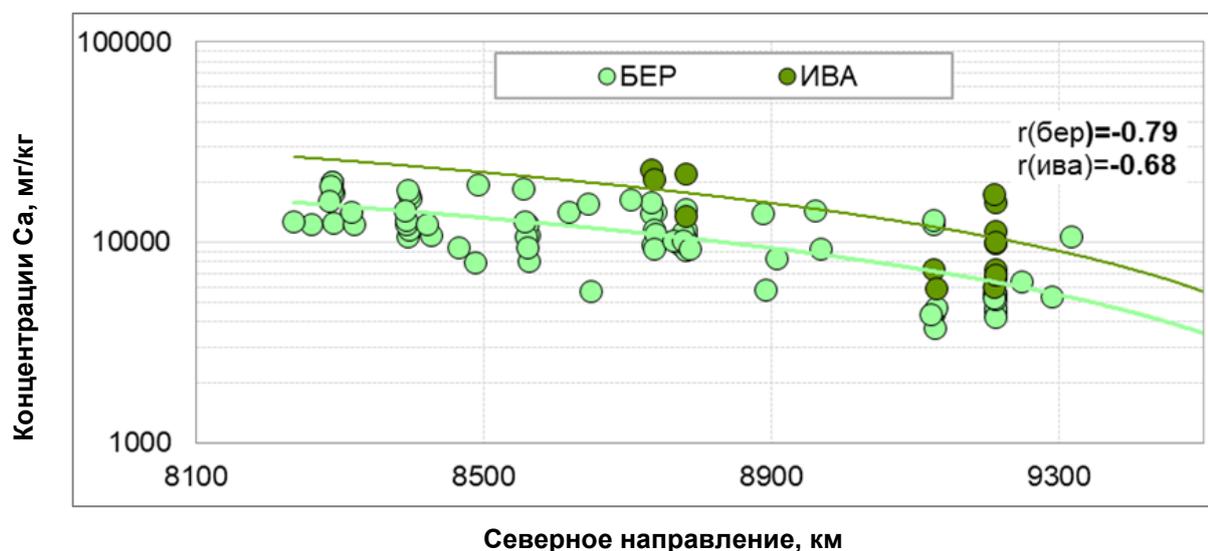


Рис. 3. Распределение Ca в листьях березы (БЕР) и ивы (ИВА) в соответствии с широтой места
Fig. 3. Distribution of Ca in birch (light green circles) and willow (dark green circles) leaves in accordance with altitude

Таким образом, исследования выявили, что концентрации большинства элементов в растениях, включая не только важные для растений питательные элементы — Ca, K, Mg, Mo, P и S, но и такие токсичные, как As, Cd и Pb, убывают по мере продвижения с юга на север. Локальные природные факторы и крупные источники выбросов загрязняющих веществ могут также оказать значительное влияние на уровни содержания элементов в растениях. Изменение химического состава растений под влиянием биоклиматического фактора, в частности широты местности, свидетельствует о том, что при определении фоновых концентраций элементов в растениях необходимо учитывать географическое положение местности.

Всем участникам проекта «Экогеохимия Баренц региона» автор выражает глубокую признательность. Особая благодарность И. В. Багатыреву (ГГУП СФ «Минерал», Санкт-Петербург) за подготовку схемы территории проекта для этой статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин В. Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 130 с.
2. Базилевич Н. И., Титлянова А. А. Биологический круговорот на 5 континентах: азот и зольные элементы в природных и наземных экосистемах. Новосибирск: СО РАН, 2008. 381 с.
3. Geochemical atlas of eastern Barents region / R. Salminen [et al.]. Amsterdam: Elsevier, 2004. 548 p.
4. Influence of extreme pollution on the inorganic chemical composition of some plants / C. Reimann [et al.] // Environmental Pollution. 2001. Vol. 115. P. 239–252.
5. Comparison of the element composition in several plant species and their substrate from a 1.500.000 km²-area in Northern Europe / C. Reimann [et al.] // The Science of the Total Environment. 2001. Vol. 278. P. 87–112.
6. Markert B. Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems // Vegetatio. 1992. No. 103. P. 1–30.
7. Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Коробейникова Н. М. Сера в листьях 7 видов растений в окрестностях медно-никелевого предприятия, Кольский полуостров // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 266–270.

Сведения об авторе

Кашулина Галина Михайловна — доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории почвоведения Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН
E-mail: galina.kashulina@gmail.com

Author Affiliation

Galina M. Kashulina — Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher of the Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of KSC RAS
E-mail: galina.kashulina@gmail.com

Библиографическое описание статьи

Кашулина, Г. М. Влияние географического фактора на химический состав растений / *Г. М. Кашулина* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 38–44.

Reference

Kashulina Galina M. The Impact of Geographical Factors on Chemical Composition of Plants. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3 (11), pp. 38–44. (In Russ.).

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.45-49

УДК 551.2.08(470.21)

ГЕОХИМИЯ И УСЛОВИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СУБЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОВ КЕЙВСКОГО МЕГАБЛОКА*

В. Р. Ветрин

ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Изучен вещественный состав и условия кристаллизации щелочных и субщелочных гранитов Кейвского мегаблока с целью определения их геохимического типа. В результате выполненных работ показана возможность отнести к восстановленному A_2 -типу рассматриваемые граниты, кристаллизовавшиеся при $T = 965\text{--}920$ °С, $P = 1,8\text{--}1,9$ до $0,5\text{--}0,6$ кбар и незначительных вариациях активности кислорода ($\log fO_2$ от $-11,92$ до $-10,62$). Эти данные находятся в соответствии с минералогией субщелочных и щелочных гранитов, среди которых выделены как существенно ильменитовые, так и магнетитовые типы пород. Результаты проведенных исследований показывают зависимость образования магнетитовых и ильменитовых типов гранитоидов как от интенсивных, так и экстенсивных параметров кристаллизации.

Ключевые слова:

щелочные граниты, геохимия, условия кристаллизации, A_2 -тип гранитов, Кейвский мегаблок, Кольский п-ов.

GEOCHEMISTRY AND CONDITIONS OF THE CRYSTALLIZATION OF SUBALKALINE AND PERALKALINE GRANITES OF THE KEIVY MEGABLOCK

Valeriy R. Vetrin

Geological Institute of KSC RAS

Abstract

The composition and crystallization conditions of peralkaline and subalkaline granites of the Keivy megablock have been studied in order to determine their geochemical type. As a result of the work performed, we showed the possibility of assigning the considered granites to the restored A_2 -type crystallized at $T = 965\text{--}920$ °С, $P = 1,8\text{--}1,9$ to $0,5\text{--}0,6$ kbar and minor variations in the oxygen activity ($\log fO_2$ from $-11,92$ to $-10,62$). These data are in accordance with the mineralogy of subalkaline and peralkaline granites, among which both ilmenite and magnetite types of rocks have been distinguished. The results of the studies conducted show the dependence of the formation of magnetite and ilmenite types of granitoids on both intensive and extensive crystallization parameters.

Keywords:

peralkaline granites, geochemistry, crystallization conditions, A_2 -type granites, Keivy megablock, Kola Peninsula.



В центральной части Кольского п-ова субщелочными и щелочными гранитами, граносиенитами, кварцевыми сиенитами, нефелиновыми и щелочными сиенитами образована неоархейская щелочная провинция площадью более 2,5 тыс. км². Данные геологического, петрографического, петрологического геохимического изучения гранитов, а также выполненные в последние десятилетия геохронологические исследования позволяют отнести их к производным древнейшего в мире анорогенного щелочногранитного магматизма [1, 2] А-типа [3–5].

* Исследования выполнены в рамках госзадания ГИ КНЦ РАН по теме НИР 0226-2019-0052 при поддержке РФФИ (грант 16-05-00756а) и госконтракта № 13/17-1.

Граниты могут кристаллизоваться в восстановительных и окислительных условиях с образованием ильменитовых и магнетитовых серий соответственно [6]. Известно, что для магнетитовых гранитов в ряде случаев характерна специализация на полиметаллы (Au, Mo, Cu), тогда как с гранитами ильменитовой серии связаны месторождения и рудопроявления редких металлов — Y, Zr, Sn, W, Nb, Ta, Be, REE. Исходя из этого изучен вещественный состав и условия кристаллизации щелочных и субщелочных гранитов Кейвского мегаблока для определения их геохимического типа. В результате выполненных работ показана возможность отнесения к восстановленному A_2 -типу рассматриваемых гранитов, кристаллизовавшихся при $T = 965\text{--}920$ °С, $P = 1,8\text{--}1,9$ до $0,5\text{--}0,6$ кбар и незначительных вариациях активности кислорода ($\log fO_2 = \text{от } -11,92$ до $-10,62$).

Геология, возраст и P - T -условия формирования гранитов

Субщелочные граниты образуют тела дайкообразной, изометричной или неправильной формы, главным образом в южной части изученного района. Наибольшую площадь выходов на поверхность имеет Кукшинский массив (~ 200 км²), представляющий собой трещинное гарполитоподобное тело, которое сложено крупнозернистыми порфиroidными, часто неравномернозернистыми пироксен-амфибол-биотитовыми гранитами. Пироксен представлен геденбергитом, амфибол — ферроэденимом и ферропаргаситом. Время кристаллизации гранитов определено U-Pb-методом по циркону в 2673 ± 10 млн лет [7]. Концентрации циркона в гранитах установлены в 303–642 ppm, и температура расплава, определенная по Zr-геотермометру [8], составляет 840–920 °С. Давление при кристаллизации расплава определялось по содержанию в породе нормативного кварца и полевых шпатов [9], оно составляет 1,8–1,9 кбар и соответствует глубине ~ 5 км, отвечающей мезоабиссальной фации глубинности.

Щелочные граниты изучены в массивах Белые Тундры и Понойский. Массив Белые Тундры (БТ) имеет неправильную удлинённую форму, близкое к субширотному простирание и представляет собой трещинную пластообразную однофазную интрузию площадью около 240 км² [10]. Массив образован массивными порфиroidными эгирин-арфведсонитовыми гранитами с возрастом в 2674 ± 10 [7]. Концентрации Zr в гранитах установлены в 547–1090 ppm, и температура расплава определена в 870–965 °С. Давление при кристаллизации расплава составляет 1,1–1,2 кбар, оно соответствует глубине 3,0–3,2 км и отвечает нижней части гипабиссальной фации глубинности.

Понойский массив площадью около 700 км² имеет форму неправильного треугольника, образован среднезернистыми эгирин-арфведсонитовыми гранитами и разделен на несколько обособленных участков полосами вмещающих массив гнейсов и амфиболитов [3, 7]. При датировании центральных частей кристаллов циркона возраст кристаллизации гранитов определен в 2666 ± 10 млн лет, время кристаллизации оболочек кристаллов, образованных при палеопротерозойском метаморфизме, установлено в 1802 ± 22 [7]. Граниты содержат 480–860 ppm циркония, температура расплава определена в 880–950 °С, давление — в 0,5–0,6 кбар (1,5–1,6 км), что соответствует верхней части гипабиссальной фации глубинности.

Химический состав пород определен в Геологическом институте ФИЦ КНЦ РАН (г. Апатиты), концентрации элементов-примесей — в ИМГРЭ (г. Москва) методом ICP-MS на приборе Elan 6100 DRC с ошибками определения редких и редкоземельных элементов не более 5–7 %.

Субщелочные граниты Кукшинского массива (КМ), щелочные граниты БТ и Понойского массива (ПМ) содержат умеренное или повышенное количество щелочей (средние — 8,0, 8,2, 8,5 % соответственно) с преобладанием калия над натрием. Увеличение концентраций щелочей от гранитов КМ к породам БТ и ПМ сопровождается уменьшением в них концентраций глинозема (средние — 12,9, 11,3 и 10,8 % соответственно). Обусловленный этим рост величины коэффициента алкаитности ($K_{\text{алт}}$) до $\geq 0,9$ является индикатором появления в гранитах КМ и ПМ щелочных пироксенов и амфиболов (рис. 1, а). Концентрации железа и величина отношения FeO/Fe_2O_3

уменьшаются от субщелочных гранитов КМ к щелочным гранитам БТ и ПМ (рис. 1, б). На диаграммах соотношения концентраций SiO₂ и породообразующих окислов точки составов гранитов образуют единые тренды с уменьшением содержаний TiO₂, Al₂O₃, FeO*, MgO, CaO и увеличением концентраций щелочей по мере роста SiO₂.

Граниты всех массивов содержат повышенное количество K, Rb, Cs, Th, U, Zr, Hf, REE, что в сочетании с низкими концентрациями Ba, Sr, P, Ti определяет резкие минимумы последних на мультиэлементных спектрах и характеризует существенно коровый источник расплавов. Значения отношений Y/Nb (1,9–2,5) и Yb/Ta (3,4–3,7) также характерны для гранитов, образованных за счет коровых источников [11]. Наблюдаемые тренды изменения главных и второстепенных элементов обусловлены, вероятно, различной степенью кристаллизационной дифференциации близких по составу исходных расплавов с удалением Fe-Mg-силикатов, магнетита, Ti- и P-содержащих фаз (ильменит, титанит и апатит), а также фракционированием плагиоклаза, вызывающего уменьшение в расплаве концентраций Ca и Al. Моделирование минерального баланса с использованием составов минералов из образцов щелочных гранитов массива БТ показывает, что изменение состава главных элементов при увеличении концентрации SiO₂ от 70,65 до 75,6 % согласуется с фракционированием минеральных ассоциаций, включающих 48 % амфибола, 38 % эгирина, 12 % альбита, 2 % ильменита. Количество рестита, по химическому составу отвечавшего субщелочному габбро, оценивается в 18 %.

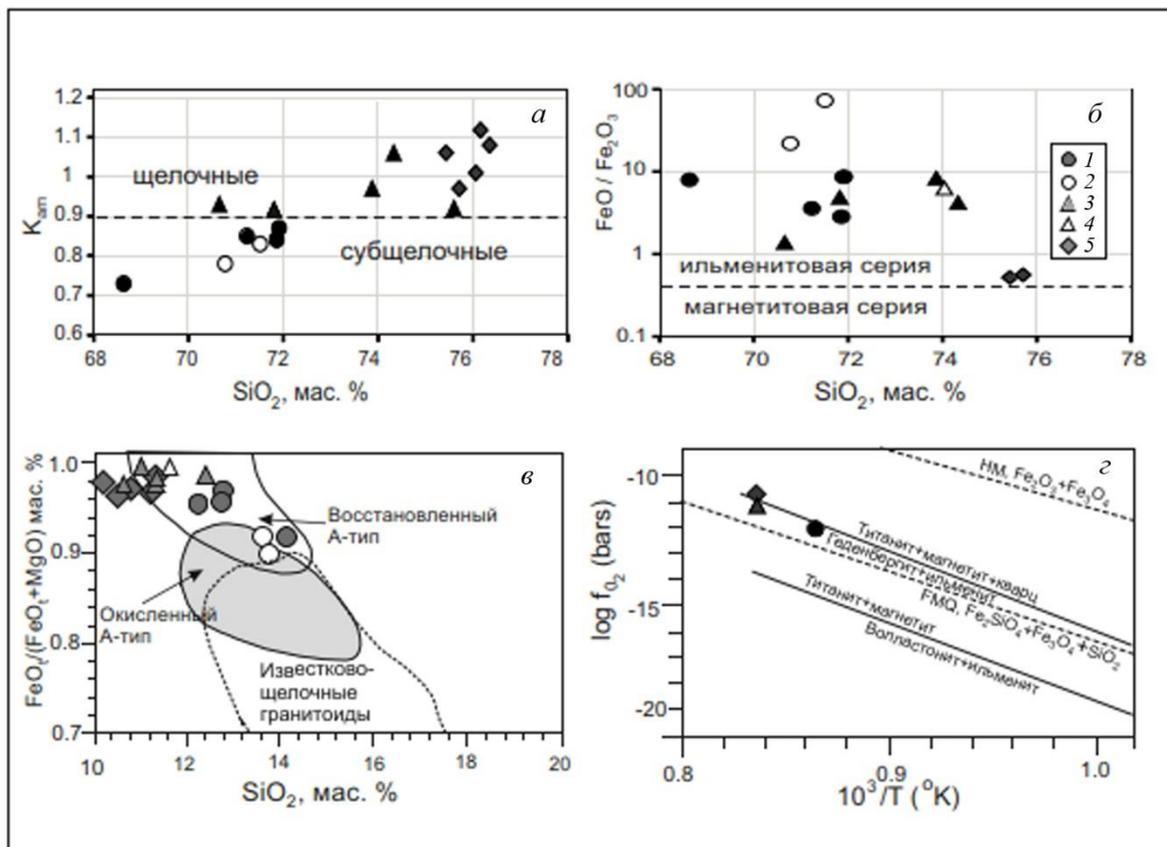


Рис. 1. Диаграммы соотношения компонентов в субщелочных и щелочных гранитах: а — SiO₂-K_{app}(Na+K)/Al; б — SiO₂-FeO/Fe₂O₃; граница между ильменитовой и магнетитовой сериями приведена по [6]; в — диаграмма классификации гранитоидов [12]; з — диаграмма зависимости минеральных ассоциаций от температуры и фугитивности кислорода; 1 — субщелочные граниты КМ; 2 — жильные граниты КМ; 3, 4 — щелочные и жильные граниты БТ; 5 — щелочные граниты ПМ

Fig. 1. Diagrams of a ratio of components in subalkaline and alkaline granites: а — SiO₂-K_{app}(Na+K)/Al; б — SiO₂-FeO/Fe₂O₃; the border between ilmenite and magnetite series is given on [6]; в — diagram of classification of granitoids [12]; з — diagram of dependence of mineral associations on temperature and fugacity of oxygen; 1 — KM subalkaline granites; 2 — KM vein granites; 3, 4 — alkaline and BT vein granites; 5 — PM alkaline granites

Обсуждение результатов и выводы

Изученные граниты по составу относятся к калиевым, известково-щелочным, высокожелезистым породам, недосыщенным алюминием и содержащим повышенные концентрации крупноионных, высокозарядных и редкоземельных элементов. По этим критериям они отвечают гранитам А-типа и на диаграммах тектонической дискриминации пород точки их состава располагаются в полях составов внутриплитных гранитов (рис. 2). На диаграмме в координатах Y-Nb-Ce породы локализованы в поле А₂-гранитов вблизи границы А₁-А₂. Образование гранитов А₂-типа предполагается в условиях растяжения при плавлении континентальной коры или из источника, близкого к базальтам островных дуг и континентальных окраин [13].

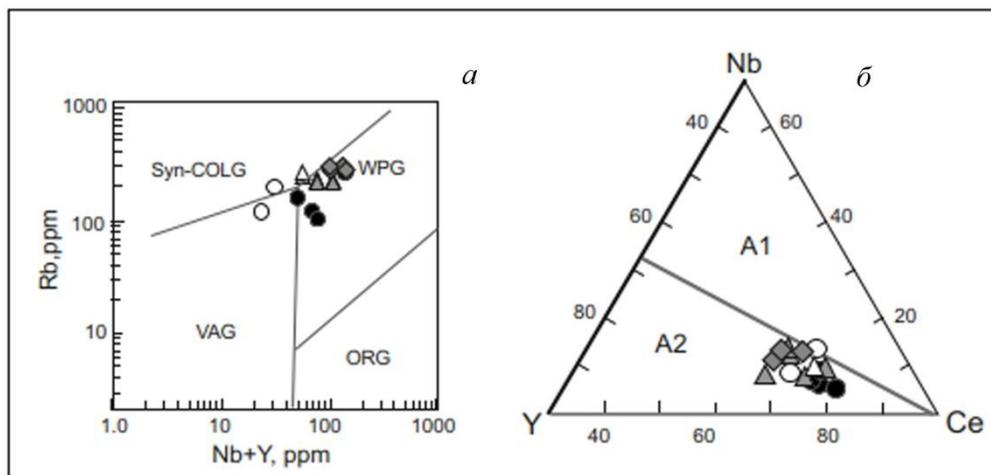


Рис. 2. Диаграммы тектонической дискриминации гранитоидов Y+Nb-Rb (а) [15] и Y-Nb-Ce (б) [13]: VAG — граниты островных дуг; sin-COLG — синколлизионные граниты; ORG — граниты океанических хребтов; WPG — внутриплитные граниты; А₁ — гранитоиды А-типа анорогенных обстановок; А₂ — пост-и анорогенные гранитоиды А-типа. Условные обозначения см. рис. 1

Fig. 2. Diagrams of tectonic discrimination of granitoids Y+Nb-Rb (a) [15] and Y-Nb-Ce (b) [13]: VAG — volcanic granites; sin-collisional granites; ORG — oceanic ridges granites; WPG — within plate granites; A₁ — A-type anorogeny granitoids; A₂ — post-and anorogeny granitoids of A-type. Legend see in Fig. 1

Как было показано [14], по составу граниты А-типа образуют продолжительный тренд от постколлизионных гранитов А₂-типа к посторогенным гранитам вблизи А₂-А₁ границы и далее в направлении к анорогенным гранитам А₁-типа. В геохимическом плане эта тенденция определяется увеличением вклада мафического источника с внутриплитными характеристиками при уменьшении вклада корового силикатического вещества в состав гранитов. А-граниты могут кристаллизоваться в восстановительных ($FeO/Fe_2O_3 > 0,5$) и окислительных ($FeO/Fe_2O_3 < 0,5$) условиях с образованием ильменитовой или магнетитовой серий гранитоидов [6]. Величина отношения FeO/Fe_2O_3 в гранитах всех массивов варьирует в пределах 0,52–8,64, достигая 72,4 в жильных породах. Это позволяет отнести граниты к производным ильменитовой серии (рис. 1, б), кристаллизовавшимся в условиях пониженной фугитивности кислорода. На диаграмме в координатах $SiO_2 - FeO_t/(FeO_t + MgO)$ [12] точки состава гранитов также располагаются в поле гранитоидов восстановленного А-типа (рис. 1, в). Оценка активности кислорода при кристаллизации гранитов выполнена по методу Д. Уонса [16] с использованием значений P и T , приведенных выше. Точки состава гранитов локализованы на линии равновесия ассоциации *титанит* + *магнетит* + *кварц* – *геденбергит* + *ильменит* (рис. 1, г), чем объясняется совместное нахождение ильменита, магнетита и титанита в изученных гранитах. Эти данные находятся в соответствии с минералогией субщелочных и щелочных гранитов, среди которых выделены как существенно ильменитовые, так и магнетитовые типы пород [10]. Результаты проведенных исследований показывают зависимость образования магнетитовых и ильменитовых типов гранитоидов как

от интенсивных (P , T , fO_2 , рис. 1, ε), так и экстенсивных (рис. 1, δ) параметров кристаллизации. Отнесение субщелочных и щелочных гранитов Кейвского мегаблока к восстановленному A_2 -типу свидетельствует об их перспективности на редкие элементы, что подтверждается приуроченностью к массивам этих пород ряда рудопроявлений Zr, REE, Nb, U, Th [17].

ЛИТЕРАТУРА

1. Древнейший в мире анорогенный щелочногранитный магматизм в Кейвской структуре Балтийского щита / Ф. П. Митрофанов [и др.] // Доклады РАН. 2000. Т. 374, № 2. С. 238–241.
2. Zozulya D. R., Bayanova N. B., Eby G. N. Geology and Age of the Late Archean Keivy Alkaline Province, Northeastern Baltic Shield // J. Geol. 2005. Vol. 113. P. 601–608.
3. Меланократовые включения и петрогенезис щелочных гранитов Понойского массива (Кольский п-ов) / В. П. Ветрин [и др.] // Геохимия. 1999. Vol. 11. С. 1178–1190.
4. Zozulya D. R., Eby G. N. Trace-element study of Kola A-granite complex: evidence for OIB-type magmatism in Early Precambrian // Precambrian rift formation, magmatism, metallogeny. Petrosavodsk, Correlation of Geological Complexes in Fennoscandia. 1999. P. 51–53.
5. Зозуля Д. Р., Баянова Т. Б., Серов П. Н. Возраст и изотопно-геохимические характеристики архейских карбонатитов и щелочных пород Балтийского щита // Доклады АН. 2007. Т. 415, № 3. С. 383–388.
6. Ishihara S. The granitoid series and mineralization // Economic Geology. 75th Anniversary volume. 1981. P. 458–484.
7. Ветрин В. П., Родионов Н. В. Геология и геохронология неоархейского анорогенного магматизма Кейвской структуры, Кольский полуостров // Петрология. 2009. Т. 17, № 6. С. 578–600.
8. Hancher J. M., Watson E. B. Zircon Saturation Thermometry // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2003. Vol. 53. P. 89–112.
9. Yang X.-M. Estimation of crystallization pressure of granite intrusions // Lithos. 2017. Vol. 286–287. P. 324–329.
10. Бамуева И. Д. Петрология щелочных гранитоидов Кольского полуострова. Л.: Наука. 1976. 224 с.
11. Eby G. N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis // Lithos. 1990. Vol. 26. P. 115–134.
12. Dall'Agnol R., Oliveira D. C. Oxidized, magnetite- series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis of A-type granites // Lithos. 2007. Vol. 93. P. 215–233.
13. Eby G. N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implication // Geology. 1992. Vol. 20. P. 641–644.
14. Bonin B. A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects // Lithos. 2007. Vol. 97, № 1–2. P. 1–29.
15. Pearce J. A., Harris N. B., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrol. 1984. Vol. 25. P. 956–983.
16. Wones D. R. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks // Amer. Mineral. 1989. Vol. 74. P. 744–749.
17. REE mineralogy and geochemistry of the Western Keivy peralkaline granite massiv, Kola Peninsula, Russia / J. A. Mikhailova [et al.] // Ore Geol. Reviews. 2017. Vol. 82. P. 181–197.

Сведения об авторе

Ветрин Валерий Романович — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН
E-mail: vetrin@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Valeriy R. Vetrin — PhD (Geology & Mineralogy), Leading Researcher of the Geological Institute of KSC RAS
E-mail: vetrin@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Ветрин, В. П. Геохимия и условия кристаллизации субщелочных и щелочных гранитов Кейвского мегаблока / В. П. Ветрин // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 45–49.

Reference

Vetrin Valery R. Geochemistry and Conditions of the Crystallization of Subalkaline and Peralkaline Granites of the Keivy Megablock. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3 (11), p. 45–49. (In Russ.).

ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕН-ГОЛОЦЕНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ ЛАДОЖСКОЙ КОТЛОВИНЫ И В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ В СВЯЗИ С ДЕГЛЯЦИЕЙ РЕГИОНА

В. Я. Евзеров

ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Результаты изучения четвертичных отложений в районе Приладожья и в котловине Ладожского озера свидетельствуют об ареальной дегляциации региона. У края активного льда формировался маргинальный оз, который прорывали потоки талых ледниковых вод. Эти потоки при впадении в приледниковый водоем образовывали флювиогляциальные дельты, с которыми ассоциируют выступающие практически все дно Ладожского озера озерно-ледниковые ленточные глины.

Ключевые слова:

Приладожье, котловина Ладожского озера, дегляциация, флювиогляциальные и озерно-ледниковые отложения.

LATE PLEISTOCENE-HOLOCENE DEPOSITS IN THE LADZHSKAYA BASIN AREA AND IN LADOGA LAKE IN RELATION TO THE DEGLACIATION OF THE REGION

Vladimir Ya. Yevzerov

Geological Institute of KSC RAS

Abstract

Results of the study on Quaternary deposits in the Ladoga region and the Ladoga Lake basin testify to the aerial deglaciation of the area. A marginal esker, which was broken by flows of glacial meltwater, formed at the margin of the active glacier. Where these flows met the periglacial water basin, they produced fluvioglacial deltas. They are associated with glacial-lake varved clays that cover almost the entire bottom of Ladoga Lake.

Keywords:

Ladoga region, basin of Ladoga Lake, deglaciation, fluvioglacial and glacial lake deposits.



Введение

Четвертичные отложения района Приладожья закартированы в масштабе 1:1 000 000 и детально исследованы в наземных маршрутах во второй половине прошлого века сотрудниками Геологической службы и научных организаций России [1, 2 и др.]. Что касается Ладожского озера, то оно, включая донные отложения, достаточно полно изучено сотрудниками Института лимнологии (Санкт-Петербург) [3]. Полученные при этих исследованиях геологические и литологические материалы позволяют восстановить характер дегляциации региона и показать процесс дифференциации перемещавшегося ледником обломочного материала при его переотложении талыми ледниковыми водами.

Распространение четвертичных отложений, литологический состав морены поздневалдайского оледенения и дегляциация региона

Результаты картирования четвертичных отложений Приладожья показаны на рис. 1. На территории, в пределах которой расположено Ладожское озеро, наиболее широко распространены ледниковые и водно-ледниковые отложения, значительные площади занимают также торфяники.



Рис. 1. Фрагмент карты масштаба 1:1 000 000 «Четвертичные отложения Финляндии и Северо-Запада Российской Федерации и их сырьевые ресурсы», 1993 (ред. Й. Ниемеля, И. М. Экман, А. Д. Лукашов)
 Условные обозначения: 1 — гравийно-песчаные морены; 2 — алевритовые морены; 3 — глинистые морены; 4 — холмистые морены; 5 — ледораздельные аккумулятивные возвышенности; 6 — друмлины; 7 — конечные морены; 8 — озы, флювиогляциальные дельты, зандры, краевые гряды из сортированного материала; 9 — песчано-гравийные отложения вне озера; 10 — аллювиальные отложения; 11 — эоловые отложения; 12 — однородные глинисто-алевритовые отложения; 13 — ритмично-слоистые глинисто-алевритовые отложения; 14 — торфяники; участки добычи: 15 — песка и гравия; 16 — глин; 17 — торфа.
 По материалам карты выделены области распространения краевых образований невской стадии последнего оледенения (N) и гряды сальпаусселькя-1 (Ss-1)

Fig. 1. Fragment of the map, scale 1:1 000 000 “Quaternary deposits of Finland and Northwestern part of Russian Federation and their resources”, 1993 (Eds. I. Niemela, I. M. Ekman, A. D. Lukashov)
 Legend: 1 — gravel-sandy moraines; 2 — siltstone moraines; 3 — clayey moraines; 4 — monticulate moraines; 5 — ice-divide accumulative eminences; 6 — drumlins; 7 — terminal moraines; 8 — eskers, fluvioglacial deltas, sandurs, marginal ridges composed of sorted material; 9 — sandy-gravel deposits outside eskers; 10 — alluvial deposits; 11—aeolian deposits; 12 — homogenous clayey siltstone deposits; 13 — rhythmic-bedded clayey siltstone deposits; 14 —peat bogs; mining areas of: 15 — sand and gravel; 16 — clays; 17 — peat.
 Distribution areas of marginal formations of the Neva stage of the latest glaciation (N) and Salpausselkä-1 ridge (Ss-1) are indicated according to the map data

Сведения по гранулометрии разнообразных по составу морен последнего покровного оледенения южной части Карелии приведены в работе [4]. Морены являются исходным материалом для формирования водно-ледниковых и в их числе, естественно, озерно-ледниковых

отложений. Поэтому уместно отметить, что содержание частиц размером менее 0,05 мм, слагающих озерно-ледниковые осадки, составляет в моренах от 16 до 36%. Эти данные позволяют получить общее представление о масштабах переработки переносимого ледником материала тальными ледниковыми водами в период накопления в Ладожской котловине огромного объема ленточно-слоистых глин [5]. Ладожская ледниковая лопасть, если учитывать значительную глубину озерной котловины, вероятно, находилась на плаву подобно тому, как это имело место в котловине Онежского озера [7], и практически не воздействовала на донные осадки. В период потепления в аллереде невский ледниковый покров омертвел, его лопасть, занимавшая Ладожскую половину, быстро разрушилась. Граница активного льда переместилась в область распространения гряды сальпаусселькя-1. В пользу омертвления ледникового покрова свидетельствуют материалы карельских исследователей (рис. 2).

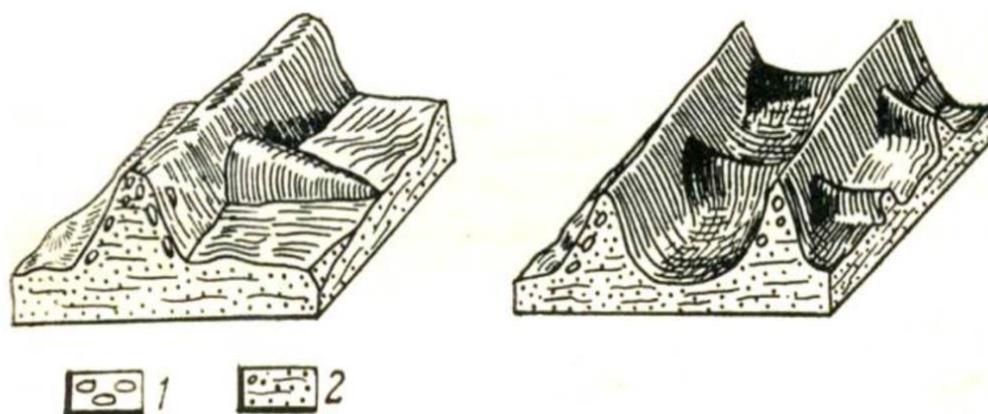


Рис. 2. Характер сочленения продольных и поперечных гряд в пределах Ууксинской водно-ледниковой магистрали [8, рис. 5]:

1 — валуны; 2 — галечно-песчаные отложения

Fig. 2. Junction pattern of longitudinal and transverse ridges within the Uuksinskaya fluvioglacial watermain [8, Fig. 5]:

1 — boulders; 2 — pebbled and sandy deposits

Такие сложные ансамбли флювиогляциальных отложений обнаружены в пределах площади распространения ледника в невскую стадию недалеко от северо-восточной части побережья Ладожского озера. Они могли образоваться только в пределах массива мертвого льда.

Формирование водно-ледниковых отложений

Формирование гряды сальпаусселькя-1 происходило не в позднем дриасе, как принято считать в настоящее время, а в аллереде, что достаточно убедительно ранее показали Е. Хюппя, В. Окко и М. Окко [9–12]. Основная часть гряды представляет собой маргинальный оз, образовавшийся у крутого склона активного льда, контактировавшего с озерным бассейном, площадь которого была несколько больше площади современного Ладожского озера. Опыт изучения ледниковых образований Кольского региона показал, что в тех случаях, когда край динамически активного льда контактировал с возникавшими или уже существовавшими в это время приледниковыми водными бассейнами, происходило следующее. Высокая теплоемкость воды приводила к быстрому совмещению ледяного берега с линией нулевого баланса масс ледника и длительному сохранению его довольно стабильного положения. Вследствие этого создавались условия для накопления у крутого ледяного берега мощных толщ флювиогляциальных осадков, состоящих из обломочного материала, сползшего по берегу и подвергнувшегося минимальной переработке в водной среде, а также принесенного потоками талых ледниковых вод [13]. Происходило образование маргинального оза. В рассматриваемом районе оз прорывали многочисленные мощные потоки талых ледниковых вод, образующие при впадении в озеро

флювиогляциальные дельты. Не случайно в районе гряды сальпаусселькя-1 расположены три из разведанных в Карелии крупнейших месторождений песка и песчано-гравийных смесей с запасами сырья более 15 млн м³ (Ниясьярви — № 89, Сальпаусселькя — № 363 и Хуканойское — № 364), четвертое (Кивийоя № 205) — вблизи северо-восточного побережья Ладожского озера [14, табл. 2.3.3]. Автономия упомянутых крупнейших по запасам месторождений Карелии свидетельствует, скорее всего, об их формировании водно-ледниковыми потоками как флювиогляциальных дельт. С этим предположением согласуется обнаружение в Ладожском озере толщи ленточно-слоистых озерно-ледниковых глин мощностью в 10–20 м [15], поскольку ассоциация флювиогляциальных дельт с озерно-ледниковыми глинами типична для ледниковых районов Северо-Запада России [16]. Приуроченность трех крупнейших месторождений к южной части гряды сальпаусселькя-1 — весомый аргумент в пользу возникновения упомянутого краевого образования, в основном в период аллерёдского потепления. Во время похолодания в позднем дриасе ледник, продвинувшийся в рассматриваемом районе на небольшое расстояние к югу, перекрыл гряду, оставив на ней лишь маломощную моренную покрывку.

Площадь Ладожского озера без островов составляет около 18 тыс. км². Его глубина изменяется неравномерно: в северной части она колеблется от 70 до 230 м, в южной — от 20 до 70 м. Результаты комплексного изучения Ладожского озера изложены в коллективной монографии [3], при этом анализ данных о строении и истории формирования донных отложений выполнен в разделе 6.1 (Д. А. Субетто [3, с. 122–136]). По этим данным озерно-ледниковые осадки представлены ленточными и ленточноподобными глинами. Они сплошным чехлом перекрывают ледниковые отложения на дне Ладожского озера. Мощность глин варьирует от 10–15 до 30–40 м. Этот тип осадков развит повсеместно, а в южной части озера слагает большую часть озерного дна. Более молодые осадки, как правило, на юге либо отсутствуют либо представлены маломощным слоем песчаных и песчано-алевритовых отложений.

Разрез донных осадков озера показан на рис. 3. Озерно-ледниковые глины формировались именно в период потепления валлероде, что согласуется с изложенной выше концепцией дегляциации Приладожья и Ладожского озера в позднем плейстоцене.

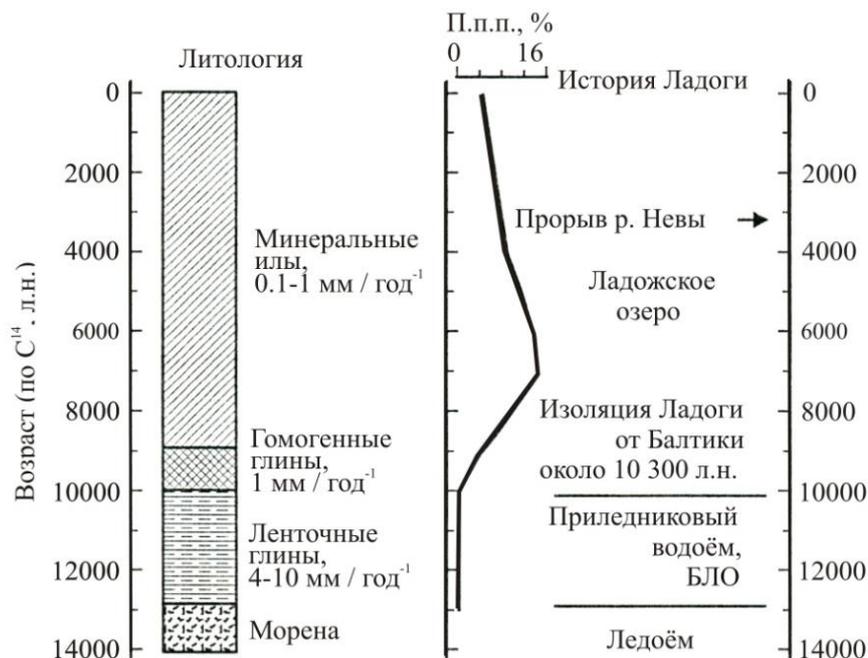


Рис. 3. Сводный разрез донных отложений Ладожского озера [3, рис. 58].

БЛО — Большое Ледниковое озеро

Fig. 3. Composite section of bottom sediments of Ladoga Lake [3, Fig. 58].

БЛО — Big Glacier Lake

Заключение

Результаты изучения четвертичных отложений в районе Приладожья и котловине Ладожского озера свидетельствуют об ареальной дегляциации региона в позднем плейстоцене. Образование водно-ледниковых отложений происходило вследствие таяния активного льда в период межстадиального потепления в аллереде. У края массива активного льда формировался маргинальный оз. Его во многих местах прорывали потоки талых ледниковых вод. При впадении в приледниковый водоем, существовавший на месте современного Ладожского озера, они создавали флювиогляциальные дельты, с которыми тесно ассоциируют озерно-ледниковые ленточные глины, выстилающие практически все дно котловины Ладожского озера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алухтин Н. И., Экман И. М. Мурманская область, Карелия, запад Архангельской, северо-запад Вологодской и север Ленинградской областей // Геология четвертичных отложений Северо-Запада Европейской части СССР. Л.: Недра, 1967. С. 48–110.
2. Биске Г. С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1959. 307 с.
3. Ладожское озеро — прошлое, настоящее и будущее. СПб.: Наука, 2002. 327 с.
4. Каган А. А., Солодухин М. А. Моренные отложения Северо-Запада СССР (инженерно-геологическая характеристика). М.: Недра, 1971. 137 с.
5. Субетто Д. А. Строение, особенности и история формирования донных отложений // Ладожское озеро: прошлое, настоящее, будущее. СПб.: Наука, 2002. С. 122–136.
6. Lundqvist J., Saarnisto M. Summary of project IGCP-253 // Quaternary international. 1995. Vol. 28. P. 9–17.
7. Демидов И. Н. Деграция поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. Вып. 8. С. 134–142.
8. Ладожское озеро (развитие рельефа и условия формирования четвертичного покрова котловины) / под ред. Г. С. Биске. Петрозаводск: Карелия, 1978. 206 с.
9. Нуурпää E. Itämerenhistoriaausimpientä — Karjalassasuoritettujentutkimustenvälössa // Terra. 1943. Vol. 55. P. 122–127.
10. Нуурпää E. KuviaSalpausselänrakenteesta. Summary: on the structure of the First Salpausselkä // Geology (Helsinki). 1951. No. 3. P. 5–7.
11. Okko V. The Second Salpausselkä at Julisjärvi, east of Hämeenlinna // Fennia. 1957. Vol. 81, No. 4. 46 p.
12. Okko M. On the development of the First Salpausselkä, west of Lahti // Bull. Comm. Geol. Finlande. 1962. No. 202. P. 150–162.
13. Евзеров В. Я. Минералогия рыхлого покрова северо-восточной части Балтийского щита. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2014. 255 с.
14. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн. 2. 355 с.
15. Субетто Д. А. История возникновения и развития Ладожского озера: [гл. 1: Позднеплейстоценовая и голоценовая история озера] // Ладога. СПб.: Ин-т озероведения РАН, 2013. 568 с.
16. Евзеров В. Я. Породные парагенезисы флювиогляциальных дельт (на примере крайнего северо-запада России) // Литология и полезные ископаемые. 2007. № 6. С. 563–574.

Сведения об авторе

Евзеров Владимир Яковлевич — доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН
E-mail: yevzerov@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Vladimir Ya. Yevzerov — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Leading Researcher of the Geological Institute of KSC RAS
E-mail: yevzerov@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Евзеров, В. Я. Позднеплейстоцен-голоценовые отложения в окрестностях Ладожской котловины и в Ладожском озере в связи с дегляциацией региона / В. Я. Евзеров // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 50–54.

Reference

Yevzerov Vladimir Ya. Late Pleistocene-Holocene Deposits in the Ladozhskaya Basin Area and in Ladoga Lake in Relation to the Deglaciation of the Region. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3. (11), pp. 50–54. (In Russ.).

СОДЕРЖАНИЕ НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВЛАГИ В СЕЗОННО МЕРЗЛОМ ДЕЯТЕЛЬНОМ СЛОЕ БОЛОТ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

И. Л. Калюжный

ФГБУ Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург

Аннотация

В деятельном слое болот часть влаги не замерзает во всем спектре наблюдаемых отрицательных температур. С понижением температуры содержание незамерзшей влаги уменьшается. В диапазоне от 0 до -3 °C изменение ее содержания при падении температуры на $1,0$ °C составляет более чем 20–35 %. При температуре ниже $-3...-5$ °C происходит незначительное уменьшение или наблюдается относительная стабилизация ее содержания до температур $-15...-20$ °C и ниже. Наибольшие значения незамерзшей влаги наблюдаются в верхнем горизонте деятельного слоя неосушенных болот (до 200 % и более от массы сухого вещества торфа при температуре $-0,5$ °C). На этих болотах при постоянной температуре незамерзшая влага убывает по глубине с увеличением плотности сухого вещества. В верхнем горизонте (0–30 см) осушенных болот ее содержание относительно небольшое (73–127 % при $-0,5$ °C и плотности $0,33-0,17$ г/см³), далее по мере увеличения массы сухого вещества оно возрастает по глубине залежи.

Ключевые слова:

незамерзшая влага, обуславливающие факторы, болота Кольского п-ова.

CONTENT OF NON-FROZEN MOISTURE IN A SEASONALLY FROZEN ACTIVE LAYER OF THE KOLA PENINSULA MARSHES

Igor L. Kalyuzhny

State Hydrological Institute, St. Petersburg

Abstract

Part of the moisture does not freeze over the entire spectrum of the observed negative temperatures in the active layer of the swamps. It was established that its content depends on the temperature of frozen peat and the dry matter density. With a decrease in temperature, the content of unfrozen moisture decreases. In the temperature range from 0 to -3 °C, a change in its content when the temperature drops by $1,0$ °C is more than 20–35 %. When the temperature is below $-3...-5$ °C, there is a slight decrease or relative stabilization of its content to temperatures of $-15...-20$ °C and lower. The highest values of unfrozen moisture are observed in the upper horizon of the active layer of the undrained marshes (up to 200 % or more by weight of dry matter of peat at a temperature of $-0,5$ °C). In these swamps, at constant temperature, the unfrozen moisture decreases in depth with increasing dry matter density. In drained marshes, in the upper horizon (0–30 cm) its content is relatively small (73–127 % at $-0,5$ °C and density $0,33-0,17$ g/cm³), and further, as the dry matter mass increases, it increases in depth of the deposit to peat layers, which were not subjected to anthropogenic impact during the development of the swamp.

Keywords:

unfrozen moisture, determining factors, swamps of the Kola Peninsula.



Введение

Освоение болот Кольского п-ова в различных отраслях экономики требует проведения ряда теплотехнических расчетов, в которых параметры определяющих водно-физических и теплофизических характеристик неизвестны. До настоящего времени они остаются неизученными и неопределенными.

Наблюдения, которые ранее проводились на болотах Мурманской обл. [1–4], показали всю сложность их сельскохозяйственного освоения в условиях Крайнего Севера. В частности, при устройстве дренажа в зоне сезонного промерзания необходимо проведение специальных теплотехнических расчетов для обоснования

расстояний между элементами дренажной сети с учетом водопроницаемости мерзлых почв в процессе сельскохозяйственного использования, а также для определения размеров сечения дрен, коллекторов и допустимого срока затопления. В этом случае основными исходными данными для определения водопроницаемости мерзлой торфяной залежи являются: коэффициент фильтрации почвы в талом и мерзлом состоянии, пористость и влажность, льдистость и содержание незамерзшей влаги при отрицательных температурах почвенной среды.

Наименее изученной характеристикой болот Кольского п-ова (в их естественном и преобразованном состоянии) является содержание незамерзшей влаги в деятельном слое и торфяной залежи. Эта характеристика в значительной мере определяет льдистость почвы и, как следствие, другие теплофизические характеристики деятельного слоя болот. Крайне важно знать, для описания процесса влагопереноса в промерзающей и оттаивающей торфяной залежи зависимость содержания незамерзшей влаги от температуры и плотности сухого вещества торфа. Отсюда целью настоящей работы является определение ее содержания при отрицательных температурах в естественных и осушенных болотах Кольского п-ова.

