

ФИЦ  
КНЦ  
РАН

- БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
- НАУКИ О ЗЕМЛЕ
- ЖИЗНЬ НАУКИ.  
КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ
- ЮБИЛЯРЫ

# ВЕСТНИК

## Кольского научного центра РАН

4/2018



# 4/2018 (10)

издается с декабря 2009 года  
DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.4  
ISSN 2307-5228

# 0+

*Российская Академия Наук*

# 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 № ФС77-58458 от 25.06.2014  
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

Г. Ю. ИВАНЮК, д. г.-м. н.

### Ответственный секретарь

А. Н. ВИНОГРАДОВ, к. г.-м. 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.

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: vestnik2@admksk.apatity.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.;  
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.;  
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 23.12.2018.  
Дата выхода в свет 01.03.2019. Формат бумаги 60×84 1/8  
Усл. печ. л. 12,67. Заказ № 51. 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», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Белишева Н. К., Мартынова А. А., Пряничников С. В., Соловьевская Н. Л.,  
Завадская Т. С., Мегорский В. В.*

Связь параметров межпланетного магнитного поля и солнечного ветра в области полярного каспа с психофизиологическим состоянием жителей арх. Шпицберген..... 5

*Голованова О. А.*

Процессы кристаллизации в модельных растворах биологических жидкостей человека..... 25

*Каткова В. И., Амосова О. Е., Шанина С. Н.*

Скрытые биомаркеры процессов минералообразования в генезисе уролитов..... 31

*Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Коробейникова Н. М.*

Особенности формирования химического состава ассимилирующих органов растений в условиях экстремального загрязнения выбросами медно-никелевого предприятия..... 39

*Крыжановский С. П., Богданович Л. Н., Персиянова Е. В., Звягинцева Т. Н.*

Полисахариды из морской бурой водоросли *Fucus Evanesceus* в коррекции метаболических нарушений при дислипидемии..... 46

*Машина Е. В.*

Холелиты у жителей Республики Коми: распространенность, состав, структура, факторы образования..... 53

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

*Алексеева С. А., Терещенко С. В.*

Исследование влияния предварительной концентрации на измельчаемость апатитсодержащих руд..... 61

*Андронов Г. П., Перункова Т. Н.*

Получение дополнительных продуктов из техногенных отходов переработки руд Ковдорского месторождения..... 68

*Каменева Ю. С., Базарова Е. А.*

Поиск новых комплексообразующих реагентов для флотации медно-никелевых руд..... 74

*Сафронов П. П.*

Рудная минерализация в графитсодержащих породах Ханкайского массива Приморья по данным растровой электронной микроскопии..... 78

**ЖИЗНЬ НАУКИ. КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ..... 97**

**КНИГОИЗДАНИЕ..... 99**

**ЮБИЛЯРЫ..... 101**

**AD MEMORIAM..... 109**

4/2018 (10)

Published since December 2009  
DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.4  
ISSN 2307-5228

*Russian Academy of Sciences*

# 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 № ФС77-58458 issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media on June, 25 2014.

**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**

G. Yu. IVANUK, Dr. Sci. (Geol. & Mineral.)

**Responsible Secretary**

A. N. VINOGRADOV, PhD (Geol. & Mineral.)

**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.)

**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.);  
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.), 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.

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

184209, Fersman str., 14, Apatity, Murmansk Oblast.  
Tel. 8-81555-79-754.  
E-mail. [vestnik2@admksk.apatity.ru](mailto:vestnik2@admksk.apatity.ru).

© Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Centre “Kola Science Centre of RAS”, 2018

## CONTENTS

### BIOLOGICAL SCIENCE

<i>Natalia K. Belisheva, Alla A. Martynova, Sergey V. Pryanichnikov, Natalia L. Solovievskaya, Tatyana S. Zavadskaya, Vladimir V. Megorsky</i>	
Linkage of Parameters of the Interplanetary Magnetic Field and the Solar Wind in the Polar Cusp with Psychophysiological State of the Residents of Spitzbergen Archipelago.....	5
<i>Olga A. Golovanova</i>	
Crystallization Processes in Model Solutions of Human Biological Fluids.....	25
<i>Valentina I. Katkova, Olga E. Amosova, Svetlana N. Shanina</i>	
Latent Biomarkers of Mineral-Forming Processes in the Urolith Genesis.....	31
<i>Galina M. Kashulina, Tatjana I. Litvinova, Natalia M. Korobeynikova</i>	
Inorganic Plant Chemistry under Extreme Pollution by Emission from Copper-Nickel Industrial Complex.....	39
<i>Sergey P. Kryzhanovsky, Larisa N. Bogdanovich, Elena V. Persiyanova, Tatyana N. Zvyagintseva</i>	
Polysaccharides from the Sea Brown Algae <i>Fucus Evanesceus</i> in the Correction of Metabolic Disorders Dyslipidemic.....	46
<i>Ekaterina V. Mashina</i>	
Gallstone in Inhabitants of the Republic of Komi: Prevalence, Composition, Structures, Factors of Formation.....	53

### EARTH SCIENCES

<i>Svetlana A. Alekseeva, Sergei V. Tereshchenko</i>	
Study of Impact of Preliminary Concentration on Grindability of Apatite-Containing Ores.....	61
<i>George P. Andronov, Tatyana N. Perunkova</i>	
Production of Secondary Products from Mining-Induced Ore Processing Waste from the Kovdor Deposit.....	68
<i>Yuliya S. Kameneva, Ekaterina A. Bazarova</i>	
Search of New Complexing Reagents for Copper-Nickel Ore Flotation.....	74
<i>Peter P. Safronov</i>	
Ore Mineralization in Graphite-Bearing Rocks of Khanka Massif of Primorye from Data of Scanning Electron Microscopy.....	78

<b>CONFERENCES</b> .....	97
--------------------------	----

<b>NEW BOOKS</b> .....	99
------------------------	----

<b>ANNIVERSARIES</b> .....	101
----------------------------	-----

<b>AD MEMORIAM</b> .....	109
--------------------------	-----

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.4.5-24

УДК 57.045

## СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ОБЛАСТИ ПОЛЯРНОГО КАСПА С ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ ЖИТЕЛЕЙ АРХ. ШПИЦБЕРГЕН

**Н. К. Белишева, А. А. Мартынова, С. В. Пряничников, Н. Л. Соловьевская, Т. С. Завадская, В. В. Мегорский**

Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН

### Аннотация

Представлены данные исследований, проведенных на арх. Шпицберген по выявлению связи между параметрами межпланетного магнитного поля (ММП) и солнечного ветра (СВ) в области полярного каспа с психофизиологическим состоянием жителей арх. Шпицберген. Проведенные исследования позволили обнаружить две группы геокосмических агентов, ассоциированных с солнечной активностью (СА), с параметрами ММП и СВ, которые модулируют функциональное состояние организма. Первая группа включает показатели СА, геоэффективные параметры ММП и СВ, а также и индексы геомагнитной активности (ГМА). Физические агенты этой группы модулируют психоэмоциональное состояние и, вероятнее всего, влияют на центральную нервную систему и функции головного мозга. Вторая группа физических агентов не связана с ГМА и представлена параметрами ММП, параметрами СВ, характеризующими магнитогидродинамические и магнитозвуковые свойства плазмы, а также с потоками протонов с энергиями >10 MeV. Эта группа агентов ассоциирована с модуляцией соматических функций организма, регулируемых главным образом автономной нервной системой. В области полярного каспа эти агенты напрямую или опосредованно модулируют мощность и соотношение частотных составляющих сердечного ритма, артериальное диастолическое давление, частоту сердечных сокращений, время свертываемости крови. Полученные результаты имеют приоритетный характер, позволяющий переосмыслить широко дискутируемую роль геомагнитных возмущений в модуляции функционального состояния организма человека и рассмотреть иные механизмы, обладающие высокой биоэффективностью в области полярных широт.

### Ключевые слова:

*арх. Шпицберген, межпланетное магнитное поле, солнечный ветер, полярный касп, психофизиологическое состояние.*

## LINKAGE OF PARAMETERS OF THE INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD AND THE SOLAR WIND IN THE POLAR CUSP WITH THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE OF THE RESIDENTS OF SPITZBERGEN ARCHIPELAGO

**Natalia K. Belisheva, Alla A. Martynova, Sergey V. Pryanichnikov, Natalia L. Solovievskaya, Tatyana S. Zavadskaya, Vladimir V. Megorsky**

Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic of KSC RAS

### Abstract

The paper presents the data of studies conducted on Spitsbergen Archipelago which deal with the linkage of parameters of the interplanetary magnetic field and the solar wind in the polar cusp with the psychophysiological state of the residents of Spitzbergen Archipelago. Monitoring of the daily psychoemotional state of volunteers with assessment of health, activity, mood (SAN), as well as situational and personal anxiety (CT and LT) showed that the decrease in the proton flux density with energies > 10 MeV can increase situational anxiety and decrease mood. Using the method of gas-discharge imaging (GDV) glow near the surface of the fingertips in parallel with the methods of psychoemotional testing showed that the level of situational anxiety and mood is

reflected in the characteristics of GDV-grammes. It has been shown that both the results of psychoemotional testing and the results obtained using the GDV method find parallel reflection in the nature of connection with cosmophysical agents. The obtained results indicate the high degree of conjugation of psychoemotional state of human body with variations in the parameters of interplanetary medium. Because of its proximity to outer space, Spitsbergen Archipelago can serve as a kind of "testing ground" for analog experiments that allow us to come closer to understanding the mechanisms of cosmophysical agents impact on psychoemotional state of human beings under terrestrial and cosmic conditions.

**Keywords:**

*Spitsbergen Archipelago, interplanetary magnetic field, solar wind, polar cusp, psychoemotional state.*

**Введение**

Архипелаг Шпицберген расположен в Северном Ледовитом океане, между  $76^{\circ}26'$  и  $80^{\circ}50'$  северной широты и  $10^{\circ}$  и  $32^{\circ}$  восточной долготы. Геофизической особенностью архипелага является его местоположение в области каспа [1] — своеобразной воронки на дневной стороне магнитосферы с величиной магнитного поля, близкой к нулю, куда, при определенных условиях, может прорываться мощными плазменными струями солнечный ветер (СВ) [2]. Эта область локализована в районе местного полудня и простирается примерно на 2–3 часа по долготе и на  $1^{\circ}$  по широте. Открытые линии магнитного поля Земли в этой области связаны с линиями межпланетного магнитного поля (ММП), что позволяет ускоренной плазме солнечного ветра врываться в магнитосферу и проникать в ионосферу [2]. Беспрепятственное вторжение солнечных частиц в области каспа приводит к множественным геофизическим явлениям, отражающимся в структурно-энергетических характеристиках вариаций геомагнитного поля (ГМП). В спокойный период в области полярного дневного каспа постоянно регистрируются потоки электронов с энергией 100–200 эВ и плотностью частиц  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  см<sup>2</sup>, которые проникают в магнитосферу из СВ и распространяются вплоть до высот порядка 1000 км. Потоки этих частиц генерируют очень низкочастотный шум (ОНЧ) в широком диапазоне частот [3–5]. Взаимодействие СВ с магнитосферой Земли порождает и геомагнитные пульсации (ГП), частота колебаний которых лежит в диапазоне низкочастотных биологических ритмов [6]. ГП характеризуются квазипериодической структурой с диапазоном частот от тысячных долей герца до нескольких герц. Верхняя частота пульсаций определяется гирочастотой протонов в магнитосфере, на земной поверхности это соответствует частотному диапазону порядка 3–5 Гц, которому соответствуют диапазоны дельта- и тетаритмов мозга человека. К дневным пульсациям относятся также широкополосные иррегулярные пульсации диапазона Pc5 ( $f \sim 1,5$ – $5,0$  мГц) с амплитудой порядка 15–60 нТл, ipcl [7–9]. Частота таких пульсаций соответствует сверхмедленным ритмам мозга [10–12]. Эти колебания носят устойчивый характер и продолжаются в зависимости от уровня геомагнитной возмущенности от 2 до 10 часов. Длиннопериодные квазипериодические магнитные возмущения с периодами 15–40 мин и амплитудой порядка 60–400 нТл, названные vlp (very long period), возникают при высокой магнитной активности, большой скорости солнечного ветра и отрицательных  $V_z$  межпланетного магнитного поля на земной поверхности в дневном секторе [7–9]. Сверхмедленные ритмы мозга включают периоды 2–3, 4–6, 7–14, 15–30, 31–59 мин, т. е. соответствуют длиннопериодным колебаниям ГМП. В вечернее и ночное время возможно появление импульсных всплесков геомагнитных пульсаций диапазона Pi2-Pi3, а в дневном секторе появление квазимонохроматических шумовых колебаний в диапазоне Pc3-4. Часть из наблюдаемых колебаний может быть результатом прямого проникновения гидромагнитных волн из СВ. Широтной особенностью обладают и устойчивые геомагнитные пульсации типа Pc2-Pc5, амплитуда которых растет с широтой [7–9, 13].