Краткое описание объектов исследований

При выполнении настоящей работы были использованы материалы обследования естественных и осушенных болотных массивов на территории Кольского п-ова.

Полевые работы по обследованию неосушенных болот выполнены в следующих пунктах:

- на естественном олиготрофном болоте (провинция Финско-Кольской северной тайги и лапландских аапа) в районе участка «Колвица», (г. Кандалакша) в сфагново-кустарничковом микроландшафте с редким облесением сосны и березы (торфяная залежь однородная со степенью разложения 5–10 %);

- на болотном массиве Фенноскандийской провинции березовой лесотундры и крупнобугристых болот, расположенном в 50 км от Мурманска, на левом берегу р. Тулома, в сфагново-сосновом, облесенном редкой березой микроландшафте;

- на мезотрофном болотном массиве Карело-Финской провинции северной тайги и аапа болот, расположенном вблизи пос. Лоухи (Республика Карелия), в сфагново-осоковом, кочковатом микроландшафте. Краткое описание этих болот приведено в работе [5];

- на евтрофном болотном массиве Корзинского стационара (Республика Карелия) [4].

На участках осушения этих болотных массивов или вблизи них были произведены полевые работы с отбором проб ненарушенной структуры деятельного слоя и торфяной залежи в следующих пунктах:

- на мелиоративной системе осушенного мезоолиготрофного болота в районе Мурманска с 26-летним сроком эксплуатации в сельскохозяйственном производстве;

- на мелиоративной системе мезоолиготрофного болота с двухгодичным сроком осушения вблизи г. Кандалакша;

- на старой мелиоративной системе мезоолиготрофного болота вблизи пос. Лоухи;

- на мелиоративной системе евтрофного болотного массива Корзинского стационара [4].

Методика производства работ по определению незамерзшей влаги в деятельном слое и торфяной залежи болот

Производство работ по определению водно-физических и тепловых свойств (в том числе содержания незамерзшей влаги в мерзлой почве) деятельного слоя торфяной залежи состоит из комплекса полевых и лабораторных работ.

Методика полевых работ, включающая геоботаническое описание участка и отбор образца (монолита) почвы, приведена в Наставлении [6]. Отбор монолита ненарушенной структуры торфа производится при помощи специального режущего цилиндра (струга) диаметром 25,2 см и длиной 100 см. Путем постепенного вдавливания и подрезания корневой системы растительности по периметру цилиндра, струг погружают в торфяную залежь. При полном погружении в залежь монолит торфа отделяют от залежи и, подняв на поверхность болота, перемещают в специальный транспортный контейнер. В нем монолит с ненарушенной структурой почвы доставляют в лабораторию.

В лаборатории монолит в контейнере замораживают, извлекают в мерзлом состоянии из контейнера и разрезают на заданные образцы для последующей работы.

Содержание незамерзшей влаги при отрицательных заданных температурах образца определяют методом калориметрирования. Для этого образец торфа помещают в специальную тонкостенную латунную бюксу и выдерживают его в термостате [7] в течение 2–3 сут. Лабораторным путем установлено, что за этот период времени все фазовые превращения влаги оканчиваются. После чего бюксу перемещают в стационарный калориметр и, используя методику, изложенную в работах [8, 9], определяют содержание незамерзшей влаги в образцах торфа.

Результаты определения содержания незамерзшей влаги в деятельном слое при отрицательной температуре

Отличительной особенностью почвенной влаги, в том числе и воды в деятельном слое болот, является способность части ее не замерзать при отрицательных температурах. Установлено, что структура влаги, находящейся в почве, формируется под действием разных по характеру сил [10]. К ним относятся дальнедействующие силы взаимодействия между молекулами воды с активными центрами поверхности почвы и короткодействующие силы взаимодействия между молекулами воды. При положительной температуре доминируют дальнедействующие силы. При некоторой температуре ниже 0 °С короткодействующие силы восстанавливают структуру, свойственную свободной влаге, что и приводит к образованию кристаллов льда. Процесс при понижении температуры происходит до тех пор, пока не останется некоторая часть воды, настолько прочно связанная с частицами льда и почвы, что короткодействующие силы не в состоянии восстановить структуру воды. Остаточная часть почвенной влаги не замерзает вплоть до температуры –100 °С. Толщина пленки этой прочносвязанной влаги оценивается в зависимости от температуры в нескольких слоях молекул воды.

В ряде работ показано, что содержание незамерзшей влаги ($W_{нз}$) определяется температурой почвы, степенью ее дисперсности, физическими характеристиками, минералогическим составом и другими факторами [11–13].

Результаты определения незамерзшей влаги в мерзлых верхних слоях торфа неосушенных болот Кольского п-ова приведены в табл. 1. Анализ полученных результатов однозначно показывает, что в образцах торфа деятельного слоя обследованных болот содержание незамерзшей влаги присутствует во всем спектре температур от 0 до –15,0 °С и ниже. Причем с понижением температуры содержание $W_{нз}$ уменьшается, образуя при этом две зоны: зону интенсивных фазовых превращений, где изменение содержания $W_{нз}$ при падении температуры на 1,0 °С составляет более чем 10–30 %, и зону затухающих фазовых переходов, где этот показатель существенно меньший и, по мере понижения температуры, приближается к нулю.

Таблица 1
Table 1

Содержание незамерзшей влаги (% от массы сух. вещ.) при различной температуре и плотности неосушенных мезоолиготрофных болот Кольского п-ова
The content of unfrozen moisture (in % by weight of dry matter) at different temperatures and densities of undrained mesooligotrophic bogs of the Kola Peninsula

Глубина слоя, см Depth of the layer, cm	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Температура / Temperature, °С								
		–0,5	–1,0	–1,5	–2,0	–3,0	–5,0	–7,0	–10,0	–15,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мезоолиготрофное болото, г. Мурманск / Mesooligotrophic swamp, Murmansk										
0–11	0,06	203	192	183	180	177	165	157	149	143
11–22	0,11	165	155	144	133	122	124	119	113	106
22–33	0,16	138	124	118	111	104	96,4	93,2	92,1	88,2
33–77	0,145	146	133	124	119	118	114	108	106	103
77–99	0,19	118	110	97,7	97,4	95	95,8	95,5	91,8	87,8
99–110	0,39	90,3	73	72,3	65,5	62,1	65,4	51,2	53,3	50,1

Олиготрофное болото, г. Кандалакша / Oligotrophic swamp, Kandalaksha										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0–10	0,095	215	179	145	138	125	119	115	113	107
10–20	0,060	253	230	210	192	178	153	148	146	141
Мезоолиготрофное болото, пос. Лоухи / Meso-oligotrophic swamp, Louhi										
0–10	0,12	150	138	128	121	120	115	111	112	111
10–40	0,16	124	103	99	97,8	96,7	95,5	93,6	96,8	89,9
40–0	0,13	134	134	120	113	108		108		106

В табл. 2 приведены результаты определений содержания $W_{\text{нз}}$ в деятельном слое и торфяной залежи неосушенного евтрофного болота. Совместный анализ результатов определений, приведенных табл. 1 и 2, показывает, что независимо от типа болотного массива (мезоолиго-, олиго- или евтрофное) и слагающих микроландшафтов характер изменения содержания незамерзшей влаги при изменении температуры в болотах Кольского п-ова идентичен.

Таблица 2
Table 2

Содержание незамерзшей влаги (% от массы сух. вещ.) при различной температуре и плотности неосушенного евтрофного болота Корзинского стационара
The content of unfrozen moisture (in % by weight of dry matter) at different temperatures and densities of undrained eutrophic bog of the Korzinsky stationary

Глубина слоя, см Depth of layer, cm	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Температура / Temperature, °C								
		–0,5	–1,0	–1,5	–2,0	–3,0	–5,0	–7,0	–10,0	–15,0
0–40	0,06	204	195	187	182	170	165	159	148	139
40–50	0,17	93,5	91,0	85,0	85,0	77,0	79,0	74,0	69,0	59,0
50–80	0,27	75,0	70,0	65,0	62,0	60,0	58,0	62,0	56,0	51,0

На рис. 1 приведены полученные нами зависимости содержания незамерзшей влаги от температуры и плотности деятельного слоя мезоолиготрофного болота (Мурманск) в его естественном состоянии. Анализ зависимостей показывает, что зона интенсивных фазовых превращений в верхнем горизонте торфяной залежи (0–11 см) охватывает диапазон температуры от 0 до –10 °C. В нижерасположенных горизонтах, начиная с глубины 22–33 см, эта область ограничена температурой –5 °C.

Послойное содержание незамерзшей влаги уменьшается по глубине деятельного слоя. При температуре –0,5 °C наибольшее ее содержание (203 % от массы сух. вещ. торфа) наблюдается в верхнем слое, на нижних горизонтах (99–110 см) и температуре –0,5 °C оно не превосходит 90,3 %. Для каждого из этих горизонтов зависимость $W_{\text{нз}}$ от температуры T [$W_{\text{нз}} = f(T)$] можно выразить полиномиальным уравнением. Для верхнего горизонта деятельного слоя (0–11 см, при плотности сухого вещества торфа 0,06 г/см³) уравнение имеет вид:

$$W_{\text{нз}} = 0,329T^2 + 8,631T + 199,4.$$

Коэффициент корреляции R равен 0,982.

В горизонте торфяной залежи 99–110 см (степень разложения — 18 % и плотность — 0,39 г/см³) содержание $W_{\text{нз}}$ от T описывается уравнением (при $R = 0,913$)

$$W_{\text{нз}} = 0,277T^2 + 6,315T - 84,3,$$

где $W_{\text{нз}}$ представлено в процентах от массы сухого вещества торфа (% от массы сух. вещ.).

Установлено, что распределение содержания незамерзшей влаги по глубине деятельного слоя болот в их естественном состоянии при одной и той же температуре убывает по глубине. В верхних горизонтах ее содержание значительно большее, чем в нижних, но так как плотность

сухого вещества в деятельном слое подчиняется этой же закономерности, то отсюда следует, что при $T = \text{const}$ существует зависимость $W_{\text{нз}}$ от плотности сухого вещества (ρ), т. е. $W_{\text{нз}} = f(\rho)$. На рис. 2 приведена эта зависимость для температур $-0,5$ и -3 °С, а в табл. 3 аналитическое выражение этих зависимостей для температур от $-0,5$ и -3 °С. Коэффициенты корреляции зависимостей не ниже 0,93.

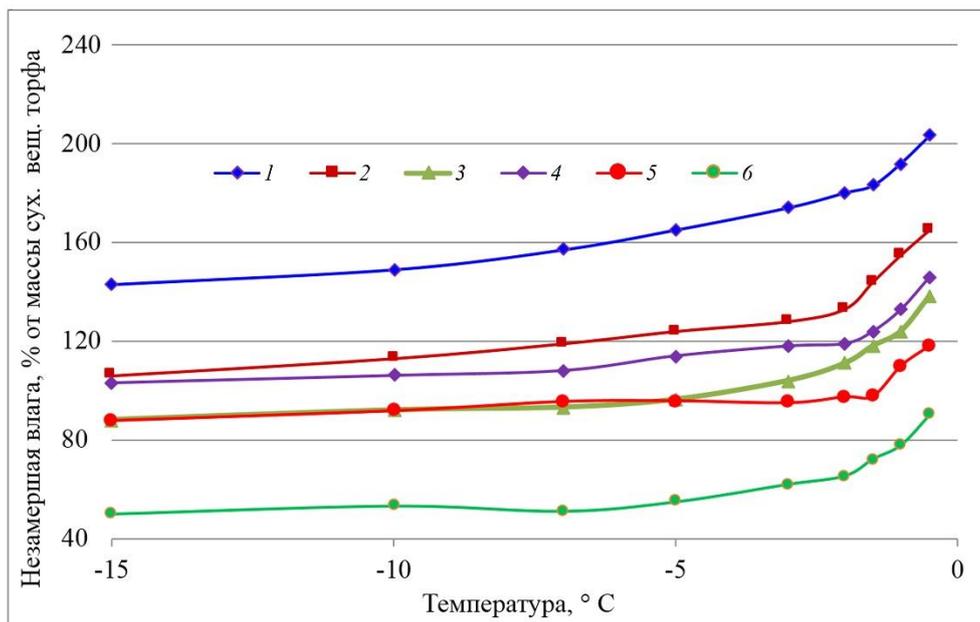


Рис. 1. Зависимость содержания незамерзшей влаги от температуры для отдельных слоев верхнего горизонта торфяной залежи неосушенного болотного массива около Мурманска. Глубина слоя: 0–11 см (1); 11–22 см (2); 22–33 см (3); 33–77 см (4); 77–99 см (5); 99–110 см (6)

Fig. 1. Dependence of the content of unfrozen moisture on the temperature for individual layers of the upper horizon of the peat deposit of the undrained bog massif near the city of Murmansk. Layer depth: 0–11 cm (1); 11–22 cm (2); 22–33 cm (3); 33–77 cm (4); 77–99 cm (5); 99–110 cm (6)

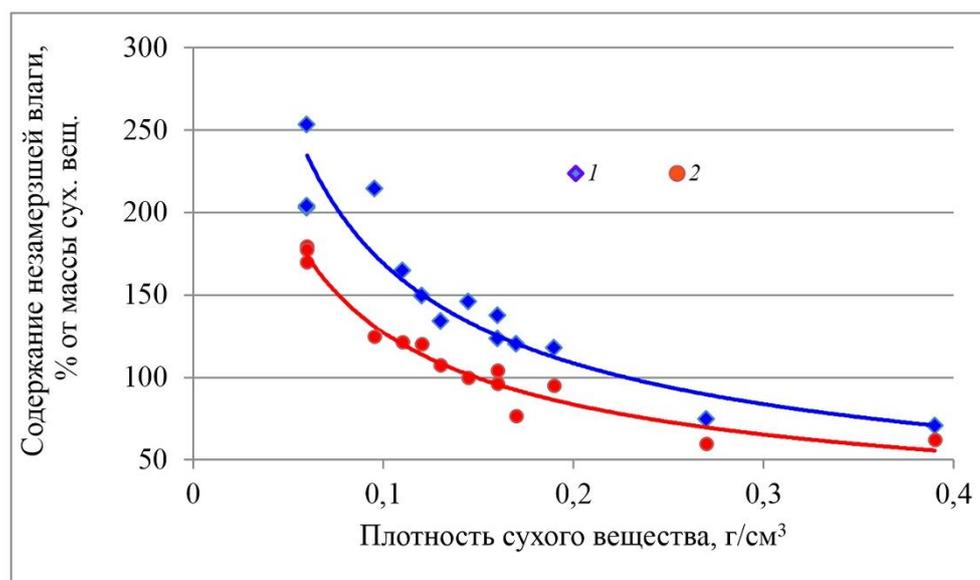


Рис. 2. Зависимость содержания незамерзшей влаги от плотности сухого вещества в деятельном слое естественных болот при температуре $-0,5$ (1) и -3 °С (2)

Fig.2. The dependence of the content of unfrozen moisture on the density of dry matter in the active layer of natural bogs at a temperature of $-0,5$ (1) and -3 °C (2)

Таблица 3
Table 3

Содержание незамерзшей влаги (% от массы сух. вещ.) в зависимости от плотности деятельного слоя естественных болотных массивах при постоянных температурах
The content of unfrozen moisture (in % by weight of dry matter), depending on the density of the natural bog massifs active layer at constant temperatures

Температура, °С Temperature, °C	Уравнение связи $W_{\text{нз}} = f(\rho)$ при $T = \text{const}$ The equation of connection $W_{\text{нз}} = f(\rho)$ at $T = \text{const}$	Коэффициент корреляции Correlation coefficient
-0,5	$W_{\text{нз}} = 38,75 \rho^{0,64}$	0,96
-1,0	$W_{\text{нз}} = 32,36 \rho^{-0,675}$	0,95
-1,5	$W_{\text{нз}} = 35,12 \rho^{-0,602}$	0,96
-3,0	$W_{\text{нз}} = 31,37 \rho^{-0,609}$	0,96
-15,0	$W_{\text{нз}} = 28,75 \rho^{-0,582}$	0,93

В ряде работ [10–14] было показано, что содержание незамерзшей влаги растет с увеличением степени дисперсности почвы. В высокодисперсных средах, в глинах, ее несравненно больше, чем в песках или супесях. В торфах, по мере увеличения степени разложения, ее содержание также увеличивается и при большой степени разложения (30–50 %) достигает максимума. В пределах деятельного слоя неосушенных болот наибольшее ее содержание наблюдается в его верхнем горизонте, в котором степень разложения торфа незначительная. Возможное объяснение этому факту мы находим в структуре пористости деятельного слоя, верхние горизонты которого содержат значительное количество внутриклеточной влаги в неразложившихся остатках мохового покрова [15].

При сельскохозяйственном освоении болот деятельный слой изменяет свои физические характеристики. В табл. 4 приведены изменения плотности сухого вещества торфа и содержания незамерзшей влаги на осушенных болотных массивах различного срока их освоения. Верхний пахотный слой торфа подвергается механическому воздействию сельскохозяйственной техники, ускоряются биологические процессы, происходит повышение зольности, усадка торфяной залежи и, как следствие, значительно увеличивается плотность сухого вещества.

Таблица 4
Table 4

Содержание незамерзшей влаги (% от массы сух. вещ.) при различной температуре и плотности осушенных мезоолиготрофных болот Кольского п-ова
The content of unfrozen moisture (in % by weight of dry matter) at different temperatures and density of dried meso-oligotrophic swamps of the Kola Peninsula

Глубина слоя, см Depth of layer, cm	Плотность, г/см ³ Density, g/cm ³	Температура / Temperature, °C								
		-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-10,0	-15,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Болото около г. Мурманск, 26 лет после осушения Marsh near the city of Murmansk, 26 years after draining										
0–20	0,17	127	113	106	101	95	90	86	64,8	82,9
20–30	0,16	137	124	117	106	99,2	95	–	91,5	91,1
30–50	0,145	153	134	119	122	112	107	103	100	94,8
50–80	0,08	210	167	163	158	155	149	142	135	124
Болото около г. Кандалакша, 2 года после осушения Marsh near the town of Kandalaksha, 2 years after draining										
0–10	0,21	110	88,7	80,1	70,6	57,1	52,2	54,8	59,2	53,6
10–20	0,185	130	110	96,3	82,7	74	76,6	76,8	76,2	74,6
20–50	0,15	149	123	110	94,6	95	89,4	82	79,5	83,4
50–110	0,125	163	139	127	117	98,4	96,8	96,6	88,4	87,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Старая мелиоративная система около пос. Лоухи / An old reclamation system near Louhi settlement										
0–10	0,33	73	69	68	60	56	48	50	49,5	49
10–20	0,30	92,5	82,5	76	74	62	61	59	56	53
20–30	0,19	117	100	92	85	71,5	69	66,5	69	66
30–40	0,15	133	125	111	100	86,5	83,5	77,5	83,5	85,5
40–80	0,125	149	139	120	110	95,4	94,8	93,5		83,8
Осушенное евтрофное болото. Корзинский стационар Drained eutrophic marsh. The Korzinsky stationary										
0–30	0,26	95,5	85	81,5	79	76,5	70	68,5	65	59
30–50	0,192	107	103	93	90	83	81	76	70,5	64,5
50–80	0,117	156	150	145	142	136	128	120	114	105
80–90	0,136	144	130	126	124	114	104	97,5	90,5	79,5
90–100	0,146	122	116	110	96	89	85	82	79,5	70

Наиболее интенсивное увеличение плотности (в 2–3 раза) в слое до 30 см наблюдается в первые два года освоения. В этот период удаляют верхний слой торфа с произрастающей растительностью, понижают уровень болотных вод, происходит осадка (до 7–15 см [4]) и уплотнение торфа. Плотность верхних слоев достигает 0,17–0,20 г/см³.

Спустя 20–30 лет после осушения плотность сухого вещества в пахотном слое достигает 0,26–0,33 г/см³, т. е. происходит усадка с интенсивностью 0,011 (г/см³)/год. Нами установлено, что при длительности осушения в течение 40–60 лет интенсивность повышения плотности в верхних горизонтах залежи снижается и составляет 0,001 (г/см³)/год [12].

С глубиной изменения плотности затухают. На старой мелиоративной системе в районе пос. Лоухи более 20 лет после осушения плотность торфа в верхнем горизонте 0–20 см составляет 0,30–0,33 г/см³, на глубине 80 см — 0,125 г/см³. В среднем на глубине 100 см плотность не превосходит 0,15 г/см³, в ряде случаев на этих глубинах изменения крайне незначительные.

Если учесть, что средняя плотность верхнего горизонта (0–20 см) на неосушенных болотах не превосходит 0,10 г/см³, тогда аналитическое выражение зависимости плотности (ρ , г/см³) от длительности освоения болота (τ , лет) не свыше 30–35 лет имеет вид (при $R = 0,90$):

$$\rho = -0,000\tau^2 + 0,012\tau + 0,11.$$

Изменение плотности сухого вещества торфа влечет за собой и изменение содержания незамерзшей влаги. Анализ табл. 4 показывает, что на мелиорированных болотах, как и на естественных болотных массивах, зависимость $W_{нз} = f(T)$ сохраняет свои особенности: содержание $W_{нз}$ уменьшается с понижением температуры (рис. 3). Но послойное содержание незамерзшей влаги на осушенных болотах, в отличие от неосушенных, увеличивается по глубине деятельного слоя. При температуре $-0,5$ °С наибольшее ее содержание (около 150 г/см³) наблюдается в нижних горизонтах деятельного слоя. На осушенном болоте в районе Мурманска на глубине 50 см содержание $W_{нз}$ равно 210 % от массы сухого вещества торфа, на нижних горизонтах (99–110 см) не превосходит 90,3 %. Это можно объяснить тем, что на осушенных болотах (при их освоении) в верхних горизонтах деятельного слоя с плотностью больше 0,15–0,20 г/см³ практически полностью отсутствует внутриклеточная влага, замерзающая при температуре несколько ниже 0 °С, а незамерзшая влага внешних пор формируется только на поверхности частиц торфа. Но ниже пахотного горизонта (25–30 см), где торф слабой степени разложения не подвергался значительным воздействиям, сохранились неразложившиеся клетки растительности. Отсюда в слоях от 30 до 60–80 см наблюдается заметное возрастание незамерзшей влаги.

Зависимость $W_{нз} = f(\rho)$ при $T = \text{const}$ для осушенных болотных массивов близка к ее выражению, что и для неосушенных. На рис. 4 приведена эта зависимость для температур $-0,5$ и -3 °С.

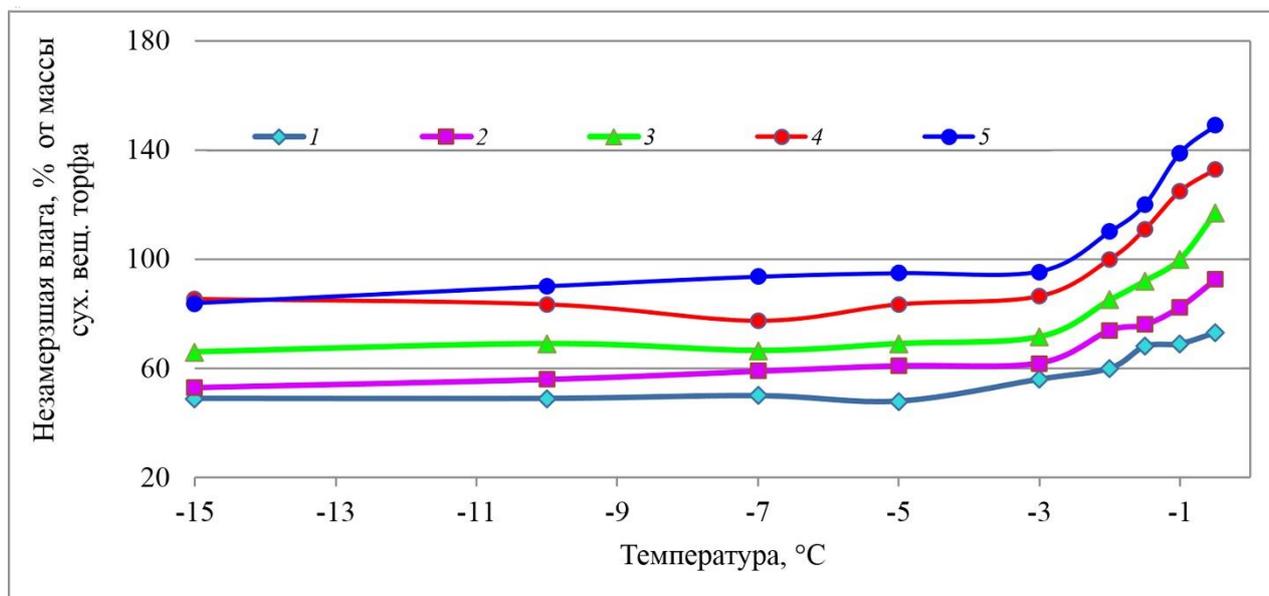


Рис. 3. Зависимость содержания незамёрзшей влаги от температуры для отдельных слоев верхнего горизонта торфяной залежи мелиорированного болота около пос. Лоухи. Глубина слоя: 0–10 см (1); 10–20 см (2); 20–30 см (3); 30–40 см (4); 40–80 см (5)

Fig. 3. The dependence of the content of unfrozen moisture on temperature for individual layers of the upper horizon of the reclaimed bog peat deposit near the Loukhi settlement. Layer depth: 0–10 cm (1); 10–20 cm (2); 20–30 cm (3); 30–40 cm (4); 40–80 cm (5)

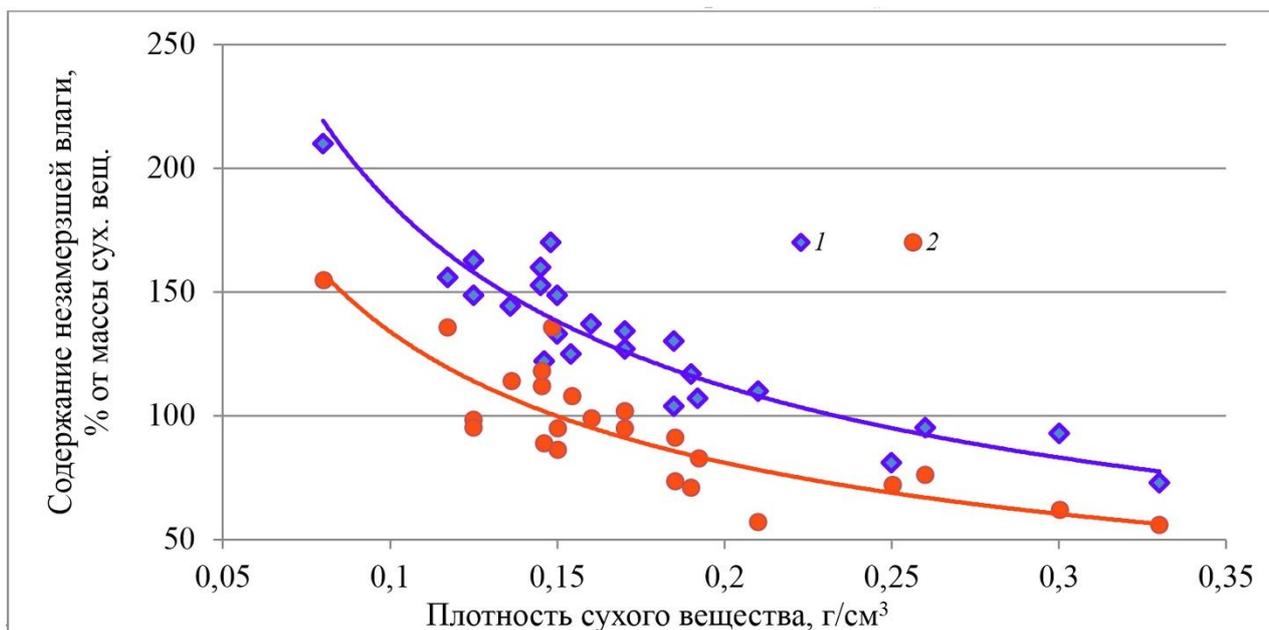


Рис. 4. Зависимость содержания незамёрзшей влаги от плотности сухого вещества в деятельном слое осушенных болот при температуре $-0,5$ (1) и -3 °C (2)

Fig. 4. Dependence of unfrozen moisture content on the density of dry matter in the active layer of dried marshes at temperature of $-0,5$ (1) and -3 °C (2)

Аналитическое выражение зависимости для $T = -0,5$ °C принимает вид:

$$W_{\text{нз}} = 34,36 \rho^{-0,733}, \text{ при } R = 0,93;$$

для $T = -3$ °C:

$$W_{\text{нз}} = 25,15 \rho^{-0,726}, \text{ при } R = 0,86.$$

На основе экспериментальных определений количества незамерзшей воды от температуры (T , °C) и плотности сухого вещества торфа (ρ , г/см³) получена зависимость $W_{\text{нз}} = f(\rho, T)$ в виде:

$$W_{\text{нз}} = 1/\rho^{0,69} (0,0147^{0,3} + 0,016),$$

где $W_{\text{нз}}$ — содержание незамерзшей влаги, % от массы сух. вещ. торфа.

Погрешность расчета составляет ± 15 %.

Формула справедлива для мезоолиготрофных осушенных и естественных болот Севера европейской территории России в интервале плотностей от 0,06 до 0,40 г/см³. С помощью этой зависимости возможно прогнозировать содержание $W_{\text{нз}}$ при различных температурах, если известна динамика плотности в процессе осушения.

Процесс инфильтрации талых вод в мерзлую торфяную залежь связан с появлением кристаллов льда, вызванных замерзанием части инфильтрующейся воды в капиллярной системе деятельного слоя. Уменьшение действующего диаметра капилляров неизбежно приводит к уменьшению коэффициента влагопроводности. Одновременно при инфильтрации повышается температура мерзлой торфяной залежи в сторону 0 °C, происходит сдвиг фазового равновесия, что приводит в первую очередь к увеличению содержания слабоподвижной влаги в тонких порах.

В первом приближении расчет коэффициента влагопроводности может быть выполнен на основании полученной нами зависимости [12]:

$$K = K_{\text{т}} (1 - \text{Л}/\text{Р}) [(1 - \text{Р}) / (1 - \text{Р} + \text{Л})]^2 [(W - W_{\text{нз}}) / (\text{Р} - \text{Л} - W_{\text{нз}})]^{3,5},$$

где K и $K_{\text{т}}$ — коэффициенты влагопроводности мерзлой и талой почвы соответственно; Р — пористость; W — исходная влажность; $W_{\text{нз}}$ — содержание незамерзшей влаги при заданной температуре; Л — льдистость среды, определяемая из выражения $\text{Л} = W - W_{\text{нз}}$.

Значения Р , W , $W_{\text{нз}}$ и Л выражены в долях от объема. Исходная влажность может быть принята равной наименьшей влагоемкости или 0,85–0,95 Р .

Полное прекращение инфильтрации или горизонтальной фильтрации является следствием закупорки свободных пор льдом, образующимся в процессе теплового взаимодействия талой воды с мерзлой залежью. Таким образом, процесс теплового взаимодействия зависит от температуры залежи перед началом снеготаяния, ее влажности и содержания незамерзшей влаги в этот период.

Выводы

Отличительной особенностью влаги в деятельном слое болот является способность ее части не замерзать при отрицательных температурах. Отсутствие сведений о содержании незамерзшей влаги при этих температурах обуславливает возникновение погрешностей при расчете характеристик дренажных мелиоративных систем на болотах Севера. Содержание незамерзшей влаги определялось лабораторным путем на образцах торфа, отобранных на естественных и осушенных болотах. Установлено, что оно зависит от температуры мерзлого торфа и плотности сухого вещества торфа.

Незамерзшая влага в мерзлом торфе присутствует во всем спектре температур от 0 до –15,0 °C и ниже. С понижением температуры ее содержание уменьшается с образованием двух зон: зоны интенсивных фазовых переходов (от 0 до –3 °C), где изменение содержания $W_{\text{нз}}$ при падении температуры на 1,0 °C составляет более чем 10–30 %, и зоны затухающих фазовых превращений (от –3 °C и ниже), где этот показатель существенно меньше.

Послойное содержание незамерзшей влаги естественных (неосушенных) болот уменьшается по глубине деятельного слоя. При температуре –0,5 °C наибольшее ее содержание наблюдается в верхнем слое — 203 % от массы сухого вещества торфа. На нижних горизонтах (99–110 см) при этой же температуре ее содержание не более 90,3 %. Но в отличие от неосушенных болот послойное содержание незамерзшей влаги в деятельном слое осушенных болот увеличивается по глубине этого слоя. На осушенном болоте в районе Мурманска (на глубине 50 см) содержание $W_{\text{нз}}$ равно 210 % от массы сухого вещества торфа. На нижних горизонтах залежи (99–110 см), которые не подвергаются воздействию технических средств и сохраняют естественную плотность, ее содержание остается без изменений — 90,3 %. Это можно объяснить тем, что в данных

горизонтах деятельного слоя осушенных болот с плотностью больше 0,15–0,20 г/см³ практически отсутствует внутриклеточная влага, замерзающая при более низких температурах, чем в слоях с меньшей степенью разложения остатков растительности.

Полученные закономерности формирования незамерзшей влаги в мерзлом деятельном слое осушенных болот позволяют оценить его водопроницаемость и эффективность работы мелиоративной системы в весенний период при образовании водонепроницаемого слоя, когда дренажная система не обеспечивает сброса талых вод, а также дают возможность принять решение о применении поглотителей с фильтрующей засыпкой на дренах и коллекторах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Крючков В. В.* Прогноз антропогенных воздействий на природу Крайнего Севера // Биологические проблемы Севера. Растениеводство. Петрозаводск, 1976. С. 94–97.
2. *Дайшев Т. И.* Особенности осушения болот дренажем в условиях Севера // Труды СевНИИГиМ. 1958. Вып. 15. С. 97–141.
3. *Переверзев В. Н.* Влияние окультуривания на изменения некоторых водно-физических свойств болотных почв в условиях Мурманской области // Вопросы ботаники и почвоведения в Мурманской области. М.-Л., 1962. С. 166–172.
4. *Нестеренко И. М.* Мелиорация земель Европейского Севера СССР. Л.: Наука, 1979. 356 с.
5. *Калюжный И. Л.* Гидрофизические свойства деятельного слоя болот Кольского полуострова // Вестник КНЦ РАН. 2019. № 1 (11). С. 14–29.
6. Наставление гидрологическим станциям и постам // Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Л.: Гидрометеиздат, 1990. Вып. 8. 360 с.
7. *Калюжный И. Л., Павлова К. К., Терезулов Э. Х.* Лабораторные приборы и оборудование для исследования процессов теплофизического взаимодействия воды с мерзлой торфяной залежью // Труды ГГИ. 1974. Вып. 222. С. 193–204.
8. *Нерсесова З. А.* Фазовый состав воды в грунтах при замерзании и оттаивании // Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов. М., 1953. С. 29–40.
9. *Кузьмин П. П.* Калориметрический метод определения льдистости мерзлой почвы // Труды ГГИ. 1966. Вып. 135. С. 158–171.
10. *Ананян А. А.* Вода в горных породах, миграция ее при промерзании // Связанная вода в дисперсных системах. М.: Изд-во МГУ. 1970. Вып. 1. С. 146–154.
11. Фазовый состав воды в мерзлых породах / под ред. *Э. Д. Ершова*. М.: Изд-во МГУ. 1979. 180 с.
12. *Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А.* Гидрофизические исследования при мелиорации переувлажненных земель. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 261 с.
13. *Нерсесова З. А.* Влияние обменных катионов на миграцию воды и пучение грунтов при промерзании // Исследования по физике и механике мерзлых грунтов: Сборник 4. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 22–52.
14. *Калюжный И. Л., Лавров С. А.* Содержание незамерзшей влаги в почвах речных водосборов при отрицательных температурах // Метеорология и гидрология. 2002. № 10. С. 58–67.
15. *Романов В. В.* Гидрофизика болот. Л.: Гидрометеиздат. 1961, 359 с.

Сведения об авторе

Калюжный Игорь Леонидович — кандидат технических наук, заведующий лабораторией гидрофизики Государственного гидрологического института
E-mail: hfl@mail.ru

Author Affiliation

Igor L. Kalyuzhny — PhD (Engineering), Head of the Laboratory of Hydro-Physics of the State Hydrological Institute
E-mail: hfl@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Калюжный, И. Л. Содержание незамерзшей влаги в сезонно мерзлом деятельном слое болот Кольского полуострова / *И. Л. Калюжный* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 55–64.

Reference

Kalyuzhny Igor L. Content of Non-Frozen Moisture in a Seasonally Frozen Active Layer of the Kola Peninsula Marshes. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3. (11), pp. 55–64. (In Russ.).

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ЕСТЕСТВЕННОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ МАССИВОВ СКАЛЬНЫХ ПОРОД

Э. В. Каспарьян¹, Ю. В. Федотова², Н. Н. Кузнецов¹

¹ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

²ФГБУН Институт горного дела Хабаровского федерального исследовательского центра ДВО РАН (ХФИЦ ДВО РАН)

Аннотация

Излагается анализ развития представлений о параметрах естественных полей напряжений массивов горных пород от самых первых гипотез и до принятых в настоящее время положений, основанных на результатах непосредственных измерений.

Приведены результаты длительных наблюдений в массиве пород одного из рудников Хибинских апатит-нефелиновых месторождений, а также результаты математического моделирования, на основании которых сформулировано предположение о формировании тектонической составляющей общего поля напряжений за счет энергии, поступающей по некоторым (активным) структурным неоднородностям (разломам) из глубинных слоев Земли. Вследствие этого реальное поле естественных напряжений характеризуется резко неоднородной, мозаичной структурой и иерархичным строением, при котором параметры поля существенно различаются в пределах различных структурных блоков.

Ключевые слова:

геомеханика, массив горных пород, разломы, естественное напряженное состояние, гравитационно-тектоническое поле напряжений, натурные наблюдения, сейсмические события, математическое моделирование.

DEVELOPMENT OF CONCEPTIONS ABOUT THE NATURAL STRESS STATE OF HARD ROCK MASSIFS

Eduard V. Kasparyan¹, Iuliia V. Fedotova², Nikolai N. Kuznetsov¹

¹Mining Institute of KSC RAS

²Mining Institute of FEB RAS

Abstract

The article presents the analysis of development of conceptions about the natural stress field parameters of rock massifs from the very first hypotheses to the currently adopted statements based on the results of direct measurements.

The results of long-term observations in one of the mines of the Khibiny apatite-nepheline deposits are given. Also, with using the mathematical modeling method the assumption of tectonic component formation of the general stress field due to the energy supply from deep layers of the Earth by some (active) structural discontinuities (faults) is formulated.

As a result, the real field of natural stresses is characterized by a sharply heterogeneous and mosaic structure in which the field parameters differ significantly within the various structural blocks.

Keywords:

geomechanics, rock massif, faults, natural stress state, gravitational-tectonic stress field, in situ measurements, seismic events, mathematical modeling.

Введение

Породные массивы как объекты исследования в геомеханике имеют одну очень существенную особенность по сравнению с объектами, рассматриваемыми в механике вообще или в механике твердых деформируемых тел в частности. До производства работ, т. е. еще в своем изначальном состоянии они уже находятся в напряженном состоянии, которое обычно называют *естественным*, или *начальным напряженным состоянием*.

В настоящее время считается, что можно выделить две отдельные, но тесно взаимосвязанные группы основных факторов, определяющих напряженно-деформированное состояние верхней части земной коры, а следовательно, и начальное напряженное состояние массивов горных пород:

- внешние факторы — проявления планетарных воздействий, в первую очередь от ближайших планет и Солнца;
- внутренние факторы — проявления процессов, происходящих во внутренних слоях Земли и обуславливающих возникновение различных силовых полей, в частности, гравитационных и тектонических сил.

При этом результаты исследований по оценке степени влияния внешних факторов на изменение напряженного состояния массивов горных пород, полученные к настоящему времени, показывают, что эту группу целесообразно рассматривать как причины возможной нестабильности состояния массивов только в пределах достаточно длительных периодов времени и для достаточно крупных участков земной коры. При рассмотрении конкретных вопросов геомеханики применительно к технологии ведения горных работ планетарные силы можно не учитывать при оценке силовых параметров, определяющих условия поведения конкретных участков массива горных пород на данном (ограниченном) отрезке времени.

Что касается второй группы факторов, то здесь представления о природе и механизмах возникновения начального напряженного состояния массивов горных пород менялись по мере развития общих представлений о Земле и о геологических и тектонических процессах в ее недрах.

Одной из первых гипотез (1878 г.) о природе естественных полей напряжений в верхней части земной коры Земли является гипотеза А. Гейма [1], согласно которой массивы горных пород вследствие действия гравитационных сил в течение весьма длительного времени (геологических эпох) находятся в скрыто-пластическом состоянии и поэтому все нормальные компоненты тензора напряжений по всем осям координат равны, а все касательные напряжения равны нулю.

$$\begin{aligned}\sigma_x &= \sigma_y = \sigma_z = \gamma H; \\ \tau_{xy} &= \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0,\end{aligned}\tag{1}$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ — нормальные компоненты тензора напряжений по осям координат x, y, z ; $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ — касательные компоненты тензора напряжений; γ — объемный вес налегающих пород; H — глубина рассматриваемой точки массива от дневной поверхности.

Другими словами, по А. Гейму естественное напряженное состояние массива горных пород является гидростатическим. Эти представления являлись общепринятыми в течение более 50 лет. Однако дальнейшее изучение свойств пород различных массивов показало, что лишь немногие породы проявляют в достаточной степени пластические свойства, а основная масса пород в большей степени (часто вплоть до потери прочности) склонны к проявлению упругих деформаций.

Исходя из этого академиком АН СССР А. Н. Динником в 1925 г. была сформулирована гипотеза о естественном напряженном состоянии массива пород, предполагавшемся идеально упругой сплошной изотропной средой, в соответствии с распределением упругих напряжений [2], но при этом основными действующими силами по-прежнему предполагались силы гравитации. Тогда компоненты тензора напряжений определяются:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \gamma H; \\ \sigma_x &= \sigma_y = \lambda \gamma H; \\ \lambda &= \frac{\mu}{1 - \mu},\end{aligned}\tag{2}$$

где λ — коэффициент бокового отпора (отношения горизонтальных и вертикальных напряжений); μ — коэффициент Пуассона (отношения поперечных и продольных деформаций пород).

В случае распределения напряжений в массиве пород по А. Н. Диннику гидростатическое состояние пород А. Гейма является частным случаем, когда $\mu = 0,5$, а $\lambda = 1$, что в практике горных работ встречается достаточно редко, например, для массивов, представленных сильно увлажненными глинами или пльвунными породами.

Представления о распределении напряжений в массивах пород на основе использования модели упругого изотропного пространства (гипотеза А. Н. Динника) оказались очень продуктивными и нашли широкое применение в практике ведения горных работ для расчетов устойчивости обнажений пород в выработках, а также для разработки практических мероприятий по обеспечению безопасности. При этом достаточно легко можно было учесть естественную изменчивость свойств реальных массивов, применяя модели более сложных упругих сред, например, трансверсально-изотропного тела.

По мере увеличения опыта ведения горных работ в различных горно-геологических условиях постепенно накапливались данные, которые недостаточно соответствовали представлениям о напряженном состоянии массивов пород согласно гипотезе А. Н. Динника.

Первые такие сообщения появились в начале XIX в. [3], еще до опубликования работ А. Н. Динника, однако потребовалось еще более полувека, чтобы эти факты начали привлекать серьезное внимание исследователей. В частности, в 1960-х гг. в пределах верхних горизонтов Хибинских рудников, на сравнительно небольших глубинах от дневной поверхности, стали наблюдаться разрушения выработок с активным проявлением стреляния горных пород. Эти проявления горного давления не могли быть объяснены с позиций гравитационных моделей и вызвали появление принципиально новой концепции — гравитационно-тектонической модели напряженно-деформированного состояния массива горных пород [4]. В настоящее время эта концепция является общепринятой.

В соответствии с ее положениями естественное поле напряжений в массивах горных пород в общем случае определяется преимущественно совместным действием двух независимых полей — гравитационным и тектоническим.

Гравитационное поле напряжений при этом повсеместно и действует всегда, имеет относительно простую структуру, в общем случае описывается уравнениями (2). Оно обусловлено действием гравитационных сил, которые в соответствии с законом всемирного тяготения Ньютона характеризуются ускорением свободного падения g . Ускорение свободного падения в общем случае является функцией расстояния r от центра Земли и плотности пород ρ . Во многих практических расчетах ускорение свободного падения можно принимать постоянным и равным $g = 981 \approx 1000 \text{ см/с}^2$.

Существенно большей сложностью отличаются тектонические поля от гравитационных, они формируются за счет поступления энергии из глубинных слоев Земли и в настоящее время обнаруживаются непосредственно или косвенно в большинстве (~60 %) массивов, представленных высокопрочными изверженными породами, с меньшей вероятностью (~20 %) — в массивах осадочных пород.

Анализ результатов инструментальных измерений параметров гравитационно-тектонических полей, выполненных в различных точках мира [5, 6], позволил исследователям выдвинуть различные гипотезы происхождения тектонических компонентов полей напряжений общего вида.

Из этих гипотез наиболее обоснованными являются представления, по которым горизонтальные (или близкие к ним) напряжения связываются с процессами внутренней тектонической деятельности Земли, в том числе с поднятиями магмы по разломам всемирной рифтовой системы, обуславливающими перемещения тектонических плит земной коры. Считается, что движение и взаимодействие плит является источником возникновения горизонтальных напряжений [7, 8], которые от 3 до 20 раз могут превышать величины напряжений, обусловленные действием веса налегающих пород.

На основании сформулированных представлений о гравитационно-тектонических полях стало возможным удовлетворительно объяснять специфические особенности деформирования и разрушения пород в горных выработках и прогнозировать грозные динамические проявления горного давления типа горных ударов и техногенных землетрясений.

При этом исследователи основное внимание уделяли определению величин максимальных компонент поля напряжений и их направлениям в пространстве, оставляя без должного внимания особенности структуры гравитационно-тектонических полей и соотношений между их компонентами. В результате некоторые особенности гравитационно-тектонических полей напряжений массивов пород не получали удовлетворительных объяснений.

В первую очередь это касается отсутствия физического обоснования особенностей гравитационно-тектонических полей напряжений, в частности, преимущественно горизонтального направления тектонических напряжений: узкой направленности максимальных горизонтальных напряжений по отношению к элементам залегания рудных тел (преимущественно вдоль простираения), резкому различию величин горизонтальных компонент поля между собой.

В результате выполнения многолетнего мониторинга геомеханического состояния массивов пород на различных месторождениях Кольского п-ова для упомянутых вопросов удалось сформулировать объяснения и предложить свое видение происхождения гравитационно-тектонических полей напряжений, по крайней мере в пределах участков в массивах пород, ограниченных размерами шахтных полей, и в течение периодов времени, сопоставимых со временем отработки месторождений.

Методика выполнения и результаты исследований в районе Саамского разлома Кукисвумчоррского месторождения апатит-нефелиновых руд

Результаты деформационного и сейсмического мониторинга состояния массива пород.

В 2015 г. на основании результатов непосредственных многолетних измерений перемещений пород Саамского разлома в пределах шахтного поля Кировского рудника КФ АО «Апатит» нами было сформулировано предположение о возникновении горизонтальных напряжений вследствие постоянного подвода энергии из глубинных слоев Земли по определенным (активным) разломам. Это предположение снимает ряд вышеуказанных вопросов и противоречий и удовлетворительно объясняет многие явления, которые проявляются в массивах пород [9]. По сути, оно фактически повторяет механизм возникновения полей напряжений в Земной коре вследствие подъема магмы по разломам Мировой рифтовой системы, но переносит этот механизм на существенно более мелкие структуры типа региональных разломов (рис. 1).

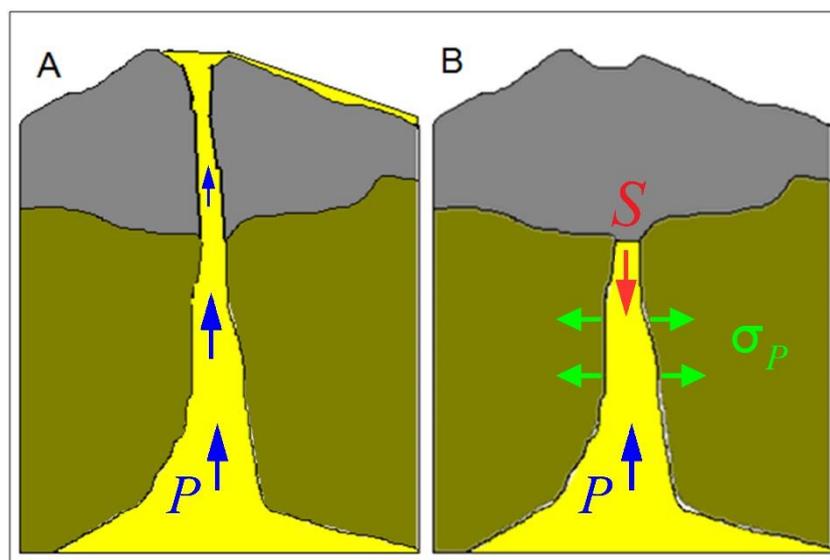


Рис. 1. Схема поднятий тела разлома при отсутствии противодействующих сил (А) и при наличии сил сопротивления (В):

P — давление из нижележащих слоев по разлому; σ_p — растягивающие напряжения; S — силы сопротивления

Fig. 1. Scheme of the fault body elevations in the absence of opposing forces (A) and in the presence of resistance forces (B):

P — pressure from the underlying layers along the fault; σ_p — tensile stresses; S — resistance forces

Развивая высказанное предположение, мы можем прийти к заключению, что силы поднятия в теле разлома неизбежно должны уравновеситься силами сопротивления со стороны веса определенного объема пород в теле того же разлома и силами трения между породами тела разлома и вмещающего массива. В этом случае прекращается перемещение пород в разломе, но вследствие продолжающейся энергетической подпитки возникают силы давления на борта разлома, т. е. нормальные к его контактными плоскостям.

Если указанный механизм наблюдается в случае разломов с близвертикальной ориентацией в пространстве (а таких разломов большинство), то силы давления на борта разломов имеют горизонтальное направление. При другой ориентации разломов, в частности наклонной, силы давления будут иметь наклонное направление и изменять величину вертикальных гравитационных напряжений (что достаточно часто фиксируется в ходе непосредственных натурных измерений, но пока не находило удовлетворительного объяснения).

С учетом резких различий деформационных характеристик пород тела разлома и вмещающих пород становится понятным преимущественное направление максимальных напряжений в направлении, нормальном к простиранию разломов, и минимальных — в направлении простирания самого разлома. При этом необходимо иметь в виду, что рассмотренный механизм образования компонент напряжений гравитационно-тектонического поля возникает только в случае некоторых так называемых активных разломов, выявление которых является основной задачей всех работ по геодинамическому районированию массивов пород месторождений.

Непосредственные наблюдения смещений в теле Саамского разлома и его окружающем массиве в пределах шахтного поля выполнялись путем высокоточного нивелирования по пунктам специально заложенных полигонов в период 1991–2013 гг. (рис. 2).

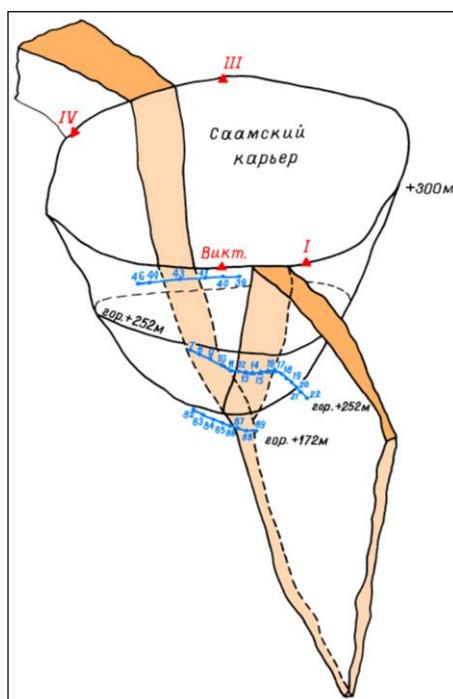


Рис. 2. Общая схема расположения нивелирных и светодальномерных полигонов в районе Саамского разлома (Кировский рудник КФ АО «Апатит»):

▲ III — пункты наземного светодальномерного полигона в Саамском карьере;

40 39 — пункты подземных нивелирных полигонов

Fig. 2. The general layout of the levelling and optical distance measurement testing sites in the Saamsky fault area (Kirovsky mine, KB Apatit JSC):

▲ III — points of the surface optical distance measurement testing site in the Saamsky open pit;

40 39 — points of underground levelling testing sites

После 2013 г. в силу различных причин проводить наблюдения было невозможно и только в феврале 2018 г. удалось выполнить одну серию наблюдений на горизонте +252 м. Результаты всех измерений для наиболее активных реперов, располагающихся в теле Саамского разлома на горизонте +252 м приведены на рис. 3. Как следует из данных рис. 3, результаты, полученные в феврале 2018 г., т. е. через 4,5 года после последнего измерения в 2013 г., показали отсутствие подъема тела разлома и практически полное совпадение (в пределах точности измерений) положения реперов с предыдущими измерениями.

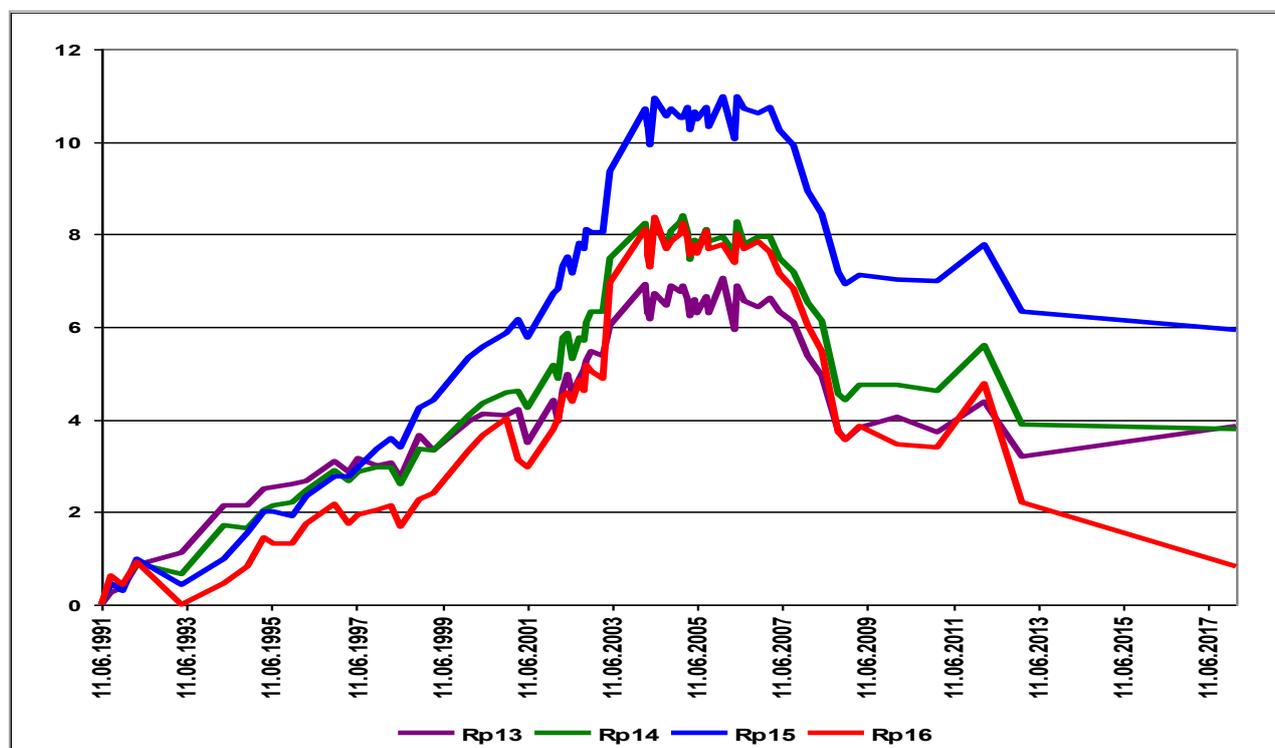


Рис. 3. Результаты измерений вертикальных перемещений реперов в теле Саамского разлома на горизонте +252 м (Кировский рудник КФ АО «Апатит»)

Fig. 3. The results of measurements of the vertical displacements of reference benchmarks in the Saamsky fault body, level +252 m (Kirovsky mine, KB Apatit JSC)

Это может свидетельствовать о двух вариантах состояния разлома:

- первый вариант — подток энергии из глубинных слоев прекратился, а тело разлома находится в стабильном разгруженном состоянии;
- второй вариант — подток энергии из глубинных слоев продолжается, но перемещения пород разломной зоны затруднены (компенсируются силами сопротивления), а потому нарастает степень напряженности самого тела разлома, которая передается окружающему массиву.

По информации линейных работников рудника, состояние массива в районе Саамского разлома в настоящее время характеризуется достаточно высокой степенью напряженности. Об этом также свидетельствуют результаты мониторинга с помощью автоматизированной системы контроля сейсмического состояния массива (АСКСМ) Кировского рудника, которая фиксирует многочисленные сейсмические события различного энергетического ранга в районе Саамского разлома (рис. 4).

С учетом условий проведения горных работ в районе Саамского разлома и данных рис. 4 второй вариант геомеханической ситуации представляется более реальным.

Об этом же свидетельствуют данные о выделившейся сейсмической энергии в районе Саамского разлома в период 2008–2018 гг. (рис. 5).

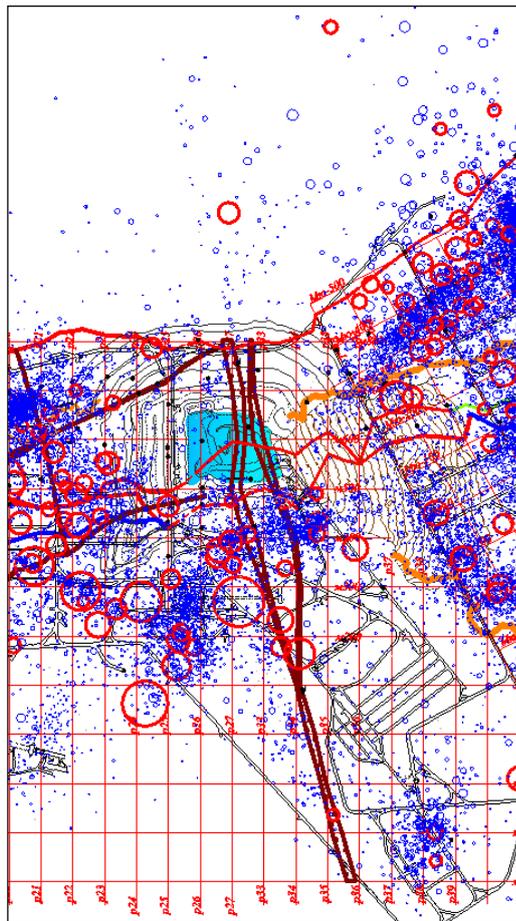


Рис. 4. Пространственное распределение сейсмических событий вокруг Саамского разлома (Кировский рудник КФ АО «Апатит») за период 2008–2018 гг.

Окружности обозначают сейсмические явления, диаметр окружностей характеризует мощность выделяемой энергии: синие — слабые события, красные — сильные. Бордовым цветом выделены границы разрывных нарушений Саамского разлома, голубым — затопленная часть карьера. Линии: черные — выработки; красные — граница рудного тела; оранжевые — проекция бровки обрушения

Fig. 4. Spatial distribution of seismic events around the Saamsky fault (Kirovsky mine, KB Apatit JSC) for 2008–2018. Circles — seismic events; the circles' diameter characterizes the power of the emitted energy: blue — weak events; red — strong. Burgundy — faults; blue — the flooded part of the open pit. Lines: black — openings; red — the ore body boundary; orange — a projection of the failure edge

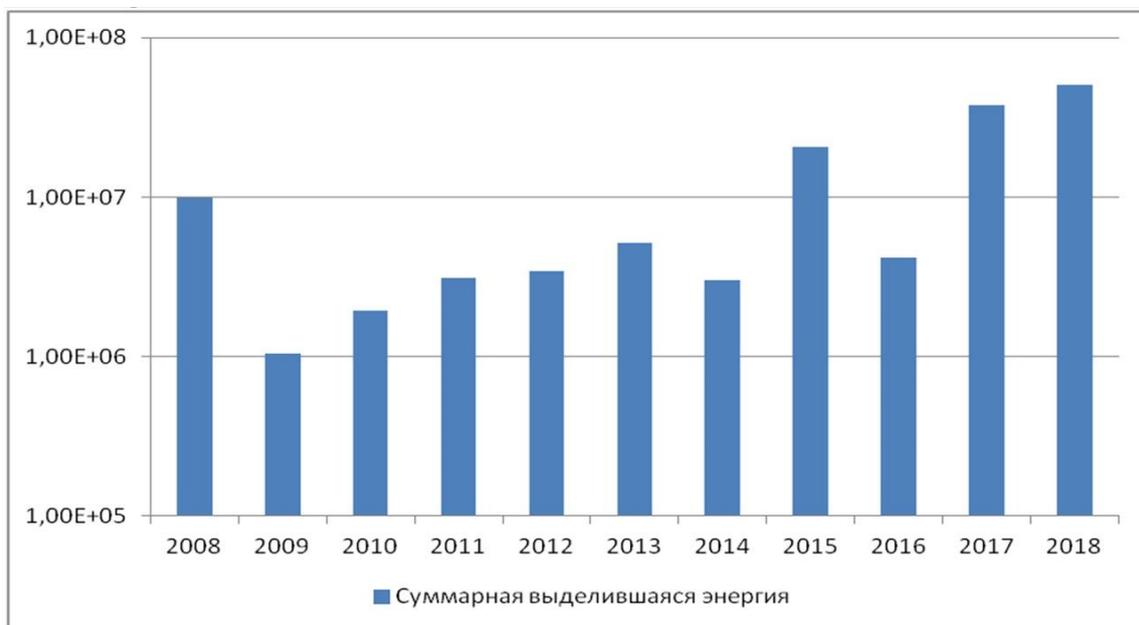


Рис. 5. Распределение количества выделившейся сейсмической энергии (суммарной по годам) в районе Саамского разлома за период 2008–2018 гг. (Кировский рудник КФ АО «Апатит»).

Гистограмма составлена с. н. с. Горного института КНЦ РАН О. Г. Журавлёвой по материалам АСКСМ Кировского рудника КФ АО «Апатит»

Fig. 5. The distribution of the amount of released seismic energy (total for years) in the Saamsky fault area for the period of 2008–2018 (Kirovsky mine, KF Apatit JSC). The histogram is compiled by O. Zhuravleva, Senior Researcher of the Mining Institute of KSC RAS, based on materials of automated monitoring system for the seismic state of the rock mass of the Kirovsky mine, KF Apatit JSC

Таким образом, период 2008–2018 гг. характеризуется одновременно прекращением подъема тела разлома (рис. 3) и увеличением степени напряженности массива в непосредственной близости от разлома (рис. 5). Это подтверждает предположение об энергетической подпитке массива непосредственно через Саамский разлом и связь этой подпитки с напряженностью массива, т. е. тектоническим полем напряжений.

Результаты математического моделирования напряженного состояния массива пород в районе Саамского разлома.

С целью проверки высказанного предположения о постоянной энергетической подпитке массива по Саамскому разлому и уточнения условий возникновения высоких горизонтальных напряжений было проведено математическое моделирование с применением метода конечных элементов для участка массива пород в пределах шахтного поля Кировского рудника КФ АО «Апатит» между Северным и Саамским разломами.

Моделируемый участок представляет собой гористую местность с высотами до 1500 м и различными физико-механическими свойствами для рудного тела, вмещающих пород и разломов (рис. 6), в общих чертах соответствует реальной ситуации массива пород Кировского рудника.

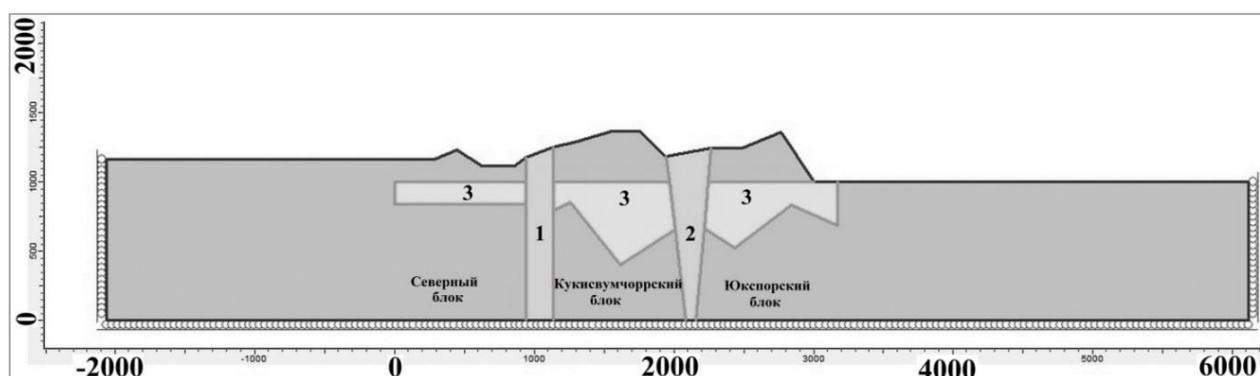


Рис. 6. Модель исследуемого участка массива пород:
1 — Северный разлом; 2 — Саамский разлом; 3 — рудное тело;
остальные блоки — вмещающие породы

Fig. 6. Model of the studied rock mass sector:
1 — North fault; 2 — Saamsky fault; 3 — ore body; the remaining blocks are host rocks

На основании данных экспериментальных исследований для блоков модели были приняты следующие физико-механические свойства:

- разломные зоны — объемный вес $\gamma = 1,3 \text{ г/см}^3$, модуль упругости $E = 1,0 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,49$;
- вмещающие породы — объемный вес $\gamma = 2,5 \text{ г/см}^3$, модуль упругости $E = 72,2 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,28$;
- рудное тело — объемный вес $\gamma = 2,0 \text{ г/см}^3$, модуль упругости $E = 65,6 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,20$.

Моделируемые структуры — Северный и Саамский разломы — являются структурами III порядка и представляют собой границы Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений.

В частности, Северный разлом является северо-западной границей Кукисвумчоррского месторождения, залегает практически вертикально вкрест простирания рудного тела на глубину ориентировочно 40 км, имеет сложное строение и мощность до 200 м.

Саамский разлом является одновременно восточной границей Кукисвумчоррского месторождения и западной границей Юкспорского месторождения. Он залегает также практически отвесно вкрест простирания рудного тела на глубину ориентировочно 36 км. Разлом имеет сходное с Северным разломом строение и переменную мощность от 10 до 136 м.

Для условий исследуемой модели учитывалось действие веса пород. У боковых границ фиксировались перемещения по координате X , у нижней границы — по координате Y .

Всего для модели было рассмотрено пять различных вариантов граничных условий.

Первый вариант представляет собой модель с закреплением нижней и боковых границ и действием только гравитационных сил. На рис. 7 приведено распределение горизонтальных σ_{xx} , вертикальных σ_{yy} и касательных τ_{xy} компонентов поля напряжений.

Для этих граничных условий в целом характерно постепенное увеличение значений всех напряжений с глубиной. При этом величины горизонтальных напряжений σ_{xx} достаточно малы и составляют единицы мегапаскалей. Направления главных напряжений σ_1, σ_3 — соответственно преимущественно вертикальное и горизонтальное. Величины касательных напряжений τ_{xy} — минимальны.

Эта ситуация характерна для состояния массива, когда разломы являются неактивными и по ним энергия из глубинных слоев не поступает.

В качестве **второго варианта** рассмотрена ситуация, когда к нижней границе модели на всем протяжении исследуемого участка массива горных пород приложена нагрузка, равная 100 МПа (рис. 8).

В этом случае в нижней части межразломного пространства формируются высокие сжимающие напряжения до 250 МПа, превышающие по своим значениям вертикальные составляющие. В средней и верхней части моделируемого пространства наблюдаются высокие растягивающие напряжения (до –200 МПа). Также для заданных граничных условий установлено, что ниже отметки 400 м в межразломном пространстве и в разломных зонах главные напряжения σ_1 имеют субгоризонтальную ориентацию, а выше этой отметки — субвертикальную.

В целом, полученные результаты мало соответствуют реальной горнотехнической ситуации в рассматриваемом массиве пород.

В **третьем варианте** рассматривалась ситуация, когда нагрузка, снизу равная 100 МПа (рис. 9), приложена только к разломным зонам, т. е. моделируется эффект поступления энергии по разломам, но при этом разломы сверху открыты и ничто не препятствует перемещению пород в теле разлома вверх.

В этом случае горизонтальные напряжения σ_{xx} формируются только в нижней части моделируемой области. В верхней части горизонтальные напряжения близки к нулевым значениям, вертикальные компоненты по своим значениям практически соответствуют величинам при действии только гравитации (рис. 7).

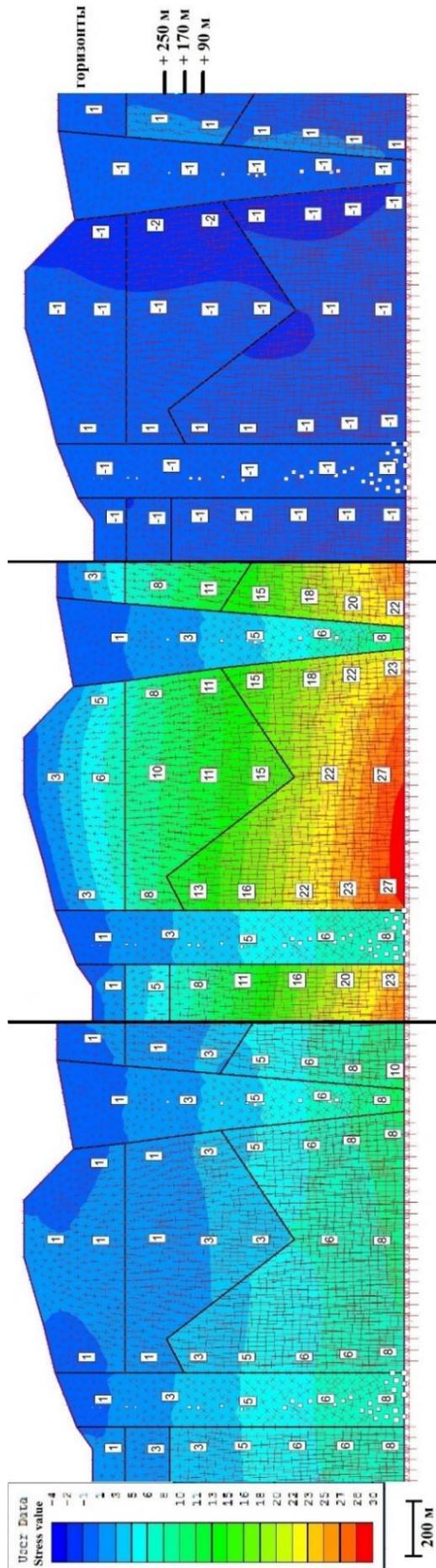
При этом необходимо иметь в виду, что действующая по разломам нагрузка уравнивается весом пород разломной зоны и геометрические параметры разломных зон существенно влияют на напряженное состояние массива горных пород.

Этот вариант по распределению напряжений мало отличается от варианта, когда массив нагружен только гравитационными силами.

В **четвертом варианте** рассмотрена ситуация, когда нагрузка, снизу равная 100 МПа, приложена к разломным зонам, но при этом разломы сверху закрыты и вертикальные перемещения ограничиваются (рис. 10).

В этом варианте в нижней части моделируемого пространства появляются небольшие по величине горизонтальные напряжения сжатия (до 10 МПа), вертикальные напряжения в межразломном пространстве плавно возрастают сверху вниз, но имеют небольшие значения, касательные напряжения небольшие по величине.

При увеличении нагрузки на разломы снизу (**пятый вариант**) до 500 МПа (рис. 11) зона действия горизонтальных напряжений увеличивается, напряжения существенно возрастают, а в верхней части моделируемой области наблюдаются горизонтальные напряжения растяжения. Вертикальные напряжения по величине меньше горизонтальных, касательные напряжения имеют средние значения.



а б в

Рис. 7. Распределение горизонтальных σ_{xx} (а), вертикальных σ_{yy} (б) и касательных τ_{xy} (в) компонентов поля напряжений в блоках модели при закреплении нижней и боковых границ и действии только гравитационных сил (цифры обозначают значения напряжений, МПа; стрелками показано направление действия главных максимальных σ_1 и минимальных σ_3 напряжений)

Fig. 7. Distribution of horizontal σ_{xx} (a), vertical σ_{yy} (б) and tangential τ_{xy} (в) components of the stress field in the model blocks when the lower and lateral boundaries are fixed and only gravitational forces act (the numbers indicate the stress values, МPa; arrows indicate the direction of the principal maximum σ_1 and minimum σ_3 stresses)



Рис. 8. Распределение горизонтальных σ_{xx} (а), вертикальных σ_{yy} (б) и касательных τ_{xy} (в) компонентов поля напряжений в блоках модели при закреплении нижней и боковых границ и действии нагрузки снизу величиной 100 МПа на весь участок исследуемого массива горных пород (цифры обозначают значения напряжений, МПа; стрелками показано направление действия главных максимальных σ_1 и минимальных σ_3 напряжений)

Fig. 8. Distribution of horizontal σ_{xx} (a), vertical σ_{yy} (b) and tangential τ_{xy} (v) components of the stress field in the model blocks when the lower and lateral boundaries are fixed and the load is loaded below 100 MPa over the entire section of the rock mass under study (figures indicate the values stress, MPa; arrows indicate the direction of action of the principal maximum σ_1 and minimum σ_3 stresses)

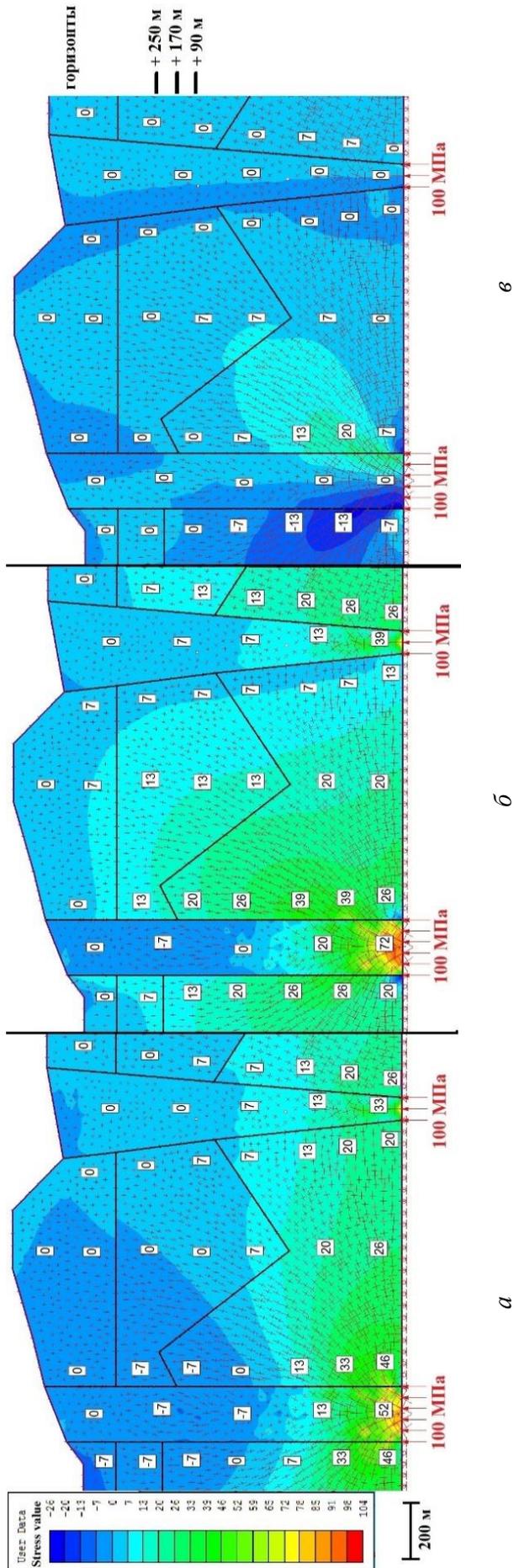
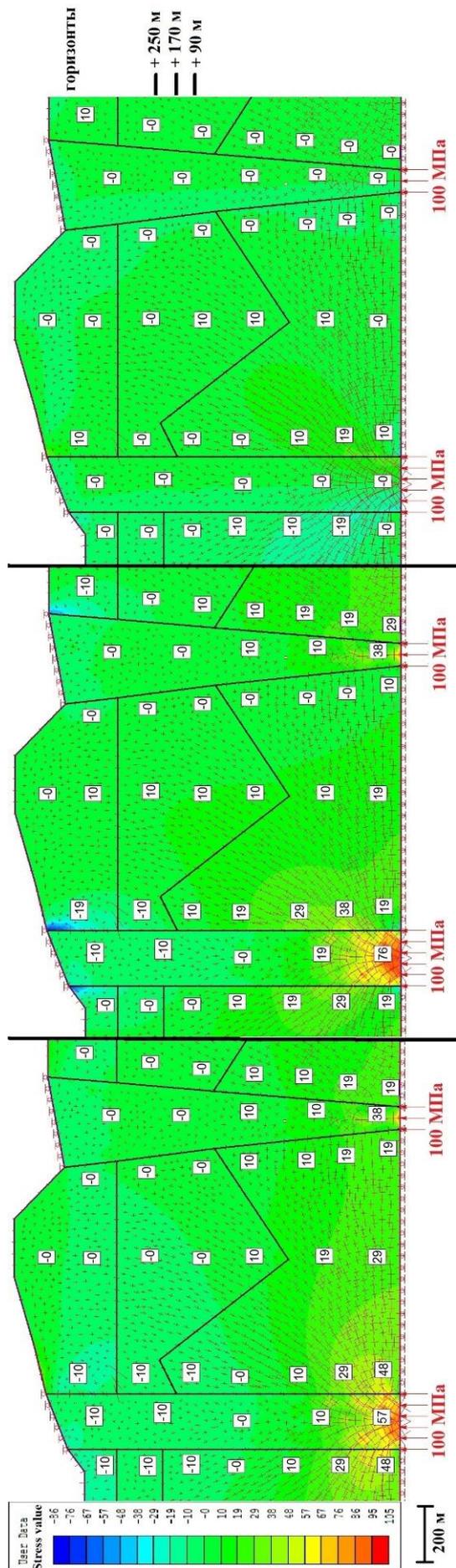


Рис. 9. Распределение горизонтальных σ_{xx} (а), вертикальных σ_{yy} (б) и касательных τ_{xy} (в) компонентов поля напряжений в блоках модели при действии нагрузки величиной 100 МПа снизу по разломным зонам (цифры обозначают значения напряжений, МПа; стрелками показано направление действия главных максимальных σ_1 и минимальных σ_3 напряжений)

Fig. 9. Distribution of horizontal σ_{xx} (a), vertical σ_{yy} (b) and tangential τ_{xy} (v) components of the stress field in the model blocks under a load of 100 MPa from the bottom along fault zones (figures indicate stress values, MPa; arrows indicate the direction of the principal maximum σ_1 and minimum σ_3 stresses)



а б 6

Рис. 10. Распределение горизонтальных σ_{xx} (а), вертикальных σ_{yy} (б) и касательных τ_{xy} (в) компонентов поля напряжений в блоках модели при действии нагрузки величиной 100 МПа снизу по разломным зонам и при ограничении вертикальных перемещений по разломам сверху (цифры обозначают значения напряжений, МПа; стрелками показано направление действия главных максимальных σ_1 и минимальных σ_3 напряжений)

Fig. 10. Distribution of horizontal σ_{xx} (a), vertical σ_{yy} (б) and tangential τ_{xy} (в) components of the stress field in the model blocks under a load of 100 MPa below the fault zones and with limited vertical displacements along the top (figures indicate stress values, MPa; arrows indicate the direction of action of the principal maximum σ_1 and minimum σ_3 stresses)

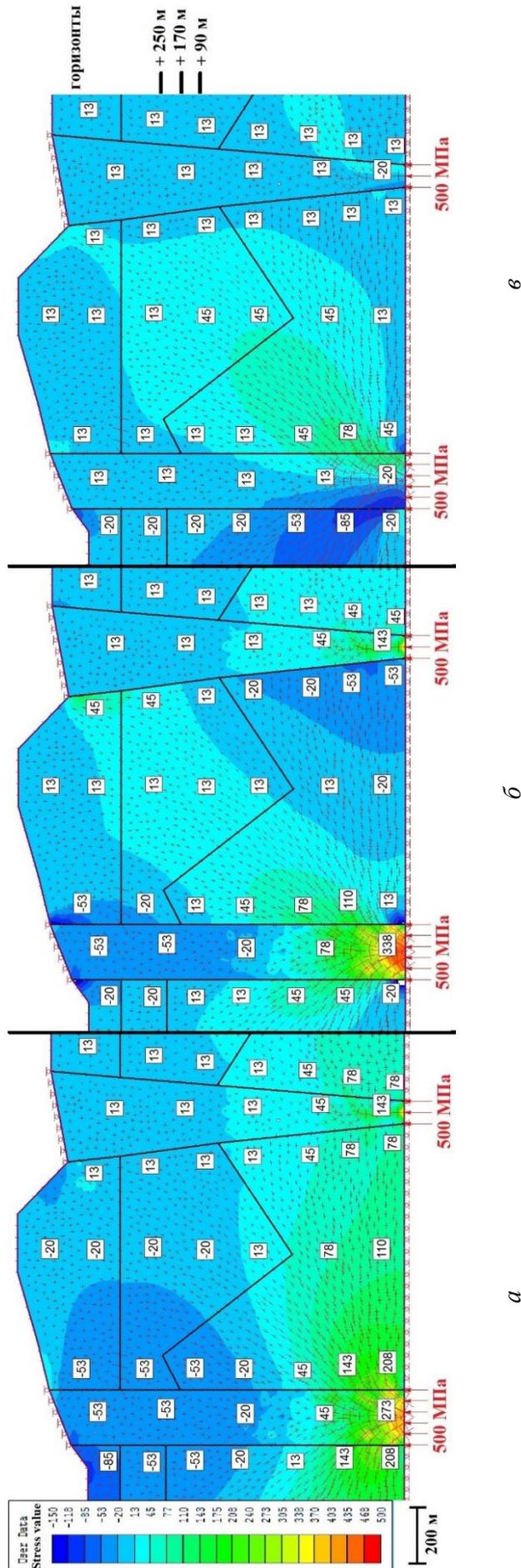


Рис. 11. Распределение горизонтальных σ_{xx} (а), вертикальных σ_{yy} (б) и касательных τ_{xy} (в) компонентов поля напряжений в блоках модели при действии нагрузки величиной 500 МПа снизу по разломным зонам и при ограничении вертикальных перемещений по разломам сверху (цифры обозначают значения напряжений, МПа; стрелками показано направление действия главных максимальных σ_1 и минимальных σ_3 напряжений)

Fig. 11. Distribution of horizontal σ_{xx} (a), vertical σ_{yy} (б) and tangential τ_{xy} (в) components of the stress field in model blocks under load of 500 MPa from the bottom along fault zones and with limited vertical displacements along the top (figures indicate stress values, MPa; arrows indicate the direction of action of the principal maximum σ_1 and minimum σ_3 stresses)

Обсуждение полученных результатов и выводы

Результаты проведенного моделирования принципиально подтверждают высказанное предположение о постоянной подпитке энергией через активные разломные зоны в исследуемом массиве и показывают, что в этом случае возможно формирование естественных горизонтальных напряжений, существенно превышающих гравитационные. Наличие структурных неоднородностей в массиве горных пород может привести к изменению величин действующих горизонтальных напряжений — к формированию растягивающих или существенных сжимающих напряжений в околоразломном пространстве, при этом чем больше разница в физико-механических свойствах таких структур, тем значительнее изменение напряженного состояния массива.

Полученные данные свидетельствуют о том, что по мере развития геомеханики и накопления экспериментальных и натурных данных наблюдается устойчивая тенденция постепенного перехода от гипотез однородных полей напряжений в массиве пород, обусловленных гравитацией [1] или совместно гравитационными и тектоническими силами [4], к представлениям о мозаичности полей напряжений [10, 11] и, по-видимому, иерархичности их в полном соответствии с иерархично-блочными представлениями о структуре массивов горных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Heim A. Mechanismus der Gebirgsbildung im Anschluss an die geologische Topographie der Toedi-Windgaellen-Gruppe, Vale. 1878.
2. Динник А. Н. О давлении горных пород и расчет крепи круглой шахты // Инж. работник. 1925. № 7. С. 1–12.
3. Левинсон-Лессинг Ф. Ю., Зайцев А. К. К вопросу о давлении в тоннелях // Доклады Тоннельной комиссии при Инженерном совете Министерства путей сообщения. Пг., 1915. С. 1–34.
4. Марков Г. А., Турчанинов И. А. О напряженном состоянии массива скальных пород, не нарушенного выработками // Проблемы механики горных пород. Алма-Ата: Наука, 1966. С. 260–267.
5. Марков Г. А. Тектонические напряжения и горное давление в рудниках Хибинского массива. Л.: Наука, 1977. 213 с.
6. Hast N. The measurement of rock pressure in mines // Sveriges Geologiska Undersokning. 1958. № 560. P. 183.
7. Кокс А., Харп Р. Тектоника плит: пер. с англ. М.: Мир, 1989. 427 с.
8. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли: учебник / под ред. акад. РАН В. А. Садовниченко. М.: Изд-во МГУ, 2002. 560 с.
9. Каспарьян Э. В., Федотова Ю. В. Напряженно-деформированное состояние массива пород Хибинских месторождений и задачи геомеханического районирования // Горн. информ.-аналит. бюл. 2015. № 5. М.: Горная книга, 2015. С. 97–106.
10. Панжин А. А., Сашурин А. Д. Механизм формирования аварийных ситуаций различного масштаба вследствие современных геодинамических движений // Черная металлургия. 2017. № 1. С. 21–25.
11. Инновационная технология диагностики геодинамической активности геологической среды и оценки безопасности объектов недропользования / А. Д. Сашурин [и др.] // Горн. журн. 2017. № 12. С. 16–20.

Сведения об авторах

Каспарьян Эдуард Варужанович — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

E-mail: kasp@goi.kolasc.net.ru

Федотова Юлия Викторовна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института горного дела ДВО РАН

E-mail: fjulia@mail.ru

Кузнецов Николай Николаевич — научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

E-mail: nikavalon@mail.ru

Author Affiliation

Eduard V. Kasparyan — Dr. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Mining Institute of KSC RAS

E-mail: kasp@goi.kolasc.net.ru

Luliia V. Fedotova — PhD (Engineering), Senior Researcher, Mining Institute of FEB RAS

E-mail: fjulia@mail.ru

Nikolai N. Kuznetsov — Researcher, Mining Institute of KSC RAS

E-mail: nikavalon@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Каспарьян, Э. В. Развитие представлений о естественном напряженном состоянии массивов скальных пород / Э. В. Каспарьян, Ю. В. Федотова, Н. Н. Кузнецов // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 65–79.

Reference

Kasparyan Eduard V., Fedotova Luliia V., Kuznetsov Nikolai N. Development of Conceptions about the Natural Stress State of Hard Rock Massifs. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3 (11), pp. 65–79. (In Russ.).

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.80-86

УДК 551+552.4 (234.74)

ГЕОДИНАМИКА КЕЙВСКОГО ДОМЕНА: ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ*

Н. Е. Козлов¹, Н. О. Сорохтин², Н. О. Мартынов¹, Т. С. Марчук³

¹ФГБУН Геологический институт Кольского научного центра РАН

²ФГБУН Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

³Апатитский филиал ФГБОУ ВО «Мурманский государственный технический университет»

Аннотация

С помощью петрогеохимической информации о составе древнейших комплексов архея Кольского региона проверена гипотеза, основанная на геолого-структурных и геофизических данных, согласно которым Кейвский микроконтинент на определенном этапе геологического развития был погружен на некоторую глубину надвинувшимися на него соседними континентальными массивами. В основу исследований легло предположение о том, что в рамках предложенной модели формирования породных ассоциаций Кейвской структуры различные ее области должны были бы в разной степени быть сходны с веществом окружающих ее доменов. При решении задачи был использован метод определения близости между исследуемыми объектами на основе выделения однородных групп. Итоги сопоставления, полученные в результате моделирования петрохимических данных, не противоречат предложенной ранее на основании геолого-геофизических данных модели формирования Кейвской структуры в условиях, характерных для срединных массивов.

Ключевые слова:

региональная геология, докембрийские комплексы, супракрупальные породы, протолиты, эволюция состава, реконструкция, геодинамика.

GEODYNAMICS OF THE KEIVY DOMAIN: A PETROGEOCHEMICAL ASPECT

Nikolai E. Kozlov¹, Nikolai O. Sorokhtin², Evgeniy V. Martynov¹, Tatyana S. Marchuk³

¹Geological Institute of KSC RAS

²P. P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS

³AB Murmansk State Technical University

Abstract

Petrogeochemical data on the composition of ancient Archean complexes in the Kola region have been used to justify a hypothesis based on geological-structural and geophysical data. According to these data, at a certain stage of the geological evolution the Keivy microcontinent was submerged to some depth by adjacent continental massifs that were thrust over it. The studies are based on the assumption that in the framework of the suggested evolutionary model of rock associations in the Keivy structure, its different areas should be similar to the substance of neighboring domains. The method of determining the proximity between the study objects by defining homogenous groups has been applied to solve the task. Results of the comparison obtained by modeling of petrochemical data do not contradict the model of the Keivy structure evolution under conditions typical of median massifs, which was earlier suggested based on geological-geophysical data.

Keywords:

regional geology, Precambrian complexes, supracrustal rocks, protoliths, evolution of composition, reconstruction, geodynamics

Введение

Кейвский домен расположен в центральной части Кольского п-ова, на востоке и западе гранича с Кольско-Норвежским, на севере — с Мурманским доменами. С юга он ограничен раннепротерозойскими образованиями Печенга-Имандра-Варзуга-Устьпонойского зеленокаменного

* Работа выполнена в рамках государственного задания, темы: № 02226-2019-0052, № 0149-2019-0005.

пояса (рис. 1). Традиционно в пределы Кейвского домена включают область развития архейских магматических континентально-коровых образований, тектонически причлененных к покрытому осадочно-вулканогенным чехлом Кейвскому домену в юго-западной его части. Данная структура может рассматриваться как особый домен Кольского докембрийского глубинного коллизииона [1].

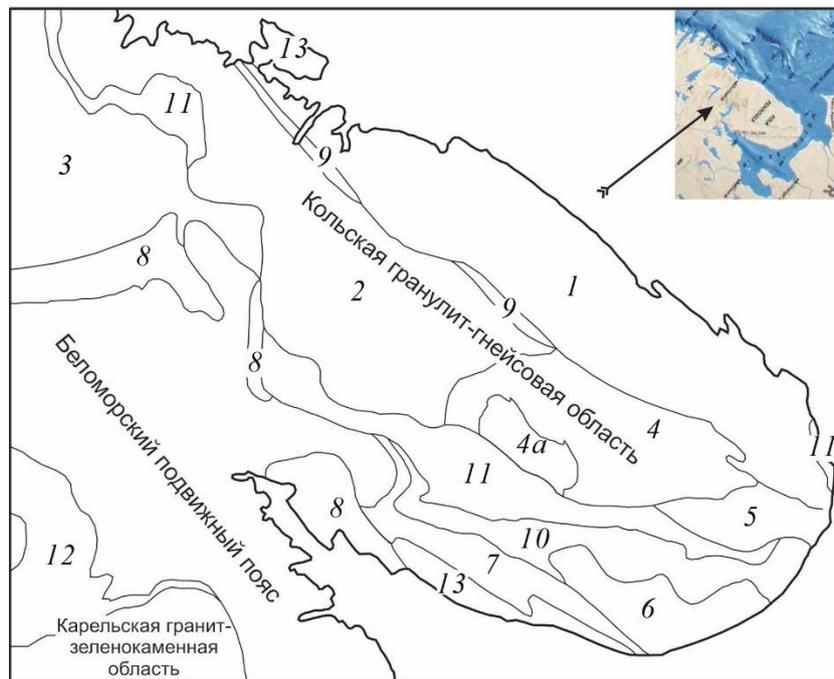


Рис. 1. Схема районирования раннедокембрийских геоструктурных элементов земной коры северо-восточной части Балтийского щита (по [8], с дополнениями).

Домены коры: 1 — Мурманский; 2 — Кольско-Норвежский; 3 — Лоттинский; 4 — Кейвский; 4а — Верхнепонойский; 5 — Восточно-Кольский; 6 — Чапомский; 7 — Терский. Зеленокаменные и гранулитовые пояса: 8–10 — архейские: 8 — Лапландско-Колвический; 9 — Титовско-Колмозерский (Колмозеро-Воронья); 10 — Сергозерско-Стрельнинский; 11, 12 — неопротерозойские: 11 — Печенга-Имандра-Варзуга-Устьпонойский; 12 — Северо-Карельский; 13 — рифтогенные и окраинно-континентальные отложения рифейского возраста

Fig. 1. Zoning of the early Precambrian geostuctural elements of the Earth's crust in the NE Baltic Shield (as supplemented after [8]).