Биоэффективность физических явлений в области полярного каспа практически не изучена, хотя их роль в глобальной модуляции психических процессов косвенным образом подтверждается [14]. В наших работах была выявлена связь между структурно-энергетическими характеристиками вариаций ГМП и функциональной активностью мозга [15], характеристиками солнечной активности (СА), возмущенностью межпланетной среды и психоэмоциональным состоянием здоровых волонтеров [16, 17], вариациями СА и ГМП и заболеваемостью жителей российских поселков на арх. Шпицберген [18]. Кроме того, сопряженные исследования

геомагнитной активности (ГМА) и амплитудно-частотного диапазона ритмов мозга, оцененных на основе электроэнцефалограмм (ЭЭГ) здоровых испытуемых, показали, что при возмущениях геомагнитного поля происходят амплитудно-частотные и пространственно-временные перестройки биоэлектрической активности мозга человека [19, 20]. Следствием воздействия вариаций ГМП на функциональное состояние мозга могут быть комбинированные резонансы и десинхронизация, проявляющиеся в широком спектре психических феноменов: в психопатических и истероидных реакциях, в депрессии и возбуждении, в состоянии измененного сознания и др. [14, 21]. Мониторинг variability сердечного ритма (BCP) у волонтеров в период, характеризующийся высокой геомагнитной активностью, выявил связь между индексами ГМА и волновой структурой сердечного ритма. Было показано, что мощность высокочастотных и низкочастотных (HF, LF соответственно) спектральных составляющих сердечного ритма, а также суммарная мощность во всех спектральных диапазонах частот (TP) уменьшается при возрастании ГМА [22].

Цель настоящего исследования состояла в выявлении степени зависимости психофизиологического состояния жителей арх. Шпицберген от параметров межпланетного магнитного поля и СВ, ассоциированных с СА, в области полярного каспа.

## Материалы и методы

В исследовании принимали добровольное участие 43 чел., проживавших в пос. Баренцбург в период с 30 июля по 18 августа 2018 г. Все испытуемые были ознакомлены с целью и условиями эксперимента и дали свое согласие на участие в исследованиях. Психофизиологическое состояние участников исследования ежедневно оценивалось на основе: 1) характеристики сердечно-сосудистой системы; 2) комплексной характеристики психофизиологического состояния на основе регистрации кожно-гальванической реакции; 3) показателей газоразрядной визуализации (ГРВ) свечения вблизи поверхности пальцев рук; 4) опросников САН (самочувствие, активность, настроение), Спилбергера — Ханина, отражающего степень ситуативной и личностной тревожности, цветового теста Люшера; 5) длительности индивидуальной минуты.

1. Характеристика сердечно-сосудистой системы включала оценку BCP и геодинамические показатели состояния крови. Оценка BCP у волонтеров проводилась с применением приборно-аппаратурного комплекса «ОМЕГА-М» в положении лежа на основе 5-минутной записи R-R-интервалов.

В работе были использованы следующие характеристики BCP:

- HR-частота сердечных сокращений, R-R — длительность RR-интервалов (мс), мода R-R ( $M_0$ ), а также ее амплитуда  $A_{M_0}$ , статистические показатели SDDS — стандартное отклонение разностей соседних RR-интервалов, SDNN (мс) — среднее 5-минутных стандартных отклонений всех RR-интервалов;

- спектральные показатели BCP — ультранизкочастотные (ULF,  $mc^2$ ) — 0,0033–0,0001 Гц ( $> 333$  с), очень низкочастотные (VLF) — 0,0033–0,04 Гц (25–333 с), низкочастотные (LF) — 0,04–0,15 Гц (6,5–25 с), высокочастотные (HF) — 0,15–0,4 Гц ( $mc^2$ ) (2,5–6,5 с);

- компоненты, общий спектр мощности (TP,  $mc^2$ ) всех компонент, относительные вклады отдельных компонент в общий спектр мощности (HF (%), LF (%), VLF (%)), отношения спектральных составляющих (LF/HF, VLF/HF), отражающий баланс между симпатическими и парасимпатическими влияниями на BCP (LF/HF), а также производные от BCP показатели психофизиологического состояния организма — уровень адаптации (A), психоэмоциональное состояние (ПЭС), индекс центральной регуляции (ИС) [23, 24].

Кроме того, у волонтеров измеряли артериальное давление — систолическое и диастолическое (АДс и АДд соответственно), на основе пульсоксиметрии оценивали насыщение крови кислородом ( $O_2$ ), а также определяли время свертываемости крови на основании регистрации времени начала и конца образования фибриллярного сгустка, что отражает коагуляционные особенности периферической крови [25].

2. Регистрацию кожно-гальванической реакции (КГР) проводили с применением комплекса РЕАКОР [26]. В психофизиологии КГР применяется как показатель «эмоционального» и «деятельностного» потоотделения и регистрируется обычно с кончиков пальцев или с ладони биполярными неполяризуемыми электродами. К. Юнг и Ф. Петерсон (1907) были одними

из первых, кто показал связь между КГР и электрическими свойствами кожи. КГР успешно используется для контроля за состоянием человека при выполнении разных видов деятельности (диагностике функционального состояния), в исследованиях эмоционально-волевой сферы и интеллектуальной деятельности; является одним из показателей в детекции лжи [27].

3. ГРВ-регистрацию осуществляли с применением импульсного анализатора «ГРВ-компакт» ЕЮУИ 941 0204 00 00ТУ (серийный выпуск, ООО «Биотехпрогресс», сертификат соответствия ПРООС RU.МН05.Н00725, N 0490215). При использовании метода ГРВ основой анализа является «снимок» свечения, возникающего вблизи поверхности пальцев рук, так называемая ГРВ-грамма. Полученные ГРВ-граммы обрабатывались с применением программы GDV Energy Field (<http://www.ktispb.ru/en/gdvsoft.htm>), которая преобразует ГРВ-граммы в такие показатели свечения, как значения площади ( $S$ ), коэффициента формы ( $Kf$ ), энтропии ( $E$ ) и симметрии ( $C$ ), представленных в трех проекциях: правой ( $r$ ), фронтальной ( $f$ ), левой ( $l$ ). Съемка ГРВ осуществлялась в режимах регистрации ГРВ-грамм пальцев рук «без фильтра» ( $Sr$ ;  $Sf$ ;  $Sl$ ;  $S$ ;  $Er$ ;  $Ef$ ;  $El$ ;  $E$ ;  $Kr$ ;  $Kf$ ;  $Kl$ ;  $K$ ;  $C$ ) и «с фильтром» ( $Sr2$ ;  $Sf2$ ;  $Sl2$ ;  $S2$ ;  $Er2$ ;  $Ef2$ ;  $El2$ ;  $E2$ ;  $Kr2$ ;  $Kf2$ ;  $Kl2$ ;  $K2$ ;  $C2$ ). При этом на руке, противоположной от руки со снимаемыми ГРВ-граммами, регистрировали HR и  $O_2$ . На ГРВ-граммах «без фильтра» отражается интегральная характеристика состояния организма, определяемая вкладом в нее центральной и автономной нервной системами, Применение фильтра позволяет отсекаать вклад автономной нервной системы в характеристику показателей ГРВ-грамм, регистрируя базисные характеристики функционального состояния организма [28, 29].

4. Психоэмоциональные характеристики были получены на основании: опросников, включая САН — позволяющий оценивать самочувствие (САМ), активность (АКТ), настроение (НАСТ); теста Спилбергера — Ханина, оценивающего степень ситуативной и личностной тревожности (СТ и ЛТ соответственно); цветового теста Люшера, оценивающего психоэмоциональное состояние и уровень нервно-психической устойчивости, внутриличностные конфликты, депрессивные и аффективные реакции. В данном исследовании были использованы численные показатели цветовых предпочтений: суммарное отклонение от аутогенной нормы (СО) и вегетативный коэффициент (ВК) [30–32].

5. Дополнением к вышеприведенным индикаторам психофизиологического состояния служила оценка длительности индивидуальной минуты (ДИМ), которая представляет собой субъективную оценку интервала времени в 60 с. В случае депрессивного расстройства ДИМ часто «укорачивается» до уровня, близкого к 30 с, а в случае мании — обычно заметно превышает 60 с. Определение ДИМ представляет психофизиологическую методику, которая отражает совокупность биологический ритмов, организацию биологического времени [33, 34].

Свойства СВ, ассоциированные с ним характеристики межпланетного магнитного поля (ММП), индексы геомагнитной активности были отобраны за исследуемый промежуток времени, на сайте <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb/>. Данные по вариациям интенсивности нейтронной компоненты вторичных КЛ у поверхности Земли и расчетные плотности потоков КЛ в околоземном пространстве по станции нейтронного монитора в п. Баренцбург были получены в лаборатории космических лучей в Полярном геофизическом институте РАН (г. Апатиты, Мурманской обл.).

В работе использованы среднесуточные по выборке испытуемых психофизиологические показатели состояния организма, а также среднесуточные значения космогеофизических агентов, отражающих свойства СВ. Все данные статистически обрабатывались с применением пакета программ STATISTICA 10. Коэффициенты корреляции считали значимыми при  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

### 1. Особенности периода (30 июля — 18 августа 2018 г.) проведения исследований.

Исследования проведены на спаде 24-го цикла СА, который характеризуется сценарием низких солнечных циклов (числа Вольфа  $R$ , отображающие количество пятен на Солнце), впервые

с начала XX в. (солнечный цикл 14) (<https://sites.google.com/site/sunactiv/24>). Это означает, что мы получили уникальную возможность оценить вклад вариаций параметров СВ на минимуме СА в модуляцию психофизиологического состояния человека в районе полярного каспа (рис. 1).

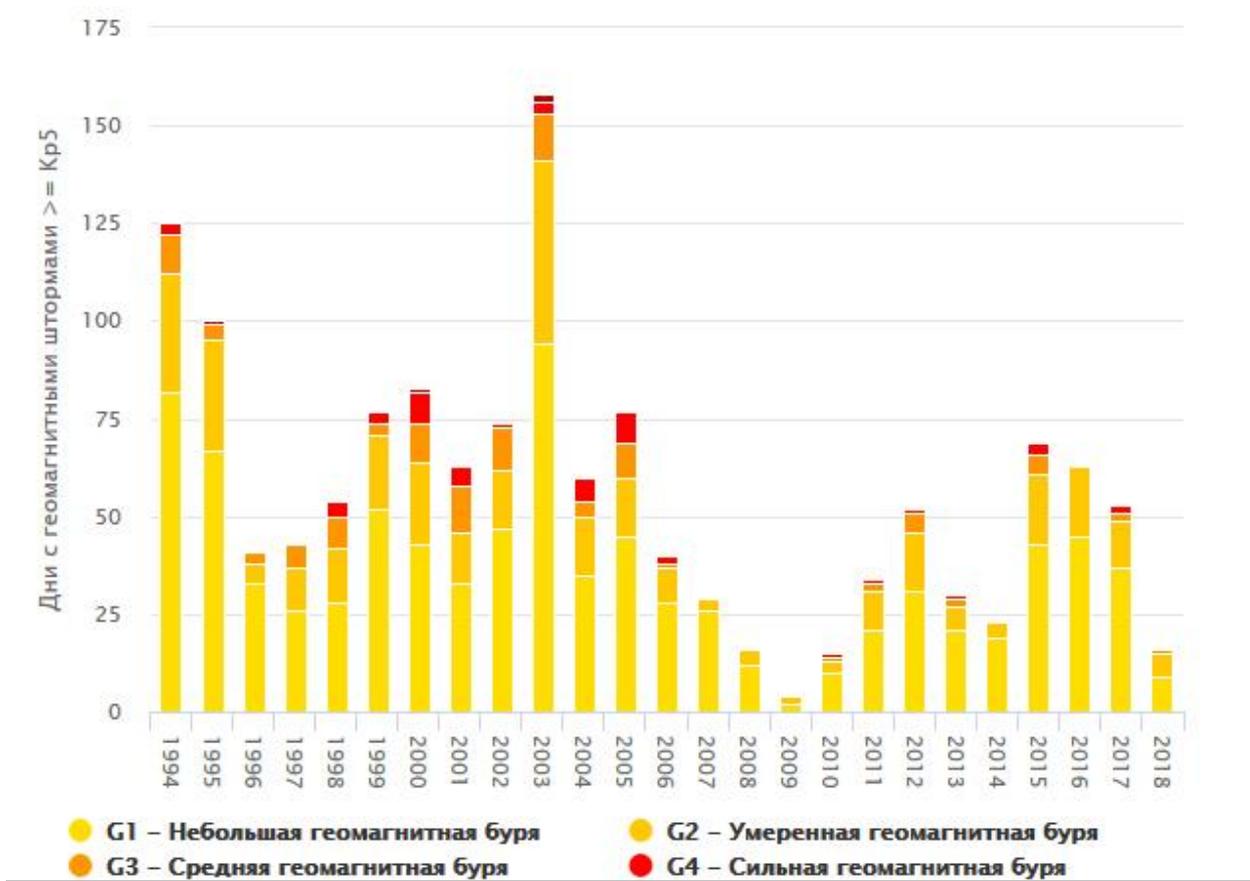


Рис. 1. Количество дней в году с геомагнитными бурями различной интенсивности (<https://www.spaceweatherlive.com/ru/solnechnaya-aktivnost/solnechnyy-cikl>)

Fig. 1. The number of days per year with geomagnetic storms of varying intensity (<https://www.spaceweatherlive.com/ru/solnechnaya-aktivnost/solnechnyy-cikl>)

Статистические характеристики отдельных показателей ММП, СВ, СА, которые свидетельствуют об очень низкой ГМА в исследуемый период времени (см. табл. 1). Так, медиана  $R$ -индекса, наиболее характерного показателя СА, равна 0. А среднестатистические значения  $R$ -индекса (числа солнечных пятен) за 20 дней составляют  $4,20 \pm 5,89$  ( $M \pm \delta$ ). То же касается скорости СВ при средних значениях  $382,10 \pm 52,45$  ( $M \pm \delta$ ) и медианой 378,00 (км/с), что ниже среднестатистической скорости СВ (468 км/с); плотности протонов, с медианой  $7,65$   $n/cm^{-3}$  (при средней статистической плотности  $8,8$   $n/cm^{-3}$ );  $Kp$ - и  $ap$ -индексов, характеризующих ГМА с максимальным значением  $ap$ -индекса 13 нТл, что соответствует слабовозмущенному геомагнитному полю (ГМП).

Изучение характера связи между индексами СА выявило, что в исследуемый период времени достаточно типичные положительные связи между  $R$ -индексом и  $f10,7$ -индексом отсутствуют. Выявлена отрицательная корреляция между  $f10,7$ -индексом и Bulk speed — скоростью СВ ( $r = -0,51$ ,  $p < 0,05$ ), между  $Kp$ -индексом ( $r = -0,45$ ,  $p < 0,05$ ) и между  $ap$ -индексом ( $r = -0,52$ ,  $p < 0,05$ ). Вместе с тем, обнаружена значимая положительная корреляция между  $f10,7$ -индексом и DST-индексом ( $r = 0,62$ ,  $p < 0,05$ ), между PROT Flux > 60 МэВ ( $r = 0,51$ ,  $p < 0,05$ ) и атмосферным давлением в Баренцбурге ( $r = 0,44$ ,  $p < 0,05$ ). Такой характер связи между показателями СА свидетельствует, что существует две группы факторов с диаметрально противоположными между

собой знаками связи: 1) ассоциированными с  $R$ -индексом и 2) с  $f_{10,7}$ -индексом. Возможно, альтернативный характер связи между этими показателями СА обусловлен крайне низкой пятнообразующей активностью Солнца, которая в определенные дни просто отсутствует.

Таблица 1

Table 1

Статистические показатели параметров межпланетной среды (ММП), солнечного ветра (СВ) и индексов геомагнитной активности (ГМА) за период с 30 июля по 18 августа 2018 г.

Statistical indicators of the parameters of interplanetary medium (IMP), solar wind (SW) and geomagnetic activity indices (GMA) for the period from July 30 to August 18, 2018

Параметр	$n = 20$						
	$M$	$\Delta$	med	min	max	25 %	75 %
Field Magnitude Avg	4,82	1,50	4,60	2,50	7,30	3,65	6,15
Proton $T^\circ$	57 283	34 338	45 552	12 272	134 831	36 424	70 029
Proto density	8,17	3,17	7,65	3,80	14,80	5,60	10,55
Bulk speed	382,1	52,45	378,0	310,0	503,0	345,0	401,0
Flow Pressure	2,08	0,73	1,84	1,07	3,63	1,60	2,52
$K_p \cdot 10^{1*}$	14,10	6,77	11,50	7,00	27,00	10,00	23,00
$R$	4,20	5,89	0,00	0,00	13,00	0,00	11,50
DST Index <sup>2*</sup>	-1,35	9,43	1,00	-23,00	9,00	-5,00	5,50
PROT Flux > 10 MeV	0,27	0,01	0,27	0,26	0,28	0,26	0,27
PROT Flux > 30 MeV	0,17	0,00	0,17	0,16	0,18	0,17	0,17
PROT Flux > 60 MeV	0,12	0,00	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12
$A_p$ -index <sup>3*</sup>	6,00	3,20	4,50	3,00	13,00	4,00	9,00
$f_{10,7\_index}^{4*}$	70,87	1,14	71,05	68,90	72,50	69,95	71,80

*Примечание.*  $M$  — среднее арифметическое,  $\Delta$  — стандартное отклонение; 25–75 % — вхождение значений в набор значений в диапазоне 25–75 перцентилей всего набора. Field Magnitude Avg — средние значения напряженности ММП, Proton  $T^\circ$  — температура протонов в солнечном ветре, градусы Кельвина; Proton density — плотность частиц в солнечном ветре,  $N/cm^3$ ; Bulk speed — скорость СВ, км/с; Flow Pressure — давление СВ  $P$  (нПа) =  $(1,67/10^6)$ ;  $R$  — числа Вольфа; PROT Flux > 10 МэВ, PROT Flux > 30 МэВ, PROT Flux > 60 МэВ ( $n/cm^2 \cdot c \cdot рад > 10$  МэВ, > 30 МэВ, > 60 МэВ соответственно).

*Note.*  $M$  — average value;  $\Delta$  — standard deviation; 25–75 % — the occurrence of values in the value set in the range of 25–75 percentile of all set. Field Magnitude Avg — average values of interplanetary magnetic field (IMP) intensity; Proton  $T^\circ$  — proton temperature in the solar wind (SW) in degrees of Kelvin; Proton density — particle density in the SW ( $N/cm^3$ ); Bulk speed — speed in SW (km/s); Flow Pressure — pressure of SW  $P$  (nPa) =  $(1,67/10^6)$ ;  $R$  — Wolf number; PROT Flux > 10 MeV, PROT Flux > 30, MeV, PROT Flux > 60MeV — proton fluxes (number/cm<sup>2</sup> sec sr) with energy > 10 MeV, > 30 MeV, > 60 MeV, respectively.

<sup>1\*</sup>  $K_p \cdot 10$  — планетарный индекс ГМА, соотносится с  $K_p$ -индексом, как, например, 3+ = 33; 4 = 40; 6 = 57 и т. д.) (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb/>).

<sup>2\*</sup> DST-индекс (англ. Disturbance Storm Time Index) — описывает интенсивность геомагнитной бури. С ростом интенсивности бури индекс уменьшается. Так, умеренные бури характеризуются DST от -50 до -100 нТл, сильные — от -100 до -200 нТл и экстремальные — выше -200 нТл.

<sup>3\*</sup>  $A_p$ -index — равен средней амплитуде вариаций геомагнитного поля по земному шару за сутки, нТл. используется наряду с  $K_p$ -индексом. Уровню  $K_p = 4$  приблизительно соответствует  $a_p = 30$ , а уровню  $K_p = 9$  отвечает  $a_p < 400$ .

<sup>4\*</sup>  $f_{10,7\_index}$  — характеризует потоки радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см ( $f = 2800$  МГц, солнечные единицы потока (с. е. п.), 1 с. е. п. =  $10^{-22}$  Вт).

<sup>1\*</sup>  $K_p \cdot 10$  — the planetary index of geomagnetic activity (GMA), associated with the  $K_p$  as, for example, 3+ = 33; 4 = 40, 6 = 57 etc.) (<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/omniweb/>).

<sup>2\*</sup> Dst-Index (Disturbance Storm Time Index), describes the intensity of a geomagnetic storm. With increasing storm intensity, the Dst index decreases. Thus, moderate storms are characterized by Dst from -50 to -100 nT, strong — from -100 to -200 nT and extreme — above -200 nT.

<sup>3\*</sup> Ap-index — used along with the Kp index. The ap, equal to the average amplitude of geomagnetic field variations over the globe per day, is measured in nTl. The level Kp = 4 approximately corresponds to ap, equal to 30, and the level Kp = 9 corresponds to ap greater than 400.

<sup>4\*</sup> f 10,7\_index, ( $10^{-22}$ ) — characterizes the radio emission of the Sun at a wavelength of 10,7 cm ( $f = 2800$  MHz, solar flux units (s.f.u.), 1 s.f.u. =  $10^{-22}$  Watt).