Crustal domains: 1 — Murmansk, 2 — Kola-Norwegian, 3 — Lotta, 4 — Keivy, 4a — Verkhneponoysky, 5 — Eastern Kola, 6 — Chapoma, 7 — Tersky. Greenstone and granulite belts: 8–10 — Archean: 8 — Lapland-Kolvitsa; 9 — Titovka-Kolmozero (Kolmozero-Voronya); 10 — Sergozersky-Strelninsky; 11, 12 — Neoproterozoic: 11 — Pechenga-Imandra-Varzuga-Ustponoysky; 12 — Northern-Karelian; 13 — Riphean rift and continental marginal sediments

Супракрустальные комплексы структуры детально описаны рядом авторов [2, 3]. Породы представлены главным образом биотитовыми и амфиболовыми гнейсами, двупироксеновыми кристаллосланцами и гранат-биотитовыми гнейсами. Интрузивный комплекс сложен габбро-анортозитами, калиевыми и щелочными гранитами. U-Pb-возраст цирконов из метаморфизованных риодацитов лебяжинской свиты составляет 2871 ± 15 млн лет [4]. Авторы в серии работ, посвященных Кейвскому домену, рассмотрели возможные причины своеобразия слагающих его породных ассоциаций, в качестве одной из них назвав региональные метасоматические процессы, генетически связанные с комплексами щелочных гранитов [5], для которых надежно установлен возраст 2751 ± 41 млн лет, [4]. Изучение особенностей состава метавулканитов основного состава из низов разреза Кейвской структуры позволяет предполагать, что их протолиты могли быть древнейшими в пределах Кольского региона образованиями [6, 7].

Детальное геолого-петрогеохимическое исследование метаморфитов Кейвского домена позволило авторам ранее показать [8], что данная структура может рассматриваться как особый домен, расположенный внутри Кольского раннедокембрийского глубинного коллизииона.

При этом не устанавливается предпочтительной близости кейвских образований к какому-либо типу структур (гранит-зеленокаменных или гранулит-гнейсовых). Напомним также, что по характеру геодинамической эволюции архейский этап развития Кейвского домена резко отличается от всех континентально-коровых образований восточной части Балтийского щита. Наиболее ранними вещественными комплексами являются осадочно-вулканогенные образования чехольного типа. Имеющиеся данные свидетельствуют о практически непрерывном накоплении во внутренних областях домена осадочно-вулканогенного комплекса, реализующегося в режиме кратонизации.

Геолого-структурные и геофизические данные позволяют предположить [8], что Кейвский микроконтинент на определенном этапе геологического развития был погружен на некоторую глубину надвинувшимися на него соседними континентальными массивами, после чего в неорхее, в ребольскую фазу складчатости, были сформированы опоясывающие эту структуру орогенные пояса (рис. 2). В итоге коллизионные процессы позднеархейского возраста привели к формированию в центральной части Кольского п-ова структуры, сравнимой со срединными массивами более молодых структур, например с Южно-Китайской или Китайско-Корейской плитой. Такая модель развития хорошо объясняет факт последующего внедрения щелочных гранитов на рубеже архея и протерозоя, развитых по периферии домена и опоясывающих его внутренние области.

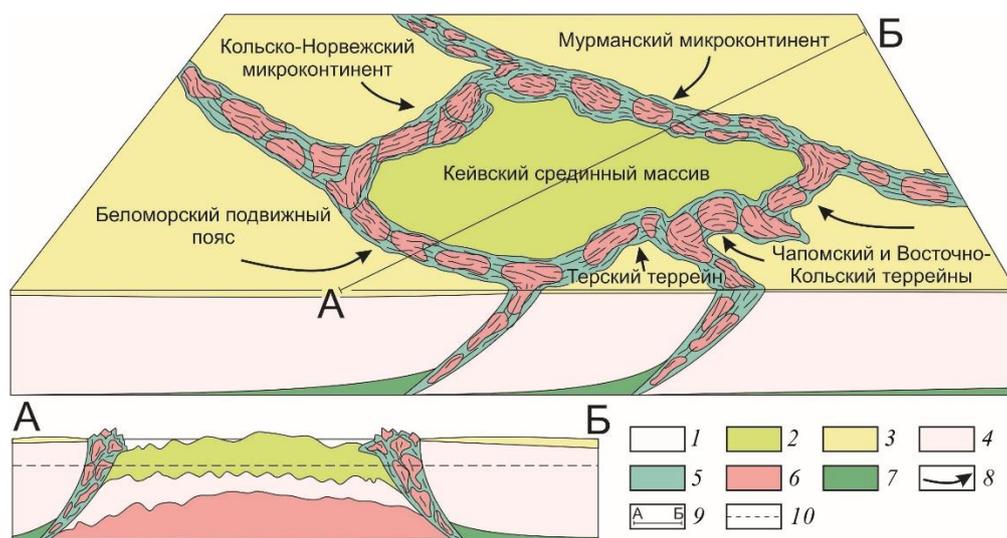


Рис. 2. Закономерности формирования Кейвского срединного массива в позднем архее:
 1 — водный бассейн; 2 — осадочный чехол Кейвского срединного массива; 3 — осадочный чехол сопредельных террейнов и микроконтинентов; 4 — континентальная кора; 5 — складчатые образования зеленокаменного типа; 6 — синорогенные тоналит-трондьемиты, гранодиориты, мигматит граниты и ремобилизованная кора Кейвского срединного массива; 7 — подкоровая мантия; 8 — направление коллизионного надвигания микроконтинентов и террейнов на Кейвский срединный массив;
 9 — линия разреза; 10 — современный уровень эрозионного среза

Fig. 2. Peculiar features of the Keivy median massif formation in the late Archean:
 1 — water basin; 2 — sedimentary cover of the Keivy median massif; 3 — sedimentary cover of adjacent terrains and microcontinents; 4 — continental crust; 5 — folds of the greenstone type; 6 — synorogenic tonalite-trondhjemitic, granodiorites, migmatite granites and remobilized crust of the Keivy median massif; 7 — subcrustal mantle; 8 — direction of collisional thrusting of microcontinents and terrains over the Keivy median massif;
 9 — section line; 10 — contemporary level of the erosional truncation

Методика исследования и обсуждение результатов

В настоящей работе предпринята попытка поиска черт состава супракрустальных комплексов, подтверждающих или опровергающих на вещественном уровне описанные выше геодинамические построения. В основу этих исследований было положено предположение

о том, что в рамках предложенной модели формирования породных комплексов Кейвской структуры различные ее области должны были бы в разной степени быть сходны с веществом окружающих ее доменов (рис. 2, 3). Так, ее северная часть должна была бы иметь более существенное сходство с породами Мурманского домена, чем южная. Южная же, наоборот, должна была бы иметь черты большего сходства с породными ассоциациями Терского домена и Беломорского подвижного пояса, чем северная ее часть. Аналогичным образом должно было бы проявиться сходство западной и восточной частей Кейвского блока и Кольско-Норвежского блока. Ввиду отсутствия необходимых данных о составе пород Чапомского и Восточно-Кольского террейнов возможное сходство или отличие пород с породами восточного-юго-восточного обрамления Кейвской структуры не проводилось.

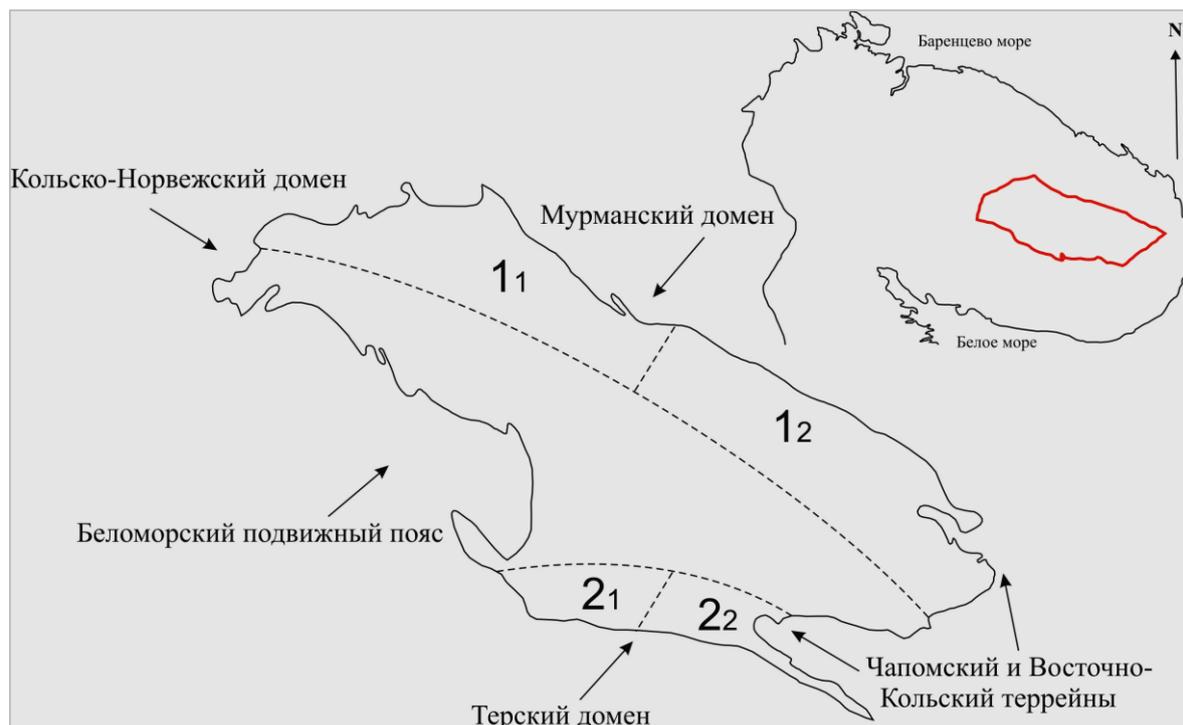


Рис. 3. Схема расположения исследуемых участков в пределах Кейвского домена

Fig. 3. Scheme of location of the study areas within the Keivy domain

Известно, что для реконструкции состава пород питающих провинций наиболее часто используется информация о составе галек конгломератов и обломочных компонентов песчаников. Однако для докембрийских объектов эти образования являются достаточно экзотичными и труднодоступными для исследования. В связи с этим уже довольно продолжительное время для получения информации об особенностях формирования докембрийских осадочных комплексов успешно используются данные о составе метапелитов, обладающих низкой проницаемостью для постседиментационных флюидов, существенно лучше перемешанных и гомогенизированных по сравнению с более крупнозернистыми отложениями [9, 10]. Поскольку в пределах Кейвской структуры данные образования являются одними из наиболее типичных [8], в настоящей работе был исследован их состав.

При решении данной задачи был использован метод определения близости между исследуемыми объектами на основе выделения однородных групп [11], а именно между породными ассоциациями Кейвского домена и окружающими его структурами: Мурманским доменом — с севера, Беломорским подвижным поясом и Терским доменом — с юга, Кольско-Норвежским доменом — с запада, Чапомским и Восточно-Кольским террейнами — с востока. Суть этого метода заключается в следующем.

На первом этапе сравнения берется первая пара объектов (рис. 4), например, Кейвский (X) и Мурманский (Y) домены, которые представлены множествами n -мерных векторов $X = \{X_i \mid 1 \leq i \leq l\}$ и $Y = \{Y_j \mid 1 \leq j \leq m\}$. Необходимо оценить близость множества точек X до множества Y. Для этого предлагается использовать следующую процедуру:

1) множество Y разбивается на однородные группы $\{Y_k\}$. Для каждого вектора $X_i \in X$ вычисляется евклидово расстояние (близость) до выпуклой оболочки каждой из найденных однородных групп $\{co(Y_k)\}$, т. е. $\rho(X_i, co(Y_k))$. Потом из множества $\{\rho(X_i, co(Y_k))\}$ находятся минимальные расстояния до выпуклых оболочек каждой из таких однородных групп Y_k , т. е. $r_{ik} = \min_k \rho(X_i, co(Y_k))$;

2) для полученного таким образом множества $R_1 = \{r_{ik}\}$ вычисляется его медиана $Me(R_1)$;

3) эту медиану $Me(R_1)$ принимаем за оценку близости объекта X к объекту Y, т. е. $R(X, Y)$.

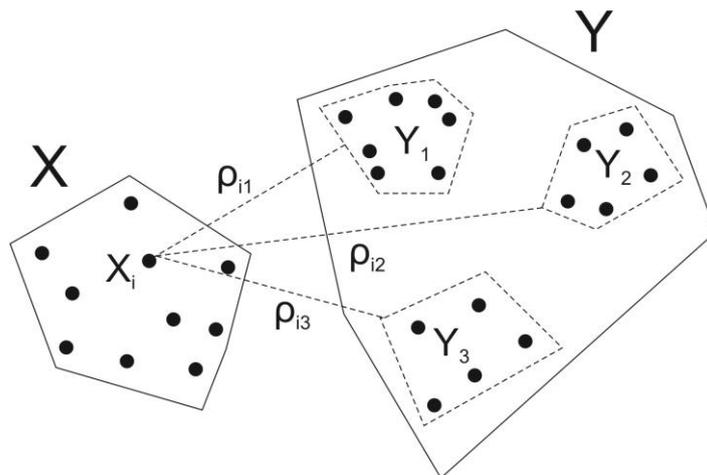


Рис. 4. Определение близости между исследуемыми объектами X и Y, где X_i — выбранный n -мерный вектор, $\{Y_1, Y_2, Y_3\}$ — однородные группы (штриховкой обозначены границы выпуклых оболочек однородных групп) $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3\}$ — расстояния от X_i до выпуклых оболочек однородных групп, т. е. до $\{co(Y_1), co(Y_2), co(Y_3)\}$

Fig. 4. Defining the proximity between study objects X and Y, where X_i is a selected n -dimensional vector, $\{Y_1, Y_2, Y_3\}$ — homogenous groups (hatching indicates borders of convex hulls of homogenous groups), $\{\rho_1, \rho_2, \rho_3\}$ — distances from X_i to convex hulls of homogenous groups, i. e. to $\{co(Y_1), co(Y_2), co(Y_3)\}$

Затем заново проводятся процедуры, описанные в пунктах 1, 2 и 3, но только для следующих сравниваемых пар:

- Кейвский и Кольско-Норвежский домены;
- Кейвский домен и Беломорский подвижный пояс в совокупности с Терским доменом.

Таким образом, мы получаем три множества:

R_1 — близости пород Кейвского домена к породным ассоциациям Мурманского домена;

R_2 — близости образований Кейвского домена к породам Кольско-Норвежского домена;

R_3 — близости метаморфитов Кейвской структуры к породам супракрустальных комплексов Беломорского подвижного пояса совместно с породами Терского домена.

На заключительном этапе моделирования вычисляется статистика Пури — Сена — Тамуры для множеств R_1 , R_2 и R_3 , которая позволяет оценить статистическую значимость полученных отличий метапелитов Кейв от пород окружающих его структур. В таблице ниже приведены «коэффициенты близости» ($Me(R_1)$, $Me(R_2)$ и $Me(R_3)$) состава пород исследуемой Кейвской структуры до соответствующих сравниваемых объектов и значения статистик Пури — Сена — Тамуры. Чем меньше значения приведенных коэффициентов (полужирный шрифт), тем ближе сравниваемые объекты.

Далее последовательно проводилось сопоставление с породами каждого из окружающих Кейвскую структуру доменов, что позволяло оценить сходство вещества той или иной ее части с каждым из них, при этом исключалась возможность влияния на полученный результат вещества

какого-либо из доменов в случае абсолютного преобладания его в разрезах метаосадочных пород Кейв. Центральная часть Кейвской структуры, где наиболее активно могло происходить смешение материала окружающих ее доменов, из исследования была исключена.

Итоги сопоставления полученных в результате математического моделирования данных подтверждают предложенную выше геолого-геофизическую модель развития Кейвской структуры в раннем докембрии.

Сравнение состава метапелитов соответствующих частей Кейвской структуры с породами окружающих ее доменов (см. рис. 2, 3)

Comparison of compositions of metapelites in respective areas of the Keivy structure with rocks of surrounding domains (see Figs. 2, 3)

Кейвский домен Keivy domain	Мурманский блок Murmansk block	Беломорский подвижный пояс и Терский домен White Sea mobile belt and Tersky domain	Кольско-Норвежский домен Kola-Norwegian domain
Северная часть (группы 1 ₁ и 1 ₂ на рис. 3) Northern part (groups 1 ₁ and 1 ₂ in Fig. 3)	7,898*	9,402	
Южная часть (группы 2 ₁ и 2 ₂ на рис. 3) Southern part (groups 2 ₁ and 2 ₂ in Fig. 3)	9,432	8,781	
Западная часть (группы 1 ₁ и 2 ₁ на рис. 3) Western part (groups 1 ₁ and 2 ₁ in Fig. 3)			7,773
Восточная часть (группы 1 ₂ и 2 ₂ на рис. 3) Eastern part (groups 1 ₂ and 2 ₂ in Fig. 3)			10,435

* Коэффициенты близости кейвских метапелитов к породам той или иной структуры. Полу жирным шрифтом выделены значения, характеризующие максимальную близость сравниваемых объектов при выбранном уровне значимости 0,01.

* Coefficients of proximity of the Keivy metapelites to rocks of one structure or another. Values characterizing the maximal proximity of the compared objects with the selected significance level of 0,01 are marked in bold.

Выводы

Полученные результаты исследования состава метапелитов в пределах различных частей Кейвского домена не противоречат предложенной ранее на основании геолого-геофизических данных модели его формирования в условиях, характерных для срединных массивов. Принадлежность Кейвского домена к структурам такого типа, с которыми часто связаны месторождения углеводородов, позволяет лучше понять причины появления в кристаллических сланцах Кейв «метанового» графита [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кольский глубинный раннедокембрийский коллизон: новые данные по геологии, геохронологии, геодинамике и металлогении / Ф. П. Митрофанов [и др.] // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 1997. Вып. 3, № 21. С. 5–18.
2. Бельков И. В. Кианитовые сланцы Кейв. М.; Л., 1963. 321. С. 2.
3. Геология рудных районов Мурманской области / В. И. Пожиленко [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 359 с.
4. Позднеархейский возраст кислых метавулканитов района Малых Кейв (Кольский полуостров) / О. А. Беляев [и др.] // Докл. РАН. 2001. Т. 379, № 5. С. 651–654.
5. О причине своеобразия состава пород Кейвского домена (Кольский полуостров) / Н. Е. Козлов [и др.] // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 1. С. 83–94. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/1-83-94.
6. Козлов Н. Е., Сорохтин Н. О., Мартынов Е. В. Эволюция вещественного состава супракрустальных комплексов архея Кольского региона // Вестник ИГ Коми НЦ СО РАН. 2015. № 1. С. 3–6.
7. Kozlov N. E., Sorokhtin N. O., Martynov E. V. Geodynamic Evolution and Metallogeny of Archaean Structural and Compositional Complexes in the Northwestern Russian Arctic // Minerals. 2018. No. 8 (12). 573 p. URL: <https://doi.org/10.3390/min8120573>.
8. Геология архея Балтийского щита / Н. Е. Козлов [и др.]. СПб.: Наука, 2006. 329 с.
9. Composition of sediment provenances and patterns in geological history of the Late Vendian Mezen Basin / A. V. Maslov [et al.] // Lithology and Mineral Resources. 2008. Vol. 43, No. 3. P. 260–280.
10. Lithogeochemistry of Vendian fine-grained clastic rocks in the Nepa-Zhuya region of the Siberian Platform / V. N. Podkovyrov [et al.] // Lithology and Mineral

Resources. 2015. Vol. 50, No. 4. P. 299–310. **11.** *Мартынов Е. В.* Реконструкция обстановок формирования протолитов метаморфических комплексов докембрия на основе статистического моделирования их характеристик по петрогеохимическим данным: автореф. дис. ... канд. геол.-минералог. наук. СПб., 1997. 24 с. **12.** Carbon Sources and the Graphitization of Carbonaceous Matter in Precambrian Rocks of the Keivy Terrane (Kola Peninsula, Russia) / *E. Fomina [et al.]* // *Minerals*. 2019. No. 9 (2). 94. URL: <https://doi.org/10.3390/min9020094>.

Сведения об авторах

Козлов Николай Евгеньевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Геологического института КНЦ РАН

E-mail: kozlov.n.e@yandex.ru

Сорохтин Николай Олегович — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН

E-mail: nsorokhtin@mail.ru

Мартынов Евгений Васильевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

E-mail: mart@geoksc.apatity.ru

Марчук Татьяна Сергеевна — студент магистратуры АФ МГТУ

E-mail: marchuk@geoksc.apatity.ru

Author Affiliation

Nikolai E. Kozlov — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Professor, Director of the Geological Institute of KSC RAS

E-mail: kozlov.n.e@yandex.ru

Nikolai O. Sorokhtin — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Chief Researcher of P. P. Shishov Institute of Oceanology of RAS

E-mail: nsorokhtin@mail.ru

Evgeniy V. Martynov — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Geological Institute of KSC RAS

E-mail: mart@geoksc.apatity.ru

Tatyana S. Marchuk — Graduate Student of AB Murmansk State Technical University

E-mail: marchuk@geoksc.apatity.ru

Библиографическое описание статьи

Геодинамика Кейвского домена: петрогеохимический аспект / *Н. Е. Козлов [и др.]* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 80–86.

Reference

Kozlov Nikolai E., Sorokhtin Nikolai O., Martynov Evgeniy V., Marchuk Tatyana S. Geodynamics of the Keivy Domain: a Petrogeochemical Aspect. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3 (11), pp. 80–86. (In Russ.).

**ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ ФИКТИВНОГО МАГНИТНОГО ТОКА
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ
РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ***

В. А. Любчик

ФГБНУ Полярный геофизический институт

Аннотация

Радиоголографический метод — перспективный инструмент для решения задач рудной геофизики. Использование индукционных магнитометров с точной привязкой измеряемых сигналов к мировому времени при помощи спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS позволяет эффективно организовать площадные измерения амплитудно-фазовых характеристик магнитных компонент электромагнитного поля от контролируемого источника на поверхности Земли, по результатам которых возможно произвести голографическую реконструкцию распределения в земной коре аномальных зон с повышенной электропроводностью, ассоциируемых с локальными рудными телами. Статья посвящена исследованию амплитудно-фазовых характеристик горизонтальных составляющих функции источников аномальных полей — распределения плотности фиктивного магнитного тока. По результатам модельных вычислений и экспериментальных работ в рудных районах Мурманской обл. было показано, что для корректной интерпретации полученной картины распределения неоднородностей в земной коре необходимо совместное использование амплитудных и фазовых характеристик реконструированной функции источников аномальных полей.

Ключевые слова:

радиоголографический метод, магнитное поле, индукционный магнитометр, рудная зона, контролируемый источник электромагнитного поля, сульфидная медно-никелевая минерализация.

**THE INVESTIGATION OF AMPLITUDE-PHASE CHARACTERISTICS OF HORIZONTAL COMPONENTS
OF THE FICTITIOUS MAGNETIC CURRENT IN THE PROCESS OF GEOPHYSICAL EXPLORATIONS
BY USING THE RADIOHOLOGRAPHIC METHOD**

Vladimir A. Ljubchich

Polar Geophysical Institute

Abstract

The radioholographic method is the promising tool for solving problems of ore geophysics. Application of the induction magnetometers with precise GLONASS/GPS timing allows to effectively perform areal measurements of amplitude-phase characteristics of magnetic components of electromagnetic field from a controlled source on the earth's surface. The holographic reconstruction of distribution of anomalous zones with high electrical conductivity in the earth's crust is produced by using these areal surface observations. Such anomalous areas can be associated with local ore bodies. The article is devoted to the study of amplitude-phase characteristics of horizontal components of the function of anomalous field sources. This function is the distribution of density of fictitious magnetic current. According to results of model calculations and experimental works in ore regions of the Kola Peninsula, it was shown that a joint interpretation of amplitude and phase characteristics of the function of anomalous field sources is required for the correct reconstruction of the distribution of heterogeneities in the earth's crust.

Keywords:

radioholographic method, magnetic field, induction magnetometer, ore zone, controlled source of electromagnetic field, copper-nickel sulfide mineralization.

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Мурманской обл. (проект № 17-45-510956 p_a).



Введение

Целью данной работы является исследование возможностей радиоголографического подхода к поиску и разведке рудных месторождений. Решение задач в рудной геофизике часто заключается в визуализации местоположения геоэлектрических неоднородностей, обладающих повышенной электропроводностью и перспективных на обнаружение рудных зон по результатам поверхностных наблюдений геофизических полей. Существуют различные способы решения данной проблемы. Примером может служить метод электромагнитной миграции, основные принципы которого изложены в работах М. С. Жданова [1, 2]. Изображения, полученные в результате электромагнитной миграции, принимаются за начальный этап в процедуре электромагнитной инверсии, основанной на минимизации потока электромагнитной энергии остаточного поля через поверхность наблюдений. Поток энергии рассматривается как функционал от распределения проводимости в среде. Остаточные поля представляют собой разность между модельными значениями и реально измеренными величинами. В процессе итерационной электромагнитной миграции происходит пошаговое уточнение модели распределения проводимости в среде, которое приводит к точному решению электромагнитной обратной задачи. Недостатками этого метода являются некоторая громоздкость вычислений и необходимость одновременного измерения электрических и магнитных компонент электромагнитного поля.

В тех случаях, когда достаточно выявить лишь местоположение аномально проводящих зон в среде, целесообразным подходом для визуализации картины распределения неоднородностей является радиоголографический метод. Теоретический метод решения обратных задач рассеяния и результаты модельных расчетов по томографии и голографии трехмерных неоднородностей проводимости в среде представлены в работе К. П. Гайковича и А. И. Смирнова [3]. Вопросы применения радиоголографического метода для исследования неоднородностей в ионосфере подробно изложены в монографии Е. Д. Терещенко [4]. Общие принципы радиоголографического метода вполне подходят и для изучения земной коры. Действительно, измерив по площади исследуемого участка распределение амплитудно-фазовых характеристик электромагнитного поля, излученного контролируемым источником и рассеянного на неоднородностях земной коры, можно определить местоположение данных неоднородностей в среде. Определенным преимуществом метода является то обстоятельство, что для выполнения голографической реконструкции достаточно измерять амплитудно-фазовые характеристики только магнитных компонент электромагнитного поля. Вследствие этого значительно повышается эффективность проведения площадных геофизических съемок.

Радиоголографический метод, основанный на принципах частотного зондирования земной коры, обладает определенными преимуществами по сравнению с широко применяемыми в практике геофизических работ импульсными методами электроразведки, например, такими как, метод становления поля в ближней зоне (ЗСБ) [5, 6]. Так, при проведении экспериментальных работ методом ЗСБ в сложных геологических условиях рудных районов Мурманской обл., характеризующихся наличием многочисленных разномасштабных рудоконтролирующих тектонических нарушений, а также крутым, практически субвертикальным, падением горных пород на флангах интрузивных массивов, измеряемые кривые становления электромагнитного поля являются зачастую некондиционными, осложненными «отрицательными» выбросами, что связано с эффектами вызванной поляризации, и плохо поддающимися интерпретации. Радиоголографический метод лишен таких недостатков.

Использование радиоголографического метода для реконструкции местоположения геоэлектрических неоднородностей в земной коре, обладающих повышенной электропроводностью и ассоциируемых с рудными зонами, является новым подходом в развитии

электромагнитных методов разведки и поисков месторождений полезных ископаемых. Предлагаемый подход к визуализации неоднородностей в земной коре до настоящего времени не применялся, поэтому исследование возможностей радиоголографического подхода позволит внести значимый вклад в теорию и практику геофизических исследований Земли.

Данная статья посвящена исследованию амплитудно-фазовых характеристик, горизонтальных составляющих плотности магнитного тока. Распределение плотности фиктивного магнитного тока, получаемое в результате голографической реконструкции, отражает картину распределения в земной коре аномальных зон с повышенной электропроводностью, являющихся источниками аномального электромагнитного поля. Амплитудно-фазовые характеристики вертикальной составляющей плотности магнитного тока проанализированы в работе [7].

В первой части статьи представлены теоретические основы радиоголографического метода, во второй — результаты математического моделирования по визуализации в среде с помощью радиоголографического метода локальной неоднородности, обладающей повышенной электропроводностью. В заключительной части рассмотрены примеры применения описываемого метода в рудных районах Мурманской обл. Полученные результаты хорошо согласуются с геологическими данными по исследованным участкам, вследствие чего можно сделать вывод о перспективности применения радиоголографического метода при решении задач рудной геофизики.

Следует отметить, что в классическом голографическом подходе мы имеем дело с волновыми полями, а так как распространение низкочастотных электромагнитных полей в земной коре имеет диффузионную, а не волновую природу, то данный метод можно назвать радиоголографическим лишь условно — в том смысле, что методика измерений и обработки полученных результатов такая же, как и в классической голографии.

Теоретические основы радиоголографического метода

Радиоголографическую реконструкцию распределения неоднородностей в среде можно рассматривать как частный случай обратной задачи рассеяния. При проведении измерений электромагнитных полей в пунктах регистрации наблюдается суперпозиция двух полей — первичного от контролируемого источника поля, которое в терминах голографии можно обозначить как опорную волну, и вторичные поля, рассеянные на геоэлектрических неоднородностях среды, являющиеся аналогами предметных волн. Таким образом, выполнив измерения электромагнитного поля по площади исследуемого участка, с помощью радиоголографического метода можем визуализировать картину распределения геоэлектрических неоднородностей в земной коре.

В общем случае электромагнитное поле в произвольной точке пространства можно рассматривать как сумму первичного (нормального) поля, определяемого контролируемым источником в отсутствие геоэлектрических неоднородностей в среде, и вторичных (аномальных) полей, обусловленных вихревыми токами, индуцированными в аномально проводящих зонах пространства. Для магнитных компонент электромагнитного поля данное соотношение представляется в виде:

$$H(r) = H_0(r) + \int_V dr' G_m(r, r') j_m(r'), \quad (1)$$

где H — напряженность полного магнитного поля; H_0 — напряженность нормального магнитного поля; G_m — функция Грина магнитного типа для выбранной модели среды; j_m — плотность фиктивных магнитных токов, являющихся источниками аномального поля, интегрирование ведется по области расположения аномальных источников V . Плотности фиктивных магнитных токов j_m формально можно определить через распределение плотности реальных вихревых токов j с помощью выражения [8]:

$$j_m(r) = \nabla \cdot \int_V dr' G(r, r') j(r'),$$

где G — функция Грина электрического типа для заданной модели среды. Реконструкция распределения плотности магнитных токов $j_m(r')$, рассматриваемого как функция источников аномального поля, и является решением обратной задачи рассеяния.

С другой стороны, при решении обратной задачи электромагнитное поле внутри некоторого объема, где расположены источники аномальных полей, можно выразить через обращенный поверхностный интеграл Кирхгофа:

$$H_H(r) = \oint_S dS' [H(r') \nabla G_m^*(r, r') - G_m^*(r, r') \nabla H(r')], \quad (2)$$

где G_m^* — комплексно сопряженная функция Грина магнитного типа, интегрирование ведется по поверхности S , ограничивающей область аномальных источников. Формула (2) является математическим определением для голографически восстановленного поля H_H .

После некоторых преобразований, приведенных в работе [4], из выражений (1) и (2) можно получить интегральное уравнение, связывающее голографическую реконструкцию поля H_H с искомой функцией источников аномального поля $j_m(r')$:

$$H_H(r) = H_0(r) + 2i \int_V dr' \text{Im} G_m(r, r') j_m(r'), \quad (3)$$

где $\text{Im} G_m$ — мнимая часть функции Грина, i — мнимая единица. Проведя сеточное разбиение нижнего полупространства на ячейки конечного объема, можем перейти от интегрального уравнения (3) к системе линейных уравнений относительно неизвестных значений функции аномальных источников j_m в пределах отдельных ячеек. Реконструкция картины распределения в среде неоднородных областей с повышенной электропроводностью заключается, таким образом, в определении данных значений функции j_m .

Тестирование радиоголографического метода на математической модели среды с локальной аномалией электропроводности

С целью исследования амплитудно-фазовых характеристик горизонтальных составляющих фиктивных магнитных токов, возникающих в неоднородной среде при проведении работ радиоголографическим методом, было выполнено математическое моделирование. Аномальная область моделировалась прямоугольным параллелепипедом с пониженным удельным сопротивлением 10 Ом·м, погруженным на глубину 300–400 м в более высокоомное нижнее полупространство с удельным сопротивлением 1000 Ом·м. Линейные размеры проводящей вставки составляли 100×300×100 м. В условной декартовой системе координат, начальная точка которой выбрана таким образом, что объем моделирования располагался в первом квадранте нижнего полупространства, местоположение аномального объекта задавалось следующими координатами: $X = +400...+500$ м, $Y = +300...+600$ м и $Z = -400...-300$ м.

При моделировании рассматривались два типа контролируемых источников электромагнитного поля. Первым типом источника была горизонтальная незаземленная квадратная петля, длина стороны которой составляла 150 м. Центр петли имел координаты $X = 600$ м и $Y = -400$ м. Стороны петли были ориентированы параллельно горизонтальным осям. Вторым типом являлась заземленная линия длиной 1000 м, центр которой имел координаты $X = 600$ м и $Y = -1000$ м. Линия ориентировалась вдоль оси OX . Предполагалось, что в источниках генерировался гармонический переменный ток с амплитудой 1 А и частотой 34 Гц.

Для заданной модели неоднородности и типа контролируемого источника вычислялись значения магнитных компонент полного электромагнитного поля на поверхности моделируемого полупространства по квадратной сетке с шагом 100 м в диапазоне координат по осям OX и OY от 0 до 900 м. По рассчитанным таким образом в 100 точках наблюдения значениям амплитудно-

фазовых характеристик магнитных компонент поля были вычислены в нижнем полупространстве до глубины 550 м с шагом 50 м значения голографически реконструированного магнитного поля H_H по методике, изложенной в работе [9]. В этих же точках были рассчитаны значения нормального поля H_0 для заданного типа контролируемого источника, расположенного на поверхности однородного полупространства, и компоненты тензора Грина магнитного типа. После сеточной аппроксимации интегрального уравнения (3) была получена система линейных уравнений относительно неизвестных значений плотности фиктивного магнитного тока j_m в пределах отдельных ячеек. Система уравнений решалась стандартным методом Гаусса.

Результаты вычислений отображены на рис. 1, на котором приведена карта изолиний амплитудных значений горизонтальных компонент плотности магнитного тока j_m для горизонтального сечения модельной среды $Z = -350$ м. При расчетах использовались модельные данные для контролируемого источника электромагнитного поля в виде заземленной линии. Из рисунка видно, что аномальная зона с повышенной электропроводностью хорошо локализуется в нижнем полупространстве при проведении реконструкции распределения неоднородностей в среде с помощью радиоголографического метода.

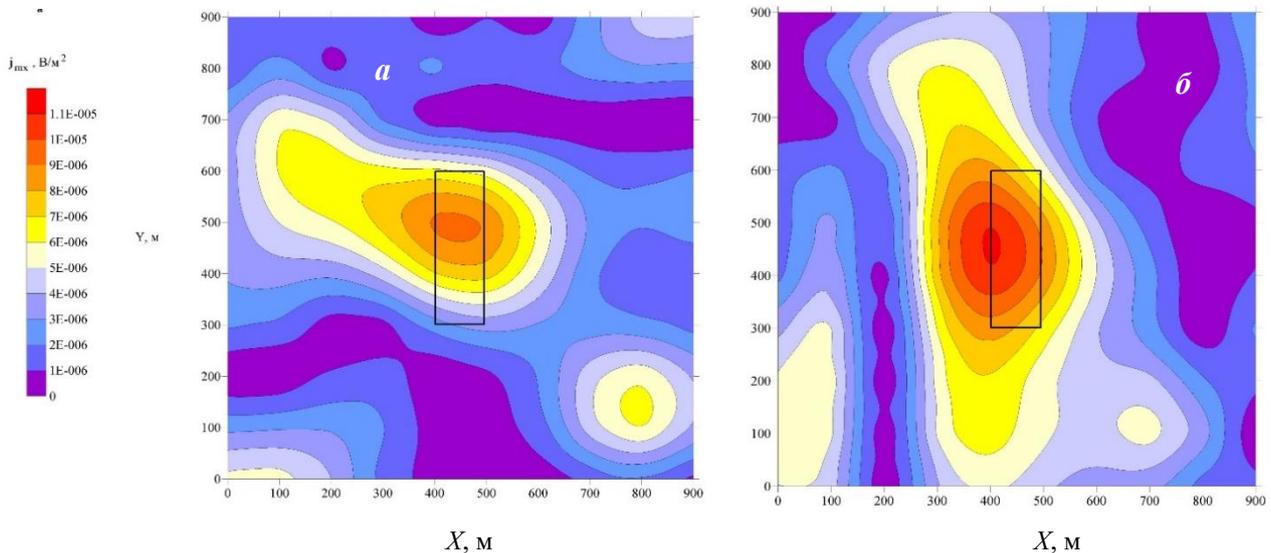


Рис. 1. Карты изолиний амплитуд горизонтальных составляющих плотности фиктивного магнитного тока j_m : a — для горизонтальной компоненты j_{mx} ; b — для горизонтальной компоненты j_{my} . Карты построены по модельным данным для горизонтального сечения среды при $Z = -350$ м. Черным прямоугольником обозначено местоположение аномальной области с повышенной электропроводностью

Fig. 1. Maps of isolines of amplitudes of horizontal components of the fictitious magnetic current density j_m : a — for the horizontal component j_{mx} ; b — for the horizontal component j_{my} . Maps are based on model data for the horizontal section of medium at $Z = -350$ m. The black rectangle indicates the location of the anomalous area with high electrical conductivity

На рис. 2 представлены графики зависимости значений амплитудных и фазовых характеристик горизонтальной компоненты плотности магнитного тока j_{my} от глубины Z для обоих типов контролируемых источников электромагнитного поля для точки с координатами $X = 400$ м, $Y = 400$ м, расположенной над аномальной областью с повышенной электропроводностью. На графиках видно, что аномальная зона выделяется как относительным максимумом амплитуды, так и резкими скачками фазы на 180° . Для ортогональной компоненты плотности магнитного тока j_{mx} наблюдаются те же особенности графиков. Следует отметить, что амплитуды горизонтальных составляющих магнитного тока быстро убывают с глубиной, поэтому резкие изменения фазовых характеристик является важным индикатором наличия аномалии электропроводности в среде наряду с амплитудным максимумом.

При сравнении графиков для различных типов контролируемых источников электромагнитного поля можно видеть, что для заземленной линии амплитуды горизонтальной компоненты плотности магнитного тока больше соответствующих амплитуд для горизонтальной незаземленной квадратной петли. Данное обстоятельство, возможно, объясняется наличием гальванической моды электромагнитного поля, возбуждаемого заземленной линией, которая способствует увеличению горизонтальных составляющих фиктивного магнитного тока. Поведение фазовых характеристик для обоих типов источников имеет схожий характер. Вследствие этого представляется более целесообразным в практике полевых работ с применением радиоголографического метода использовать заземленную линию в качестве контролируемого источника электромагнитного поля.

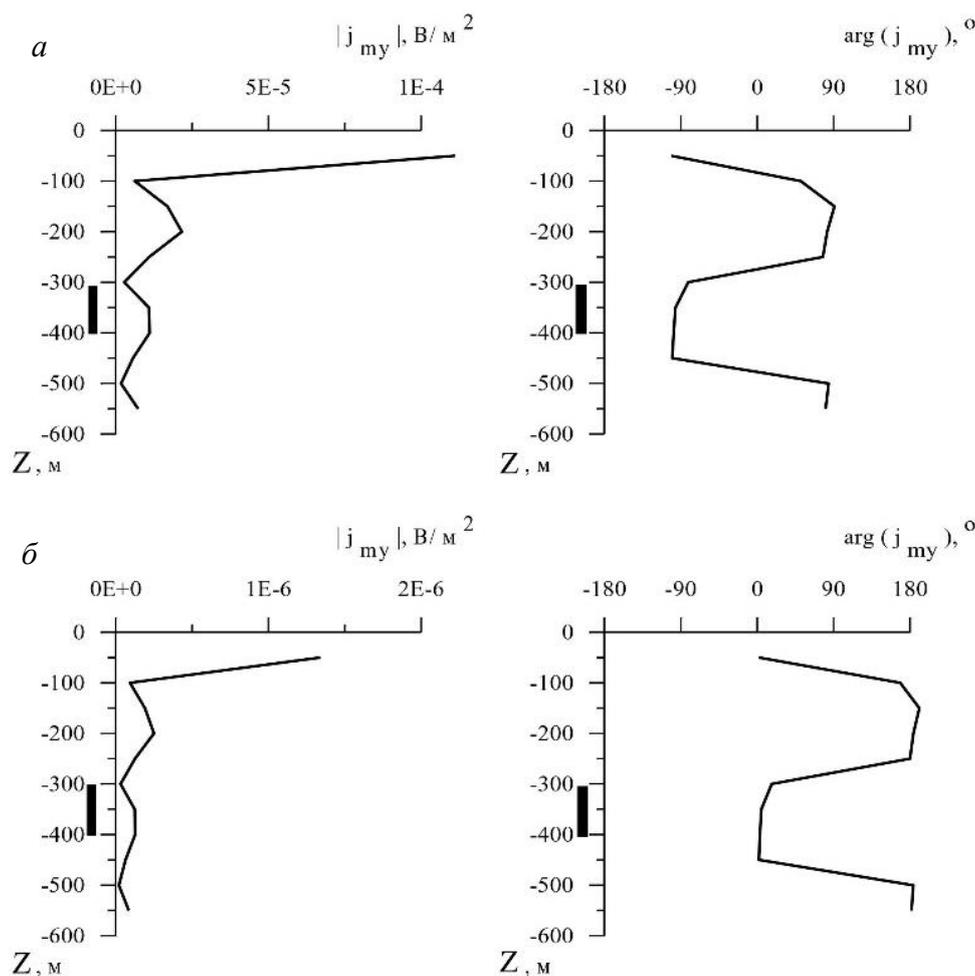


Рис. 2. Графики зависимости значений амплитудных и фазовых характеристик горизонтальной компоненты плотности магнитного тока j_{my} от глубины Z :

a — для контролируемого источника электромагнитного поля в виде заземленной горизонтальной линии; b — для контролируемого источника в виде незаземленной горизонтальной петли.

Графики рассчитаны по модельным данным для точки с координатами $X = 400$ м, $Y = 400$ м.

Черным прямоугольником показано местоположение аномальной области с повышенной электропроводностью

Fig. 2. Graphs of amplitude and phase of the horizontal component of the magnetic current density j_{my} depending on the depth Z :

a — for the grounded line as the controlled source of electromagnetic fields; b — for the ungrounded horizontal loop.

Graphs are calculated from model data for the point with coordinates $X = 400$ m, $Y = 400$ m. The black rectangle indicates the location of the anomalous area with high electrical conductivity

Аппаратура и описание экспериментов по применению радиоголографического метода

В 2017–2018 гг. сотрудниками Полярного геофизического института проводились экспериментальные работы по исследованию возможностей радиоголографического метода при поиске локальных рудных тел на участке Лойпишнюн в Мончегорском рудном районе и на участке Соукер в Печенгском рудном районе.

Участок Лойпишнюн находится на юго-восточном склоне Мончетундровского интрузивного массива, представляющего собой первично-расслоенный от дунитов до лейкогаббро стратифицированный лополит мощностью около 2 км. В разрезе массива сверху вниз выделяются следующие зоны: габбровая, габбро-норитовая, пироксенитовая и дунитовая. Массив расположен в центральной части Печенгско-Варзугской рифтогенной структуры, пересекающей Кольский п-ов с северо-запада на юго-восток. Для Печенгско-Варзугской рифтогенной структуры характерно широкое распространение тектонических разломов различного масштаба и направления, контролирующих размещение многочисленных интрузивных массивов основных и ультраосновных пород, к которым и приурочены рудопроявления и месторождения медно-никелевых, хромовых, титаномагнетитовых руд и металлов платиноидной группы [10].

В интрузивных массивах Печенгско-Варзугской рифтогенной структуры присутствуют два типа сульфидного медно-никелевого оруденения: магматический (сингенетический) и метаморфогенный (эпигенетический). На участке Лойпишнюн буровыми работами были выявлены оба типа сульфидного оруденения. Магматический тип оруденения широко представлен в норит-габбро-норитовых породах Мончетундровского массива. Они содержат, как правило, бедно вкрапленную сульфидную минерализацию в количестве 1–3 %, однако буровыми скважинами на участке были вскрыты также тела массивных сульфидных руд, относящиеся к метаморфогенному типу оруденения. Поскольку метаморфогенное оруденение развивается путем переотложения первичного магматического рудного вещества, оно приурочено в основном к зонам тектонических нарушений. Рудные тела этого типа обладают более густой вкрапленностью сульфидов до 50–60 %, обычно сочетающихся с гнездовым оруденением и развитием рудных прожилков. Мощность рудных зон составляет от нескольких метров до первых десятков метров.

Участок Соукер находится в центральной части Печенгского рудного района, расположенного в северо-западной части Печенгско-Варзугской рифтогенной структуры. Почти все известные медно-никелевые месторождения Печенгского рудного района, в том числе и Соукер, приурочены к так называемой «продуктивной» туфогенно-осадочной толще, сложенной филлитами, песчаниками, алевролитами, туффитами, туфами. Локализация никеленосных массивов основных и ультраосновных пород в продуктивной толще контролируется сложноразветвленной системой разномасштабных тектонических нарушений, среди которых особенно выделяются разломы северо-западного и северо-восточного направлений, а также продольные межпластовые тектонические зоны, проходящие через все рудное поле. Интрузивные массивы основных и ультраосновных пород сложены в основном серпентинитами и серпентинизированными перидотитами. Мощность массива Соукер составляет 280 м.

Для интрузивных массивов центральной части Печенгского рудного района характерно вкрапленное и прожилково-вкрапленное оруденение, которое приурочено к нижним частям массивов, причем сгущение вкрапленности наблюдается в прогибах подошвы массивов. Распределение сульфидной вкрапленности в них неравномерно. Рудные тела массива Соукер имеют пластообразную форму с пологим залеганием. Среднее содержание сульфидных минералов в рудных телах составляет 20 %.

На участке Лойпишнюн Мончегорского рудного района измерения проводились по десяти профилям длиной 900 м, шаг наблюдений и расстояние между профилями составляли 100 м. Таким образом была получена равномерная прямоугольная сетка пунктов наблюдений, включающая в себя 100 экспериментальных точек. Ориентация сетки в пространстве была выбрана так, чтобы одна из сторон планшета была перпендикулярна простиранию горных пород. Вследствие чего профили были проложены с юго-востока на северо-запад по азимуту 312°. В пунктах наблюдения производилась регистрация магнитных составляющих электромагнитного поля,

генерируемого контролируемым источником. В качестве приемной аппаратуры использовался трехкомпонентный индукционный магнитометр с цифровой системой регистрации и сбора информации, с точной привязкой к мировому времени по сигналам спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS [11]. В качестве контролируемого источника электромагнитного поля использовалась квадратная незаземленная петля с длиной стороны 150 м. Центр петли располагался в 400 м от края планшета на профиле 7. Стороны петли были ориентированы вдоль и поперек направления профилей. В петле генерировались гармонические сигналы частотой 34 Гц, сила тока в среднем составляла 4–8 А.

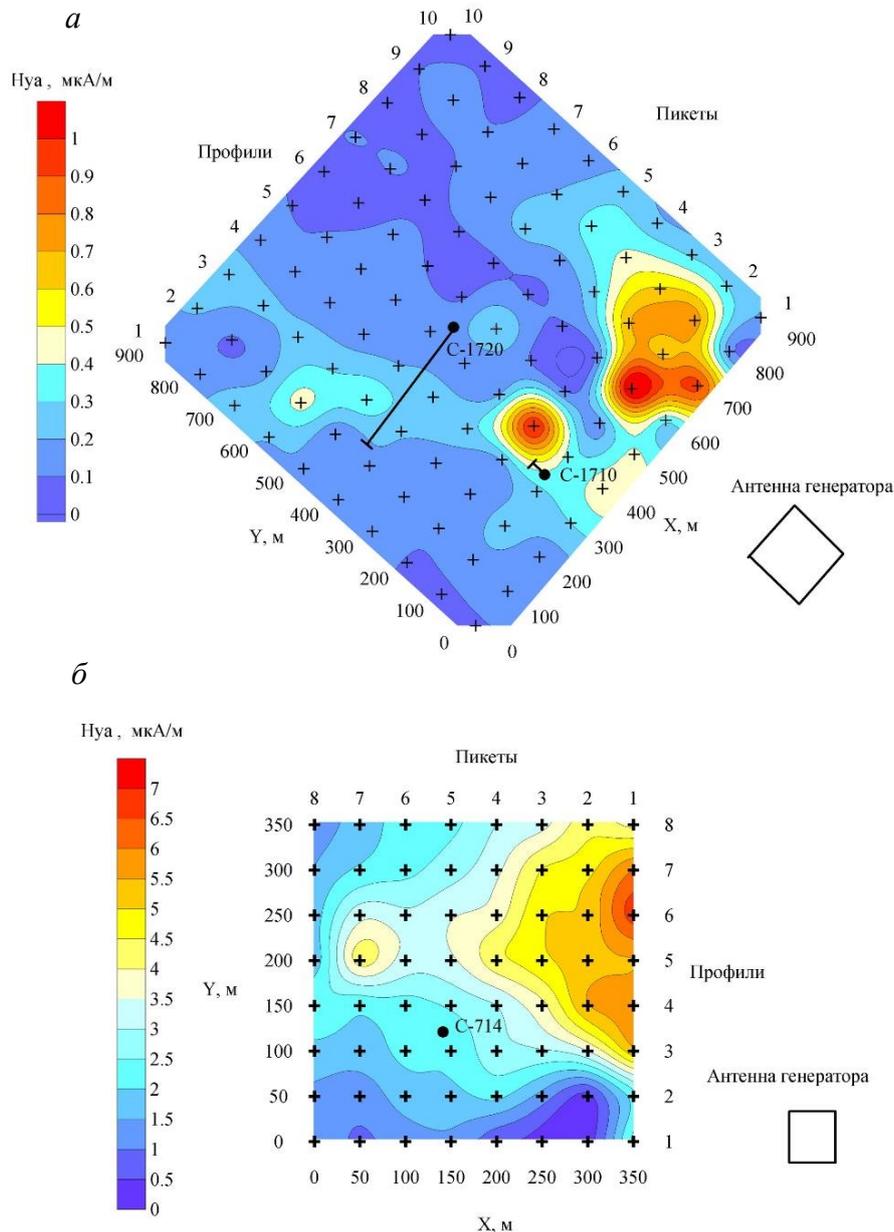


Рис. 3. Карта изолиний напряженности горизонтальной составляющей аномального магнитного поля H_{ya} и схема расположения пунктов измерения электромагнитного поля и антенны генератора: *a* — для участка Лойпишнюн Мончегорского рудного района; *б* — для участка Соукер Печенгского рудного района. Черными кружками обозначено местоположение буровых скважин. Черными линиями показаны проекции стволов буровых скважин на земную поверхность

Fig. 3. The map of isolines of amplitudes of the horizontal component of anomalous magnetic field H_{ya} and the plan of location of electromagnetic field measurement points and location of transmitter antenna: *a* — on the Loypishnjun site in the Monchegorsk ore region; *б* — on the Souker site in the Pechenga ore region. Black circles indicate the location of wells. Black lines show projections of wells on the earth's surface

Для получения фазовых характеристик первичного тока сигнал снимался с маленького участка петли, длиной 1 м и записывался в цифровую систему регистрации и сбора информации, аналогичную той, что использовалась в индукционном магнитометре. Благодаря точной привязке к мировому времени измеряемых сигналов использованный комплекс передающей и приемной аппаратуры позволял определять абсолютную разность фаз между магнитными компонентами электромагнитного поля и током в передающей антенне. Таким образом, кроме значений амплитуд были получены и распределения фазовых характеристик магнитных компонент поля по площади планшета, что является необходимым условием для проведения голографической реконструкции картины распределения геоэлектрических неоднородностей в земной коре. Схема расположения генераторной петли и точек измерения электромагнитного поля приведена на рис. 3, а.

В 2018 г. на участке Соукер в Печенгском рудном районе вследствие относительно небольших размеров массива Соукер измерения магнитных компонент электромагнитного поля проводились по восьми профилям длиной 350 м, при этом шаг наблюдений и расстояние между профилями составляли 50 м. Всего равномерная квадратная сетка пунктов наблюдений включала в себя 64 экспериментальные точки. Профили были проложены с востока на запад. Центр генераторной квадратной незаземленной петли с длиной стороны 50 м располагался в 200 м от края планшета на профиле 1. В петле генерировались гармонические сигналы частотой 17 Гц. Количество витков в петле равнялось трем, сила тока в петле в среднем составляла 5–7 А. Схема расположения генераторной петли и точек измерения электромагнитного поля на участке Соукер приведена на рис. 3, б. Также на рис. 3 представлены для примера карты изолиний амплитуд горизонтальной магнитной компоненты H_{ya} аномального электромагнитного поля, определенных на площади планшетов съемки. Из рис. 3, а, видно, что на участке Лойпишнюн в аномальном поле отчетливо выделяются зоны тектонических нарушений, простирающиеся вдоль профилей 3–4 и 8–9. Данные зоны являются рудоконтролирующими структурами для медно-никелевых месторождений метаморфогенного типа в Мончегорском рудном районе. На участке Соукер (рис. 3, б) вытянутая аномальная область в районе профилей 5–6 соответствует выходу на земную поверхность рудных зон медно-никелевого месторождения Соукер Печенгского рудного района.

Результаты и их обсуждение

По измеренным значениям полного магнитного поля на площади планшета были вычислены значения голографически реконструированного магнитного поля H_H в нижнем полупространстве, в этих же точках были рассчитаны значения нормального поля H_0 для квадратной незаземленной петли, расположенной на поверхности однородного полупространства, и компоненты тензора Грина магнитного типа. Для участка Лойпишнюн указанные значения рассчитывались до глубины 550 м с шагом 50 м, для участка Соукер — до глубины 450 м с шагом 25 м. При этом удельное сопротивление нижнего полупространства принималось равным 1000 Ом·м для участка Лойпишнюн и 10 Ом·м для участка Соукер. Такой порядок величины сопротивления вмещающих пород был установлен по результатам ранее проводившихся на этих участках электроразведочных работ. После сеточной аппроксимации интегрального уравнения (3) была получена система линейных уравнений относительно неизвестных значений плотности магнитного тока j_m в пределах отдельных ячеек. Система уравнений решалась стандартным методом Гаусса.

Проведя анализ амплитудно-фазовых характеристик, горизонтальных составляющих плотности магнитного тока, можем отметить, что вскрытые буровыми скважинами рудные зоны на исследуемых участках отмечаются резкими скачками фазы горизонтальных компонент и относительно небольшими максимумами их амплитуд. Так, на рис. 4 представлены графики зависимости значений амплитудных и фазовых характеристик горизонтальных компонент плотности магнитного тока j_m от глубины Z для точки с координатами $X = 200$ м, $Y = 500$ м на участке Лойпишнюн Мончегорского рудного района. В данном районе скважиной С-1720, длина ствола которой составляет 502,7 м, были вскрыты рудные зоны с богатым содержанием сульфидов. Прослои с переотложенным медно-никелевым сульфидным оруденением были встречены в интервалах глубин 218–219 м, 265–270 м, 360–365 м и приурочены, как правило, к зонам

тектонических разломов. Из рис. 4 видно, что на глубинах порядка 300–350 м наблюдаются резкие скачки фаз горизонтальных компонент — до 180° , сопряженные с небольшими максимумами амплитуд.

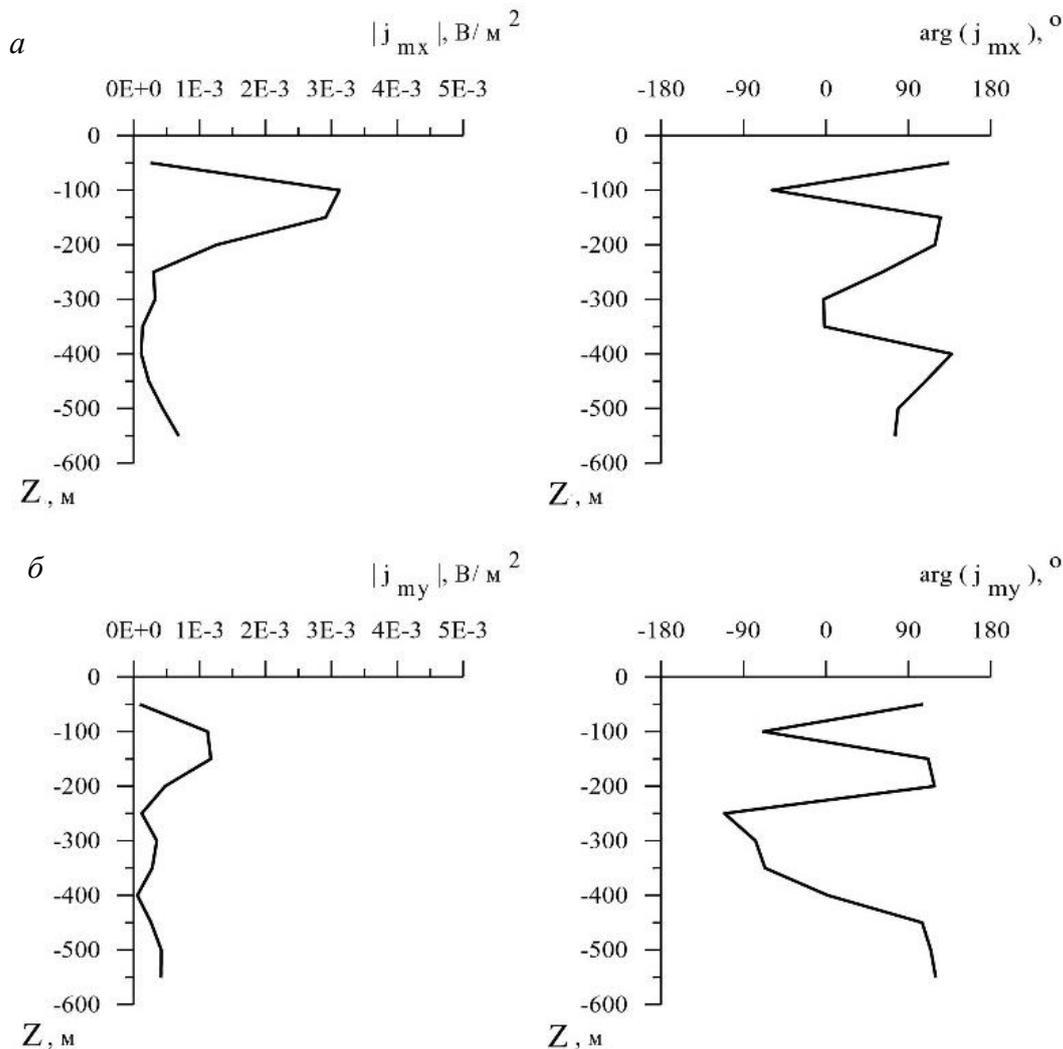


Рис. 4. Графики зависимости значений амплитудных и фазовых характеристик горизонтальных компонент плотности магнитного тока j_m от глубины Z : a — для горизонтальной компоненты j_{mx} ; b — для горизонтальной компоненты j_{my} . Графики рассчитаны по экспериментальным данным с участка Лойпишнжун Мончегорского рудного района для точки с координатами $X = 200$ м, $Y = 500$ м

Fig. 4. Graphs of amplitude and phase of horizontal components of the magnetic current density j_m depending on the depth Z : a — for the horizontal component j_{mx} ; b — for the horizontal component j_{my} . Graphs are calculated from experimental data from the Loypishnjun site in the Monchegorsk ore region for the point with coordinates $X = 200$ m, $Y = 500$ m

На рис. 5 показаны графики зависимости значений амплитудных и фазовых характеристик горизонтальных компонент плотности магнитного тока j_m от глубины Z для точки с координатами $X = 400$ м, $Y = 100$ м, рядом с этой точкой на карте изолиний амплитуд горизонтальной магнитной компоненты H_{ya} аномального электромагнитного поля (рис. 3, a) наблюдается интенсивная локальная аномалия. Данная аномалия имеет геологическое объяснение: в этом районе скважиной С-1710, длина ствола которой составляет 300,4 м, были вскрыты рудные зоны с богатым содержанием сульфидов в интервале глубин 147–155 м, 175–177 м. Из рис. 5 видно, что данному интервалу глубин

также соответствует максимум амплитуды и резкие скачки фазы. Причем максимум амплитуды является ярко выраженным, что может быть объяснено относительно приповерхностным характером аномалии.

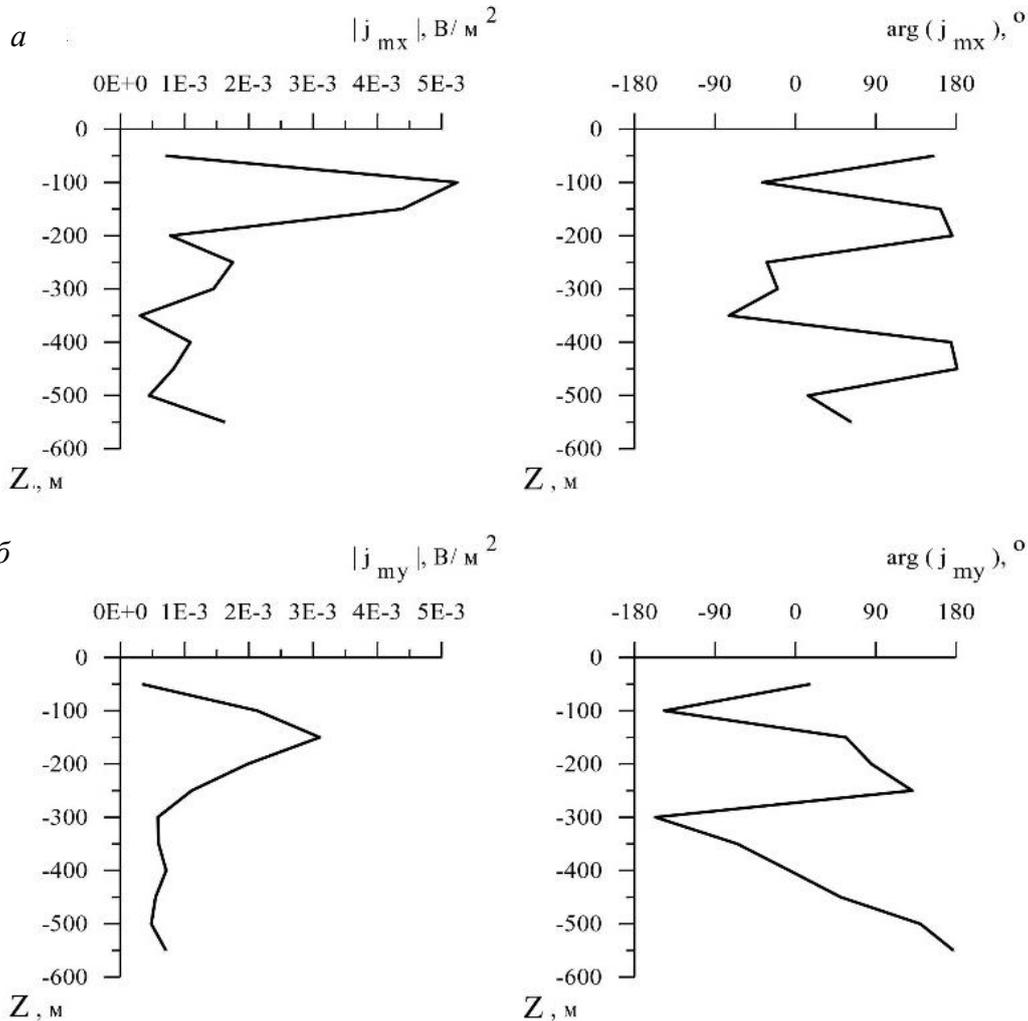


Рис. 5. Графики зависимости значений амплитудных и фазовых характеристик горизонтальных компонент плотности магнитного тока j_m от глубины Z :
 а — для горизонтальной компоненты j_{mx} ; б — для горизонтальной компоненты j_{my} .
 Графики рассчитаны по экспериментальным данным с участка Лойпишнун Мончегорского рудного района для точки с координатами $X = 400$ м, $Y = 100$ м

Fig. 5. Graphs of amplitude and phase of horizontal components of the magnetic current density j_m depending on the depth Z :
 а — for the horizontal component j_{mx} ; б — for the horizontal component j_{my} .
 Graphs are calculated from experimental data from the Loypishnjun site in the Monchegorsk ore region for the point with coordinates $X = 400$ m, $Y = 100$ m

Аналогичную картину поведения горизонтальных составляющих плотности магнитного тока можно наблюдать и на участке Соукер Печенгского рудного района. На рис. 6 представлены графики зависимости значений амплитудных и фазовых характеристик горизонтальных компонент плотности магнитного тока j_m от глубины Z для точки с координатами $X = 150$ м, $Y = 100$ м на участке Соукер. В окрестности данной точки расположена буровая скважина С-714, длина ствола которой составляет 175,3 м. Эта скважина пересекла интрузивный массив Соукер и в приподошвенной части массива вскрыла пластообразное рудное тело в интервале глубин 101–150 м. На рис. 6 видно, что в этом интервале глубин также наблюдаются резкие скачки фаз горизонтальных компонент и локальные максимумы амплитуд.

Таким образом, наличие геоэлектрических неоднородностей в земной коре, в частности тектонических разломов, имеющих обычно субвертикальное падение и являющихся рудоконтролирующими структурами, приводит к возникновению аномалий в распределении плотности горизонтальных компонент фиктивного магнитного тока j_m . Однако, амплитудные значения данных компонент быстро спадают с глубиной, поэтому для более надежной интерпретации аномалий необходимо анализировать и фазовые характеристики горизонтальных составляющих плотности магнитного тока. Зоны, перспективные на обнаружение локальных рудных тел, отмечаются резкими скачками фазы, до 180° , сопряженными с относительными максимумами амплитуды.

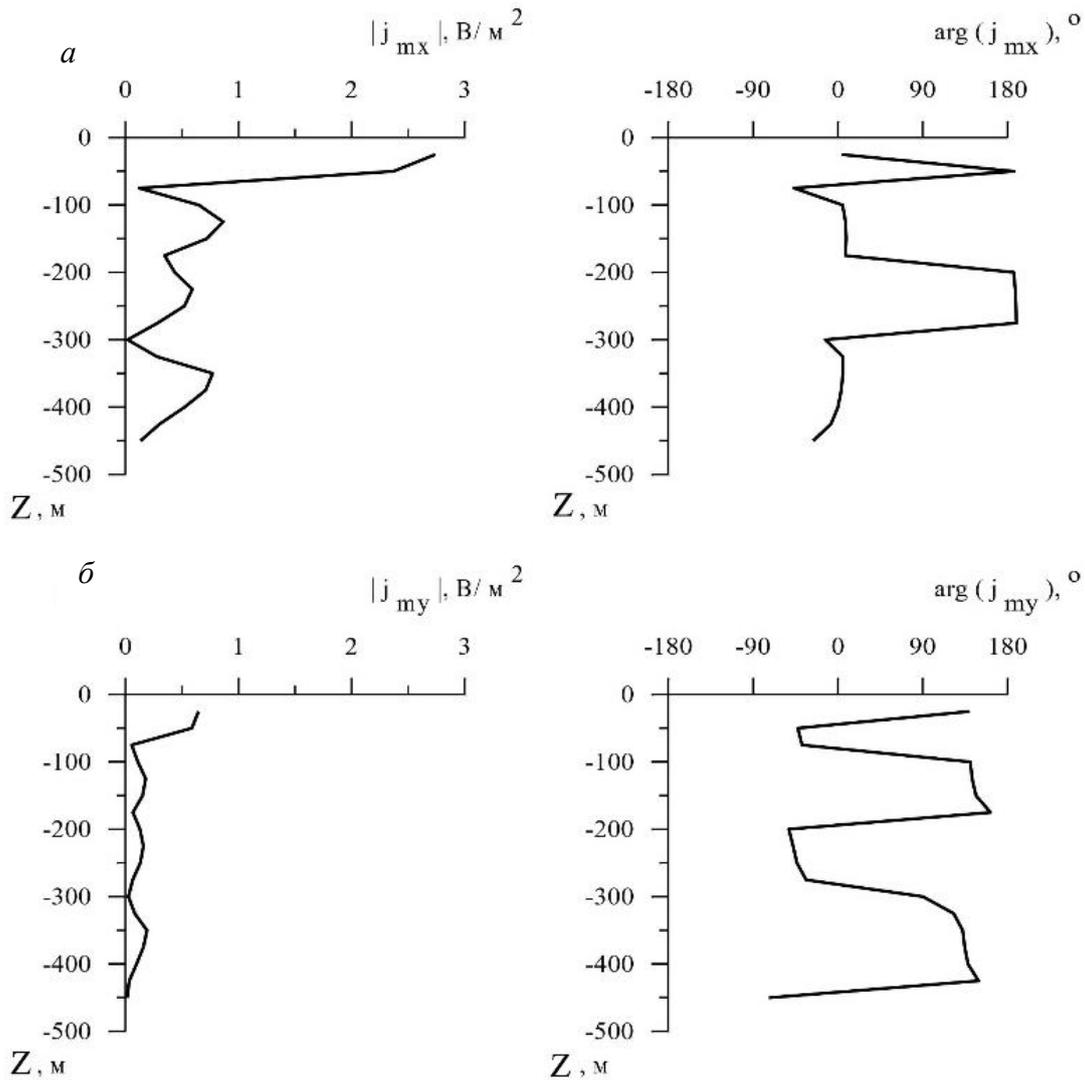


Рис. 6. Графики зависимости значений амплитудных и фазовых характеристик горизонтальных компонент плотности магнитного тока j_m от глубины Z :

a — для горизонтальной компоненты j_{mx} ; b — для горизонтальной компоненты j_{my} .

Графики рассчитаны по экспериментальным данным с участка Соукер Печенгского рудного района для точки с координатами $X = 150$ м, $Y = 100$ м

Fig. 6. Graphs of amplitude and phase of horizontal components of the magnetic current density j_m depending on the depth Z :

a — for the horizontal component j_{mx} ; b — for the horizontal component j_{my} . Graphs are calculated

from experimental data from the Souker site in the Pechenga ore region

for the point with coordinates $X = 150$ m, $Y = 100$ m

Выводы

Таким образом, по результатам проведенных работ можно сделать следующие выводы. Радиоголографический метод, основанный на принципах частотного зондирования, является перспективным инструментом для решения задач рудной геофизики по визуализации в земной коре геоэлектрических неоднородностей, особенно в сложных геологических условиях, когда возможности широко применяемых импульсных методов электроразведки ограничены. Наличие мощного контролируемого источника электромагнитного поля и современного комплекса приемной и передающей аппаратуры с точной привязкой по времени измеряемых сигналов при помощи спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS позволяет эффективно организовать быструю и экономически дешевую площадную съемку магнитных компонент электромагнитного поля от контролируемого источника на исследуемом геологическом участке. При этом измеряются не только значения амплитуд, но и распределения фазовых сдвигов компонент электромагнитного поля. Применение радиоголографического метода позволяет по площадным поверхностным наблюдениям амплитудно-фазовых характеристик составляющих магнитного поля эффективно локализовать в пространстве аномальные области с повышенной электропроводностью, ассоциируемые с локальными рудными телами.

Анализ экспериментальных исследований по применению радиоголографического метода на участках Лойпишюн и Соукер в Мончегорском и Печенгском районах Мурманской обл. показывает, что рудные зоны, контролируемые тектоническими разломами, отмечены аномалиями в распределении плотности горизонтальных компонент фиктивного магнитного тока j_m . Но вследствие быстрого спада амплитудных значений данных компонент с глубиной для более надежной интерпретации аномалий необходимо привлекать к рассмотрению и фазовые характеристики горизонтальных составляющих плотности магнитного тока. Зоны, перспективные на обнаружение локальных рудных тел, отмечаются резкими скачками фазы — до 180° , которые сопряжены с относительными максимумами амплитуды.

Проведенные модельные вычисления позволяют сделать вывод, что в практике полевых работ с применением радиоголографического метода в качестве контролируемого источника электромагнитного поля целесообразнее использовать заземленную длинную линию. Наличие гальванической моды электромагнитного поля может приводить к росту амплитудных значений горизонтальных компонент плотности магнитного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhdanov M. S. Electromagnetic migration // Deep electromagnetic exploration. New Delhi: Springer-Verlag, Narosa Publishing House, 1999. P. 283–298.
2. Жданов М. С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. М.: Науч. мир, 2007. 712 с.
3. Гайкович К. П., Смирнов А. И. Обратные задачи низкочастотной диагностики земной коры // Известия вузов. Радиофизика. 2015. Т. 58, № 6. С. 476–491.
4. Терещенко Е. Д. Радиоголографический метод исследования ионосферных неоднородностей. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1987. 99 с.
5. Сидоров В. А. Импульсная индуктивная электроразведка. М.: Недра, 1985. 192 с.
6. Investigations by TEM-FAST Technique: Methodology and Examples / P. O. Barsukov [et al.] // Electromagnetic Sounding of the Earth's Interior: Theory, Modeling, Practice / ed. by V. V. Spichak. Amsterdam: Elsevier, 2015. Chapter 3. P. 44–77.
7. Терещенко Е. Д., Любчик В. А. Визуализация геоэлектрических неоднородностей в земной коре радиоголографическим методом // Разведка и охрана недр. 2014. № 11. С. 19–24.
8. Дмитриев В. И. Электромагнитные поля в неоднородных средах. М.: МГУ, 1969. 131 с.
9. Любчик В. А. Применение радиоголографического метода при поиске локальных рудных тел // Физика Земли. 2015. № 2. С. 139–149.
10. Медно-никелевые месторождения Балтийского щита / под ред. Г. И. Горбунова, Х. Папунен. Л.: Наука, 1985. 329 с.
11. Филатов М. В., Пильгаев С. В., Федоренко Ю. В. Четырехканальный 24-разрядный синхронизированный с мировым временем аналого-цифровой преобразователь // Приборы и техника эксперимента. 2011. № 3. С. 73–75.

Сведения об авторе

Любчик Владимир Алексеевич — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Полярного геофизического института
E-mail: lubchich@yandex.ru

Author Affiliation

Vladimir A. Lyubchich — PhD (Physics & Mathematics), Researcher of the Polar Geophysical Institute
E-mail: lubchich@yandex.ru

Библиографическое описание статьи

Любчик, В. А. Исследование амплитудно-фазовых характеристик горизонтальных компонент фиктивного магнитного тока при проведении геофизических работ радиологическим методом / *В. А. Любчик* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 87–100.

Reference

Ljubchich Vladimir A. The Investigation of Amplitude-Phase Characteristics of Horizontal Components of the Fictitious Magnetic Current in the Process of Geophysical Explorations by Using the Radioholographic Method. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2019, vol. 3 (11), pp. 87–100. (In Russ.).

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.101-123
УДК 904(470.21)«653»:726.5

СРЕДНЕВЕКОВЫЕ ВОЛОКИ МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

М. М. Шахнович

БУ Национальный музей Республики Карелия

Аннотация

Статья посвящена обследованию мест на Мурманском побережье Баренцева моря с топонимом «Волоковой». Полученные материалы дают основание для ревизии ряда исторических стереотипов, связанных с функционированием волоков. Исследованные участки Мурманского берега следует определить как «волока местного значения». Они не использовались как часть большого межрегионального пути вдоль берега Баренцева моря, а выполняли частные задачи облегчения мобильности сообщения для местного населения и промысловиков между соседствующими микрорайонами морского побережья. Здесь производилась переноска, перетаскивание («волочение») грузов, возможно, и небольших лодок (полуострова Святой Нос, Средний). При конкретной работе термин «волок» следует рассматривать только как устоявшийся топоним, требующий осторожного применения в реконструкциях и обширного комментирования. Наши работы снова подтвердили тезис о невозможности прямолинейной трактовки данных топонимии и необходимости их проверки археологическими исследованиями.

Ключевые слова:

Русская Лапландия, Мурманское побережье Баренцева моря, средневековые волоки.

MEDIEVAL PORTAGES («VOLOKI») ON THE MURMANSK COAST OF THE BARENTS SEA

Mark M. Shakhnovich

The National Museum of the Republic of Karelia

Abstract

The article is devoted to the survey of places on the Murmansk coast of the Barents Sea with the toponym "Vолоkovo". The collected data provides the basis for the revision of a number of historical stereotypes related to the functioning of the wolves. The explored sections of the Murmansk coast should be defined as a local "volok". They were not used as a part of a large interregional route along the coast of the Barents Sea, but they performed the tasks of facilitating communication mobility for the local population and fishers among neighboring microdistricts of the sea coast. There were carrying goods, dragging and dropping cargo, possibly small boats (Holy Nose Peninsula, Middle Peninsula). The term "volok" should be considered only as a toponym, requiring careful use in reconstruction and extensive commentary. Our work again confirmed the thesis of the impossibility of a direct interpretation of toponymy data and the need for verification by archaeological research.

Keywords:

Russian Lapland, the Murmansk coast of the Barents Sea, medieval portages ("voloki").



Введение

С 2000-х гг. изучение материальной культуры позднего Средневековья и Нового времени сформировалось в отдельное и приоритетное направление археологии России. Закономерно вырос интерес и к памятникам поморского, карельского и саамского этносов «русского периода» Лапландии. Небольшие археологические работы на «лопарских» поселениях проводились и ранее — в конце XX в.

В качестве успешного опыта можно рассматривать раскопки «поздних» саамских поселений с разновременными комплексами в Северной Салме (1985–1986 гг.) и бухте Дворовая (1985, 1991–1992 гг.) [1, 2].

В XXI в. исследования приобретают более последовательный характер. В 2009–2015 гг. впервые проведены раскопки городища и прицерковного некрополя в с. Варзуга, остатков церквей на усадьбах православных монастырей в Борисоглебске, Печенге и Кандалакше [3–5]. Материалы, полученные в процессе этих небольших по объему, но содержательных, комплексных работ, позволили во многом скорректировать существующие представления о различных аспектах истории «московитского» освоения Русской Лапландии, ранее основывавшиеся только на скудной информации письменных источников [6].

В настоящее время ведется активное накопление дополнительных данных по ранее известным и вновь выявленным памятникам позднего Средневековья — Нового времени. В этой связи актуальной задачей стало полное введение в научный оборот материалов новых исследований.

Общее. История Мурманского побережья в XI–XV вв. из-за скудной базы источников изучена незначительно. Письменные сведения о регионе отсутствуют, а единичные археологические находки случайны. В качестве общего предварительного тезиса исследователями предлагается рассматривать их как следы присутствия «викингов и терской лопи, т. е. саамов» [6, с. 20–27]. Поэтому ранний этап средневекового освоения карельским населением северного побережья Кольского п-ова неясен и пока намечен схематично. Эта неутешительная ситуация обусловлена тем, что целенаправленные работы по поиску средневековых памятников археологии на данной территории никогда не проводились.

С XII в. этот район был территорией хозяйственного освоения промысловых общин как корелы, так и мурман. Новгородско-норвежский договор 1326 г. юридически оформил «экономическую зону» общего пользования на Мурмане, просуществовавшую до XVII в., но не снял конфликтного противостояния.

Колонизация побережья Баренцева моря корелой и москвитами имела хорошо выраженную промысловую направленность и осуществлялась посредством эксплуатации ресурсов локальных приустьевых участков морского побережья. Из-за суровости природно-климатических условий и удаленности от метрополии вплоть до XVI–XIX вв. «русские» промысловики и саамы, скорее всего, находились здесь сезонно — в незимний период добычи нерестовой рыбы, морского зверя и межэтнической торговли. Пока мы не знаем мест круглогодичных «наших» поселений-факторий на Мурманском берегу в Средневековье. Единственный табуированный для российских археологов объект — это легендарное Валитово городище (XIV в.?), неясный топоним на острове в современном норвежском пограничье [7]. Данная ситуация «второго плана» для Баренцевоморского берега Русской Лапландии в карельской экспансии на Север во многом была обусловлена тем, что потребности новгородского внутреннего и международного рынков долгое время восполнялись за счет разнообразных и более доступных сырьевых возможностей Беломорья: слюды, поделочных минералов, кож, речного жемчуга, ворвани, «рыбьего зуба», мехов, охотничьих птиц, соли.

Кардинально отличная ситуация сложилась в Финмаркене, где с XII в. на морских островах и в фиордах устойчиво обосновались северонорвежские общины [8]. Постоянные нападения на приморские деревни мурман «конкурирующих» новгородских отрядов не позволили продвинуться норвежским поселенцам на восток, за п-ов Рыбачий, к Кольскому заливу. Включение современного побережья Мурманского берега России в экономическую сферу североскандинавского социума могло произойти раньше появления здесь военно-промысловых карельских экспедиций. Поэтому вполне реальна возможность, что при целенаправленном поиске на территории Российской Лапландии могут быть выявлены остатки сезонных средневековых поселений «викингов».

Вдоль северного берега Кольского п-ова проходил так называемый «Северный Широкий ход», соединявший в Средневековье Скандинавию и Беломорье, а позднее — Северную Европу и арктические районы России. От о. Кильдин до устья Северной Двины на паруснике плавание

продолжалось около двадцати дней без стоянок. Прибрежное мореплавание было основным в Средневековье, и его специфика зависела от типа судна и навыков кораблевождения: «от матерой земли ластовые суды и лоды ходят от матерой земли на 20 до 10 верст, а щерботы до пяти и меньше, смотря по ветру и по месту» [9].

Волоки — неотъемлемая часть континентальной сети озерно-речных путей сообщения. По ним перемещали грузы и плавсредства через водоразделы, обходили порожистые и мелководные участки рек. Древние водно-волоковые пути Севера европейской части России неоднократно привлекали внимание исследователей различных гуманитарных направлений: историков, географов, топонимистов и краеведов [10–13]. В специализированных изданиях периодически публикуются статьи с интересными данными историко-архивных изысканий и важными натурными наблюдениями. К сожалению, авторы или рассматривали общую проблематику волоков, или касались одного из частных сопутствующих вопросов, а предлагаемые разноплановые гипотезы и единичные экспериментальные реконструкции конкретных способов их функционирования не опираются на конкретный археологический материал [14–16].

Тема волоков традиционно относится к средневековому периоду археологии европейских территорий РФ. В конце XX — начале XXI вв. на волоковых путях проводились археологические изыскания, позволившие осуществить их картографирование, в ряде случаев выявить места сопутствующих средневековых поселений, а также наметить основные методологические принципы поиска [17–20]. Исследовались многочисленные короткие сухопутные отрезки на водоразделах континентальных североевропейских речных бассейнов, преимущественно тип «река — река».

Существуют и другие типы волоков: «море — река — море» и «море — море», которые до недавнего времени не привлекали внимание археологов. На побережье Русской Арктики нам известны только две крупные морские волоковые системы — через полуострова Ямал и Канин Нос, использовавшиеся в конце XVI — первой половине XVII в. О. В. Овсянников рассматривает их как важную часть единой «трансарктической магистрали мангазейского морского хода». Ямальский волок, длиной около 220 км, проходит с запада на восток по рекам и озерам в южной части одноименного полуострова. Участок, преодолеваемый по суше («сухой волок»), был только 2 км, и общее затраченное время на пересечение полуострова из Карского моря в Обскую губу составляло 35 дней [21, с. 50]. Вторая трасса, которую использовали русские промышленники при плавании в Мангазею, — водно-волоковый путь через южную, низменную часть п-ова Канин по рекам Чиже и Чеше протяженностью около 40 км, его проходили за три-четыре дня.

Волоки — это не исключительно «русское явление». На территории Финляндии в качестве памятников археологии и истории зарегистрирован 51 волок, соединяющий гидросистемы или обходящий порожистые участки рек. Длина этих сооружений варьировала от 20–30 м до 1,5 км. Они существовали с глубокой древности, но в современном «окультуренном» состоянии в основном были созданы в XIX в. по государственным проектам по улучшению сети внутренних транспортных путей сообщения. Обычно по всей линии волока прорывалась неглубокая и узкая канава, стенки и дно которой укреплялись камнями, бревнами или досками. В Норвегии также известно около 460 разных топонимов, обозначающих места для перетаскивания [22, с. 80].

Территория нашего исследования — Мурманский берег Русской Лапландии. Здесь известны четыре морских залива при узких перешейках полуостровов с названием «Волоковая»: на п-ове Святой Нос, в устье Кольского залива и между полуостровами Рыбачий и Средний и материком. Это обстоятельство стало основой для рабочего предположения: а что если водная инфраструктура маркировалась соответствующими характерными русскими гидронимами, то в данных местах в Средневековье, вероятно, могло производиться перемещение по суше плавсредств и грузов между водоемами (рис. 1).



Рис. 1. Мурманская обл. Местонахождение волоков:

1 — п-ов Святой Нос; 2 — Кольский залив; 3 — п-ов Средний

Fig. 1. Murmansk region. Location of the *voloks*

1 — Svyatoi Nos Peninsula; 2 — Kola Peninsula, 3 — Sredny Peninsula

Тема «волоков» на побережье Баренцева моря никогда ранее не вызывала интереса у историков и археологов. В региональной исторической литературе связь топонима с его назначением в качестве места для перетаскивания судов по суше в Средневековье была аксиомативной [23, с. 47; 24, с. 284, 471; 25, с. 95–99]. Но неоднозначность этого термина и производных от него в русском разговорном языке хорошо демонстрируют толковый словарь В. И. Даля и энциклопедический словарь Ф. Брокгауза и И. Ефрона. Приведем только определения пространственного значения: перешеек между реками, текущими в противоположных направлениях; гужевой путь лесом; расстояние между стоянками; низменный берег; занесенное песком устье реки; лесное урочище [26, с. 579; 27, с. 83]. Также отсутствуют конкретные письменные источники, картографическая информация и этнографические свидетельства о местной практике эксплуатации волоков (кроме п-ова Средний), а археологическое изучение такого рода памятников в Восточной Финноскандии никогда не проводилось. Подобная ситуация — существование устойчивых стереотипов, не подкрепленных конкретными фактами и основывающихся только на произвольных допущениях, возникновение которых трудно проследить в историографии — распространенное явление в отечественной исторической науке.

На известном картографическом материале появление гидронима «волок» в интересующих нас местах происходит только в XVIII в. Мы предполагаем, что возник он несколько раньше — скорее всего, в XVI в., с началом «двинской» экспансии «носителей русского языка» в Восточную Лапландию, сменившей «карельскую волну», что хорошо отражено на европейских картах начиная с середины XVI в. [28]. Несомненно, рассматриваемые заливы имели более ранние названия как у саамов, так и у карелов, но нам они не известны. Здесь нужно учитывать неизбежный процесс смены топонимии с течением времени и с появлением нового населения. Иногда истари установившиеся среди аборигенов географические названия произвольно заменялись картографами и чиновниками русифицированными наименованиями, получавшими в дальнейшем официальный статус. Для нашей работы поздние гидронимы могут быть намеком на существование волоков, указывающим общее направление поиска, но не должны рассматриваться как полноценный аргумент в дискуссии.

Определять местонахождение волоков только на основе анализа карт малопродуктивно. Поэтому в 2016–2017 гг. с целью проверки «кабинетных» построений и существовавших сомнений о проведении в выделенных пунктах таких трудозатратных действий, как перетаскивание судов, были предприняты полевые выезды на Мурманское побережье Баренцева моря, чтобы предварительно обследовать места, с которыми связаны названия «волоки». Это первая попытка их археологической натурной локализации на территории Русской Лапландии. При положительных результатах предполагалось наметить стратегию последующих, более углубленных работ и предварительно реконструировать процесс функционирования волоковых трасс Мурманского моря. В целом эти работы были продолжением наших изысканий по поиску и исследованию средневековых путей сообщения [30].

Труднодоступность мест обследования, сложность с морской транспортировкой в пограничной зоне, зависимость при перевозках морем от суточных вертикальных океанических колебаний, суровость арктических метеоусловий очень осложняли работу и снижали общую результативность наших выездов.

Методика

Выявление предполагаемых трасс волоков, при отсутствии конкретных исторических описаний, может основываться на единственном оптимальном подходе, учитывающем совокупность практических причин их существования именно в данном месте, — благоприятный рельеф и целесообразность. Первоначально в рельефе местности определялся наименее физически малозатратный, кратчайший путь с грузом по перешейку из одного морского залива в другой — это понижения болотистых участков и скальные распадки с озерами. Ручьи из-за извилистости, обвалушенности ложа и значительной врезанности русел, на наш взгляд, мало подходили для перетаскивания судов. Намеченный маршрут проходил пешком, с подробной «пошаговой» фотофиксацией, осмотром обнажений и поиском на местности четких наземных признаков специализированной антропогенной деятельности, которые можно было бы предварительно связать с процессом перемещения судов или грузов: канавы, колеи, эскарпированные или выровненные съезды и подъемы, остатки гатей, желобов, воротов и т. п. Благодаря минимальному нарастанию почвенного слоя на гравийно-песчаных террасах арктического морского побережья остатки древних сооружений начиная с эпохи мезолита, связанные с проведением землекопных работ, хорошо наблюдаются в микрорельефе. О. В. Овсянников отмечает еще несколько признаков волоковых трасс в таежной местности: большая уплотненность грунта, углубление от «колеи», дорожные метки на стволах деревьев [16, с. 47].

В физико-географическом отношении места обследования находятся в субарктическом климатическом поясе и представляют собой прибрежную тундровую зону с низким, не всегда сплошным растительным покровом и березовым редколесьем в речных и озерных понижениях рельефа. Подобная ситуация была и 500–600 лет назад.

Современная скорость изостатического, непрерывного поднятия суши в районе Мурманского берега, с учетом вариаций блоковых горизонтальных деформаций и общего замедления подъема Балтийского щита во времени, составляет усредненно 0,3–0,45 см/год: в районе Кольского и Мотовского заливов — 0,2–0,3 см/год, в устье р. Йоканга — 0–0,1 см/год [30–32]. Таким образом, в позднем Средневековье уровень Баренцева моря был несколько выше современного: в XV–XVI вв. в районе п-ова Средний — приблизительно на 2–2,3 м, на п-ове Святой Нос — до 1 м, а заболоченность водоемов была меньшей, что, несомненно, несколько облегчало процесс возможного перемещения по ним плавсредств.

Описание работ

П-ов Святой Нос находится на восточном побережье Кольского п-ова, в 280 км на юго-восток от г. Мурманска. Он считается условной географической границей Баренцева и Белого морей, Мурманского и Терского берегов и важной навигационной доминантой в поморских

лоциях: от него производился отсчет до норвежских городов. С запада к полуострову примыкает устье крупной реки Йоканга, где в 12 км вверх по течению, на левом берегу, до 1960-х гг. находился летний Йокангский погост, отмеченный на картах XVI–XVIII вв. Ранее в северной части полуострова располагался военный поселок Святоноская Сирена, сейчас — пост пограничников.

Первая информация об археологии р. Йоканга — это раскопки в 1914 г. финского этнографа Т. Итконена саамского поселения около устья реки [33]. В 1928 г. географом Г. Д. Рихтером была передана коллекция из 18 каменных орудий с Йокангского озера в Археологический отдел МАЭ АН СССР. С 1940 г. и по настоящее время в пос. Гремиха находится база военно-морского флота, поэтому доступ на эту территорию ограничен и сообщение с другими населенными пунктами Мурманского побережья и сегодня осуществляется только по морю. Эти обстоятельства долгое время делали затруднительным обследование приустьевых участков р. Йоканга, и эпизодические работы проводились на удаленных от моря материковых озерах. В 1947 г. Н. Н. Гурина зафиксировала на восточном берегу оз. Йокангское пять пунктов находок с кварцевым инвентарем (№№ 3–7) [34, с. 150]. Один из них — разрушенная неолитическая стоянка Йоканга I был полностью раскопан в 1978 г. (52 м²) [35]. В 1976 г. Североевропейский отряд Института этнографии АН СССР под руководством Т. В. Лукьянченко провел антропологические раскопки на могильнике Йоканга I, где было изучено 27 саамских могил XIX–XX вв. [36].

На п-ове Святой Нос археологические памятники пока не известны. Полуостров узкий (в основании — 3,7 км), выдается в море на 14 км, по длинной оси ориентирован северо-запад — юго-восток, Берега скалистые, обрывистые, максимальная высота — 180 м. Знаменитый гидрограф М. Рейнеке так описывает его в 1833 г.: «Оба берега Святого носа, вытянувшегося от материка к NNW миль на десять, суть гранитные утесы темного цвета, высотой до 30 саж., подошва их усеяна гранитными обломками, местами скатившимися в воду. ... Хребет пологих гор, возвышенных сажень на 15 или 29 над этими утесами покрыт белым мхом. К югу продолжается этот хребет в глубь материка, а к северу постепенно снижается, равно как и сами утесы и прорезанный глубоким оврагом (волоком) в двух милях южнее оконечности мыса... Волок, прорезающий утесы Святого носа, имеет направление StW, от губы Волоковой до Лопского становища, длина его около версты, ширина сажень 40, наклонение в обе стороны от 5° до 10°. ... Шлюпкам удобно приставать с западной стороны в Лопском становище, а в тихую погоду в заводи с восточной стороны пристанище в губе Волоковой» [37, с. 101, 121–122].