Наряду с индексами СА, приведенными в табл. 1, были использованы дополнительные характеристики состояния межпланетной среды и СВ.

Эти индексы включали:

- Magnitude of Average, Field vector,  $|\langle B \rangle|$  среднесуточные значения модуля ММП (нТл);
- угловые широтные и долготные характеристики вектора поля (Lat. Angle of avg. Deg (GSE Coords) Field vector и Long. Angle of avg. Deg (GSE Coords), Field vector соответственно);
- значения векторов ММП в геоцентрической солнечно-эклиптической и геоцентрической солнечно-магнитосферной системах координат (GSE и GSM соответственно) —  $V_xGSE, V_yGSE, V_zGSE, V_xGSM, V_yGSM, V_zGSM$ ;
- вариабельность векторов ММП ( $\sigma-|B|, \sigma-B, \sigma-B_x, \sigma-B_y, \sigma-B_z$ );
- угловые характеристики СВ (Bulk flow longitude, Bulk flow latitude, градусы);
- соотношения альфа-частиц и протонов в СВ ( $N_\alpha/N_p$ ), вариабельности температуры плазмы, концентрации частиц, скорости СВ и угловых характеристик СВ, отношения альфа частиц к протонам ( $\sigma-T, \sigma-n, \sigma-V, \sigma-\phi-V, \sigma-\theta-V, \sigma-ratio$  соответственно);
- электрическое поле (Electric field,  $-[V(\text{км/с}) \cdot B_z (\text{нТл}; \text{GSM})] \cdot 10^{-3}$  (мВ/м));
- плазма  $\beta$  (Plasma beta =  $[(T \cdot 4,16/10^5) + 5,34] \cdot N_p/B^2$ );
- альфвеновское число Маха ( $Ma = (V \cdot N_p^{0,5})/20B$ );
- магнитозвуковое число Маха (Makh, Magnetosonic mach number =  $V/\text{Magnetosonic\_speed}$  Magnetosonic speed =  $[(\text{sound speed})^2 + (\text{Alfv speed})^2]^{0,5}$ . The Alfvén speed =  $20B/N^{0,5}$ , the sound speed =  $0,12 \cdot [T + 1,28 \cdot 10^5]^{0,5}$ ) — скорость счета наземного нейтронного монитора (НМ) в Баренцбурге (counts/s), а также атмосферное давление (мбар).

Вся совокупность рассматриваемых индексов в полной мере отражает особенности межпланетной среды и свойства СВ в исследуемый промежуток времени.

## 2. Оценка связи психоэмоционального состояния с параметрами межпланетной среды и характеристиками СВ.

Для выявления связи между психоэмоциональным состоянием волонтеров и показателями СА были привлечены данные ВСП (индекс ПЭС — психоэмоциональное состояние), данные опросников САН и Спилбергера — Ханина, данные цветового теста Люшера (суммарное отклонение от аутогенной нормы (СО) и вегетативный коэффициент (ВК)), характеристики ГРВ-грамм, психосоматические показатели: КГР, ФПГ,  $T^\circ$ ; длительность индивидуальной минуты (ДИМ).

Коэффициенты корреляции между показателями психоэмоционального состояния ПЭС, САМ, АКТ и характеристиками солнечной активности, выраженной через свойства солнечного ветра и геомагнитную активность представлены табл. 2).

Все психоэмоциональные показатели имеют значимые ( $p < 0,05$ ) корреляции с Bulk speed и DST индексом (см. табл. 2). Другие коэффициенты корреляции показателей психоэмоционального состояния, R-индекса, Proton  $T^\circ$ , Kp- и ар-индексов свидетельствуют о том, что с возрастанием солнечной активности (R-индекс), проявляющейся в повышении температуры плазмы (Proton  $T^\circ$ ), увеличении скорости СВ (Bulk speed) и геомагнитной активности (Kp-, ар-индексы), значения ПЭС, САМ, АКТ снижаются, а уровень СТ — повышается. Однако при возрастании значений вектора  $V_x$ , низкой ГМА (относительно высокие значения DST-индекса), при возрастании потока радиоизлучения Солнца f10,7 самочувствие, активность и настроение улучшаются, а ситуативная тревожность снижается. Вместе с тем, между показателями  $V_xGSE$  и f10,7 значимая связь отсутствует ( $r = -0,04!$ ), хотя между DST-индексом и f10,7 коэффициент корреляции  $r = 0,62$ ,  $p < 0,05$ . Возможно, причиной модуляции психоэмоционального состояния является наземный агент (агенты), сопряженный через дополнительный фактор с  $V_xGSE$  и f10,7, в силу чего индексы  $V_xGSE$  и f10,7 могут не иметь между собой значимой связи.

Оценка связи между суммарным отклонением от аутогенной нормы (СО), вегетативным коэффициентом (ВК) и характеристиками СА выявила, что между СО, DST-индексом, протонами с энергией > 30 МэВ (PROT Flux > 30 МэВ), индексом f10,7, счетом наземного нейтронного монитора в Баренцбурге (counts/s), а также атмосферным давлением (мбар) существуют значимые корреляции:  $r = -0,56$ ,  $r = -0,47$ ,  $r = -0,55$ ,  $r = 0,59$ ,  $r = -0,58$  соответственно,  $p < 0,05$ . Эти связи полностью отражают характер зависимости психоэмоционального состояния от СА (табл. 1), т. е. при возрастании значений, DST, плотности потока протонов с энергиями выше 30 МэВ, радиоизлучения Солнца (2,8 ГГц) и повышении атмосферного давления суммарное отклонение от аутогенной нормы снижается, а при увеличении скорости счета нейтронного монитора, напротив, повышается.

Таблица 2  
Table 2

Коэффициенты корреляции между показателями психоэмоционального состояния и СА  
The correlation coefficients among the indicators of psychoemotional state and solar activity (SA)

Индексы Indices	ПЭС	САМ	АКТ	НАСТ	СТ
$M \pm m$	51,37±0,06	5,46±0,33	5,05±0,45	5,53±0,39	34,20±3,76
Vx,GSE	0,06	<b>0,49</b>	0,44	<b>0,47</b>	<b>-0,54</b>
Proton T°	<b>-0,54</b>	<b>-0,44</b>	-0,37	<b>-0,67</b>	<b>0,49</b>
Bulk speed	<b>-0,49</b>	<b>-0,58</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,55</b>	<b>0,58</b>
Kp*10	<b>-0,48</b>	<b>-0,45</b>	-0,36	<b>-0,48</b>	0,21
R	-0,28	<b>-0,56</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,63</b>	<b>0,64</b>
DST-index	<b>0,56</b>	<b>0,47</b>	<b>0,48</b>	<b>0,55</b>	<b>-0,57</b>
Ap-index	<b>-0,49</b>	<b>-0,49</b>	-0,40	<b>-0,51</b>	0,29
f10.7_index	0,29	<b>0,51</b>	<b>0,52</b>	0,44	<b>-0,53</b>

*Примечание.* ПЭС — психоэмоциональное состояние, оцененное на основе ВСП; САМ, АКТ, НАСТ — самочувствие, активность, настроение; СТ — ситуативная тревожность.

Индексы:  $M \pm m$  — среднее значение и стандартная ошибка; Vx,GSE — вектор Vx-компоненты межпланетного магнитного поля геоцентрической солнечно-эклиптической системы координат; Proton T° — температура протонов солнечной плазмы, градусы Кельвина; Bulk speed — скорость солнечного ветра; Kp\*10-, DST-, ap-index — индексы геомагнитной активности; R — числа Вольфа, f10,7\_index — поток радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см (2,8 ГГц).

Коэффициенты корреляции, выделенные полужирным, соответствуют уровню значимости  $p < 0,05$ .

*Note.* ПЭС — psychoemotional state, estimated on the basis of heart rate variability (HRV); САМ, АКТ, НАСТ — well-being, activity, mood, respectively; СТ — situational anxiety.

*Indices:*  $M \pm m$  — average value and standard error; Vx,GSE — vector Vx of interplanetary magnetic field (IMF) in the geocentric solar — ecliptic coordinate system; Proton T° — proton temperature in the solar wind (SW) in degrees of Kelvin; Bulk speed — velocity of solar wind (km/s); Kp\*10-, DST Index, ap-index — indices of geomagnetic activity (GMA); R — Wolf number; f10,7\_index — radio emission of the Sun at a wave length of 10,7 cm.

Correlation coefficients, highlighted in bold, correspond to significance level of  $p < 0,05$ .

Вегетативный коэффициент имеет только одну значимую корреляцию с индексами, характеризующими СА: с  $\sigma$ -By ( $r = 0,48$ ,  $p < 0,05$ ). Однако  $\delta$ ВК (вариации ВК в пределах среднесуточных значений ВК по выборке) имеет множественные значимые корреляции с показателями СА: By,GSE, By,GSM, с Vz,GSM, Electric field, PROT Flux >10 МэВ, PROT Flux > 60 МэВ, Makh, скоростью счета наземного нейтронного монитора в Баренцбурге (counts/s), а также с атмосферным давлением (мбар), коэффициенты корреляции:  $r = 0,52$ ,  $r = 0,50$ ,  $r = -0,49$ ,  $r = 0,47$ ,  $r = -0,54$ ,  $r = -0,45$ ,  $r = 0,47$ ,  $r = 0,48$ ,  $r = -0,48$  соответственно,  $p < 0,05$ . Это означает, что возрастание Vz,GSM, плотности потоков протонов, атмосферного давления приводит к синхронизации психосоматического состояния волонтеров, что проявляется в сужении отклонений от среднесуточных значений ВК по выборке. И, напротив, возрастание значений вектора By, электрического поля (Electric field), числа Маха и скорости нейтронного счета

приводит к возрастанию разброса среднесуточных значений ВК по выборке, что свидетельствует о существенной биоэффективности указанных агентов.

Дополнительным свидетельством «психотропной» биоэффективности геокосмических агентов, ассоциированных с СА в области полярного каспа, являются данные по оценке психоэмоционального состояния с применением газоразрядной визуализации (ГРВ) свечения, возникающего вблизи поверхности пальцев рук и связи показателей ГРВ-грамм с характеристиками СВ и СА. В феномен свечения пальцев рук значительный вклад вносят биологические молекулы, эманация которых контролируется вегетативной (автономной) нервной системой. Интенсивность эманации таких молекул зависит от общего уровня активности и баланса между звеньями автономной нервной системы: парасимпатическим и симпатическим звеньями регуляции сердечного ритма, определяющими адаптационные ресурсы организма. Качество и интенсивность свечения пальцев отражает динамические психоэмоциональные и психофизиологические показатели состояния организма. Регистрация ГРВ грамм в режиме без фильтра дает информацию о психоэмоциональном состоянии, с преобладающим вкладом симпатической нервной системы.

В табл. 3 отражены показатели площади свечения в режиме регистрации без фильтра (Sr, Sf) и с фильтром (Sr2, Sf2, S12), значения, выделенные полужирным, соответствуют уровню значимости  $p < 0,05$ . Можно видеть, что показатели площади свечения (усл. ед.) в режиме регистрации как без фильтра, так и с фильтром имеют значимые ( $p < 0,05$ ) корреляции со среднесуточными значениями модуля ММП (Magnitude of Average, Field vector,  $|\langle B \rangle|$ , нТл), с угловой характеристикой СВ (Bulk flow longitude, градусы), с плотностью потока протонов с энергиями  $> 10$  МэВ (PROT Flux  $> 10$  MeV), с числом Маха. Значимые ( $p < 0,05$ ) коэффициенты корреляции между скоростью нейтронного счета и атмосферным давлением выявлены для показателей площади свечения лишь при регистрации ГРВ в режиме с фильтром.