В морской акватории к северу от полуострова существует такое редкое гидроявление, как сулой (по-арханг. *сулой*) — беспорядочное сильное волнение при встрече противоположных течений двух морей [24, с. 323]. Для маломерных, с низкими бортами поморских судов Средневековья попадание в сулой приводило к катастрофическим последствиям*. Австрийский дипломат начала XVI в. С. Герберштейн со слов русского коллеги эмоционально описывает это легендарное место: «Святой Нос есть огромная скала, выдающаяся в море наподобие носа. Под этой скалой видна преисполненная водоворотами пещера, которая каждые шесть часов поглощает море и попеременно с большим шумом возвращает эту пучину, извергая ее обратно. Одни называли это пупом земли, а другие Харибдою. Сила же этой пучины настолько велика, что она притягивает корабли и другие предметы поблизости, крутит их и поглощает. По словам толмача, он никогда не находился в большей опасности. Ибо, когда эта пучина стала внезапно и сильно притягивать к себе корабль, на котором они ехали, то они едва спаслись оттуда, оказав с великим трудом сопротивление веслами» [39, с. 186].

* «У оконечности Святого Носа почти всегда сулой от спорных течений, весьма опасные для шняк и особенно сильные при приливе. Святоносские сулой, начинаясь почти у оконечности мыса, с удалением от него постепенно распространяются и достигают длины 10 верст и ширины около полуверсты. Направление сулой у Святого Носа при прибылой воде идет на северо-восток и восток, а при убылой на север. Высота волн в сулое бывает до 18 футов и особенно высокая вода получается при восточном ветре. Всякое беспалубное или вообще небольшое нагруженное судно может быть опрокинуто и залито волнами. Шняки промышленников стараются проходить ближе к берегу, где полоса сулой уже, и льют за борт тресковый жир для усмирения волн» [39, с. 607–608].

Для новгородцев XIV в. это место ассоциировалось с адом: «Много детей моих новгородцев видоки тому: на дышющем море червь неусыпающий, скрежет зубный и река молненная Морг, и что вода въходить в преисподняя и паки исходить трижда днем» [40, с. 88]. С полуостровом связано известное поморское предание из жития прп. Варлаама Керетского — о заклятии им в данном месте морских червей, которые разрушали (опрокидывали, прогрызали) морские суда [41, с. 155–156]. Легендарные черви-древоточцы поморской мифологии, вероятно, были неким символом навигационной опасности места [42, с. 11]. Понятно, что Святой Нос в Средневековье рассматривался мореходами как опасное, сакрализованное пространство, первоначально языческое, а затем — христианское, где необходимо оставлять votивные жертвоприношения [28, с. 142]. Нет сомнений в том, что в определенный период волок через п-ов Святой Нос имел жизненное значение для прибрежного мореплавания.

Уже в XVI в., с развитием морского судостроения, волок использовался только как местный объект и, вероятно, состоял из системы воротов и настилов. К 1960-м гг., по свидетельству старожилов, еще сохранялись его деревянные фрагменты. В 1967 г. по решению исполкома Мурманского областного совета депутатов трудящихся «Деревянный настил «Волок» на полуострове Святой Нос 30×30 м» был включен в список памятников истории и культуры. В 1986 г. общественной инспекцией ВООПИиК проводилась проверка состояния памятника «Волок» XI–XII вв. (устройство для перетягивания судов через перешеек Святого Носа)», выявившая его бедственное состояние. В настоящее время в Своде памятников истории и культуры Мурманской обл. данный объект не значится.

В качестве участка для поиска волоковой трассы выбрано описанное путешественниками самое узкое место полуострова — в 3,5 км к юго-востоку от крайней точки Святоносского п-ова. Обследованы два возможных маршрута через перешеек от губы Лопское Становище (западный берег полуострова) до губы Волоковая и губы Становая на восточном берегу (рис. 2).



Рис. 2. Полуостров Святой Нос. Предполагаемые трассы волоков

Fig. 2. Svyatoi Nos Peninsula. Estimated tracks of *voloks*

Маршрут 1 по предполагаемой трассе волока до губы Волоковой составил 1,4 км с юга на север: «От вершины бухточки есть лощина в губу Волоковую по румбу Nt, длина этого волока или оврага около версты, ширина до 40 саж. И наклон от середины к концам около 10°. По преданиям,

здесь перетаскивали суда» [37, с. 611]. Преимущественно он проходит по двум небольшим озерам и ровной, с твердым торфяниковым покровом низине между скальными массивами и прибрежным песчаным площадкам. Это единственное понижение рельефа — скальный распадок-сейсморазлом, пересекающий полуостров. Вдоль северного склона «оврага» можно наблюдать выразительные сеймотектонические, сейсмогравитационные позднеголоценовые сейсмодислокации — крупно-глыбовые развалы остроугольных скальных обломков размером до 2×1,5 м. По мнению геологов, подобная картина типична для эпицентральных областей землетрясения силой не менее 8 баллов, произошедшего около 1–2 тыс. лет назад [43].

Краткое описание участков маршрута 1: 1) ровная, песчано-гравийная площадка (120×90 м) в основании губы Лопской. Высота над уровнем моря — 8–10 м. С востока ее ограничивает озеро, с юга — болотистое понижение, по которому происходит сток воды из ближайшего озера, с севера — скальный склон, с запада — крутой береговой скат к морю. Терраса задернована, на поверхность выступают крупные валуны. Через нее проходит «полевая» дорога от окончания полуострова к реке Иоканьга. Верхний слой грунта сильно испорчен антропогенной деятельностью 2-й половины XX в.; 2) безымянное озеро 1 (240×85 м) в 0,3 км к северо-востоку от моря, с заторфованными каменистыми берегами. С юга из него вытекает полноводный ручей длиной 150 м и со скоростью течения около 6 км/ч.; 3) участок между двумя озерами в узкой, засыпанной обломками осыпи, заторфованной низине между скалами: длина — 320 м, ширина в самом узком месте — около 30 м. Озера соединяет небольшой ручей (водоток на юг), текущий между больших валунов. Следы расчистки трассы от камней отсутствуют; 4) безымянное озеро 2 (350×45 м) со скалистыми берегами, находится в 170 м к югу от моря; 5) ровная, частично задернованная песчано-гравийная площадка между озером 2 и губой Волоковой — 110×115 м, выровненная механическим способом во 2-й половине XX в. С севера — крутой каменистый склон задернованного берегового обрыва (наклон — 45°, высота — 12 м). В его центральной части находятся две «колеи» — углубленные «канавы» в 3 м друг от друга, подтреугольные в поперечном сечении, длиной — 29 м, шириной — 1,4–1,6 м, глубиной — 0,4–0,45 м (рис. 3–4).



Рис. 3. Полуостров Святой Нос. Волок 1: вид с запада (а) и с востока (б). Фото Д. Лоскутова

Fig. 3. Svyatoi Nos Peninsula. The volok 1: view from the west (a) and from the east (b). Photo by D. Loskutov

На перемычках между водоемами и на площадках около заливов визуально различимые следы от наземных приспособлений и земляных сооружений для перетаскивания (канавы, ямы, настилы), как и остатки построек, не обнаружены. «Канавы» на береговом склоне губы Волоковой можно интерпретировать как места затаскивания грузов или судов (?) с помощью ворот, эксплуатировавшихся, вероятно, до 2-й половины XX в.

Маршрут 2 по второй предполагаемой трассе волока до губы Становой (1 км к юго-востоку от губы Волоковой) составил 1,3 км с запада на восток. Преимущественно он проходил по ровной, с твердым торфяниковым покровом, незначительно обводненной низине между скальными массивами и по прибрежным песчаным площадкам.



Рис. 4. Полуостров Святой Нос. Губа Волоковая. Вид с юга. Фото Д. Лоскутова
Fig. 4. Svyatoi Nos Peninsula. The Volokovaya Bay. View from the south. Photo by D. Loskutov

Краткое описание участков маршрута 2: 1) ровная, песчано-гравийная площадка в основании губы Лопской, описанная ранее; 2) крутой, каменистый подъем по западному, сильно эскарпированному при строительстве дороги склону холма с восточной стороны озера 1–410 м; 3) ровная заторфованная низина между скальных вершин, с наклоном к востоку — 520 м. Последние 200 м до залива, в центре низины, прорезая слой торфа до каменистого основания, протекает небольшой ручей с извилистым руслом (ширина — 1,5 м, глубина — 0,7 м); 4) ровная, частично задернованная, песчано-гравийная с редкими валунами площадка в основании губы Становая (80×50 м). Следы от специализированных сооружений, как и на маршруте 1, не обнаружены (рис. 5).



Рис. 5. Полуостров Святой Нос. Волок 2. Вид с запада
Fig. 5. Svyatoi Nos Peninsula. The volok 2

Второй маршрут короче первого на 0,1 км, но он более сложный: нет водных поверхностей и нужно преодолеть крутой, каменистый подъем в южной части. Половина маршрута 1 (600 м в современном состоянии) — это озера, водная поверхность которых 500 лет назад была больше на 10–15 %. Первоначально эти два озера были одним водоемом (длиной около 1 км), который впоследствии в центральной части перекрыла каменная осыпь тектонического характера. Вполне возможно, это катастрофическое событие могло произойти в относительно недавний исторический период.

Маршрут 1 более удобен для перемещения плавсредств и потому лучше для трассы волока, чем маршрут 2. Но гипотетически оба пути могли использоваться для переноски грузов.

На вершине западного берега губы Становой, в 60 м к западу от края скального обрыва выявлены три культовых камня — небольшие валуны (max 1,3×1,1×1 м), поставленные на маленькие камни-«ножки», так называемые «сейды». Расположение их типовое: доминирующая над местностью ровная скальная площадка, установка на незадернованные скальные выходы-«постаменты», обычно ориентация на обрыв и воду, но в нашем случае — в сторону поселенческой площадки в основании залива. На Кольском п-ове подобные каменные сложения часто встречаются около саамских поселений и путевых троп [2, с. 285].

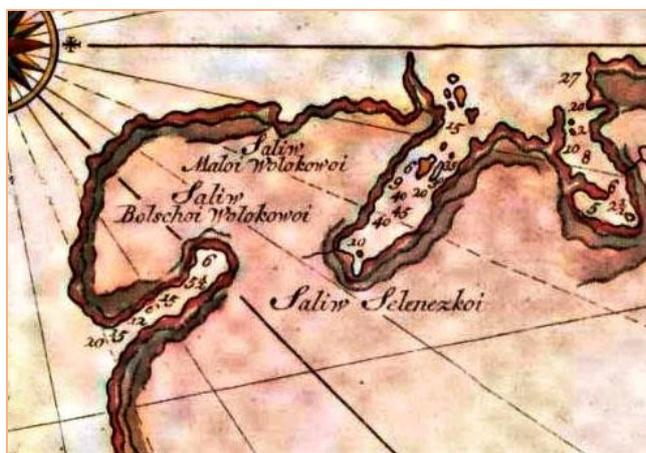


Рис. 6. Фрагмент карты
“Van Keulen Atlas van de Rivar van Kola”. 1780 г.

Fig. 6. The fragment of the map
“Van Keulen Atlas van de Rivar van Kola”. 1780

огибать мыса Летинского, где водились черви, протачивавшие обшивку (?). Поэтому ложбина называется волоком, а губы Волоковыми. ... Губа Малая Волоковая. Небольшой заливек, совершенно открыт от NW до NO. Берега круты и высоки. ... Якорного места здесь нет, только при южных ветрах, летом останавливаются здесь шняки» [37, с. 115, 137]. Возможно, не случайно относительно района устья Кольского залива у поморов существовала такая же «бродячая» легенда о борьбе прп. Варлаама Керетского с «диавольскими кознями», как и для п-ова Святой Нос [44, с. 12] (рис. 6).

На исторических картах XVIII–XIX вв. в приустьевом участке восточного берега Кольского залива поморские поселения отсутствуют, но в более раннее время, возможно, здесь были небольшие промысловые станы [45, с. 433]. С 1917 по 1938 г. здесь существовало поселение финских колонистов (1926 г. — 9 чел.). Сейчас в губе М. Волоковая сохранились только развалины строений пограничного поста 2-й половины XX в., а в губе Б. Волоковая — деревянный причал с отсыпанным крупным скальником подъездом к нему и дорога производственной базы хозяйства совхоза, существовавшего до 1990-х гг. Ранее археологические работы на этом участке морского побережья не проводились.

В 2017 г. обследованы два варианта возможных маршрутов волоков из губы Б. Волоковая в заливы М. Волоковая и Зеленецкая Западная (рис. 7). Маршрут 1 от губы Б. Волоковой до губы М. Волоковой составил 2,7 км по перешейку между заливами — это глубокий распадок, прорезающий

Кольский залив. Губа Б. Волоковая находится в восточной части выхода из Кольского залива, в 30 км к северо-востоку от г. Мурманска. «Большая Волоковая имеет вид прямого и довольно узкого рукава, вдающегося на 1,7 мили при ширине от 200 до 250 сажень. ... В летнее время здесь промысляют семгу русские рыбаки» [38, с. 445]. «Берега — высокие каменные горы, южный утесист, хотя и ниже верного. От вершины губы идут два разлога: на восток к губе Зеленецкой, на NNO к губе Малой Волоковой. Длина последнего 2,5 версты, ширина — 50–70 саж., середина возвышена над горизонтом воды до 70 фут., покатоности к обоим концам, через болота и озерки, около десяти градусов. Здесь лет за 150 коляне перетаскивали свои суда, чтобы не

с юго-запада на северо-восток скальный массив п-ова Летинский. Два небольших озера в центральной части пути составляют около 20 % предполагаемой трассы (суммарно 0,52 км). Заливы соединяет давно не используемая, заросшая березовым криволесьем дорога 2-й половины XX в. Ее полотно (шириной 4 м) создано тракторной подвижкой грунта, отсыпкой дробленого камня, с восточной стороны отрыт глубокий кювет (глубиной 1 м, шириной 2 м).

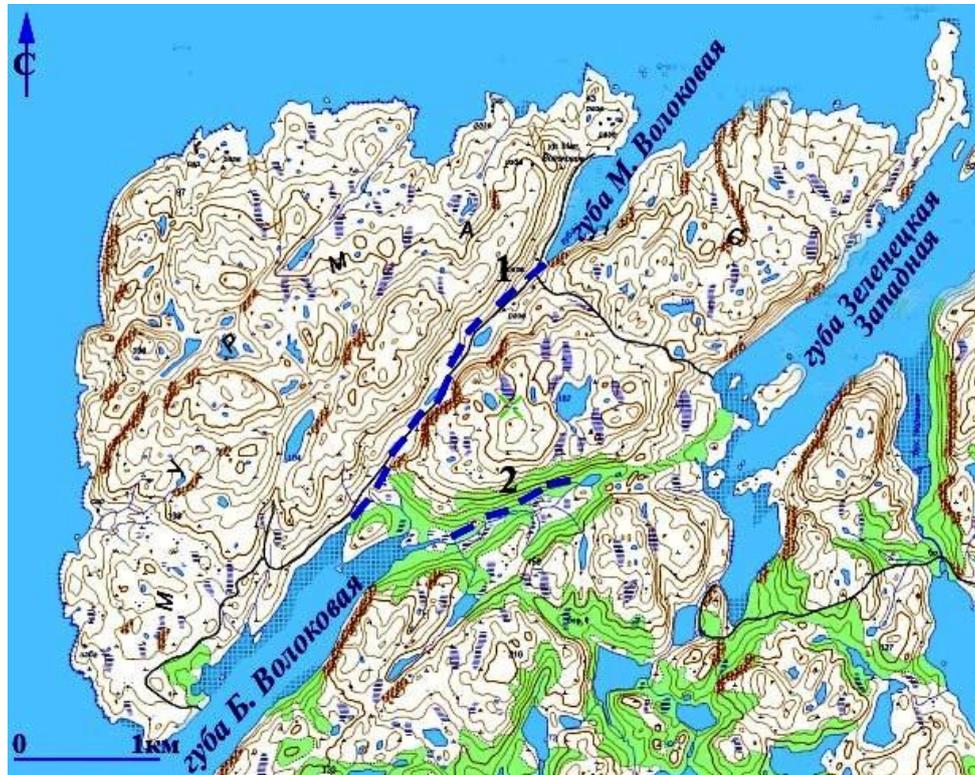


Рис. 7. Кольский залив Баренцева моря. Предполагаемые трассы волоков

Fig. 7. Kola Bay of the Barents Sea. Estimated tracks of the *voloks*

Описание участков маршрута 1:

1. Подъем от берега моря до первого (южного) безымянного озера — 1,1 км. По всей длине склона проходит дорога. Для создания дренажной траншеи использовано естественное русло водотока. В канаве течет ручей с каменистым дном, встречаются вбитые в грунт деревянные бревна (диаметром 0,25 м), куски многожильного металлического провода. Выброс из нее осуществлялся на восточную сторону, высота валика — 0,5 м. С востока к дороге примыкает болотистая низина. Возможные «волоковые» следы, скорее всего, уничтожены поздней строительной деятельностью.

2. Безымянное «южное» озеро (длиной 240 м) с песчаными берегами и «перевал». На северном берегу водоема находится небольшой современный карьер площадью около 200 м² и глубиной до 1 м. Специфические «волоковые» следы по берегам озера отсутствуют. Дорога на «перевале» отсыпана дробленым скальником. Вдоль нее с востока прорыта ровная канава (шириной 2 м, глубиной 0,4 м), с выбросом на западную сторону, идущая к северному озеру.

3. Безымянное «северное» озеро (длиной 280 м) с песчаными берегами и спуск к заливу. С северной стороны из него вытекает небольшой ручей. По западной стороне озера проложена дорога, ведущая вниз к морю. Присутствуют современные остатки валунных оснований креплений столбов связи, неясного назначения задернованная высокая кладка (рис. 8, 9).

Маршрут 2 по предполагаемой трассе волока от губы Б. Волоковой до губы Зеленецкая Западная составляет 2,8 км с запада на восток. Удалось пройти только западную половину маршрута (длиной 1,3 км).

1. Небольшой ручей, впадающий в Б. Волоковой залив с востока, с крутыми берегами и глинистым дном — 0,75 км. Во время прилива — это морской залив, врезающийся в материк на 0,3 км. С продвижением на восток желоб русла сужается, становится более глубоким (до 3 м) и извилистым, на дне вода течет среди крупных валунов.

2. Болотистая низина с твердым торфяным покрытием в распадке между скалами — 0,6 км. В отличие от маршрута 1 здесь нет сильного перепада высот рельефа и следов от разрушительных строительных работ (рис. 10).



Рис. 8. Кольский залив. Губа Большая Волоковая, вид с северо-востока
Fig. 8. Kola Bay of the Barents Sea. The Bol'shaya Volokovaya Bay. View from the northeast



Рис. 9. Полуостров Летинский. Губа Малая Волоковая, вид с юга
Fig. 9. Letinsky Peninsula. The Malaya Volokovaya Bay. View from the south

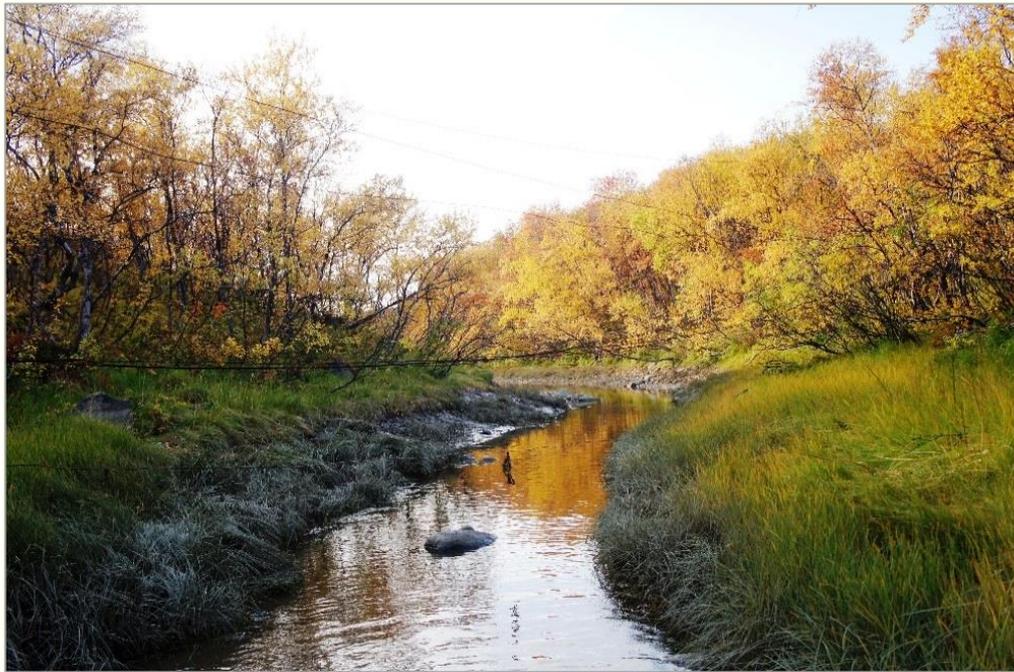


Рис. 10. Кольский залив. Трасса 2. Ручей, впадающий в губу Б. Волоковая. Вид с востока
 Fig. 10. Kola Bay of the Barents Sea. Track 2. Stream flowing into the Bol'shaya Volokovaya Bay.
 View from the east

Никаких признаков от существовавших «волоковых путей» на пройденном участке обнаружить не удалось. Из-за сложности маршрута (значительные перепады высот, небольшая протяженность на трассе возможности движения по воде) и незначительности сокращения пути по морю (вдоль берега полуострова расстояние по воде между заливами — 11 и 14 км) с большой долей уверенности выскажем предположение о том, что эти маршруты не использовались для перетаскивания судов. Скорее всего, по данным «волокам» происходило перемещение грузов (ручная переноска, перевозакивание) во время функционирования сезонных становищ.

Волоки полуострова Средний. Знаменитые п-ова Средний и Рыбачий находятся в 90 км к северо-западу от Мурманска, рядом с российско-норвежской границей. Почти сто лет — с 1920-х гг. они вызывают постоянный интерес у археологов, изучающих памятники каменного — раннежелезного веков [46, 47]. О поселениях «позднего» времени есть только несколько кратких сообщений. Б. Ф. Земляков и Н. Н. Гурина во время своих работ в этом районе отмечали «остатки древних саамских стойбищ», в частности, «группу землянок в Мотовском заливе, у подножия горы Рока-Пахта» [34, с. 144, 166], в 1994 г. здесь выявлено еще несколько саамских позднесредневековых объектов [48, с. 149]. В 2011 г. впервые для Российской Лапландии проведено комплексное изучение культовых мест «Братья» и «Кресты» на п-ове Среднем [49]. Известные по письменным документам древности «московитского времени» археологами не исследовались.

На исторических картах начиная с середины XVI в. п-ов Рыбачий обозначен относительно точно — сначала как остров Св. Марии, а потом как Рыбачий остров (Fisschers Eijlandt) [28, с. 144] (рис. 11). Это единственное место на Мурманском побережье, где название «волоки» упоминается в известных писцовых документах конца XVI в.: «...а от устья реки Печени к морским проливам Толстой наволоки. А от морских проливов, морскоюж проливою, к речке Ситовке, волоки Мотка 15 верст, а промеж тово волоку, у моря Мотокской наволоки, а меж морских проливов Мотокская губа» [50, с. 167]. В данном описании речь идет, скорее всего, о пути по берегу от бухты Б. Волоковая до устья р. Титовка. Так же единственное известное историческое описание (конец XV в.) о перетаскивании поморского судна через перешеек — это о «мысе Мотка»: «...Чтобы не замедлять этим препятствием своего пути, они с великим трудом перетаскивали на плечах через Перешеек, в полмили расстояния, и свои суденышки и поклажу» [39, с. 187]. Это

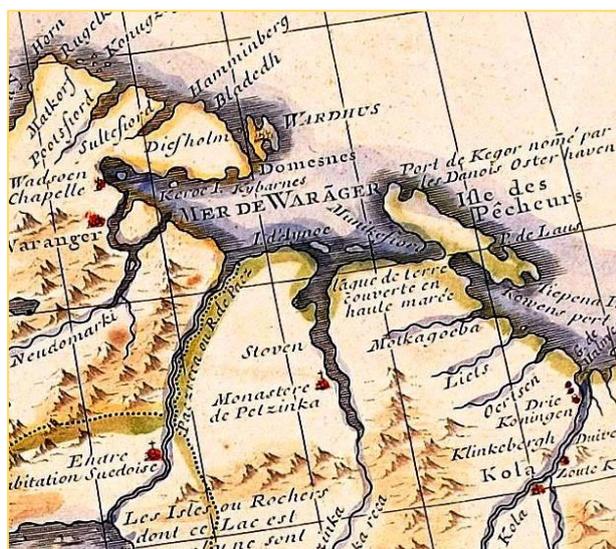


Рис. 11. Фрагмент карты
“Carte des courones du nord”, 1788 г.

Fig. 11. The fragment of the map
“Carte des courones du nord”, 1788

важное упоминание о перетаскивании морских судов по сухопутному волоку, но из него нельзя получить точную информацию о том, какой перешеек п-ова Средний использовался (скорее всего, между Рыбачьим и Средним), каким способом это производилось, было ли это вынужденной мерой при неблагоприятных условиях при плавании или это традиционная практика московитских мореходов на этом участке маршрута при длительном путешествии вдоль побережья Баренцева моря.

В этом районе есть два перспективных для наших исследований перешейка с южной и северо-восточной стороны п-ова Средний: между п-овами Рыбачий и Средний (губа Большая Волоковая) и между п-овом Средний и материком (губа Малая Волоковая). В данном случае смысловое значение названий

«Малая» и «Большая» — это описательные характеристики не величины заливов, а определение их исторической взаимосвязанности — «основной» и «вспомогательный». «Волок между гаванью Новой Земли (Озерко) и Волоковой губой в прежние времена посещаем был лопарями, ныне же оставлен. Они обратились к другому, находящемуся между губой Титовскою и Малою Волоковою губой. Сей волок хотя длиною и с 7 верст, следственно гораздо более первого, но предпочитается потому, что от него до реки Печенги только 12 верст, а от первого надо объезжать выдавшийся на 14 верст мыс Земляной. Последний волок избирается тогда только, когда нужно бывает переносить с одной стороны на другую какие-нибудь значительные тяжести» [37, с. 174–175]. Действительно, от Печенгской губы до р. Титовка, морем, огибая п-ова Средний и Рыбачий — 146 км, через волок в заливе Б. Волоковой — 55 км, через перешеек залива М. Волоковой — 30 км.

Перешеек между полуостровами Средний и Рыбачий узкий: с юга на север — до 2 км, с запада на восток — 2,3 км. С севера его ограничивает окончание губы Б. Волоковая, с юга — окончание губы Б. Мотка (бухта Озерко). До 1940 г. с северо-востока на юго-запад его пересекала государственная граница СССР и Финляндии. Сейчас в южной части перешейка проходит грунтовая дорога, видны развалины хозяйственных и промышленных строений. Ландшафт — скальная тундра с лиственным криволесьем в понижениях рельефа. Предполагаемые места «волоков» находятся в западной и восточной частях перешейка (рис. 12). «Клуб-гора на W и O обрывается круто и затем переходит в два волока между губой Большой Волоковой и бухтой Озерко, находящейся в северной части Мотовского залива, у его вершины. Восточный волок довольно высок и сух, местами попадаются пространства, покрытые мелким щебнем. Западный берег низок, местами покрыт болотистой тундрой и гуще зарос кустарниками. Этот волок называемый Большим, в отличие от Малого волока между губами Малой Волоковой и Кутовой, идет зигзагами от SW-й бухточки вершины Большой Волковой бухты к вершине бухточки, образовавшейся по западную сторону мыса Вестника в бухте Озерко. Ширина волока от 2 до 10 сажень, среднее возвышение над уровнем моря около 7 футов. ... Почва в этом волоке состоит: сверху из слоя болотистой тундры толщиной от двух вершков до 1,5 аршина, затем идет слой мелкого камня... Длина волока по зигзагам, выбирая путь по наименьшему возвышению местности ... около двух верст. Кратчайшее же расстояние ... около 600 сажень» [38, с. 271]. Участок в западной части перешейка наиболее удобен для перетаскивания легких плавсредств. Гидролог Н. П. Андреев в начале XX в. даже предлагал построить здесь канал [51, с. 34]. Он малопротяженный

(2 км), невысокий, большая его часть — сильно обводненная ложбина с мощным торфяным покровом и текущий по ней небольшой ручей. Кустарниковая растительность присутствует только на сухих участках берега. В Средневековье, когда уровень моря был выше на 2 м и заболоченные участки были менее значительными по площади, ширина перешейка составляла около 1,7 км. Место наиболее удобного начала «волока» с юга (узкая, мелкая загибина в западной части бухты Озерко) разрушено насыпью грунтовой дороги, подходящей вплотную к морскому берегу. Следы от какой-либо специализированной антропогенной деятельности не выявлены.

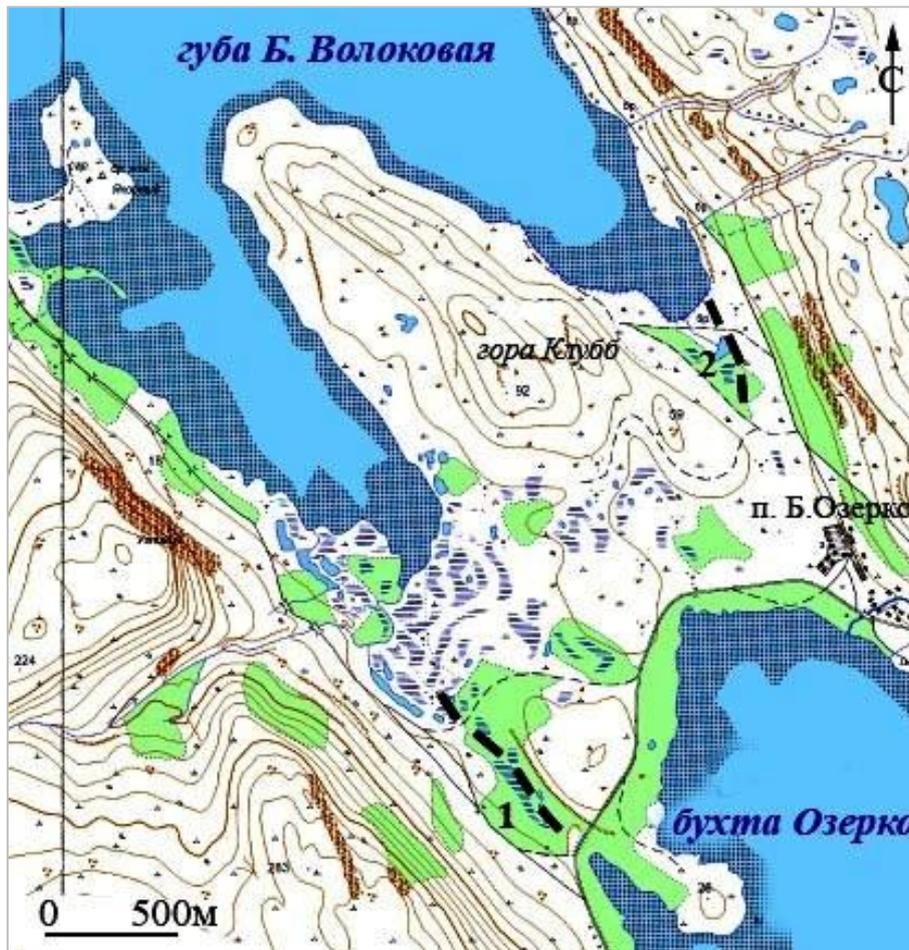


Рис. 12. П-ов Средний. Губа Большая Волоковая. Предполагаемые трассы волоков
 Fig. 12. Sredny Peninsula. The Bol'shaya Volokovaya Bay. Estimated tracks of the *voloks*

Восточная часть перешейка (1,9 км длиной) более возвышенная, но и здесь есть обводненное, глубокое русло водотока, с крутыми берегами, заросшее березняком. В северной части выявлена канава, ориентированная север-юг, — желоб длиной 57 м, шириной по верху — 2,5 м, шириной по дну — 1 м, глубиной 0,5 м. Без дополнительных работ трудно однозначно утверждать, что он как-то связан с волоком (рис. 13).

Перешеек между полуостровом Средний с материком — это ровная низина длиной 5,5 км, где располагаются пять озер разной величины, соединенные с морскими заливами небольшими каменистыми речками. Современная суммарная протяженность пути по озерам — 2,2 км, а с учетом меньшей заторфованности берегов 500 лет назад — 2,7 км. Реки во время постоянных дождей — полноводные, с широким (4–5 м), но извилистым руслом, глубоко врезанным в грунт на песчаных участках. Бичевник по берегу реки отсутствует. По северному склону низины проходит дорога, скорее всего совпадающая с историческим пешеходным путем. На водоразделе в центре перешейка, между самым крупным озером Яхуноканъярви и водоемом к востоку видимые следы от специализированной деятельности не обнаружены (рис. 14, 15).



Рис. 13. Полуостров Средний. Губа Большая Волоковая. Волон 2. Канавя. Вид с юга
 Fig. 13. Sredny Peninsula. The Bol'shaya Volokovaya Bay. Volok 2. Trench. View from the south

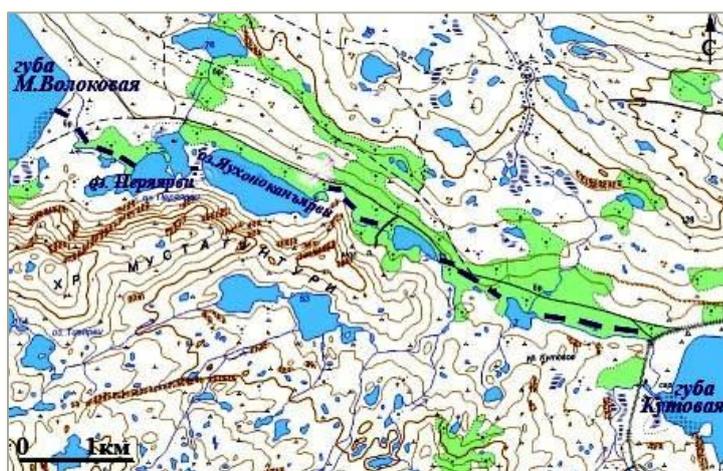


Рис. 14. Полуостров Средний, перешеек губа М. Волоковая — губа Кутовая (предполагаемая трасса волока)
 Fig. 14. Sredny Peninsula, the isthmus of Malaya Volokovaya Bay — the Kutovaya Bay (estimated tracks of the volok)

Этот участок побережья подробно описан путешественниками, которые упоминают, что в историческое время данный перешеек пересекался пешком, с посадкой для продолжения пути в новые лодки. На берегу М. Волоковой находился небольшой поселок финских колонистов, где, согласно переписи 1897 г., проживало 24 человека, которые занимались обслуживанием волока и перевозом к поселениям на р. Печенга: «Что касается до южного перешейка, отделяющего вершину Мотовского залива от Малой Волоковой бухты, то он длиною до пяти верст и возвышается над уровнем моря в среднем до двух сажен. Этот

перешеек равным образом не представляет затруднений для покрытия, но он значительно длиннее, а в вершинах обоих заливов, нет удобных мест для якорной стоянки» [52, с. 307]. «Из Кутовой губы идет волон к вершине губы, вдающейся к SO из Варангского залива. Эта губа называется Малой Волоковой, а самый волон, по его ширине, большим волоком. Он имеет в длину около двух миль к WNW, по низменной долине поросшей березняком, ивняком и можжевельником. Здесь переходят коляне пешком, когда имеют нужду поспешить к реке Печенге, и не желают огиать весь полуостров Рыбачий. Лодки свои оставляют они в речке, а на губе Волоковой находят другие, перевозящие их куда нужно» [37, с. 169]. «Вершина губы представляет устье узкой долины или волока, пересекающего перешеек между губами ... Волон к Мотовскому заливу в губу Кутовую идет по перешейку, отделяющий полуостров Средний, на протяжении семи верст и в своей узкой

части имеет вид долины длиной до 300 сажень, при ширине местами не более 20 сажень и с наименьшим возвышением над уровнем моря около 10 футов. ... На волоке расположено три озера, соединенных между собой ручьями. ... По обеим волокам когда-то перетаскивали суда из Мотовского залива в Варяжский на пути из Колы в губу Печенгу и к Вардэ» [38, с. 264]. «Через этот волок проходят все следующие из Колы в реку Печенгу, на Айновские острова, или к другим местам Варангерского залива. Они оставляют лодки свои в Кутовской губе, и в Волоковой находят другие, перевозящие их куда нужно» [53, с. 220].



Рис. 15. Полуостров Средний, перешеек около губы Малая Волоковая, вид с северо-запада
Fig. 15. Sredny Peninsula, isthmus near the Malaya Volokovaya Bay, view from the north-west

Вопросы реконструкции

Существенные временные и огромные физические затраты по «сокращению» пути по суше были оправданы, когда передвижение по морю было невозможно из-за штормов, затяжного противного ветра или непроходимых дрейфующих льдов. «Ветры встречные и льды великие» присутствуют и сейчас летом в районе Новой Земли — в Карском и Баренцевом морях [54], но около побережья Кольского п-ова, в зоне Гольфстрима, ситуация более благоприятная и сплошных льдов нет даже зимой. Однако климатологи считают, что сложные ледовые условия периодически могли возникать в так называемый Малый ледниковый период, который продолжался более четырех столетий — с 1430 по 1850-е гг., с кульминационной фазой с 1780 по 1820 гг. [55]. Рискованное каботажное плавание в Баренцевом море в штормовой осенне-зимний период осуществлялось, и соответственно могли функционировать и волоки на перешейках. Но практический смысл этого минимален, так как быстрее и проще передвигаться зимой на оленях по заснеженной тундре и, кроме того, приезжие промысловики и аборигены покидали до весны становища на морском побережье.

Как происходило прохождение сухопутных волоков в Средневековье, точно не известно даже для такого знаменитого трансконтинентального маршрута, как «путь из варяг в греки». Реконструкции строятся на более поздних, часто этнографических сведениях и предлагают различные варианты в зависимости от сезона, объема и характера перемещаемого груза. В основном предполагается использование тягловой и ручной силы по подготовленным «тропам» в бесснежное время или зимой по льду замерзших водоемов и болот [56].

Подробные описания преодоления Ямальского и Канинского приморских волоков приводятся в документах начала XVII в.: «...Волочить запасы в павозках, а в павозок клали четвертей до десяти и больше, в четыре пуда четверть, а проводили павозки от озера до озера паточинами, тянули по воде бродячи, один павозок тянут два человека, а те между озерами паточины тож в дву местех от озера до озера по версте и меныни, а кочи тянули конаты после запасов порозжие по теме паточинам всеми людьми ... а сухого волоку от озера до озера с полверсты и больни, а место ровное, земля песчана, а тем волоком запасы носили на себе на плечах и повозки волочили конаты, а порозжие кочи тянули по каткам через волок конатами же, делаючи ворота, для того что людей было мало, а носили через волок запасы и павозки волочили и кочи тянули ден с пять ...» [21, с. 50]. «...А шли большим морем окианом из Кулойского устья на Чесский волок, а шли до реки Чижи день пособным ветром, а река Чижа пала устьем в большое море окиан с востока на запад; а Чижа река невелика, поперек сажени с три; и шли они тою рекою вверх до Чесского волоку день да ночь, а по речке Чиже по обе стороны тундра, а лес мелкий ярник, а большого лесу нет. ... А через Чесский волок кочи их перевозила самоядь на оленях наймующись, а волоку Чесского сажень с двадцать, место тундряное, а в большую воду тот волок поймает водою. А перешед Чесский волок, пришли на речку Чошу, а речка Чоша невелика, ходят ею прибылою водою, как приходит вода с моря, а речкою Чошою прибылою водою вверх до Чесские губы версты с три...» [57, с. 65].

Таким образом, перетаскивание по тундре или мелководью речек в бесснежное время порожних судов и грузов отрядом из 20–30 мужчин происходило с помощью гужевой и ручной тяги и системы простейших, изготовленных на месте практичных механизмов и приспособлений из дерева (канаты, катки, слегги, ворота), что и сейчас используется рыбаками, например, на островах в Белом море [58] (рис. 16).



Рис. 16. Ручной ворот. Дер. Лопшеньга, Белое море. Фото А. А. Крысанова

Fig. 16. The manual winch. The Lopshen'ga village. The White Sea. Photo by A. A. Krysanov

Сложность и трудоемкость перемещения по суше плавсредств закономерно зависели от их типа. Самые простые — легкие берестяные или кожаные лодки, или однодревки, с расширенными и нарощенными бортами, использовавшиеся для плавания вдоль морского берега и по небольшим порожистым рекам [60, с. 92–97]. Их переноска через перешеек, как показывают современные

эксперименты, не составляла большого труда*. Результативные исторические реконструкции небольших морских переходов в берестяной и долбленной лодках, в прибрежной акватории Белого моря также успешно проводились [60] (рис. 17).



Рис. 17. Переноска берестяной лодки по волоку на оз. Кумбасозеро. Фото А. В. Шутихина

Fig. 17. Carrying a birch bark boat along the *volok* to the Kumbasozero Lake. Photo by A. V. Shutikhina

В то же время существует единственная информация-сообщение XVII в. о кожаных лодках типа каяк, на которых аборигены Новой Земли выходили в море**, поэтому возможность морского плавания на лодках из дерева или кожи в европейских арктических широтах археологами рассматривается с некоторым сомнением [62, с. 106]. По заключению норвежских исследователей, сведения о бытовании в историческое время у саамов специальных кожаных лодок для длительных переходов по морю отсутствуют, а предположения об их существовании основаны только на петроглифических изображениях Восточного Финмаркена, трактовать которые можно неоднозначно.

В Северной Карелии простейшие волоки для перетаскивания лодок по каткам существовали возле всех наиболее опасных речных порогов. Протяженность их могла достигать двух верст. В отличие от финских волоковых сооружений, на карельских порогах деревянные мостки по берегу никогда не строили, чтоб было проще поднимать лодки вверх по течению [63, с. 201, 234].

Есть фотографии конца XIX — начала XX в. с подобным сюжетом и из жизни саамов с территории Финской Лапландии, где самое большое — три человека с помощью веревок также перетаскивают по суше, по уложенным стволам деревьев, лопарские лодки. Килевые карельские и саамские лодки-дощанки традиционно имеют две пары весел, петлевые уключины из веревок, две доски для сидения и широкие обводы корпуса (рис. 18).

* Берестяная лодка для четырех человек, длиной 4,5 м, весом 35 кг была перенесена двумя носильщиками на 18 км за день (2 км в час) [15, с. 88]. Деревянная лодка-«кижанка» весом 150 кг протащена пятью мужчинами 3 км за пять часов [14].

** «Челнок, устроенный в форме гондолы, длиною от 15 до 16 фут., шириною 2,5 фут., — сделанный очень искусно из рыбьих костей и кожи. Внутри кожа была сшита таким образом, что получался как бы мешок от одного конца челнока до другого, внутри такого челнока они были укрыты по пояс, так что вовнутрь не могла попасть ни единая капля воды, и они могли таким образом выдерживать вполне безопасно всякую непогоду» [61, с. 93].



Рис. 18. Перетаскивание лодки. Финская Лапландия

Fig. 18. Carrying a boat. Finnish Lapland

Для каботажных морских грузоперевозок в арктических широтах поморами целенаправленно использовались шняки, кочи и лодии. Шняка — небольшое, плоскодонное, беспалубное, одномачтовое морское промысловое судно, с экипажем в четыре человека, длиной 13 м, с грузоподъемностью до 250 пудов. Поморские кочи — плоскодонные мореходные суда с двумя неспускаемыми мачтами, имели длину 15–19 м, ширину — 5–8 м, грузоподъемность — 1000–1500 пудов. Лодья — палубное трехмачтовое судно, длиной 11–23 м, шириной 5 м, грузоподъемностью до 2000 пудов [64, с. 27]. Поморские суда, применявшиеся только для транспортировки грузов, имели минимальный экипаж — 3–4 человека, которые физически, без посторонней помощи, не могли осуществить перетаскивание по суше небольшого судна весом от 2 до 7 т.

Отметим, что реки и ручьи могли использоваться в качестве природных каналов только сезонно, при полной воде весной или в периоды дождей и при относительно прямом русле. Незначительность водного наполнения, сильный наклон руслового желоба, наличие топкой заиленности или крупных валунов на дне усложняют и замедляют проводку лодок, а извилистое, глубоко врезанное, каньонообразное ложе полностью исключает возможность протаскивания плавсредств. В некоторых местах водотоки и озера на перешейках применялись как зимники, а не как водные пути.

Если существовала определенная налаженная инфраструктура по «обслуживанию» относительно оживленного водно-волокового маршрута, то могли создаваться и поддерживаться в порядке долговременные сооружения — бревенчатые настилы или желоба в канаве, проводиться выравнивающие трассу земляные работы, также гипотетически могла происходить частичная облегчающая разборка и последующая сборка судов. Но земляное сооружение, которое мы предварительно соотносим с преднамеренными работами по созданию волоковой трассы, встречено нами только один раз — канава на восточном участке перешейка между п-овами Средний и Рыбачий. Самый оптимальный способ преодоления сухого волока — оставление судна, переноска грузов и погрузка в новое судно (возможно, другого типа, более удобного для следующего этапа пути) с другой стороны перешейка, что описывается применительно к участку в южной части п-ова Средний.

Выводы

Подводя итог, можем заключить, что кажущаяся ясность исходной семантики гидронима «волоки» как места, где перетаскивали плавсредства, не отражает реального состояния. Исследованные участки Мурманского берега с характерными топонимами следует определить как «малые волоки» (или «волочки») — «небольшие переволоки, где товар и вещи переносят на плечах, в крошнях» [26, с. 579], так называемые «волоки местного значения», проходившие по перешейкам полуостровов побережья моря. Они использовались не как часть большого межрегионального пути вдоль берега Баренцева моря, как, например, волоки через п-ова Ямал и Канин Нос, а выполняли более частные задачи облегчения мобильности сообщения местного населения и промысловиков между соседствующими микрорайонами морского побережья. Здесь производилась переноска, перетаскивание («волочение») грузов, возможно, нечасто и небольших лодок (п-ова Святой Нос, Средний), может быть, существовала минимальная инфраструктура — сезонные «лопские» поселения с тягловыми животными. Они не имели стратегического значения, как, например, речные волоки на водных магистралях в центральных областях России, контроль над которыми становился важной политической задачей.

Термин «волоки» условен и не должен восприниматься исключительно однозначно, как место для перетаскивания судов, но он общепринят в исторической науке. При конкретной работе его следует рассматривать только как устоявшийся топоним, требующий осторожного применения в реконструкциях и обширного комментирования.