Таблица 3  
Table 3

Коэффициенты корреляции между показателями ГРВ-грамм площади свечения в режиме регистрации без фильтра (Sr, Sf) и с фильтром (Sr2, Sf2, S12) и геокосмических индексов (расшифровка в тексте)

Correlation coefficients among the GDV-gram values of the glow area in the registration mode without a filter (Sr, Sf) and with a filter (Sr2, Sf2, S12), and geocosmic indices

Индексы ГРВ Indices GDV	Sr	Sf	Sr2	Sf2	S12
$M \pm \delta$	28093,76±1193,14	27278,84±1165,09	31701,88±870,41	27278,84±1165,09	30614,30±948,85
Magnitude of Average, nT, Field vector, $ \langle B \rangle $	<b>-0,46</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,68</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,63</b>
Bulk flow longitude	0,32	<b>0,45</b>	0,35	<b>0,45</b>	0,25
PROT Flux $> 10$ MeV	-0,15	<b>-0,49</b>	<b>-0,53</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,50</b>
Makh	0,44	<b>0,45</b>	<b>0,51</b>	<b>0,45</b>	<b>0,48</b>
NM	0,12	0,27	<b>0,62</b>	0,27	<b>0,56</b>
Atm	-0,12	-0,27	<b>-0,62</b>	-0,27	<b>-0,57</b>

Примечание. Коэффициенты корреляции, выделенные полужирным, соответствуют уровню значимости  $p < 0,05$ .  
Note. Correlation coefficients, highlighted in bold, correspond to significance level of  $p < 0,05$ .

Indices of Gas Discharge Visualization (GDV);  $M \pm \delta$  — average value and standard deviation; Magnitude of Average, nT, Field vector,  $|\langle B \rangle|$  — modulus value B of the interplanetary magnetic field (IMF); Bulk flow longitude — angular longitude solar wind velocity, degree; PROT Flux  $> 10$  MeV — proton flux with energy  $> 10$  MeV; Makh (Makh number) — ratio magneto hydrodynamic to magneto sound speeds in solar plasma; NM — neutron count rate in the ground-based neutron monitor, counts/s; Atm — atmosphere pressure, mb.

Sr, Sf — indicators of the glow area in right and frontal projections, respectively, during GDV in the mode registration without filter; Sr2, Sf2, Sl2 — indicators of the glow area in right, frontal, left projections, respectively, during GDV in the mode registration with filter.

Представленные данные, отражающие зависимость показателей ГРВ-грамм, характеризующих площади свечения от вариаций плотности потока протонов с энергией > 10 МэВ, полностью согласуются с результатами аналогичных исследований, проведенных на арх. Шпицберген в 2017 г. [35]. В работе [35] была выявлена значимая обратная связь между показателями площади свечения в режиме регистрации без фильтра и с фильтром и плотностью потока протонов с энергиями >10 МэВ, а также прямая корреляция между плотностью потоков протонов и коэффициентами формы. В данной работе также обнаружен сходный характер связи между коэффициентами формы в режиме регистрации с фильтром ( $Kr2$ ,  $Kf2$ ) и протонами с энергией > 10 МэВ:  $r = 0,59$ ,  $r = 0,46$  соответственно,  $p < 0,05$ .

На рис. 2 видна высокая степень сопряженности психоэмоциональных показателей состояния организма и вариаций показателей, отражающих свойства СВ: скорости солнечного ветра и плотности протонов с энергиями >10 МэВ. Даже на фоне очень низкой СА возрастание скорости СВ приводит к снижению самочувствия, активности, настроения, к возрастанию чувства тревожности, а увеличение плотности потоков протонов способствует синхронизации психофизиологического состояния волонтеров, что проявляется в снижении изменчивости психоэмоциональных показателей.

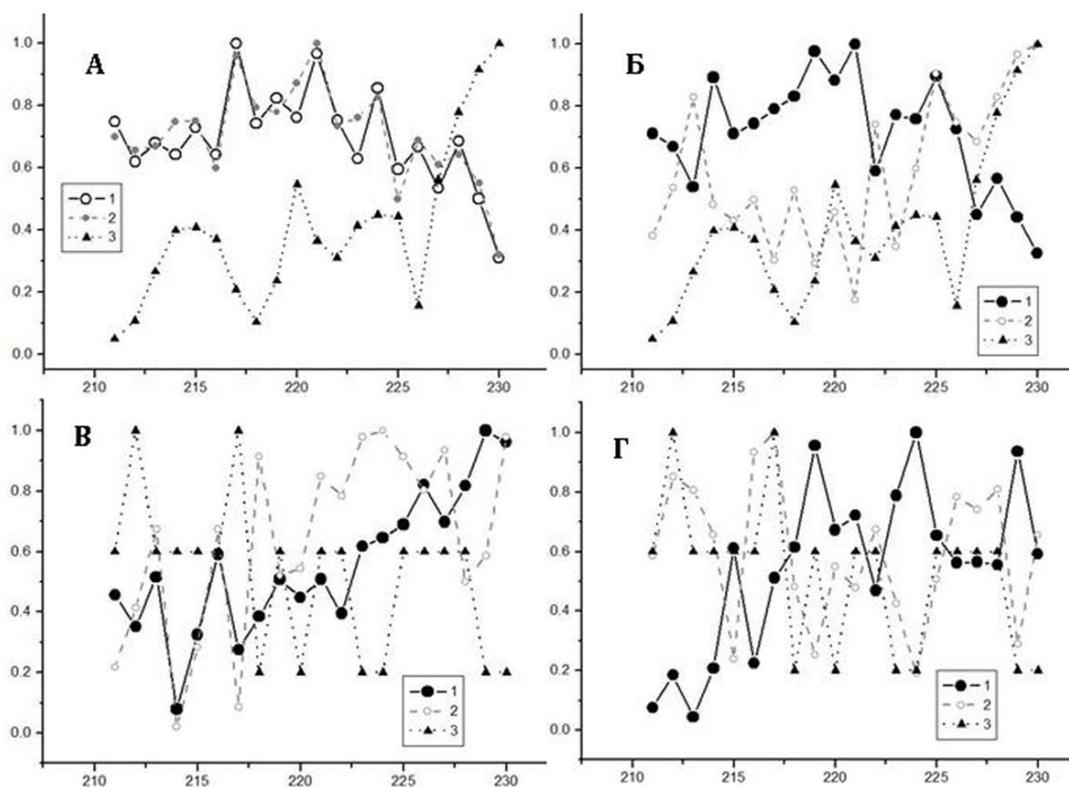


Рис. 2. Кривые динамики психоэмоционального состояния и вариаций показателей СА, отражающих свойства СВ (по оси абсцисс — дни года, по оси ординат — нормированные значения психофизиологических и геокосмических индексов).

- А: 1 — самочувствие (САН); 2 — активность (АКТ); 3 — скорость солнечного ветра (Bulk speed).  
 Б: 1 — настроение (НАСТ); 2 — ситуативная тревожность (СТ); 3 — скорость солнечного ветра (Bulk speed).  
 В: 1 — вариабельность суммарного отклонения от аутогенной нормы ( $\delta CO$ ); 2 — вариабельность вегетативного коэффициента ( $\delta BK$ ); 3 — протоны с энергиями >10 МэВ (PROT Flux > 10 МэВ).  
 Г: 1 — Sr2; 2 — Kr2; 3 — протоны с энергиями > 10 МэВ (PROT Flux > 10 МэВ)

Fig. 2. Curves of dynamics of psychoemotional state and variations of solar activity indicators which reflect the properties of solar wind. The abscissa is days of the year; ordinate is normalized values of psychophysiological and geocosmic indices.

А: 1 — well-being (САН); 2 — activity (АКТ); 3 — solar wind speed (Bulk speed).

Б: 1 — mood (НАСТ); 2 — situational anxiety (СТ); 3 — solar wind speed (Bulk speed).

В: 1 — variability of the total deviation from the autogenous norm ( $\delta$  CO); 2 — variability of the vegetative coefficient ( $\delta$  BK); 3 — proton flux with energies > 10 MeV (PROT Flux > 10 MeV).

Г: 1 — Sr2; 2 — Kr2; 3 — proton flux with energies > 10 MeV (PROT Flux > 10 MeV)

Хорошее соответствие найдено в данном исследовании между показателями ГРВ-грамм, КГР, длительностью индивидуальной минуты и вариациями индексов СА и СВ. В частности, выявлена корреляция между КГР и показателями ГРВ-грамм Sr, Sf, Sl, Kr, Kf, Kl, Sf2; коэффициенты корреляции составляют:  $r = -0,64$ ,  $r = -0,56$ ,  $r = -0,60$ ,  $r = 0,53$ ,  $r = 0,58$ ,  $r = 0,55$ ,  $r = -0,56$  соответственно,  $p < 0,05$ .

Выявленные корреляции между КГР и показателями ГРВ вносят определенный вклад в понимание механизмов, связывающих между собой психофизиологическое состояние организма, и особенности ГРВ-грамм. В частности, КГР, или электрическая активность кожи (ЭАК), является биоэлектрической реакцией, регистрируемой с поверхности кожи, как и ГРВ. Причем, как и ГРВ, КГР является показателем вегетативной нервной системы, но, в отличие от ГРВ, широко применяемой в психофизиологии.

КГР (или ЭАК) главным образом связано с активностью потовых желез кожи, однако, ее физиологическая основа до конца не изучена. В частности, до сих пор остается до конца не ясной возможность влияния сосудистой системы на кожный потенциал. Несмотря на то, что нейромедиатором для потовых желез является ацетилхолин, они находятся под контролем симпатической нервной системы. Кроме того, к потовым железам поступают влияния от коры больших полушарий и глубинных структур мозга: гипоталамуса и ретикулярной формации. В экспериментах было показано, что активность потовых желез отражает определенные события, протекающие в головном мозге. В работе [36] была продемонстрирована ключевая роль «психологической значимости» физического стимула для предсказания реакции потовых желез. При этом величина реакции потовых желез закономерно связана с интенсивностью осознаваемых переживаний [37]. В силу циклического характера выделения пота потовыми железами [38], записи ЭАК имеют колебательный характер. Показано, что потовые железы функционируют как ряд параллельно включенных резисторов [39], проводимость которых равняется сумме их проводимостей, а увеличение проводимости прямо пропорционально числу включаемых в работу потовых желез кожи [40].

Отсюда следует, что чем выше показатели КГР, тем более нестабильным является психоэмоциональное состояние. Поскольку между показателями ЭАК (КГР) и ГРВ выявлены значимые связи, то это позволяет интерпретировать значение показателей ГРВ в соответствии со знаком связи между КГР. Так, отрицательная связь значений КГР с показателями площади свечения (Sr, Sf, Sl и Sf2) свидетельствует о том, что возрастание показателей площади свечения отражает улучшение психоэмоционального состояния. Положительная связь между показателями КГР и коэффициентами формы (Kr, Kf, Kl) показывает, что возрастание их значений приводит к ухудшению психоэмоционального состояния.

Корреляция показателей КГР с индексами СА и СВ выявила значимые связи между КГР и f10,7-индексом ( $r = -0,48$ ), Field Magnitude Avg ( $r = 0,56$ ) (рис. 3, А), sigma-Bz ( $r = 0,53$ ), Proton temperature ( $r = 0,48$ ), Plasma beta ( $r = -0,55$ ), Alfvén mach number ( $r = -0,56$ ), R-индексом ( $r = 0,52$ ), DST- ( $r = -0,48$ ) и ар-индексом ( $r = 0,53$ ). Все приведенные коэффициенты корреляции соответствуют уровню значимости  $p < 0,05$ . На основании этих связей можно заключить, что возрастание СА (R-индекс), ассоциированное с возрастанием ГМА, то есть возрастание

напряженности ММП (Field Magnitude Avg), отрицательная связь с DST-индексом, положительная связь с ар-индексом приводит к повышению электрической активности кожи (КГР). Это свидетельствует о следующем: в данный период снижается психоэмоциональная устойчивость, что может стать причиной нежелательных психоэмоциональных состояний.

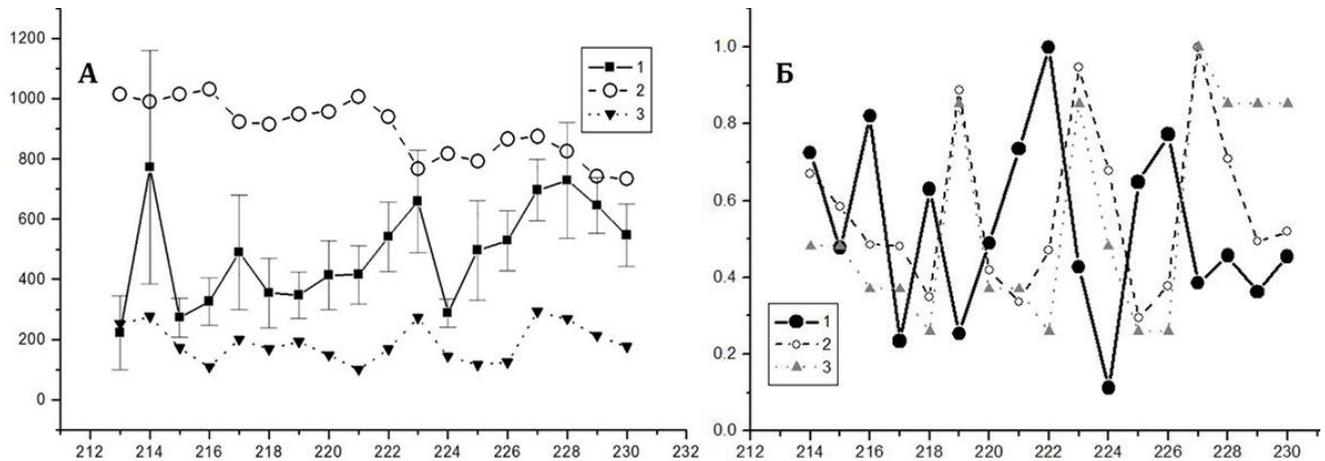


Рис. 3. Сопряженность КГР и ДИМ с показателями ИМП (по оси абсцисс — дни года; по оси ординат — нормированные значения психофизиологических и геокосмических индексов).

А: 1 — кожно-гальваническая реакция (КГР); 2 — поток радиоизлучения Солнца (F10.7); 3 — напряженность межпланетного магнитного поля (MMFav).

Б: 1 — длительность индивидуальной минуты; 2 — давление солнечного ветра (Flow Pressure); 3 — Kp-индекс

Fig. 3. Conjugation of galvanic skin response and individual minute duration with indicators of interplanetary magnetic field strength (the abscissa is days of the year; ordinate is normalized values of psychophysiological and geocosmic indices).

A: 1 — galvanic skin response (КГР); 2 — Sun radio flux (F10.7); 3 — interplanetary magnetic field strength (MMFav).

B: 1 — duration of individual minute (ДИМ), 2 — solar wind pressure (Flow Pressure); 3 — Kp-index

В данном исследовании мы дополнительно [33] апробировали степень информативности такого показателя, как длительность индивидуальной минуты, и его пригодность для оценки психофизиологического состояния, а также оценили зависимость ощущения времени в полярном каспе от воздействия физических агентов, ассоциированных с СА (рис. 3, Б).

Индивидуальная минута отражает психофизиологическое состояние организма, и ее величина пропорциональна степени эмоционального напряжения. У взрослых здоровых людей индивидуальная минута — достаточно стойкий показатель, в то время как у людей с пониженной адаптацией она значительно уменьшается. Это объясняется тем, что длительность индивидуальной минуты коррелирует с изменениями соматовегетативных показателей и поэтому может использоваться при оценке возможностей адаптации организма [41].

Проведенное исследование показало, что, во-первых, значение ДИМ модулируется внешним воздействием, ассоциированным с давлением солнечного ветра (Flow Pressure,  $r = -0,49$ ,  $p < 0,05$ ), с Kp-индексом ( $r = -0,55$ ,  $p < 0,05$ ), с ар-индексом ( $r = -0,51$ ,  $p < 0,05$ ), во-вторых, имеет значимые ( $p < 0,05$ ) корреляции с психофизиологическими показателями, такими как площадь свечения в режиме детекции с фильтром (Sr2,  $r = -0,65$ ), с модой R-R-интервала ( $r = -0,61$ ), с показателем LF (%) ( $r = 0,50$ ) — вкладом (%) низкочастотной спектральной компонентой в полную спектральную мощность. Выявленные связи показывают, что ДИМ модулируется вариациями ГМА и адекватно отражает психосоматические реакции на внешнее воздействие: при возрастании ГМА ДИМ снижается, его уменьшение сопряжено с возрастанием площади свечения при регистрации ГРВ в режиме без фильтра, с удлинением R-R-интервала и со снижением вклада низкочастотной компоненты LF в полный спектр мощности сердечного ритма. Физиологический смысл таких взаимоотношений между ДИМ и психосоматическими показателями состоит в том,

что при возрастании ГМА (в рамках исследуемого периода времени) организм переходит в более энергосберегающий режим функционирования.

### 3. Оценка связи между состоянием сердечно-сосудистой системы, параметрами межпланетной среды и характеристиками СВ.

Изучение степени зависимости гемодинамических характеристик сердечно-сосудистой (ССС) системы от вариаций параметров межпланетной среды выявило, что артериальное систолическое давление (АДд) имеет значимые связи с показателем варибельности СВ ( $\sigma$ - $\theta$ -V,  $r = -0,51$ ,  $p < 0,05$ ). Кроме того, показания АДд могут модулироваться интенсивностью нейтронов у поверхности Земли (counts/s) и атмосферным давлением (Атм, мбар), коэффициенты корреляции  $r = 0,49$  и  $-0,49$  соответственно,  $p < 0,05$ .

Данные по оценке частоты сердечных сокращений (ЧСС) и насыщению гемоглобина артериальной крови кислородом ( $O_2$ ), полученные с применением пульсоксиметрии, позволили обнаружить связь между ЧСС, показателем варибельности СВ и числом Маха ( $\sigma$ - $\theta$ -V,  $r = -0,45$ , МАКН  $r = 0,45$ ,  $p < 0,05$ ), т. е. и АДд, и ЧСС модулируются факторами, ассоциированными с варибельностью СВ.

Показатель  $O_2$  оказался связан с другой группой факторов, ассоциированных с ГМА: с  $\sigma$ -Bz ( $r = -0,46$ ,  $p < 0,05$ ), с Flow Pressure ( $r = -0,44$ ,  $p < 0,05$ ), с Kp- ( $r = -0,49$ ,  $p < 0,05$ ) и ар-индексами ( $r = -0,49$ ,  $p < 0,05$ ).

Таким образом, можно считать, что систолическое давление и ЧСС модулируются наземными факторами, ассоциированными с угловыми характеристиками СВ (в общем смысле — варибельностью СВ). Отчасти определенный вклад в АДд может вносить локальное атмосферное давление и, возможно, интенсивность нейтронов у поверхности Земли. Насыщение гемоглобина кислородом зависит от других физических агентов, ассоциированных с ГМА: чем выше ГМА, тем ниже содержание  $O_2$  в артериальной крови.

Дополнительным показателем гемодинамики ССС являются реологические свойства крови, в частности, ее свертывающие особенности, в определенной мере, ассоциированные с вязкостью крови. Повышенная вязкость крови создает дополнительное сопротивление кровотоку и поэтому сопряжена с избыточной постнагрузкой сердца, микроциркуляторными расстройствами, тканевой гипоксией. Расстройства в системе гемореологии представляют собой универсальный механизм патогенеза критических состояний. Уменьшение вязкости крови, напротив, способствует ускорению кровотока, увеличению доступа кислорода к тканям, облегчению работы сердца. В данном исследовании мы оценили степень зависимости времени свертывания крови от воздействия физических агентов, ассоциированных с СА в области полярного каспа.

Оказалось, что время свертываемости крови (ВСК) модулируется наземными агентами, сопряженными с  $\sigma$ - $\theta$ -V ( $r = 0,68$ ,  $p < 0,05$ ), как и в случае с АДд и с ЧСС. Кроме того, выявлена связь ВСК с плотностью потоков солнечного радиоизлучения f10,7 ( $r = 0,54$ ,  $p < 0,05$ ), с гемодинамическими показателями крови: АДд и минутным объемом крови ( $r = -0,62$ ,  $r = 0,45$  соответственно,  $p < 0,05$ ), с психоэмоциональными показателями: САМ, АКТ, СТ ( $r = 0,48$ ,  $r = 0,49$ ,  $r = -0,50$  соответственно,  $p < 0,05$ ). Это означает, что при возрастании угловой скорости СВ и радиоизлучения Солнца ВСК удлиняется, т. е. косвенным образом вязкость крови снижается. С другой стороны, вероятно, от свойств крови, выраженных через ВСК, может зависеть и психоэмоциональное состояние: повышение ВСК (снижение вязкости) сопряжено с улучшением самочувствия, активности и снижением ситуативной тревожности.

Оценка варибельности сердечного ритма (ВСР) и степени зависимости ВСР от вариаций физических агентов, ассоциированных с СА, выявила между ними определенные связи (рис. 4).

Длительность R-R интервала ассоциирована с температурой плазмы СВ (Proton  $T^\circ$ ,  $r = 0,50$ ,  $p < 0,05$ ), с показателем DST ( $r = -0,46$ ,  $p < 0,05$ ), с f10,7\_index ( $r = -0,57$ ,  $p < 0,05$ ), но не с индексами ГМА (рис. 4, А). С другой стороны, возрастание температуры плазмы СВ связано со скоростью СВ ( $r = 0,77$ ,  $p < 0,05$ ), с варибельностью СВ ( $\sigma$ -V,  $r = 0,67$ ,  $p < 0,05$ ), с электрическим полем (Electric field,  $r = 0,52$ ,  $p < 0,05$ ), с Kp- и ар-индексом ( $r = 0,72$ ,  $r = 0,77$  соответственно,  $p < 0,05$ ). Значит, причиной модуляции R-R-интервала могут быть иные агенты, чем ГМА, но ассоциированные со свойствами СВ. Выше мы показали, что ДИМ сопряжена с R-R-интервалом и индексами ГМА, возможно, что и ДИМ, и R-R-интервал модулируются наземными

биотропными агентами, ассоциированным со свойствами СВ и ГМА. Не исключено, что такими агентами могут быть дневные пульсации Pc5, характерные для области полярного каспа. Геомагнитные пульсации диапазона Pc5 (периоды порядка нескольких мин), являясь наиболее мощным электромагнитным волновым процессом в околоземной среде, вносят заметный вклад в баланс энергии системы *солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера*, особенно во время геомагнитных возмущений. Выявлены эффекты контроля магнитосферных пульсаций нестационарными процессами в СВ: возбуждение Pc4-6 пульсаций импульсами динамического давления и межпланетной ударной волной, внезапное прекращение генерации Pc5-6 при подходе к Земле ведущего края межпланетного магнитного облака, триггерная стимуляция глобальных Pc5 волн всплесками флуктуаций плотности СВ [42]. Возможно, пульсации этого типа обладают высокой биоэффективностью для сердечного ритма, которую еще предстоит выяснить.