В региональной историографии баренцевоморские волоки традиционно ассоциируются с поморами Беломорья и «колянами» периода Средневековья, но, несомненно, они использовались аборигенами и в более раннее время. Поэтому в широком культурно-историческом контексте их можно отнести к объектам промысловой инфраструктуры рыболовецких коллективов «лопи, двинян и корелян и поморских волостей люди». Эксплуатация волоков была актуальна при активном применении маломерных лодок типа «река — море». Развитие более эффективных технологий в судостроении и совершенствование практики мореплавания способствовало отказу от «страховочного» их использования.

Заключение

Материалы натуральных изысканий 2016–2017 гг. позволяют воспринимать приморские волоковые трассы уже не как некую историческую абстракцию и дают основание для ревизии целого ряда стереотипов, связанных с их функционированием. Наши работы снова подтвердили тезис о невозможности прямолинейной трактовки данных топонимии и необходимости проверки их в ходе полевых археологических исследований. Как показывает практика, археологические приоритеты должны определять исторические выводы, а не наоборот.

Данный обзор не претендует на всеобъемлющий характер, а выводы предварительны и не окончательны, так как мы рассмотрели только археологический аспект проблематики. Изучение мест волоковых путей Восточной Фенноскандии нельзя считать завершенным. Возможно, в последующем по этим интересным объектам Русской Лапландии появятся новые письменные свидетельства или археологические находки, которые позволят скорректировать современные представления.

Благодарности

Проведение результативных полевых работ нашей экспедиции стало возможным благодаря помощи настоятелей Североморского (о. Сергей Чериченко) и Умбинского (о. Никодим Коливатов) приходов Североморской епархии, а также Вл. Онацкого, Мих. Быстрика, Ел. Поповой, Ан. Ивановой, А. Орлова, А. Терехова, П. Чукреева, Ан. Бертоша.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаяхметова Л. Г. Новые данные о древнем населении центральной части Кольского полуострова // КСИА. 1990. Вып. 200. С. 33–38. 2. Карпелан К., Овсянников О. В. Саамское поселение первой четверти XVIII столетия на побережье Баренцева моря (Кольский полуостров, бухта Дворовая) // Лодия. Архангельск: Лодия, 2013. № 7.

- С. 263—328. **3. Шахнович М. М.** Исследование позднесредневековых памятников православной культуры Русской Лапландии // IV Северный археологический конгресс. Екатеринбург; Ханты-Мансийск: Роза ветров, 2015. С. 216—219. **4. Шахнович М. М.** Археологические работы по поиску «братской могилы 116 мучеников» Трифонов-Печенгского монастыря // Тверь, Тверская земля и сопредельные территории в эпоху Средневековья. Тверь: Парето-Принт, 2017. Вып. 10. С. 241—256. **5. Шахнович М. М.** Археологические работы на Монастырском Наволоке в г. Кандалакше в 2015 г. // Бюл. Ин-та истории материальной культуры РАН. 2017. Вып. 6. С. 127—137. **6. Державин В. Л.** Северный Мурман в XVI—XVII вв. (к истории русско-европейских связей на Кольском полуострове). М.: Науч. мир, 2006. 178 с. **7. Орешета М. Г.** Валитово городище // I Ушаковские чтения. Мурманск: Изд-во МГГУ, 2004. С. 64—67. **8. Андреассен Л. Р., Братрейн Х. Д.** Финнмарк между Востоком и Западом // Археология Арктики. Калининград: Заря Балтики, 2016. Вып. 3. С. 140—169. **9. Филин П. А.** Реконструкция коча XVII века // Соловецкое море: историко-литературный альманах. Архангельск, 2013. Вып. 12. С. 8—22. **10. Зелюткина Л. О.** Эволюция и природопользование водно-волоковых путей на земле Вологодской // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2006. Вып. 4. С. 71—79. **11. Севастьянов Д. В.** Водно-волоковые пути — объекты историко-культурного наследия Русского Севера. Новые подходы к организации активных туров // Вестник Национальной академии туризма. 2007. № 4. С. 42—47. **12. Григорьев А. А.** Древнейшие (доисторические) водно-волоковые пути Северной Евразии по данным топонимики // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2014. Вып. 1. С. 136—146. **13. Корчагин П. А., Черепанова Е. С.** Тематический слой «водно-волоковые пути» портала «Историко-культурное наследие Пермского края»: особенности создания и возможности анализа методами геоинформационных технологий // Вестник Пермского ун-та. 2014. № 4 (27). С. 15—23. **14. Александров Ю. С.** Реконструкция новгородской лодки-однодревки периода VIII—XVII веков // Вестник Карельского краеведческого музея. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2011. Вып. 6. С. 30—35. **15. Шутихин А. В.** Реконструкция средневекового пути «Кенский волок» и водно-волокового судна «берестяной каюк» // Проблемы развития транспортной инфраструктуры Европейского Севера России. Котлас: Самсон, 2012. Вып. 5. С. 84—88. **16. Ясински М. Э., Овсянников О. В.** Пустозерск. Русский город в Арктике. СПб.: Петербургское Востоковедение, 2003. 272 с. **17. Чернов С. З.** Изучение Кемского волока // АО-1979. М., 1980. С. 37—38. **18. Макаров Н. А.** Волоки Европейского Севера России. Археологические памятники на путях средневековой колонизации // Материалы по археологии России. М.: Наука, 1996. Вып. 1. С. 46—67. **19. Едовин А. Г., Шутихин А. В.** Две трассы Кенского волока: археологические исследования на трассе древнего Кенского водно-волокового пути в Плесецком районе Архангельской области в 2010 г. // Архангельская старина — 2012. 2012. № 1. С. 84—95. **20. Едовин А. Г.** Волоки — мифы и реальность // Проблемы развития транспортной инфраструктуры северных территорий: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Котлас: Самсон, 2017. Вып. 2. С. 134—141. **21. Овсянников О. В., Ясински М. Э.** Волоки вдоль Ледовитого океана — древняя дорога торговли, промыслов, этнических контактов // Мезень и Мезенский край в истории Отечества и Баренцева региона. Архангельск: Правда Севера, 2006. Ч. 2. С. 5—126. **22. Westerdahl Ch.** The Relationship between Land Roads and Sea Routes in the Past — Some Reflections // Deutsches Schifffahrtarchiv. 2006. No. 29. P. 142—184. **23. Минкин А. А.** Топонимы Мурмана. Мурманск: Кн. изд-во, 1976. 206 с. **24. Гемп К. П.** Сказ о Беломорье. Словарь поморских речений. М.: Наука, 2004. 637 с. **25. Мацак В. А.** Печенга. Опыт краеведческой энциклопедии. Мурманск: Добросмысл, 2005. 1008 с. **26. Даль В. И.** Толковый словарь живого великорусского языка. СПб.; М.: Изд. Вольфа, 1903. Т. 1. 471 с. **27. Брокауз Ф. А., Ефрон И. А.** Энциклопедический словарь. Т. VII. СПб.: Семеновская типолитография, 1892. 329 с. **28. Вальдман К. Н.** Кольский полуостров на картах XVI в. // Известия Всесоюзного географического общества. 1962. № 2. С. 141—149. **29. Шахнович М. М.** К вопросу о гидротехнических крестьянских сооружениях Карелии: каналы озера Каменное (Киитехенъярви) // Тверь, Тверская земля и сопредельные территории в Средневековье. Тверь: Парето-Принт, 2016. Вып. 9. С. 426—437. **30. Andersen B. G., Børns H. W.** The Ice Age World // Scandinavian University Press. Oslo. 1994. P. 126—137. **31. Крупенникова И. С., Мокрова А. Н., Гусева Т. В.** Современные деформации и сейсмичность земной коры Балтийского щита // Материалы IV тектонофизического семинара. М.: Радуга, 2015. С. 53—59. **32. Послеледниковое поднятие земной коры в северо-западной части Кольского региона / Д. С. Толстобров [и др.] // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 2. С. 302—306. **33. Itkonen T.** Egräs kaivaus Kuolanniemellä // Suomen Museo. 1918. XXV. P. 35—38. **34. Гурина Н. Н.** Неолитические поселения северного побережья Кольского полуострова // МИА. М.-Л.: Наука, 1951. Т. 20. С. 143—167. **35. Исследование памятников на Кольском полуострове / Н. Н. Гурина [и др.] // АО-1978. М.: Наука, 1979. С. 9. **36. Гохман И. И., Лукьянченко Т. В., Хартанович В. И.** О погребальном обряде и краниологии лопарей // Полевые исследования Ин-та этнографии 1976 г. Л.: Наука, 1978. С. 51—67. **37. Рейнке М. Ф.** Гидрографическое описание северного берега России. Ч. 1: Белое море. СПб.: Морская тип-я, 1883. 373 с. **38. Морозов Н. В.** Лоция Мурманского берега Северного Ледовитого океана от островов Вардэ до Белого моря. СПб.: Тип-я Адмиралтейства, 1901. 712 с. **39. Герберштейн С.** Записки о московских делах. Павел И. Ногокомский. Книга о московском посольстве. СПб.: А. С. Суворин, 1908. 382 с. **40. Послание архиепископа новгородского Василия ко владыце тферскому Феодору о рае / Н. И. Пруцков // Древнерусская литература. Литература XVIII в. Л.: Наука, 1980. 342 с. **41. Дмитриев Л. А.** Повесть о житии Варлаама Керетского // Труды Отдела древнерусской литературы. М.-Л., 1970. Т. XXV. С. 178—196. **42. Шундалов И. Ю.** Сакральная топонимия Белого и Баренцева морей // Новый топонимический журнал. 2006. № 2. С. 4—20. **43. Никонов А. А., Зыков Д. С.** О признаках мощных землетрясений в восточном секторе Мурманской зоны (линия Карпинского) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 143—148. **44. Мелетиев В. И.** По Северному Ледовитому океану // Известия Архангельского общества изучения Русского Севера. 1910. № 17. С. 11—18. **45. Выписки из писцовой книги Алая Михалкова 116, 117, 119 гг. / Н. Харузин** Русские лопари (Очерки прошлого и современного быта). М.: Изд-во Товарищества скоропечатни А.А. Левенсона, 1890. С. 409—462. **46. Seitsonen O.** Petsamo Maattivuono Rotojoki: two Late Stone Age dwellings excavated by Sakari Pääsi in 1929 // People, Material Culture and Environment in the North: Proc. 22nd Nordic Archaeological Conference, University of Oulu. Oulu, 2006. P. 226—237. **47. Гурина Н. Н.** Новые******

исследования в северо-западной части Кольского полуострова // КСИА. М.: Наука, 1971. Вып. 126. С. 96–99. **48. Мурашкин А. И.** Археологические памятники Кольского полуострова и проблема происхождения саамов // Археологические Вести. СПб.: Дмитрий Буланин, 2005. Вып. 12. С. 148–152. **49. Кулькова М. А., Шахнович М. М.** Археолого-геохимическое исследование сакральных объектов Западного Мурмана (п-ов Средний) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. Вып. 11. С. 132–141. **50.** Книга Большому чертежу, или древняя карта Российского государства, поновленная в Разряде и списанная в книгу 1627 года. СПб.: Тип-я Императорской АН, 1838. 254 с. **51. Андреев Н. П.** Северный Ледовитый океан: материалы по гидрологии, собранные в период с 1889 по 1893 год. СПб.: Тип-я Императорской АН, 1900. 204 с. **52. Сиденснер А. К.** Сведения о Мурманском берегу, собранные летом 1896 года. СПб.: Тип-я Морского министерства, 1897. С. 152–191. **53. Литке Ф. П.** Четырехкратное путешествие в Северный Ледовитый океан военном бригае «Новая Земля» в 1821–1824 годах. М.: Географгиз, 1948. 334 с. **54. Лесгафт Э.** Льды Северного Ледовитого океана и морской путь из Европы в Сибирь. СПб.: Изд. О. Н. Поповой, 1913. С. 233–236. **55. Захаров В. Ф.** Изменения состояния морских арктических льдов // Формирование и динамика современного климата Арктики. СПб.: Гидрометеоздат, 2008. С. 112–117. **56. Лесман Ю. М.** «Из Варяг в Греки»: хронологические варианты пути // Староладожский сборник. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. Вып. 6. С. 54–72. **57. Григорьев С. Г.** Полуостров Канин. М.: Наука, 1929. 472 с. **58. Крысанов А. А.** Ворота на беломорских маяках по итогам экспедиций Соловецкого морского музея // Соловецкое море: историко-литературный альманах. Архангельск, 2013. Вып. 17. С. 32–35. **59. Сорокин П. Е.** Водные пути и судостроение на Северо-Западе Руси в Средневековье. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 208 с. **60. Мартынов А. Я., Шутихин А. В., Казаков А. А.** Первобытное мореплавание в Беломорье: опыт и результаты полевых и экспериментальных исследований // Тверской археологический сборник. Тверь: Триада, 2013. Вып. 9. С. 64–78. **61. Ламартиньер П. М. де.** Путешествие в северные страны, в котором описаны нравы, образ жизни и суеверия норвежцев, лапландцев, килопов, борандайцев, сибиряков, самоедов, новоземельцев и исландцев // Записки Московского археологического института. М.: Изд-во Моск. археол. ин-та, 1912. № 15. 229 с. **62. Федорова Н. В.** Призраки и реальность ямальской археологии // Российская археология. 2002. № 2. С. 99–110. **63. Инха И. К.** В краю калевальских песен. 2019. 724 с. **64. Руднев Н. Ф.** Промыслы по Мурманскому или Лапландскому берегу: Сведения, собранные во время плавания на шхуне «Задорная» в 1861 году // Морской сборник. 1862. Т. LXIII. № 11. 41 с.

Сведения об авторе

Шахнович Марк Михайлович — кандидат исторических наук, археолог, Национальный музей Республики Карелия

E-mail: marksuk62@mail.ru

Author Affiliation

Mark M. Shakhnovich — PhD (History), Archaeologist, the National Museum of the Republic of Karelia

E-mail: marksuk62@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Шахнович, М. М. Средневековые волоки Мурманского побережья Баренцева моря / *М. М. Шахнович* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 101–123.

Reference

Shakhnovich Mark M. Medieval Portages («Voloki») on the Murmansk Coast of the Barents Sea. *Herald of the Kola Scientific Center of RAS*, 2019, № 3 (11), pp. 101–123. (In Russ.).

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.124-133

УДК 621.548 (470.21)

ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ХОЗЯЙСТВО МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В. А. Минин, А. А. Рожкова, А. В. Бежан

Центр физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН

Аннотация

Дана общая характеристика энергетического хозяйства Мурманской обл. Представлены основные показатели работы действующих электрических станций: Кольской АЭС, Апатитской и Мурманской ТЭЦ, семнадцати ГЭС, Кислогубской ПЭС. Дан анализ направлений возможного дальнейшего развития электроэнергетики региона, и оценены перспективы использования возобновляемых источников энергии (ветра, солнца, гидроэнергии малых рек, морских приливов) для электро- и теплоснабжения различных категорий потребителей. Наибольшие перспективы связаны с сооружением крупных ветропарков, работающих в составе энергосистемы, а также автономных ветроустановок и малых ГЭС, способных обеспечить значительную экономию дорогостоящего топлива на энергообъектах удаленных потребителей Севера.

Ключевые слова:

энергетика Мурманской обл., возобновляемые источники энергии, потенциал и перспективы использования.

POSSIBLE DIRECTIONS FOR THE INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE ENERGY SECTOR OF THE MURMANSK REGION

Valery A. Minin, Anastasia A. Rozhkova, Alexey V. Bezhan

Northern Energetics Research Centre of KSC RAS

Abstract

The general characterization of the power system economy of the Murmansk region is given. The main performance indicators of the power stations (Kola nuclear power station, Apatity and Murmansk TPPs, 17 hydroelectric power stations, Kislogubskaya tidal electrical station) are shown. An analysis of the directions of possible further development of the region's power industry is given. The prospects for using renewable energy sources (wind, sun, hydropower of small rivers, sea tides) for electricity and heat supply of various categories of consumers are estimated. The greatest prospects are associated with the construction of the large wind farms operating as part of the power grid, as well as autonomous wind turbines and small hydropower plants capable of providing significant savings for expensive fuel at power facilities of remote consumers in the North.

Keywords:

energy sector of the Murmansk region, renewable energy sources, potential and prospects for the use.



Мурманская обл. располагает крупными месторождениями различных видов минерального сырья: медно-никелевых, железных, апатит-нефелиновых руд, руд редкоземельных металлов. Для их добычи и переработки созданы соответствующие горнопромышленные предприятия. Получили развитие цветная металлургия

и химическая промышленность. Для обеспечения работы большого числа энергоемких промышленных предприятий последовательно вводились в эксплуатацию значительные электрические мощности. На сегодняшний день Кольская энергосистема имеет мощность около 3600 МВт. Энергосистема уникальна, в ее составе 17 гидроэлектростанций, 2 ТЭЦ на органическом топливе, Кольская атомная электростанция и Кислогубская приливная электростанция. Высоковольтная сеть (рис. 1) обеспечивает работу всех электростанций под единым диспетчерским управлением.

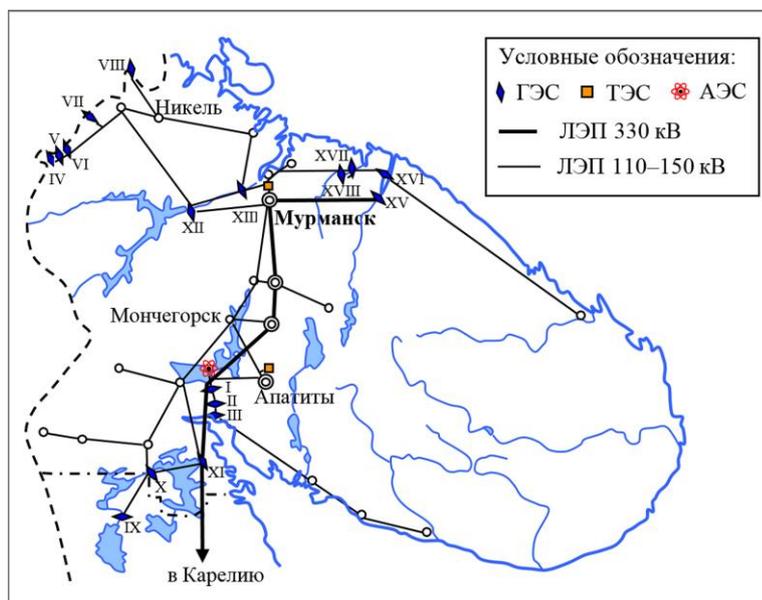


Рис. 1. Схема электрических сетей Кольской энергосистемы
Fig. 1. Scheme of electric networks of the Kola power system

Уже ряд десятилетий основным производителем электроэнергии в Мурманской обл. является Кольская АЭС, входящая в состав в ОАО «Концерн Росэнергоатом». Мощность станции составляет 1760 МВт. В настоящее время (2019 г.) после проведения большого объема работ, направленных на повышение энергобезопасности, продлены сроки эксплуатации действующих блоков Кольской АЭС: первый энергоблок — до 2033 г., второй — до 2034 г., третий — до 2036 г., четвертый — до 2039 г. [1]. Производство, потребление и экспорт энергии в Мурманском регионе за последние годы сохраняются довольно стабильными (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Производство и потребление электроэнергии в Мурманской обл.
и ее экспорт за пределы региона, млрд кВт·ч
Indicators of production and consumption of electricity in the Murmansk region
and its exports outside the region, billion kW·h

Показатель / Indicator	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Производство электроэнергии Electric power generation	16,5	16,5	17,1	17,4	17,3
Потребление / Consumption	12,3	12,2	12,3	12,8	12,5
Экспорт / Export	4,2	4,3	4,8	4,6	4,8

Характеристика ТЭЦ

В Мурманской обл. в настоящее время работают две ТЭЦ (Апатитская и Мурманская), обе входят в состав филиала «Кольский» ОАО «ТГК-1». Апатитская ТЭЦ имеет электрическую мощность 230 МВт, работает на угле, тепловая мощность — 535 Гкал/ч. В 2018 г. выработка электроэнергии Апатитской ТЭЦ составила 0,439 млрд кВт·ч, отпуск тепловой энергии — 1,40 млн Гкал. Мурманская ТЭЦ работает на мазуте, она гораздо меньше по электрической мощности (12 МВт), зато по тепловой мощности значительно превосходит Апатитскую ТЭЦ. По сути, Мурманская ТЭЦ служит основным (на 2/3) источником теплоснабжения и горячего водоснабжения г. Мурманска. Ее тепловая мощность составляет 1130 Гкал/ч, отпуск тепловой энергии в 2018 г. — 2,1 млн Гкал. Основные показатели работы всех действующих тепловых электростанций Мурманской обл. сведены в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Основные технико-экономические показатели работы
тепловых электростанций Мурманской обл. в 2018 г.
The main technical and economic indicators of thermal power plants
of the Murmansk region in 2018

Показатель Indicator	Апатитская ТЭЦ Apatity TPP	Мурманская ТЭЦ Murmansk TPP	Кольская АЭС Kola nuclear power station	Всего Overall
Год ввода в эксплуатацию Year of commissioning	1959–1964	1934	1973–1984	
Установленная мощность, МВт Established capacity, MW	230	12	1760	2002
Среднегодовая выработка электроэнергии, млн кВт·ч Average annual electricity generation, million kW·h	439	17	10234	10690
Число часов использования установленной мощности Established capacity hours of use amount	1909	1400	5814	

Характеристика гидроэлектростанций

Начиная с середины 1930-х и по конец 1980-х гг. в Кольской энергосистеме было построено 17 гидроэлектростанций (табл. 3). Они расположены на реках Нива, Паз, Ковда (Кума, Иова), Тулома, Воронья, Териберка и объединены в каскады. Все ГЭС в основном низко- и средненапорные. Только три из них имеют напор выше 70 м, это Нива-III, Серебрянская-I и Верхне-Териберская. Их суммарная установленная мощность составляет 1600 МВт. Это около 44 % от всей установленной мощности энергосистемы. Годовая выработка ГЭС в среднем по водности году составляет около 35–40 % от всей выработки Кольской энергосистемы.

Перспективы развития электроэнергетики региона

До начала 1960-х гг. развитие Кольской энергосистемы в основном шло за счет строительства ГЭС на реках Кольского п-ова. Однако экономическое развитие региона в то время шло столь высокими темпами, что в какой-то момент в регионе стал ощущаться дефицит электроэнергии. Именно тогда было принято решение о строительстве Кировской ГРЭС (ныне Апатитская ТЭЦ) мощностью 500 МВт, а чуть позже и Кольской АЭС мощностью 1760 МВт. Благодаря этим двум крупным энергетическим объектам Мурманская обл. на долгие годы превратилась из энергодефицитного в энергоизбыточный регион.

В настоящее время специалисты связывают перспективы развития электроэнергетики региона, прежде всего, с продолжением успешной работы объектов атомной и гидроэнергетики. Однако очевидно, что после двух продлений срока работы Кольской АЭС исчерпываются ее 60-летним сроком эксплуатации и уже в 2025–2027 гг. придется принимать кардинальное решение о дальнейшем развитии электроэнергетики региона, возможно, о сооружении Кольской АЭС-2 и освоении возобновляемых источников энергии. Исходя из того, что в последние годы во всем мире все больше внимания уделяется возможностям развития нетрадиционной возобновляемой энергетики (солнечной, ветровой и приливной энергетики, малой гидроэнергетики), представляется целесообразным обратиться к этой проблеме и применительно к рассматриваемому региону. Потенциал некоторых из перечисленных источников на Кольском п-ове повышенный, и имеются благоприятные предпосылки для их эффективного использования.

Таблица 3
Table 3

Основные показатели действующих гидроэлектростанций Кольской энергосистемы / Main indicators of operating hydroelectric power stations of the Kola energy system

ГЭС Hydroelectric power station	Река River	Год пуска Year of commissioning	Установленная мощность, МВт Established capacity, MW	Расчетный напор, м Design pressure, m	Число часов использования установленной мощности Established capacity hours of use amount	Среднегодовая выработка, млн кВт·ч Average annual generation, million kW·h
Нива-I Niva-I	Нива Niva	1952	26,0	11,5	4961	129
Нива-II Niva-II	-"-	1934	60,0	36,0	6833	410
Нива-III Niva-III	-"-	1949	155,5	74,0	5466	850
Кайтакоски Kaitakoski	Паз Raatsjoki	1959	11,2	7,0	6250	68
Янискоски Janiskoski	-"-	1950	30,5	21,5	6885	210
Раякоски Rayakoski	-"-	1955	43,2	20,5	5116	220
Хеваскоски Hevoskoski	-"-	1970	47,0	16,9	4532	213
Борисоглебская Borisoglebskaya	-"-	1964	56,0	19,3	4910	275
Кумская Kuma	Кума Kuma	1962	80,0	32,0	4325	346
Иовская Iovskaya	Иова Iova	1960	96,0	36,0	5585	536
Князегубская Knyazhegubskaya	Ковда Kovda	1955	152,0	34,0	4645	706
В.-Тулумская Verkhnetulomskaya	Тулума Tuloma	1965	268,0	58,5	2985	800
Н.-Тулумская Nizhnetulomskaya	-"-	1937	57,2	17,5	4371	250
Сербрянская-I Serebryanskaya-I	Воронья Voronya	1970	204,9	75,0	2684	550
Сербрянская-II Serebryanskaya-II	-"-	1972	156,0	62,5	3460	519
В.-Терiberская Verkhnetiberbayskaya	Терiberка Teriberka	1984	130,0	111,0	1815	236
Н.-Терiberская Nizhnetiberbayskaya	-"-	1987	26,5	21,4	2037	54
Всего / Overall			1600			6372

Потенциал возобновляемых источников энергии региона

В Мурманской обл. можно в больших объемах использовать солнечную, ветровую, гидроэнергию, а также энергию морских приливов и волн [2, 3]. Годовой приход солнечной радиации на территории региона составляет 650–850 кВт·ч/м². По этому показателю Кольский п-ов уступает районам средней полосы и юга страны в 1,3–1,7 раза, поэтому солнечные энергетические установки находят здесь ограниченное применение.

Оценка многолетних рядов наблюдений на метеорологических станциях Кольского п-ова показала [4–6], что наибольшим потенциалом ветра располагают прибрежные районы Баренцева моря (рис. 2), где среднегодовая скорость ветра составляет 7–8 м/с на высоте 10 м от поверхности земли. На Беломорском побережье этот показатель гораздо ниже — 5–6 м/с. Повсеместно по мере удаления от береговой линии интенсивность ветра падает.

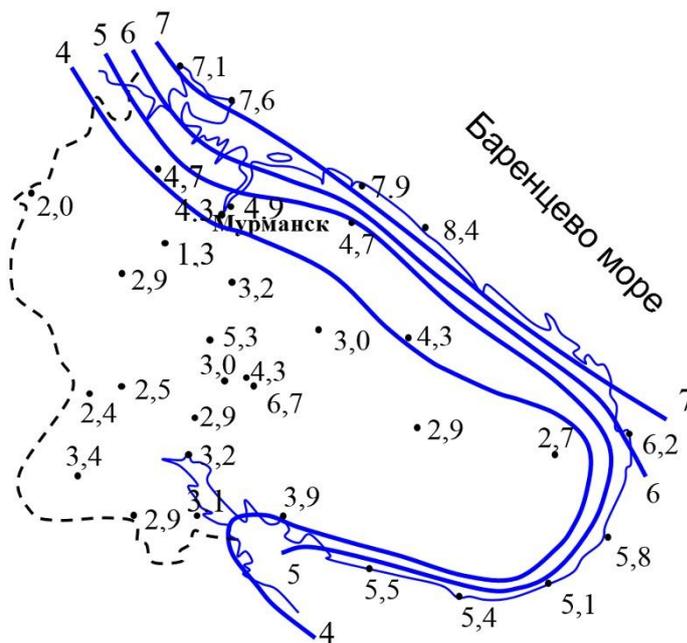


Рис. 2. Средние многолетние скорости ветра (м/с) на высоте 10 м от поверхности земли в условиях открытой ровной местности

Fig. 2. Average perennial wind speeds (m/s) at a height of 10 m from the surface of the earth in conditions of open flat terrain

Благоприятной предпосылкой для эффективного использования энергии ветра является зимний максимум скоростей ветра, потому что именно в зимнее время отмечается сезонный пик потребления тепловой и электрической энергии.

Ветроэнергетические ресурсы прибрежных районов Кольского п-ова, где среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м превышает 5 м/с, оцениваются в 250 млрд кВт·ч. При расположении ветроустановок на расстоянии 10 диаметров ветроколеса друг от друга их суммарная установленная мощность может составить около 80 млн кВт. Данная информация свидетельствует о том, что указанные ресурсы ветровой энергии почти в 20 раз превосходят сегодняшний уровень электропотребления области.

Мурманская обл. располагает большим числом средних и малых рек, пригодных для гидроэнергетического использования. Всего таких рек насчитывается более 40, их суммарный энергетический потенциал оценивается в 790 МВт среднегодовой мощности и 6,9 млрд кВт·ч среднегодовой энергии, технические ресурсы составляют 516 МВт и 4,4 млрд кВт·ч/год соответственно [7].

Кольский п-ов имеет 1000-километровую береговую линию, вдоль которой имеют место морские приливы. Приливная энергия представляет собой довольно мощный энергетический источник. Поступление этой энергии переменное в течение суток, но оно постоянно в среднемесечном

и годовом разрезах. Приливные электростанции могут эффективно использоваться при их совместной работе с гидроэлектростанциями, имеющими водохранилища. Переменные потоки приливной энергии, выровненные за счет энергии ГЭС, способны обеспечить участие ПЭС в покрытии графика электрической нагрузки.

В Мурманской обл. уже более 40 лет работает опытная Кислогубская ПЭС мощностью 1,1 МВт. В перспективе заслуживает внимания Лумбовский залив на крайнем северо-востоке Кольского п-ова. Акватория залива имеет площадь около 90 км², средняя величина прилива составляет 4,2 м. Указанные показатели делают возможным сооружение здесь ПЭС мощностью до 670 МВт с годовой выработкой до 2 млрд кВт·ч/год. На сегодняшний день в качестве промежуточного этапа специалистами предлагается строительство опытно-промышленной Северной ПЭС мощностью 12 МВт в губе Долгой (в 6 км западнее Териберки).

Приоритеты использования возобновляемых источников энергии

Представленные выше сведения позволяют сделать вывод о том, что хотя ресурсы солнечной, приливной и волновой энергии велики, в ближайшей перспективе они смогут найти в Мурманской обл. ограниченное применение. Причиной тому являются неблагоприятные северные природно-климатические условия (короткий световой день зимой, низкие температуры, гололедные явления и др.). Очевидными предпосылками для широкого использования располагают ветровая энергия и гидроэнергия.

Особенно перспективным представляется развитие системной ветроэнергетики, предусматривающее работу крупных ветропарков в составе энергосистемы. Значительный эффект также может принести участие ветроэнергетических установок в электроснабжении автономных потребителей (совместная работа ДЭС и ВЭУ). Наконец, в северных условиях заслуживает внимания участие ветроэнергетических установок в теплоснабжении потребителей (совместная работа котельных и ВЭУ) [8].

Развитие системной ветроэнергетики на Кольском п-ове вполне может быть начато в районе Серебрянских и Териберских ГЭС, суммарная мощность которых составляет около 500 МВт [9]. На рис. 3 представлено четыре площадки для сооружения ветропарков.



Рис. 3. Первоочередные ветропарки вблизи Серебрянских и Териберских ГЭС

Fig. 3. Priority wind farms near the Serebryansky and Teriberka hydroelectric power stations

Площадка 1 вблизи пос. Лодейное располагается к северу от поселка на открытой местности с высотными отметками около 20 м над уровнем моря. Здесь может быть сооружен ветропарк мощностью около 10 МВт. Площадка находится в 8 км от Нижне-Териберской ГЭС мощностью 26 МВт.

Площадка 2 на берегу Верхне-Териберского водохранилища расположена на открытой местности с высотными отметками 150–170 м над уровнем моря, вблизи благоустроенной автомобильной дороги и станционных сооружений Верхне-Териберской ГЭС (130 МВт). Предлагаемая мощность ветропарка — 15–20 МВт.

Площадка 3 в районе пос. Туманный находится вблизи Нижне-Серебрянской ГЭС (156 МВт). Здесь на открытой местности может быть сооружен ветропарк мощностью 50 МВт. Близкое расположение к подстанции ГЭС делает удобной выдачу мощности парка в энергосистему.

Площадка 4 в районе 81-го км автодороги Мурманск — Териберка (рис. 4). Эта площадка удалена от Баренцева моря на 30 км [10], имеет высотные отметки 200–240 м над уровнем моря. Мощность ветропарка может составить около 200 МВт. Энергия может выдаваться на подстанцию Верхней Серебрянской ГЭС (205 МВт).

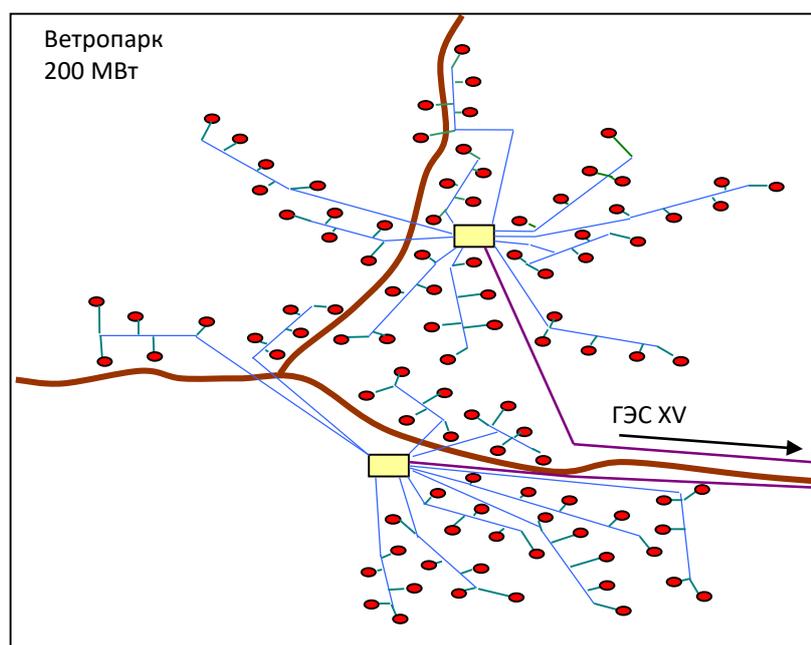


Рис. 4. Ветропарк мощностью 200 МВт в районе 81-го км автодороги Мурманск — Териберка
 Fig. 4. Wind park with a capacity of 200 MW in the area of 81 km of the road Murmansk — Teriberka

К последней площадке проявила интерес компания ПАО «Энел Россия», которая в 2017 г. выиграла тендер на сооружение здесь Кольской ВЭС мощностью 201 МВт. Объем инвестиций, необходимых для реализации проекта, составит около 270 млн евро. Выработка электроэнергии ветропарка — 750 млн кВт·ч в год, срок окупаемости — около 10–14 лет. Правительство Мурманской обл. и ПАО «Энел Россия» 12 ноября 2018 г. заключили Соглашение о сотрудничестве в реализации этого инвестиционного проекта в 2019–2021 гг.

В Мурманской обл. наряду с системной ветроэнергетикой повсеместно может получить развитие автономная ветроэнергетика, предусматривающая участие ветроэнергетических установок в электроснабжении удаленных децентрализованных потребителей (маяков, метеостанций, пограничных застав, объектов Северного флота, и др.). Необходимость в функционировании таких потребителей сохраняется на далекую перспективу.

Анализ состояния топливоснабжения удаленных потребителей Мурманской обл. позволил установить, что стоимость топлива при его перевозке местным автомобильным и бездорожным транспортом может возрастать в 1,5–2,0 раза по сравнению с отпускной ценой на опорных пунктах топливоснабжения. При сложившихся во II квартале 2019 г. ценах на дизельное топливо в размере 48–50 тыс. руб. за 1 т его стоимость после доставки потребителю с учетом транспортных расходов

может достигать 70–80 тыс. руб/т и более. В результате себестоимость энергии, вырабатываемой местными дизельными электростанциями (ДЭС), достигает 30–35 руб/кВт·ч, что в 8–10 раз выше, чем при централизованном электроснабжении. Одним из направлений возможной экономии дорогостоящего топлива может быть использование энергии ветра. Однако нужно иметь в виду, что за внедрением ветроэнергетических установок стоят немалые капиталовложения. В условиях Севера стоимость одного установленного киловатта ВЭУ составит около 1500 евро, при курсе 73 рубля за 1 евро (апрель 2019 г.) каждый киловатт обойдется почти в 110 тыс. руб.

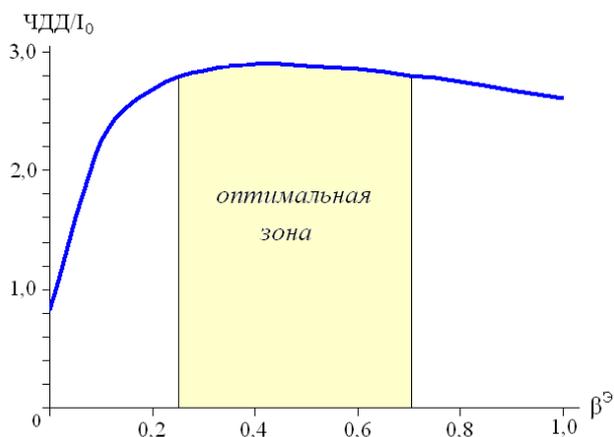


Рис. 5. Зависимость дохода, получаемого на каждый рубль инвестиций, от соотношения мощностей ВЭУ и ДЭС ($\beta^3 = N_{ВЭУ}/N_{ДЭС}$)

Fig. 5. The dependence of the income received for each ruble of investment, the ratio of wind turbines and diesel power plants ($\beta^3 = N_{WT}/N_{DPP}$)

При внедрении ветроустановки естественным является желание сэкономить больше топлива, применить более мощную ВЭУ. Но такой подход целесообразен до определенного предела, после которого дальнейшее наращивание ее мощности может привести к снижению дохода из-за чрезмерного роста капиталовложений. Результаты оптимизационных расчетов (рис. 5) показали, что максимум отдачи на каждый вложенный рубль инвестиций, равный 2,8, имеет место при соотношении мощностей ВЭУ и ДЭС около 0,4. Достаточно высокое значение отдачи сохраняется в довольно широком диапазоне изменения соотношения мощностей ВЭУ и ДЭС — от 0,25 до 0,70. Именно на этот диапазон следует ориентироваться в дальнейшем, так как он обеспечивает наибольшую экономию дорогостоящего

топлива, с одной стороны, и скорейший возврат инвестиций, вложенных в создание комплексов «ДЭС + ВЭУ», с другой.

Результаты технико-экономических расчетов, определяющих эффективность совместной работы ДЭС и ВЭУ в характерных прибрежных населенных пунктах Мурманской обл., показали, что доля возможного участия ВЭУ в покрытии графика электрической нагрузки колеблется в пределах 32–51 %. За счет применения ВЭУ экономится значительная часть топлива и себестоимость вырабатываемой электроэнергии снижается на 24–28 % [11].

В северных районах, располагающих повышенным потенциалом ветровой энергии, заслуживает внимания рассмотрение вопроса об участии ветроэнергетических установок в покрытии графика отопительной нагрузки (совместная работа котельных и ВЭУ). Основной предпосылкой для такого использования ВЭУ является тот факт, что ветер является климатическим фактором, определяющим повышенные теплопотери. Но он же, с другой стороны, является полноценным источником энергии, обеспечивающим именно в ветреные периоды активное поступление энергии ветра на нужды отопления. При этом не критичным становится основной недостаток ветра — его непостоянство, так как кратковременные секундные и минутные изменения мощности ВЭУ могут сглаживаться за счет аккумулирующей способности системы теплоснабжения, более продолжительные колебания — за счет аккумулирующей способности отапливаемых зданий, а во время длительных затиший в работу могут на необходимую мощность включаться штатные источники тепла на органическом топливе (котлы котельной).

В ходе выполнения технико-экономических расчетов было установлено, что участие ВЭУ в работе котельных на северном побережье Кольского п-ова может способствовать уменьшению расхода топлива на 50–70 % и снижению себестоимости тепловой энергии на 41–48 % [12].

Перспективы развития малой гидроэнергетики

Выше отмечалось, что Мурманская обл. располагает значительными запасами гидроэнергии малых рек. Целесообразность развития малой гидроэнергетики ограничивается сооружением

небольшого числа так называемых системных малых ГЭС в пределах зоны, охватываемой Кольской энергосистемой, а также нескольких малых ГЭС в зоне децентрализованного энергоснабжения вблизи существующих населенных пунктов.

Исследования показали, что в Мурманской обл. за счет сооружения 14 системных малых ГЭС на реках Пиренга, Тумча, Умба, Ура, Рында, Титовка и Б. Оленка установленная мощность гидроэлектростанций Кольской энергосистемы может быть увеличена на 122 МВт, а выработка — на 409 млн кВт·ч. За счет строительства малых автономных ГЭС на Ельреке (для села Краснощелья) и Чаваньге (для одноименного села) эти показатели могут быть дополнительно увеличены на 1,7 МВт и 8 млн кВт·ч соответственно.

Выводы

1. Кольская электроэнергетическая система за последние 30 лет не претерпела существенных структурных изменений. Основную долю выработки электроэнергии в энергосистеме обеспечивает Кольская АЭС мощностью 1760 МВт, вырабатывающая около 60 % энергии. Сроки эксплуатации блоков АЭС продлены до 60 лет.

2. Покрытие переменной части графика нагрузки энергосистемы осуществляют 17 ГЭС суммарной мощностью 1600 МВт.

3. В перспективе в прибрежных районах Мурманской обл. может получить развитие нетрадиционная возобновляемая энергетика, в первую очередь системная ветроэнергетика (сооружение крупных ветропарков, работающих в составе Кольской энергосистемы). Компанией ПАО «Энел Россия» уже начато строительство Кольской ВЭС мощностью 201 МВт в районе Верхне-Серебрянской ГЭС, которое должно завершиться в 2021 г.

4. В удаленных районах Севера может получить развитие автономная ветроэнергетика (совместная работа ВЭУ с дизельными электростанциями и котельными установками в целях экономии дорогостоящего привозного органического топлива). В условиях повышенного потенциала ветра экономия может достигать 30–60 % и более.

5. В прибрежных районах Кольского п-ова и соседних районов на некоторых малых реках выявлены створы, подходящие для сооружения малых ГЭС, способных обеспечить энергетические потребности имеющихся вблизи этих рек децентрализованных потребителей энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фуртаев А. И., Минин В. А., Якимов М. Ю. Кольская АЭС, ее роль в энергетике Кольско-Карельского региона, перспективы развития // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 2 (9). С. 95–105.
2. Минин В. А., Дмитриев Г. С. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове. Мурманск: Беллона, 2007. 92 с.
3. Минин В. А. Ресурсы нетрадиционных и возобновляемых источников энергии Мурманской области и приоритеты их использования // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 1. С. 94–101.
4. Зубарев В. В., Минин В. А., Степанов И. Р. Использование энергии ветра в районах Севера. Л.: Наука, 1989. 208 с.
5. Энергия ветра — перспективный возобновляемый энергоресурс Мурманской области: препр. Апатиты: КНЦ РАН, 2006. 73 с.
6. Минин В. А., Дмитриев Г. С., Минин И. В. Перспективы освоения ресурсов ветровой энергии Кольского полуострова // Известия РАН. Энергетика. 2001. № 1. С. 45–53.
7. Минин В. А., Дмитриев Г. С. Перспективы использования энергии ветра и малых ГЭС в удаленных районах Мурманской области. Апатиты: КНЦ РАН, 2007. 97 с.
8. Бежан А. В., Минин В. А. Оценка эффективности системы теплоснабжения на основе котельной и ветроустановки в условиях Севера // Теплоэнергетика. 2017. № 3. С. 51–60.
9. Первоочередные площадки для ветропарков на Кольском полуострове / В. А. Минин [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2004. 24 с.
10. Абросимова А. А. Ветропарк в районе семьдесят первого километра автодороги Мурманск — Териберка // Научно-технические проблемы развития энергетики Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2009. С. 30–34.
11. Минин В. А., Рожкова А. А. Перспективы работы ветродизельных электростанций в прибрежных районах Мурманской области // Труды КНЦ РАН. Серия «Энергетика». 2017. № 8 (8), вып. 15. С. 41–49.
12. Минин В. А., Фуртаев А. И. Перспективы внедрения ветроэнергетических установок в береговые системы энергоснабжения удаленных потребителей Арктики // Арктические берега: путь к устойчивости: материалы XXVII Междунар. береговой конф. Мурманск: МАГУ, 2018. С. 390–393.

Сведения об авторах

Минин Валерий Андреевич — кандидат технических наук, заведующий лабораторией энергосбережения и возобновляемых источников энергии Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН
E-mail: minin@ien.kolasc.net.ru

Рожкова Анастасия Александровна — младший научный сотрудник лаборатории энергосбережения и возобновляемых источников энергии Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН

E-mail: nastasya_rozhkova@bk.ru

Бежан Алексей Владимирович — научный сотрудник лаборатории энергосбережения и возобновляемых источников энергии Центра физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН

E-mail: abezh@rambler.ru

Author Affiliation

Valery A. Minin — PhD (Engineering), Head of Energy Saving and Renewable Energy Sources Laboratory of the Northern Energetics Research Centre of KSC RAS

E-mail: minin@ien.kolasc.net.ru

Anastasia A. Rozhkova — Junior Researcher of Energy Saving and Renewable Energy Sources Laboratory of the Northern Energetics Research Centre of KSC RAS

E-mail: nastasya_rozhkova@bk.ru

Alexey V. Bezhan — Researcher of Energy Saving and Renewable Energy Sources Laboratory of the Northern Energetics Research Centre of KSC RAS

E-mail: abezh@rambler.ru

Библиографическое описание статьи

Минин, В. А. Возможные направления интеграции возобновляемых источников энергии в энергетическое хозяйство Мурманской области / *В. А. Минин, А. А. Рожкова, А. В. Бежан* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 3 (11). — С. 124–133.

Reference

Minin Valery A., Rozhkova Anastasia A., Bezhan Alexey V. Possible Directions for the Integration of Renewable Energy Sources in the Energy Sector of the Murmansk Region. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3. (11), pp. 124–133. (In Russ.).

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.3.134-143

УДК 332.143:338.27:330.322.16

ОПОРНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛИТЕТОВ АРКТИКИ*

Е. Е. Емельянова

ФГБУН Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН

Аннотация

Исследование социально-экономического положения муниципалитетов Арктики, включая перспективы, их развития показало ряд характерных проблем в данной области, в связи с чем основные силы государственного регулирования должны быть направлены на решение вопросов развития человеческого потенциала, социальной и транспортной инфраструктуры, малого предпринимательства и особой государственной поддержки арктических территорий.