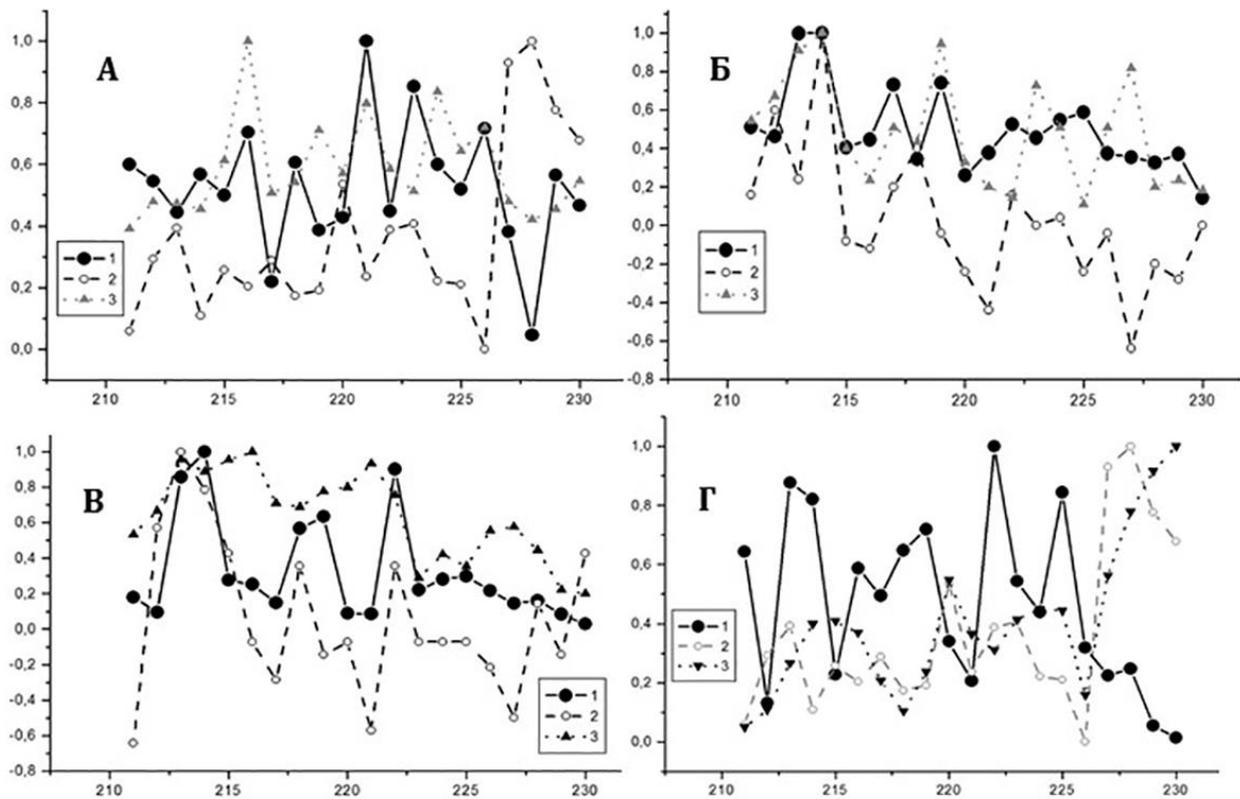


Рис. 4. Сопряженность показателей ВСР и характеристик состояния межпланетной среды (по оси абсцисс — дни года, по оси ординат — нормированные значения психофизиологических и геокосмических индексов).

А: 1 — частота сердечных сокращений (HR); 2 — температура плазмы СВ (Proton  $T^\circ$ );  
3 — альфвеновское число Маха (Alfvén mach number).

Б: 1 — стандартное отклонение разностей соседних RR-интервалов (SDSD); 2 — Bz-компонента межпланетного магнитного поля в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат (BzGSM);  
3 — вариабельность плотности солнечного ветра ( $\sigma n$ ).

В: 1 — высокочастотная компонента сердечного ритма (HF); 2 — Bz-компонента межпланетного магнитного поля в геоцентрической солнечно-эклиптической системе координат (BzGSE);  
3 — поток радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см (F10,7).

Г: 1 — индекс адаптации (A); 2 — температура плазмы СВ (Proton  $T^\circ$ ), 3 — скорость СВ (Bulk speed).

Fig. 4. Conjugation of heart rate variability indicators and state of interplanetary medium (the abscissa is days of the year; ordinate is normalized values of psychophysiological and geocosmic indices).

A: 1 — heart rate (HR); 2 — plasma temperature of solar wind (Proton  $T^\circ$ ); 3 — Alfvén Mach number.

Б: 1 — standard deviation of differences of neighboring RR-intervals (SDSD); 2 — Bz-component of the interplanetary magnetic field in geocentric solar-magnetospheric coordinate system (BzGSM); 3 — variability of solar wind density ( $\sigma n$ ).

В: 1 — high-frequency component of the heart rate (HF); 2 — Bz-component of the interplanetary magnetic field in the geocentric solar-ecliptic coordinate system (BzGSE); 3 — solar radio emission flux at a wave length of 10,7 cm (F10,7).

Г: 1 — adaptation index (A); 2 — plasma temperature of solar wind (Proton  $T^\circ$ ); 3 — solar wind speed (Bulk speed)

Множественные корреляции с физическими агентами, ассоциированными с СА, были выявлены для статистической характеристики ВСП — стандартного отклонения разностей соседних RR-интервалов (SDSD). Обнаружены значимые корреляции между SDSD и Vz-компонентой ММП ( $B_z, \text{GSM}$ ,  $r = 0,55$ ,  $p < 0,05$ ), плотностью частиц в СВ (Proton density,  $r = 0,57$ ,  $p < 0,05$ ), соотношением альфа-частиц и протонов в СВ ( $\text{Na/Np}$ ,  $r = -0,46$ ,  $p < 0,05$ ), вариациями плотности частиц в СВ ( $\text{sigma-n}$  ( $r = 0,64$ ,  $p < 0,05$ ), электрическим полем СВ (Electric field,  $r = -0,56$ ,  $p < 0,05$ ), DST-индексом ( $r = 0,54$ ), плотностью потоков протонов с энергиями свыше 30 и 60 МэВ ( $\text{PROT Flux} > 30 \text{ МэВ}$ ,  $\text{PROT Flux} > 60 \text{ МэВ}$ ,  $r = 0,46$ ,  $r = 0,68$  соответственно,  $p < 0,05$ ), счетом наземного нейтронного монитора ( $\text{counts/s}$ ,  $r = 0,49$ ,  $p < 0,05$ ), атмосферным давлением ( $r = -0,49$ ,  $p < 0,05$ ). Эти связи, в основном отражающие особенности корпускулярной составляющей плазмы СВ, свидетельствуют о том, что агенты, модулирующие ВСП, могли быть ассоциированы с процессами взаимодействия протонов СВ с магнитосферой Земли.

Сведения о коэффициентах корреляции между частотными составляющими ВСП и параметрами межпланетной среды представлены в табл. 4.

Таблица 4  
Table 4

Коэффициенты корреляции показателей спектральных компонент сердечного ритма  
Correlation coefficients among the indices of spectral components of heart rhythm

Компонента Component	$M \pm \delta$	$B_z, \text{GSM}$	Electric field	$\text{PROT Flux}$ $> 30 \text{ MeV}$	$\text{PROT Flux}$ $> 60 \text{ MeV}$	$f_{10.7\_index}$ ( $10^{-22}$ )
HF	376,55±206,57	<b>0,57</b>	<b>-0,58</b>	<b>0,50</b>	0,41	<b>0,45</b>
HF (%)	24,15±4,70	<b>0,57</b>	<b>-0,57</b>	<b>0,57</b>	0,29	0,41
VLF (%)	45,01±5,27	<b>-0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,48</b>	-0,33	-0,40
LF/HF	2,32±0,49	<b>-0,59</b>	<b>0,60</b>	<b>-0,51</b>	<b>-0,50</b>	-0,34
VLF/HF	3,03±0,88	<b>-0,47</b>	<b>0,47</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,45</b>	-0,38
IC	1,50±0,35	<b>0,58</b>	<b>-0,57</b>	<b>0,56</b>	0,28	0,33

*Примечание.*  $M \pm \delta$  — среднее арифметическое и стандартное отклонение. HF — высокочастотная компонента, 0,15–0,4 Гц ( $\text{ms}^2$ ). HF (%) — вклад высокочастотной компоненты в полную спектральную мощность; VLF (%) — вклад очень низкочастотной компоненты (0,0033–0,04 Гц) VLF (%) в полную спектральную мощность; IC — индекс централизации; LF/HF, VLF/HF — соотношения спектральных составляющих сердечного ритма.

$B_z, \text{GSM}$  — вектор Vz-компоненты межпланетного магнитного поля в геоцентрической солнечно-магнитосферной системе координат; Electric field — электрическое поле плазмы солнечного ветра;  $\text{PROT Flux} > 30 \text{ МэВ}$ ,  $\text{PROT Flux} > 60 \text{ МэВ}$  — потоки протонов с энергиями  $> 30$  и  $> 60 \text{ МэВ}$ ;  $f_{10.7\_index}$ , ( $10^{-22}$ ) — радиоизлучение Солнца на длине волны 10,7 см (2,8 ГГц).

Коэффициенты корреляции, выделенные полужирным, соответствуют уровню значимости  $p < 0,05$ .

*Note.*  $M \pm \delta$  — average value and standard deviation. HF — high-frequency component in the heart rate, 0,15–0,4 Hz ( $\text{ms}^2$ ); HF (%) — contribution of high-frequency component to the total spectral power; VLF (%) — contribution of very low-frequency component (0,0033–0,04 Hz) to the total spectral power; IC — index of centralization of heart rate regulation; LF/HF — the ratio of low frequency (LF) to high frequency (HF) components in heart rate; VLF/HF — the ratio of very low frequency (VLF) to high frequency (HF) components in heart rate.

$B_z, \text{GSM}$  — Bz-component of interplanetary magnetic field in geocentric solar-magnetospheric coordinate system;  $\text{PROT Flux} > 30 \text{ MeV}$ ,  $\text{PROT Flux} > 60 \text{ MeV}$  — Proton fluxes with energy with  $> 30$  and  $> 60 \text{ MeV}$ , respectively;  $f_{10.7\_index}$  ( $10^{-22}$ ) — the radio emission of the Sun at wave length of 10,7 cm (2,8 GHz).

The correlation coefficients, highlighted in bold, correspond to a significance level of  $p < 0,05$ .