Ключевые слова:

Арктическая зона, муниципальные образования, социально-экономическое развитие, инвестиционная деятельность.

THE REFERENCE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF MUNICIPALITIES OF THE ARCTIC

Elena E. Emelyanova

Luzin Institute for Economic Studies of KSC RAS

Abstract

The subject of the study is the municipalities of the Arctic. The aim of the work was to identify common factors affecting the socio-economic situation of the Arctic municipalities, as well as the prospects for their development, taking into account the experience of the Arctic countries. The analysis of the experience of management of the Arctic territories abroad showed that all Arctic states are characterized by a number of common problems of development of municipalities, and the main forces of state regulation are aimed at addressing the development of human potential, social and transport infrastructure, small businesses and special state support of the Arctic territories. The state policy on minimization of negative processes and factors of functioning of municipalities of the Russian Arctic should take into account international experience in solving such issues.

Keywords:

Arctic zone; municipalities; socio-economic development; investment activities.



Введение

К социально-экономическому развитию муниципальных образований в качестве первичного управленческого звена приковано повышенное внимание со стороны всех арктических государств и во всех сферах деятельности — политической, экономической, социальной, экологической. В исследованиях различных ученых разработана значительная методологическая база, обеспечивающая возможность оценки социально-экономического развития отдельных территорий, инвестиционного климата, привлекательности для населения и бизнеса, уровня и качества жизни населения, развития инфраструктуры как на уровне муниципальных образований, так и регионов в целом. Однако вопросы социально-экономического развития муниципальных образований рассматриваются в большинстве случаев в отрыве от региональной принадлежности и без учета специфики арктических территорий.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ РАН № 0226-2019-0027_ИЭП.

В данном исследовании совмещен анализ общих и особенных факторов развития муниципалитетов в специфических условиях арктических регионов с позиции их экономической привлекательности на основе изучения зарубежного опыта и определения перспектив и возможностей его применения в Российской Арктике. Для решения поставленной задачи применялся комплекс методов научного исследования (в первую очередь, теоретического и статистического анализа), основанных на изучении научной литературы и официальных статистических данных по проблематике, нормативно-правовых документов, анализе и обобщении отечественного и зарубежного опыта по вопросам развития Арктической зоны приарктических государств, для проведения аналогий и выявления опорных направлений развития арктических территорий России.

Под опорными направлениями в статье подразумеваются приоритетные задачи государственных и муниципальных органов власти по социально-экономическому развитию Арктики в целом и муниципалитетов в частности, а также нивелированию негативных факторов, оказывающих влияние на их дальнейшее функционирование.

Факторы развития муниципалитетов Российской Арктики

На протяжении периода становления современной системы местного самоуправления для всех российских муниципалитетов был характерен ряд общих проблем их социально-экономического развития [1]. Это концентрация производственно-хозяйственной деятельности в городских округах и, как следствие, более высокий уровень жизни по сравнению с муниципальными районами и поселениями, а также значительная дифференциация развития муниципальных образований в зависимости от имеющихся экономических и инвестиционных ресурсов на территории муниципалитета, которая привела к существенным диспропорциям между самими муниципальными образованиями.

Несмотря на принимаемые правительством меры в области нормативно-правового регулирования и перспектив социально-экономического и инвестиционного становления муниципального уровня, вопрос обеспечения реализации планов развития остается до конца не решенным. Основная причина заключается в «повсеместном дефиците местных бюджетов» [2], а также в «неэффективности системы муниципально-территориального устройства: сетка (границы) муниципалитетов была сформирована без учета наличия соответствующей ресурсной базы и обеспечения их финансово-экономической самостоятельности» [1]. Это привело к значительной дифференциации муниципалитетов по уровню жизни и возможностям социально-экономического развития в зависимости от их ресурсной обеспеченности. В результате происходит повсеместное укрупнение городов с развитой материально-технической базой и «обезлюживание» малых периферийных поселений с низкой ресурсной обеспеченностью [3], что, в свою очередь, ведет к существенным разрывам показателей инвестиционной активности в муниципалитетах с различной структурой экономики.

Начиная с 2000-х гг. перераспределение бюджетных ресурсов из регионов и муниципальных образований в пользу федерального центра привело к тотальной финансовой зависимости от государственных трансфертов. По данным Министерства финансов, доля суммарных доходов муниципальных образований в валовом внутреннем продукте (ВВП) страны постоянно сокращается. Так, в 1997 г. она составляла 10,9 %, в 2012 г. — 5,1 %, в 2013 г. — 5,07 %, а в 2014 г. — 4,9 %, или более чем в 2 раза меньше [3]. Собственные источники доходов местных бюджетов не покрывают необходимые объемы финансирования для полноценного решения всех вопросов местного значения. К тому же в последние годы наметилась тенденция снижения доли собственных доходов (налоговых и неналоговых) всех местных бюджетов России с 71 % в 2000 г. до 39 % — в 2007 г. и 36 % — в 2016 г. [4], что указывает на необходимость совершенствования налогового и бюджетного законодательства.

Низкая финансово-экономическая самостоятельность характерна для большинства муниципальных образований Российской Федерации. Но муниципальные образования, имеющие статус городского округа, находятся в более благоприятных условиях по формированию

и реализации социально-экономической политики, так как обладают наиболее широким перечнем вопросов местного значения, входящих в их компетенцию, и наибольшими расходными полномочиями по их решению [5]. Также значительная дифференциация между муниципалитетами по уровню социально-экономических показателей определена в зависимости от региональных факторов развития. Специфика арктического региона заключается в сложных природно-климатических, хозяйственно-производственных, расселенческих и демографических условиях, слабой транспортной доступности, что приводит к дополнительным рискам ведения хозяйственной деятельности, повышенной ресурсоемкости, удорожанию стоимости жизни и факторов производства, повышенному износу основных фондов и уровню издержек на содержание и ремонт инфраструктуры, проблемам развития предпринимательства.

Преобладание добывающего сектора и ресурсно-сырьевой направленности экономики в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) привело к монопрофильности поселений и значительной дифференциации муниципалитетов по уровню социально-экономического развития в одном макрорегионе в зависимости от их ресурсной обеспеченности и хозяйственно-производственной направленности экономики. Проведенные исследования развития муниципальных образований Арктики в зависимости от их хозяйственно-экономической направленности показали, что значительным преимуществом обладают муниципалитеты с ресурсодобывающей специализацией, а также административные центры субъектов России, в которых сосредоточены материально-производственные, трудовые и управленческие ресурсы благодаря близости к государственным органам власти. В наиболее сложной ситуации находятся небольшие, удаленные от административных центров муниципалитеты, не обладающие развитой ресурсной базой [6].

Все это накладывает определенный отпечаток на экономическое и инвестиционное развитие в данном макрорегионе и приводит к необходимости дифференцированного подхода к управлению муниципалитетами с различной структурой экономики в условиях Арктики.

Приоритеты развития муниципальных образований Арктики за рубежом

Для всех стран Арктики, к которым относятся Канада (Северо-западные территории, Юкон и Нунавут), Дания (Гренландия), Норвегия (регионы Тромс и Финнмарк), США (Аляска), Швеция (Норботтен), Финляндия (Лапландия) и Исландия, характерен ряд общих негативных факторов и направлений социально-экономического развития [7, 8], в связи с чем наблюдается определенная тенденция решения проблем функционирования арктических муниципалитетов — это развитие человеческого потенциала, диверсификация экономики и фискальная политика государства.

I направление. Во всех регионах арктической зоны остро обозначена проблема привлечения трудовых ресурсов и развития человеческого капитала, поэтому создание благоприятных условий, повышение качества жизни и увеличение благосостояния населения, проживающего в Арктике, является приоритетной задачей развития данных территорий [9]. Для всех регионов Арктики характерен ряд негативных социально-демографических проявлений показателей развития человеческого капитала — это низкая плотность и снижение численности населения в сравнении с южными районами страны, вызванная в первую очередь отрицательной миграцией [10]. Наиболее показательными в решении проблемы развития человеческого капитала являются практики арктических поселений в Канаде, Норвегии и Аляске, где акцент сделан на развитой системе образования и здравоохранения, социальной и транспортной инфраструктуры, а также на создании благоприятной городской среды, а уровень услуг в арктических муниципалитетах значительно превышает уровень других регионов [11].

II направление. Большинство поселений Арктики, как российских, так и зарубежных, характеризуются наличием крупных ресурсных предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых. В отличие от распространенной в арктических регионах РФ «монопрофильности» поселений, в зарубежной Арктике, наряду с крупными ресурсодобывающими предприятиями,

активно развито и малое предпринимательство [12]. При этом вопросы диверсификации экономики и развития малого бизнеса решаются при активном участии государства, например, в формировании всей необходимой производственной и транспортной инфраструктуры, что способствует значительному росту предпринимательства. Благодаря развитию сети дорог и транспортного сообщения с удаленными территориями динамично развивается популярный сейчас арктический туризм. Например, в Финляндии туризм является основной стратегической целью развития Арктики [13], в соответствии с которой решаются инфраструктурные проблемы отдаленных территорий. Еще одним положительным примером развития туризма служат значительно удаленные территории, такие как Гренландия (Дания) и Шпицберген (Норвегия), которые в настоящее время благодаря развитой инфраструктуре не являются труднодоступными, а наоборот, привлекательны для туристов. Самым успешным в направлении диверсификации экономики является опыт Норвегии, национальная арктическая стратегия которой [14] предполагает два направления развития — геополитическое и социальное, при этом, согласно Национальному транспортному плану на 2018–2029 гг., предпочтение отдается именно инфраструктурным проектам в Арктике [15].

III направление. Еще одним широко используемым инструментом стимулирования развития предпринимательства в Арктике является фискальная политика. Арктические территории различаются по степени финансовой самостоятельности. Так, в Канаде, Гренландии и на Аляске региональные власти обладают широкими полномочиями в области налоговой, бюджетной, кредитной политики, что позволяет привлекать финансовые ресурсы для реализации крупномасштабных инфраструктурных проектов [16]. В Финляндии, Швеции и Норвегии арктические муниципалитеты функционируют на общих основаниях и не имеют дополнительных полномочий финансового регулирования по сравнению с другими регионами страны. Например, в Финляндии все муниципалитеты обладают широкими полномочиями в налоговом регулировании, однако арктические поселения Лапландии являются дотационными, поэтому их развитие предполагает субсидирование на выравнивание бюджетной обеспеченности и софинансирование крупных инвестиционных проектов. В Швеции поддержка арктических территорий в качестве отдельного направления регионального финансового регулирования практически не предусмотрена, их финансовое выравнивание происходит в рамках общегосударственной системы регионального выравнивания по средствам субсидирования. В Норвегии финансовое регулирование развития арктических территорий осуществляется по трем направлениям: дотации из государственного бюджета, существенные налоговые льготы субъектам хозяйствования и дополнительная поддержка проживающего там населения [17].

Перспективы развития муниципалитетов в Российской Арктике

Об освоенности и привлекательности территории, а также об инвестиционных перспективах ее развития косвенно говорит показатель плотности населения. В регионах российской Арктики данный показатель практически везде самый низкий и колеблется от 0,1 чел/км² — в Чукотском ОА до 5,2 — в Мурманской обл., при среднем показателе по стране — 8,6. За последние годы наибольшее «обезлюживание» произошло в Ненецком АО, где плотность населения сократилась на 33 %, Республике Коми, Мурманской (–25 %) и Архангельской (–17 %) областях. При этом средняя плотность населения по стране увеличилась на 2,3 %, что указывает на перераспределение численности населения внутри страны. Население арктических муниципалитетов России только за последние 15 лет (рис. 1) сократилось на 151 тыс. чел., или на 10,9 %, а за последний год на 6,5 тыс. чел. [18].

Помимо демографического кризиса, основанного на продолжающейся в стране естественной убыли населения, для арктических городов ситуация усугубляется повышенными темпами миграционного оттока населения (табл. 1). Среди регионов РФ большинство районов Арктики занимают первые места по уровню отрицательной миграции, а из регионов, полностью или частично отнесенных к АЗРФ, только Красноярский край имеет слабоположительную динамику.

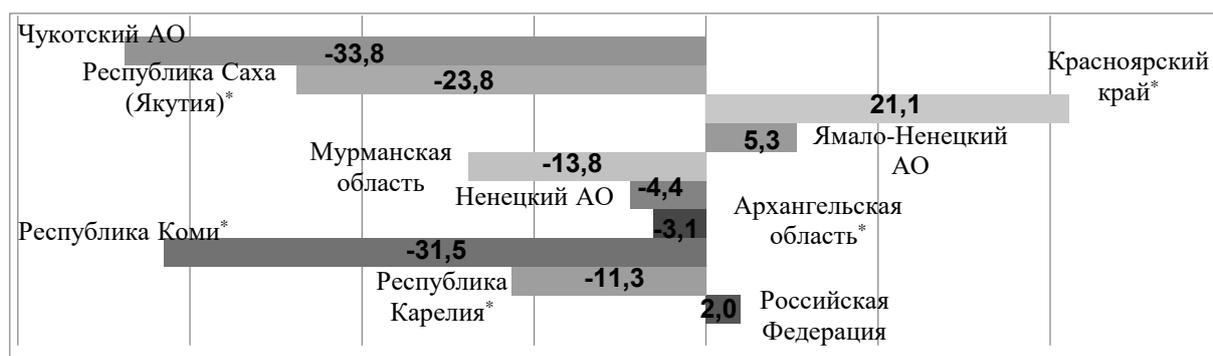


Рис. 1. Изменение численности населения в муниципалитетах АЗРФ с 2002 по 2017 гг., %

*Численность населения приведена по муниципалитетам, отнесенным к АЗРФ [19–21]

Fig. 1. Population change in the municipalities of the Russian Arctic from 2002 to 2017, %

*The population is given by municipalities classified in the Russian Arctic [19–21]

Таблица 1

Table 1

Коэффициент миграционного прироста населения регионов АЗРФ (на 10 тыс. чел.) [22]

The coefficient of migration growth of the population of the regions of the Russian Arctic (10 000 people) [22]

Регионы, входящие в АЗРФ The regions included in the Russian Arctic	2002 г.	2012 г.	2017 г.
Российская Федерация / Russian Federation	5	21	14
Республика Карелия / Republic of Karelia	25	-15	-31
Республика Коми / Republic of Komi	-59	-122	-112
Архангельская обл. / Arkhangelsk region	-33	-88	-70
Ненецкий АО / Nenets Autonomous district	111	12	-53
Мурманская обл. / Murmansk region	-84	-101	-46
Ямало-Ненецкий АО / Yamalo-Nenets Autonomous district	16	-21	-45
Красноярский край / Krasnoyarsk region	-16	13	3
Республика Саха (Якутия) / The Republic of Sakha (Yakutia)	-59	-87	-48
Чукотский АО / Chukotka Autonomous district	-205	-66	-132

Основные причины миграционной убыли населения из арктических муниципалитетов страны вызваны несоответствием уровня комфортности проживания компенсационным затратам населению арктических городов. Уровень доходов проживающего там населения находится практически на тех же значениях, что и в большинстве регионов центральной России, а затраты на жизнеобеспечение в разы превышают общероссийские. Уменьшение разницы в доходах населения между арктическими и неарктическими регионами вызывает отток населения с территории, при этом наибольший отток происходит именно в тех регионах, в которых разница с неарктическими субъектами особенно очевидна (например, Мурманская обл.) [23]. К тому же для арктических городов характерен низкий уровень обеспеченности населения социально значимыми услугами здравоохранения и образования. В удаленных небольших арктических поселениях уровень и доступность получения социальных услуг гораздо ниже из-за обширных северных территорий и малочисленности большинства населенных пунктов, а вследствие проводимых государством реформ здравоохранения и образования (особенно высшего) произошло значительное сокращение и укрупнение объектов соцобеспечения с концентрацией возможности его получения в административных центрах субъектов РФ.

Недавно принятый Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам назначения и выплаты пенсий», увеличивший срок выхода на пенсию, еще более усугубит ситуацию с миграцией населения из районов с некомфортными условиями труда и проживания. Наличие уровня продолжительности жизни в регионах Крайнего Севера ниже средних показателей по стране, а в некоторых регионах и самого низкого (Чукотский АО — 66,1 лет) [24] в совокупности с вышеперечисленными факторами может значительно усилить отток населения в более благоприятные для жизни районы страны. В связи с этим необходимо предусмотреть опережающий рост доходов населения арктических территорий, что позволит остановить миграционный отток и привлечь дополнительные трудовые ресурсы. А с учетом зарубежного опыта управления арктическими городами целесообразно перенимать наиболее результативный опыт Норвегии и Канады, арктическая политика которых направлена на создание благоприятной среды обитания местного населения, что позволило этим странам значительно повысить уровень жизни, снизить миграцию и успешно привлекать трудовые ресурсы из других регионов.

Если нефтедобывающие регионы способны вкладывать значительные инвестиции в развитие отдельных отраслей и городов, то, например, в Мурманской обл., Республике Карелия, Чукотском автономном округе необходимо обязательное участие государства в капиталоемких крупномасштабных инвестиционных проектах. Также без участия федерального уровня не обойтись в проектах по созданию инженерной и социальной инфраструктуры, что позволит использовать арктические территории в туристической отрасли и будет способствовать развитию сферы малого бизнеса, связанного с оказанием околотуристических услуг. Например, в Норвегии благодаря развитой транспортной инфраструктуре поток туристов на архипелаг Шпицберген составляет около 60 тыс. чел. в год, а в национальный парк «Русская Арктика», включающий территории Земли Франца-Иосифа, всего 1,2 тыс. чел.

В Российской Арктике проблемы развития малого предпринимательства связаны со слабой транспортной доступностью, высокими энергозатратами, удаленностью от административных центров, существенными расходами на компенсации и льготы работникам. Если для бюджетных учреждений и крупных предприятий вопросы компенсации северных издержек не стоят так остро, то для малого предпринимательства это вопрос выживания. Поэтому, как считает А. Н. Пилясов, основной акцент в компенсации издержек северного удорожания должен быть смещен на уровень малого и среднего бизнеса Арктики, особенно в транспорте и энергетике [25].

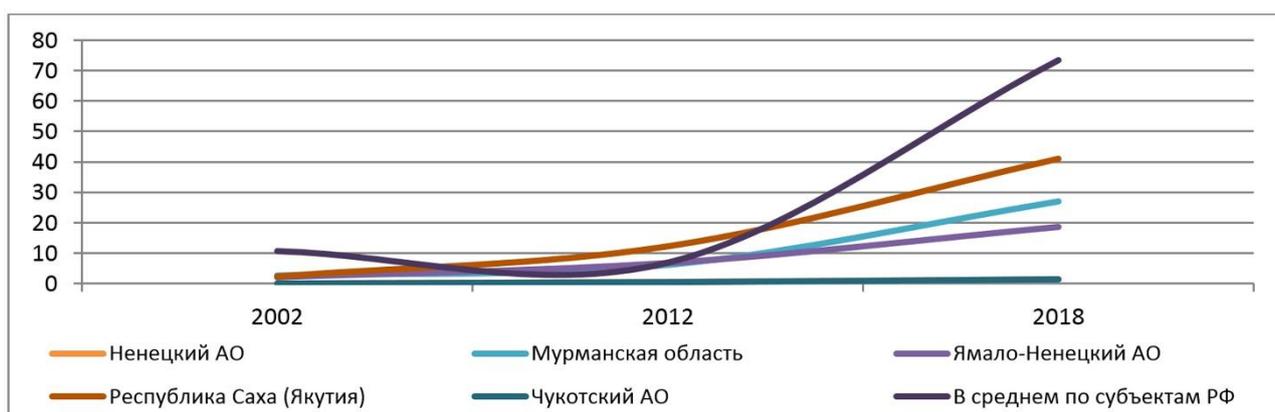


Рис. 2. Количество малых предприятий в регионах, полностью отнесенных к АЗРФ, тыс. [26–28]

Fig. 2. The number of small enterprises in the regions, fully attributed to the Russian Arctic, ths [26–28]

Сейчас на государственном уровне и на международных форумах стимулированию развития малого предпринимательства уделяется значительное внимание за счет создания благоприятных условий для бизнеса с помощью федеральных и региональных программ поддержки, «налоговых

каникул», освобождения от проверок и т. д. Кроме того, в связи с действием контрсанкций на продовольственные товары, на протяжении последних лет государством субсидируются малые сельхозпредприятия и фермерские хозяйства. Данные меры привели к определенному росту малых предприятий в стране, особенно в аграрном секторе (рис. 2).

Однако количество и темпы роста малых предприятий в регионах, полностью отнесенных к АЗРФ, значительно отстают от среднероссийских показателей, а, к примеру, Чукотский и Ненецкий автономные округа остаются на исключительно низком уровне. Несмотря на некоторый рост числа предприятий, размер финансовой поддержки со стороны государства сокращается (табл. 2). Стоит отметить, что объемы субсидий, выделяемых арктическим регионам, также значительно ниже средних значений по стране, то есть северные удорожающие факторы ничем не компенсируются.

Таблица 2
Table 2

Объем субсидий из федерального бюджета
для поддержки малого предпринимательства, млн руб. [29]
The amount of subsidies from the Federal budget to support small business, million rubles [29]

Регионы, полностью отнесенные к АЗРФ Regions fully related to the Russian Arctic	2015 г.	2016 г.	2016/2015 гг., %
Российская Федерация / Russian Federation	18528,2	11124,6	-39,9
Ненецкий АО / Nenets Autonomous district	4,7	3,0	-36,2
Мурманская обл. / Murmansk region	89,0	58,6	-34,2
Ямало-Ненецкий АО / Yamalo-Nenets Autonomous district	63,0	30,0	-52,4
Республика Саха (Якутия) / The Republic of Sakha (Yakutia)	170,6	116,3	-31,8
Чукотский АО / Chukotka Autonomous district	46,4	3,8	-91,8
В среднем по регионам РФ On the average on regions of the Russian Federation	217,9	130,8	-39,9

Между тем малые предприятия играют важную роль в инвестиционной составляющей муниципалитетов. Так, в регионах с развитой системой предпринимательства (например, Республика Татарстан, Нижний Новгород) объемы инвестиций малых предприятий составляют 15–18 млрд руб. [29], в среднем же по стране этот показатель в 2016 г. находился на уровне 9,4 млрд руб. В арктических же регионах малый бизнес является незначительной составляющей в инвестиционной деятельности (табл. 3), так как в большинстве муниципалитетов АЗРФ главными инвесторами выступают крупные добывающие компании, а малое предпринимательство развито слабо, в том числе из-за необходимости компенсации затрат на их функционирование (повышенные затраты на энергоресурсы, оплату труда, износ оборудования), что существенно сокращает объемы свободных финансовых ресурсов.

Практически все муниципалитеты в арктических государствах являются дотационными, однако размер дотаций в расчете на человека в различных странах существенно отличается (рис. 3). Наибольший размер межбюджетных трансфертов приходится на арктические территории Канады и Исландию (25 и 10 тыс. долл. США на человека соответственно). В России этот показатель в переводе на доллары США самый низкий и в усредненном виде по всем регионам, полностью отнесенным к зоне Арктики, составляет около 350 долл. США на человека. При этом значительный объем трансфертов приходится на Чукотский и Ямало-Ненецкий АО, в остальных регионах он и того меньше — около 90 долл/чел.

На долю арктических территорий России в 2012–2014 гг. приходилось всего порядка 5 % всех межбюджетных трансфертов, при этом в последнее время прослеживается явная тенденция к их сокращению. В 2016 г. объем трансфертов на регионы Арктики в общей сумме межбюджетных

трансфертов среди всех регионов РФ снизился до 0,3 % [30], что явно не соответствует уровню финансирования в зарубежных странах и идет вразрез с общими стратегическими целями и тенденциями развития арктических территорий.

Таблица 3
Table 3

Инвестиции в основной капитал малых предприятий регионов, полностью вошедших в АЗРФ (в фактически действовавших ценах), млрд руб. [26, 27, 29]
Investments in fixed capital of small enterprises of the regions, fully included in the Russian Arctic (in actual prices), billion rubles [26, 27, 29]

Регионы, входящие в АЗРФ The regions included in the Russian Arctic	2002 г.	2012 г.	2016 г.
<i>Российская Федерация, всего / Russian Federation, total</i>	497,3	521,5	801,6
Ненецкий АО / Nenets Autonomous district	0,0	0,0	0,1
Мурманская обл. / Murmansk region	0,2	0,7	0,6
Ямало-Ненецкий АО / Yamalo-Nenets Autonomous district	0,1	0,9	0,3
Республика Саха (Якутия) / The Republic of Sakha (Yakutia)	0,0	0,5	1,9
Чукотский АО / Chukotka Autonomous district	0,0	0,0	0,0
<i>В среднем по регионам РФ On the average on regions of the Russian Federation</i>	6,0	6,3	9,4



Рис. 3. Размер межбюджетных трансфертов на душу населения в регионах Арктики в 2016 г., тыс. долл./чел. (рассчитано автором по: [17, 20, 30])

Fig. 3. The amount of inter-budget transfers per capita in the Arctic regions in 2016, thousand dollars/pers (Calculated by the author according to: [17, 20, 30])

Выводы

Анализ социально-экономического положения муниципалитетов АЗРФ выявил острую проблему человеческого капитала, вызванную более быстрыми темпами сокращения численности населения за счет естественной убыли и миграционного оттока, в сравнении с общероссийскими показателями, а также значительное отставание в развитии малого и среднего предпринимательства от средних значений по стране. Несмотря на декларируемую Правительством РФ стратегическую важность развития зоны российской Арктики, меры социальной и экономической поддержки населения и предпринимательства данных территорий недостаточны и значительно отстают от уровня зарубежных приарктических государств. Поэтому для снижения негативного воздействия выявленных проблем социально-экономического развития муниципалитетов в российской Арктике необходим акцент на основные опорные направления с учетом зарубежного

опыта. Развитие человеческого потенциала и привлечение трудовых ресурсов возможно за счет формирования качественной городской среды, развитой социальной инфраструктуры, доступности образования и здравоохранения по аналогии с зарубежными арктическими государствами (Канада, Норвегия, Финляндия).

Кроме того, целесообразно предусмотреть опережающий рост доходов населения арктических территорий и дополнительные преференции (включая изменение сроков выхода на пенсию). Для развития малого и среднего бизнеса в муниципалитетах российской Арктики требуется дополнительная поддержка со сторон государства за счет инвестиционного участия в крупномасштабных инфраструктурных проектах, совершенствования трудового законодательства в области оплаты труда и различного рода преференций для работников АЗРФ, а также в части компенсационных расходов по оплате проезда в отпуск, районных надбавок и коэффициентов малому предпринимательству. Также необходимо пересмотреть в налоговом и бюджетном законодательстве вопросы финансовой обеспеченности и самостоятельности муниципальных органов власти при помощи изменения межбюджетного регулирования зон Арктики и фискальной политики по аналогии с Канадой, Норвегией, Швецией. Принятые меры позволят ускорить социально-экономическое развитие арктического макрорегиона в целом и муниципалитетов в частности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ворошилов Н. В.* Муниципально-территориальное устройство в России: адаптация к развитию // Вопросы территориального развития. 2017. № 2 (37). С. 3.
2. *Капранова А. С.* Становление и проблемы стратегического планирования в муниципальных образованиях // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2017. № 3 (66). С. 150–152.
3. *Колодина Е. А.* Исследование тенденций развития местного самоуправления в современной России // Изв. Байкал. гос. ун-та. 2017. Т. 27, № 2. С. 162–170.
4. Информация о результатах проведения мониторинга исполнения местных бюджетов и межбюджетных отношений в субъектах РФ на региональном и муниципальном уровнях за 2016 г. / М-во финансов РФ. М., 2017. URL: https://www.minfin.ru/common/upload/library/2017/06/main/Rezultaty_provedeniya_monitoringa_mestnykh_budzhetrov_za_2016_god-versiya_28.06.2017.pdf (дата обращения: 28.06.2018).
5. *Емельянова Е. Е.* Основные тенденции бюджетной обеспеченности и инвестиционной деятельности муниципальных образований Севера России // Россия: тенденции и перспективы развития: ежегодник / отв. ред. В. И. Герасимов. М., 2017. С. 845–849.
6. *Емельянова Е. Е.* Оценка эффективности политики и перспективные направления инвестиционного развития в муниципалитетах Севера и Арктики // ЭКО. 2018. № 6. С. 103–117. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2018-6-103-117.
7. *Blunden M.* The New Problem of Arctic Stability // Survival. 2009. Vol. 51, № 5. P. 127.
8. *Litovskiy V.* Problem of Development and Development of Polar and Arctic Territories: the Ural Aspect // The Arctic: Ecology and Economy. 2012. No. 3 (7).
9. The Arctic Social Indicators report is published by Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2010. P. 18–22. URL: http://library.arcticportal.org/712/1/Arctic_Social_Indicators_NCoM.pdf (accessed: 19.07.2018).
10. *Вылегжанина А. О.* Некоторые социально-экономические проблемы развития арктических территорий // Проблемы прогнозирования. 2017. № 2 (161). С. 78–88.
11. *Иванова Н. В.* Социальное инвестирование: обзор зарубежных практик // Гражданское общество в России и за рубежом. Высшая школа экономики. 2013. № 3. С. 31–36.
12. *Пилясов А. Н.* В поисках теоретического обоснования арктической исключительности (Девятый Междунар. конгресс арктической социальной науки (Умео, Швеция, 8–12 июня 2017 г.) // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2017. № 4 (55). С. 10–34.
13. Finland's Strategy for the Arctic Region. URL: <https://arcticportal.org/yar-features/295-finlands-strategy-for-the-arctic-region> (accessed: 19.07.2018).
14. Norway's Arctic Strategy — between geopolitics and social development. URL: <https://www.regjeringen.no/contentassets/fad46f0404e14b2a9b551ca7359c1000/arctic-strategy.pdf> (accessed: 19.07.2018).
15. New Building Blocks in the North. The next Step in the Government's High North Strategy. URL: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/ud/vedlegg/hordomradene/new_building_blocks_in_the_north.pdf (accessed: 19.07.2018).
16. *Сурикова О. Л.* К международному опыту развития арктических территорий // Портал GoArctic. URL: <https://goarctic.ru/live/k-mezhdunarodnomu-opytu-gazvitiya-arkticheskikh-territoriy/> (дата обращения: 11.07.2018).
17. *Вербищенко Е. А., Бадыевич Р. В.* Финансовое регулирование развития арктических территорий в зарубежных странах // Фундаментальные исследования. 2017. № 4–1. С. 126–132. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41447> (дата обращения: 09.07.2018).
18. Оценка численности постоянного населения сухопутных территорий Арктической зоны Российской Федерации // Демографический ежегодник России. 2017: стат. сб. / Росстат. М., 2017.
19. Демографический ежегодник России: стат. сб. / Госкомстат России. М., 2002. 397 с.
20. Демографический ежегодник России: стат. сб. / Росстат. М., 2017.
21. База данных показателей муниципальных образований / Федер. служба гос. статистики. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm (дата обращения: 23.07.2018).
22. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018: стат. сб. / Росстат. М., 2018. 1162 с.
23. *Ларченко Л. В., Колесников Р. А.* Дифференциация социально-экономического развития арктических регионов России // Инновации. 2017. № 10 (298). С. 69–75.
24. Демографический прогноз до 2035 г. / Федер. служба гос. статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/# (дата обращения: 04.12.2018).
25. *Пилясов А. Н.*

Арктическое предпринимательство: нечто исключительное // Go Arctic. URL: <https://goarctic.ru/work/arkticheskoe-predprinimatelstvo-nechto-isklyuchitelnoe/> (дата обращения: 29.07.2018). **26.** Малое предпринимательство в России. 2003: стат. сб. / Госкомстат России. М., 2003. 109 с. **27.** Малое и среднее предпринимательство в России. 2013: стат. сб. / Росстат. М., 2013. 124 с. **28.** Единый реестр субъектов малого и среднего предпринимательства / Федер. налоговая служба. URL: <https://rmsp.nalog.ru/statistics.html>. **29.** Малое и среднее предпринимательство в России. 2017: стат. сб. / Росстат. М., 2017. 78 с. **30.** Межбюджетные трансферты субъектам РФ / Федер. казначейство. URL: <http://datamarts.roskazna.ru/razdely/rashody/mezhbudgetnye-transferty/mezhbudgetnye-transferty-subjektam-rf/?paramPeriod=2016> (дата обращения: 01.08.2018).

Сведения об авторе

Емельянова Елена Евгеньевна — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Института экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН
E-mail: emelya@iep.kolasc.net.ru

Author Affiliation

Elena E. Emelyanova — PhD (Economics), Senior Researcher of Luzin Institute for Economic Studies of KSC RAS
E-mail: emelya@iep.kolasc.net.ru

Библиографическое описание статьи

Емельянова, Е. Е. Опорные направления развития муниципалитетов Арктики / *Е. Е. Емельянова* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 2 (11). — С. 134–143.

Reference

Emelyanova Elena E. The Reference Directions of Development of Municipalities of the Arctic. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 3 (11), pp. 134–143. (In Russ.).

XIX Международное совещание по кристаллохимии, рентгенографии и спектроскопии минералов *Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН», Комиссия по кристаллохимии, рентгенографии и спектроскопии минералов Российского минералогического общества, Санкт-Петербургский государственный университет, 2–5 июля 2019 г.*

Мероприятие посвящено памяти великого русского кристаллографа, минералога, петрографа и горного инженера академика Е.С. Федорова (10(22).12.1853-21.05.1919) в связи со 100-летием его кончины. Е.С. Федоров — основатель современной кристаллографии, автор вывода 230 пространственных групп симметрии. В 1891 и 1902 гг. Е. С. Федоров открыл на Кольском п-ове щелочные породы с апатитом и нефелином (в районе п-ова Турий на Белом море) и высказал идею о возможности использования этих пород для получения фосфорных удобрений.

Проводится при поддержке Отделения наук о Земле, Российской академии наук, Правительства Мурманской обл., Национального комитета кристаллографов России, Международной минералогической ассоциации, Международного центра дифракционных данных, Международного союза кристаллографов.

Основные темы конференции:

1. Общие вопросы неорганической кристаллохимии и структурной минералогии.
2. Рентгеновская кристаллография и рентгеноструктурный анализ.
3. Физика и спектроскопия минералов.
4. Дифракционные и спектроскопические методы в технологической минералогии.
5. Генетическая кристаллохимия.
6. Экспериментальная минералогия и кристаллохимия высоких температур и давлений.
7. Теоретико-кристаллохимические подходы в современной минералогии.
8. История минералогии и кристаллохимии

В работе XIX Международного совещания приняли участие почти 200 ученых из разных регионов России и зарубежных стран: Германии, Швейцарии, Италии, США, Франции, Норвегии, Австрии, Бельгии, Канады, Японии, Китая, Австралии, Индии. С российской стороны свои последние достижения в области минералогии и кристаллографии, включая смежные науки, представляют Кольский научный центр, Московский и Санкт-Петербургский государственные университеты, ведущие научно-исследовательские институты Российской академии наук геолого-минералогического профиля.

На XIX Международном совещании по кристаллохимии, рентгенографии и спектроскопии минералов представлена уникальная коллекция новых минералов, открытых на Кольском п-ове и названных в честь ученых Кольского научного центра и географических достопримечательностей края. Среди них лопарит, юкспорит, эвеслогит, иванюкит, яковенчукит, расвумит, кукисвумит, пункаруайвит, коашвит, ловозерит, елисеевит, горяиновит, селивановаит, пахомовскит, ильмайокит, лабунцовит, ферсманит, бонштедтит, митрофановит и многие другие. «На Кольской земле открыто самое большое количество новых минералов, чем где-либо еще в мире. Для минералога Кольский п-ов — минералогический клондайк, уникальная лаборатория природы, породившая удивительное разнообразие минеральных видов и поразительно богатая полезными ископаемыми самых разных типов. Сложно найти в России и в мире такое же уникальное в минералогическом плане место. Без преувеличения можно сказать, что российская минералогия и кристаллография в XX веке выросли на кольских минералах», — подчеркнул председатель ФИЦ КНЦ РАН С. В. Кривовичев.

Ожидается, что проведение международного совещания даст серьезный стимул к развитию этих областей науки в России и за рубежом.

VIII Всероссийская конференция с международным участием «Теория и практика системной динамики»

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН, Отделение нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук, Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН, 1–5 апреля 2019 г.

К празднованию 30-летия Института информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН приурочено проведение VIII Всероссийской (с международным участием) конференции «Теория и практика системной динамики». Ученые из России и Финляндии, приехавшие принять участие в ее работе, обсуждали методологические вопросы моделирования и практику системной динамики в исследовании социально-экономических, природных и промышленных систем, а также информационные системы поддержки управления региональным развитием.

Работа конференции проходила в рамках четырех секций.

Секция 1. Методологические вопросы моделирования динамики систем.

Рассмотрены методологические вопросы синтеза и анализа моделей динамики систем, методы и средства формализации экспертных знаний для структурного синтеза и верификации моделей, средства организации моделирования в распределенной вычислительной среде.

Секция 2. Системная динамика в исследовании социальноэкономических систем.

Секция посвящена вопросам применения метода системной динамики, а также других методов моделирования для исследования социально-экономических систем. Большое внимание было уделено моделированию региональных систем как основной составляющей экономического потенциала страны. Представлены модели, показывающие связь социальных и экономических процессов на муниципальном, региональном и федеральном уровнях.

Секция 3. Применение системной динамики в исследовании природных и промышленных систем.

Были представлены доклады по вопросам применения системной динамики и других методов моделирования в исследовании природных и промышленных систем, к которым, в частности, относятся горнопромышленный, горно-химический, топливно-энергетический комплексы. Особое внимание было обращено на моделирование взаимного влияния промышленности и окружающей среды при разных сценариях развития промышленных комплексов.

Секция 4. Информационные системы поддержки управления региональным развитием.

Участники обсуждали вопросы непосредственного применения информационных технологий моделирования для проектирования и разработки предметноориентированных информационно-аналитических информационных систем, предназначенных для поддержки управления региональным развитием.

В рамках научного мероприятия проводилась молодежная школа-семинар «Информационные технологии и математическое моделирование».

Конференция завершилась заседанием круглого стола в Доме ученых Кольского научного центра «Тиетта», во время которого были подведены итоги мероприятия и подготовлены рекомендации для опубликования наиболее интересных докладов.

Козырев, С. А. Управление вентиляционными потоками в горных выработках подземных рудников на основе математического моделирования аэродинамических процессов: монография / С. А. Козырев, А. В. Осинцева, П. В. Амосов. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — 114 с.: ил.

В монографии представлены результаты исследований авторов по ряду актуальных вопросов рудничной аэрологии. Продемонстрировано авторское решение важной при проектировании горнодобывающих предприятий задачи — оптимизации размещения и параметров перемычек и вентиляторов в сети выработок с целью улучшения проветривания рабочих зон и уменьшения мощности, необходимой для организации проветривания всей вентиляционной системы. Предложен и реализован метод выбора параметров регуляторов и оптимизации их размещения, основанный на анализе взаимосвязи параметров сети и применении генетического алгоритма, который реализован в программном продукте VentCAD собственной разработки.

По результатам натурных испытаний аэродинамики турбулентных воздушных потоков в тупиковых выработках и численного моделирования процесса выноса газообразных продуктов взрыва доказана возможность увеличения минимального расстояния от забоя проводимой выработки до конца вентиляционных труб с соблюдением нормативного времени на проветривание.

Методами численного моделирования продемонстрированы возможности проветривания протяженных тупиковых выработок после взрывных работ за счет турбулентной диффузии, в т. ч. с учетом утечки-подсоса воздуха через зону обрушения. Ил. — 37, табл. — 22, библиогр. — 157 назв.

Книга предназначена для научных и научно-технических работников, занимающихся вопросами рудничной аэрологии, и может быть использована в качестве пособия для аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

XIX International Meeting on Crystal Chemistry, X-ray Diffraction AND Spectroscopy of Minerals. Dedicated to the memory of Academician E. S. Fedorov (1853–1919): Book of Abstracts = сб. тез. / под ред. С. В. Кривовичева. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — 237 с.

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XIX Международном совещании по кристаллохимии, рентгенографии и спектроскопии минералов, проходившем с 1 по 5 июля 2019 г. в г. Апатиты (Кольский п-ов, Россия). В число основных тем докладов входят: теория и современные методы дифракционного и спектроскопического исследования минерального вещества и неорганических материалов; кристаллохимия неорганических соединений природного (минералы) и искусственного происхождения, включая материалы с интересными физико-химическими свойствами; неорганическое материаловедение (катодные материалы, протонные проводники, микропористые материалы и сорбенты, ионные проводники и т. д.); проблемы генезиса и свойств алмазов; описательная минералогия (новые минералы и новые находки минералов); прикладная минералогия (в связи с проблемами археологии и захоронения радиоактивных отходов); история кристаллографии. Издание предназначено для специалистов в области минералогии, кристаллографии, спектроскопии и материаловедения.

Geochemical Barriers for Wastewater Purification and Recovery of Nonferrous Metals / D. V. Makarov [et al.]. — Apatity: FRC KSC RAS, 2019. — 53 p.

Рассмотрены геохимические барьеры как способ борьбы с загрязнением подземных и поверхностных вод. Материалы могут быть как природного (почва, порода, торф и т. д.), так и синтетического (отходы переработки полезных ископаемых) происхождения. По сравнению с традиционными методами, в основе которых химическая обработка сточных вод, геохимические барьеры обладают рядом преимуществ: они дешевле, наносят меньший вред природным водоемам, обладают большей устойчивостью при работе в непрерывном режиме.

Данное исследование было проведено при финансовой поддержке приграничного сотрудничества «Коларктик» Программа на 2014–2020 годы, проект №. KO1030.

Prospects of processing the mining and mineral processing waste in Murmansk Region into ceramic building materials / D. V. Makarov [et al.]. — Apatity: FRC KSC RAS, 2019. — 44 p.

Представлен обзор зарубежной и российской литературы по переработке различных видов промышленных отходов для производства керамических строительных материалов (кирпича, камня, керамической плитки). Детально рассмотрены классификации отходов, которые используются для производства керамических строительных материалов. Показано, что в ряде случаев использование отходов ведет к улучшению свойств материала. Переработка промышленных отходов, прежде всего отходов добычи и переработки полезных ископаемых и отходов энергетической промышленности, для производства в больших масштабах керамических строительных материалов выгодна экономически, помогает решать природоохранные и социальные проблемы. Кроме того, рассмотрены перспективы переработки отходов горного производства Мурманской обл. для производства керамических строительных материалов.

Данное исследование было проведено при финансовой поддержке приграничного сотрудничества «Коларктик» Программа на 2014–2020 годы, проект №. КО1030.

Вестник Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — № 2 (11). — 129 с.

Север и рынок: формирование экономического порядка: науч-информ. журн. / Ин-т экон. проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — № 2 (64). — 133 с.

Север и рынок: формирование экономического порядка: науч-информ. журн. / Ин-т экон. проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — № 3 (65). — 144 с.

Труды Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — № 1 (10). — 452 с. — (Химия и материаловедение. Вып. 3: Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: [материалы XIII Межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов вузов Апатиты, 17–19 апреля 2019 г.]).

Труды Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — № 2 (10). — 159 с. — (Гуманитарные исследования. Вып. 16).

Труды Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — № 3 (10). — 117 с. — (Океанология. Вып. 6).

**САХАРОВ Ярослав Алексеевич**

к. ф.-м. н., заведующий лабораторией геофизических наблюдений Полярного геофизического института (ПГИ).

После окончания в 1972 г. Московского физико-технического института Ярослав Алексеевич поступил на работу в ПГИ, где работал сначала старшим лаборантом, затем младшим научным сотрудником, научным сотрудником, ученым секретарем, помощником директора. В 1986 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата физико-математических наук. В настоящее время является заведующим лабораторией геофизических наблюдений.

Научная деятельность Ярослава Алексеевича связана с организацией и проведением геофизических наблюдений на Кольском п-ове. При его участии организована и успешно функционирует целая сеть территориально-распределенных измерительных комплексов, расположенных на Кольском п-ове в обсерваториях «Ловозеро» и «Лопарская», на полигонах в поселках Туманный, Верхнетуломск, городе Апатиты и на арх. Шпицберген.

Последние несколько лет активно занимается исследованием влияния геоиндуктированных токов на различные энергосистемы Кольского п-ова. Принимал участие в создании сети мониторинга геоиндуктированных токов на подстанциях Кольской энергосистемы.

Ярослав Алексеевич — участник серии международных аэростатных экспериментов «САМБО» (1974–1982). Прошел научные стажировки в Германии, Швеции, Франции.

Автор более 30 научных публикаций.

Награжден Почетной грамотой Президиума и Профсоюза работников РАН.

Будучи с 1996 г. доцентом, а с 2005 г. заведующим кафедрой прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского государственного университета, Ярослав Алексеевич много сил потратил на подготовку молодых специалистов, руководил курсовыми и дипломными работами студентов. Также очень много времени он уделяет физико-математическому образованию школьников, является организатором Математического праздника и преподавателем математической школы.

Коллектив Полярного геофизического института поздравляет Ярослава Алексеевича с замечательным юбилеем и от всей души желает ему крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.



ЯКОВЛЕВ Сергей Юрьевич

к. т. н., старший научный сотрудник Института информатики и математического моделирования (ИИММ КНЦ РАН), где работает с 1991 г.

Окончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета в 1976 г., в 1990 г. защитил кандидатскую диссертацию.

Область научных интересов — информационные технологии управления безопасностью промышленно-природных систем.

Сергей Юрьевич — руководитель, а также ответственный исполнитель НИР и грантов РФФИ. Участвовал в работе международных и всероссийских научных конференций. Автор более 150 научных работ.

Под его руководством выполнены исследования по анализу риска, удостоенные серебряной медали 10-й юбилейной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Санкт-Петербург, 26–29 сентября 2005 г.), золотой медали VIII Московского международного салона инноваций и инвестиций (Москва, 3–6 марта 2008 г.), первой премии Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2018 г.

Успешно осуществляет внедрение полученных результатов. Под руководством С. Ю. Яковлева выполнено 45 хозяйственных договоров, проведен анализ безопасности десятков объектов Мурманской обл., разработано и согласовано 75 документов (декларации, планы, паспорта безопасности), получено 7 свидетельств о регистрации электронного ресурса.

Награжден почетными грамотами РАН и профсоюза работников РАН (2009 г.), а также Кольского научного центра РАН (2010 г.).

Активно занимается преподавательской деятельностью. Читает лекции и проводит практические занятия по математике для студентов дневного и заочного отделения, подготовил десятки рабочих программ по различным дисциплинам, разработал 13 учебно-методических пособий, также проводил занятия со школьниками. Его просвещенческие усилия отмечены благодарственными письмами Минобрнауки Мурманской обл.

Поздравляем Сергея Юрьевича с юбилеем, желаем здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов!



КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР

184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, 14

KOLA SCIENCE CENTRE

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, RUSSIA

РИО
КНЦ
naukaprint.ru