Можно видеть, что частотные составляющие сердечного ритма, их соотношения, индекс центральной регуляции (ИС) значимо ( $p < 0,05$ ) связаны с Vz-компонентой ММП ( $B_z, \text{GSM}$ ), с электрическим полем СВ (Electric field), с потоками протонов с энергиями более 30 и 60 МэВ ( $\text{PROT Flux} > 30 \text{ МэВ}$ ,  $\text{PROT Flux} > 60 \text{ МэВ}$ ). Такой характер связи может свидетельствовать

о модуляции variability сердечного ритма наземными агентами, ассоциированными с корпускулярной составляющей плазмы СВ и особенностями ее взаимодействия с магнитосферой в области полярного каспа. Возможно, модуляция ВСП могла бы осуществляться низкочастотными колебаниями, возникающими в результате проникновения плазмы СВ в магнитосферу в области полярного каспа. В эксперименте по изучению полярного магнитного поля [5] было показано, что волны в узком диапазоне частот от 0,2 до 3 Гц являются постоянным элементом в области полярного каспа. Возникновение волн связано с вхождением плазмы из переходной области магнитосферы в полярный касп.

Многообразные феномены в высоких геомагнитных широтах привлекательны не только для космической геофизики, но и для гелиобиологии. В силу особенностей топологии околоземного магнитного поля именно эти широты геомагнитно сопряжены с пограничными областями магнитосферы, где происходят основные процессы взаимодействия СВ с магнитосферой Земли. Это взаимодействие имеет нестационарный и турбулентный характер, что обуславливает появление специфических иррегулярных возмущений на высоких широтах. Плазменные механизмы взаимодействия волн и частиц приводят к возможности в околоземной плазме взаимного влияния друг на друга волн, различающихся на несколько порядков по частоте, УНЧ- и ОНЧ-диапазонов [4, 7–9, 42].

На высоких широтах ( $\Phi > 70^\circ$ ), соответствующих местоположению арх. Шпицберген, в одном и том же спектральном диапазоне (1–5 мГц) наблюдаются колебания с различными морфологическими свойствами и, соответственно, разной физической природы: *ircl* (Irregular Pulsations at Cusp Latitudes) с  $T \sim 3\text{--}30$  м, *np*-высокочастотная часть *ircl* с  $T \sim 3\text{--}8$  мин, *Pi3* и *Pc5*, *vlp* (Very Long Period) с  $T \sim 15\text{--}30$  мин.

В полярной шапке, в области открытых силовых линий, в зависимости от параметров СВ и ММП могут возникать высокоширотные квазимонохроматические пульсации *Pc3* (20–50 мГц) — *Pc4* (8–20 мГц). При освещенной ионосфере волновая энергия диапазона *Pc3–4* модулируется скоростью СВ и полярностью ММП, а полярной ночью — вариациями ионосферной проводимости, вызванными, предположительно, планетарными волнами. Для широт полярной шапки выявлена зависимость частоты *Pc3* и *Pc4* от модуля ММП. Источником пульсаций *Pc3* на широтах от авроральных вплоть до полярной шапки является циклотронная неустойчивость протонов, отраженных от фронта ударной волны. Поскольку интенсивность *Pc3–4* волн в полярной шапке зависит от ионосферной проводимости, то в период полярной ночи происходит резкое ослабление волн [7–9, 13, 42].

Наши исследования были выполнены в период полярного дня при круглосуточном освещении ионосферы. Можно предположить, что определенный вклад в модуляцию отдельных параметров состояния организма могли бы вносить пульсации, характерные для широт  $\Phi > 70^\circ$ , в том числе пульсации *Pc3–Pc4*. Косвенным свидетельством тому являются значимые корреляции между показателями ГРВ-грамм (площади свечения) и модулем ММП (Magnitude of Average, Field vector,  $\langle B \rangle$ ), угловыми характеристиками СВ (Bulk flow longitude), потоками протонов с энергиями более 10 МэВ, числом Маха (табл. 3), то есть с теми параметрами ММП и СВ, которые обуславливают возникновение пульсаций *Pc3* и *Pc4* в области каспа и в полярной шапке.

Дополнительное подтверждение возможности модуляции функционального состояния организма пульсациями, характерными для полярного каспа, содержится в работе о Н. А. Куражковской с соавторами [43].

Особенностью настоящей работы является проведение исследований в условиях спокойной магнитосферы, что сопоставимо с условиями проведения наших исследований. Исследование, выполненное в работе [43], включало одновременное наблюдение высокоширотных длиннопериодных иррегулярных пульсаций в диапазоне частот 2,0–6,0 мГц (*ircl*) и возмущений магнитного поля в плазме СВ при слабой ГМА ( $K_p \sim 0$ ). Анализ зависимости частоты возникновения дневных пульсаций *ircl* от переориентации  $V_z$ -компоненты ММП с северного направления на южное (при относительной стабильности других параметров плазмы СВ и ММП, таких как скорость  $V$ , концентрация  $n$ , динамическое давление солнечного ветра, плотность

плазмы, модуль напряженности) показал, что в доминирующем числе случаев спектральная плотность пульсаций  $ipcl$  достигает максимума примерно через 10–20 мин после смены знака  $Vz$ -компоненты ММП.

Полученные результаты позволили предположить, что в условиях спокойной магнитосферы ( $Kp \sim 0$ ) генерация наблюдаемого спектра  $ipcl$ , связана с переориентацией  $Vz$ -компоненты ММП, обусловленной турбулентностью плазмы СВ, способствующей развитию неустойчивости токового слоя и усилению поверхностных волн на магнитопаузе. Выявленные в наших исследованиях связи между психофизиологическими характеристиками состояния организма (табл. 4), сигмой АКТ (активности), сигмой ВК, показателями энтропии, показателями площади свечения в режиме регистрации с фильтром и  $Vz$ -компонентой свидетельствует о существенной роли последней в модуляции функциональной активности организма. Отсутствие явной связи между показателями ВСП и индексами ГМА, но присутствие значимой связи с  $Vz$ -компонентой позволяют заключить, что одной из возможных причин модуляции ВСП в области полярного каспа могли бы быть (возможно, наряду с другими колебаниями) длиннопериодные иррегулярные пульсации в диапазоне частот 2,0–6,0 мГц ( $ipcl$ ).

### Заключение

Проведенные исследования по выявлению связи между параметрами межпланетной среды и солнечного ветра и психофизиологическими показателями состояния организма жителей арх. Шпицберген позволили показать, что функциональное состояние организма человека в области полярного каспа модулируется разными группами геокосмических агентов, ассоциированных с СА, ММП и СВ. Это свидетельствует о том, что значимость отдельных параметров, характеризующих состояние межпланетной среды, для различных систем организма имеет разную биоэффективность.

Выявлено, что психоэмоциональное состояние, характеризуемое показателем ПЭС (психоэмоциональное состояние), самочувствием (САМ), активностью (АКТ), настроением (НАСТ), личностной тревожностью, длительностью индивидуальной минуты (ДИМ), кожно-гальванической реакцией (КГР), а также такой важный показатель, как насыщение гемоглобина артериальной крови кислородом ( $O_2$ ), модулируются группой факторов, ассоциированных с солнечной активностью ( $R$  — числа Вольфа), геоэффективными параметрами СВ и наземными агентами, отраженными в индексах геомагнитной активности. Геоэффективные параметры СВ включают: температуру плазмы (Proton  $T^\circ$  — температура протонов в солнечном ветре в градусах Кельвина), вариации  $Vx$ - и  $Vy$ -компонент ММП для отдельных показателей психоэмоционального состояния, скорость солнечного ветра (Bulk speed, км/с), вариабельность СВ ( $\sigma-V$ ), индексы ГМА ( $Kp$ - DST-, ар-индексы), а также радиоизлучение Солнца на длине волны 10,7 см ( $f10,7\_index$ ). В общем виде можно сделать вывод, что при возрастании ГМА снижаются значения показателей ПЭС, САМ, АКТ, НАСТ, ДИМ,  $O_2$  и возрастает показатель СТ, то есть в рамках проведенного исследования в полярном каспе, с 30 июля по 18 августа 2018 г., на спаде 24-го цикла СА, умеренное возрастание ГМА приводит к ухудшению психоэмоционального состояния жителей арх. Шпицберген.

Вторая группа геокосмических агентов, не имеющая значимых корреляций с показателями ГМА, кроме отдельных связей с индексом  $f10,7$  включала  $VzGSM$ -компоненту ММП, электрическое поле СВ ((Electric field,  $-[V(км/с) \cdot Vz$  (нТл; GSM)]  $\cdot 10^{-3}$  (мВ/м)), настолько тесно ассоциированное с  $VzGSM$ , что коэффициент корреляции между ними равнялся  $-1,00$ , а также протоны с энергиями более 10 МэВ (PROT Flux > 10 МэВ, PROT Flux > 30 МэВ, PROT Flux > 60 МэВ (number/cm<sup>2</sup> sec sr)). Эта группа физических агентов ассоциирована с модуляцией вариабельности сердечного ритма (ВСП), которая улучшается при положительных значениях  $Vz$ -компоненты (северное направление), при возрастании потоков протонов с энергиями >30 МэВ, и, наоборот, ухудшается при смене северного направления  $Vz$ -компоненты на южное. Поскольку значимые ( $p < 0,05$ ) корреляции между показателями ВСП,  $Vz$ -компонентой, потоками протонов и индексами ГМА в данном исследовании не выявлены, мы предположили, что физическими

агентами, модулирующими в условиях полярного каспа состояние сердечно-сосудистой системы, могли бы быть пульсации, характерные для области полярного каспа [3–5, 7–9, 13, 42] и, что особенно важно, зарегистрированные в сходных геофизических условиях при низкой ГМА [43].

Кроме того, выявлена связь между показателями ГРВ-грамм (площади свечения) с модулем ММП (Magnitude of Average, nT, Field vector,  $|\langle B \rangle|$ ), угловой характеристикой скорости СВ (Bulk flow longitude), с протонами с энергиями более 10 МэВ (PROT Flux >10 МэВ), с числом МАХА как соотношение альфвеновской скорости к магнитозвуковой в плазме СВ. Остальные показатели ГРВ-грамм имеют значимые корреляции с различными параметрами ММП и СВ. Данная группа биоэффективных агентов для характеристик ГРВ-грамм объединяет параметры ММП, СВ и потоков протонов.

В исследовании найден также параметр СВ ( $\sigma$ -theta-V, градусы), который ассоциирован с диастолическим артериальным давлением крови (АДд), частотой сердечных сокращений (HR), временем свертываемости крови (ВСК). Поскольку у этого параметра СВ значимые связи найдены только с альфвеновским числом Маха и с самим числом Маха, можно считать, что этот показатель отражает магнитогидродинамические характеристики плазмы СВ, которые генерируют колебания в широком диапазоне частот, в том числе регистрируемых и на поверхности Земли [4, 42]. Не исключено, что в параметрах СВ мы нашли индикатор, который может служить прогностическим признаком биоэффективности солнечного ветра.

Таким образом, проведенные исследования позволили обнаружить две большие группы геокосмических агентов, ассоциированных с СА, с параметрами ММП и СВ, которые модулируют отдельные функциональные системы организма. Первая группа включает показатели СА, геоэффективные параметры ММП и СВ, а также и индексы ГМА. Физические агенты этой группы модулируют психоэмоциональное состояние и, вероятнее всего, влияют на центральную нервную систему и функции головного мозга.

Вторая группа физических агентов не связана с ГМА и представлена параметрами ММП, ассоциированными, по литературным данным, с пульсациями в диапазоне крайне низких частот в области полярного каспа, с параметрами СВ, характеризующими магнитогидродинамические и магнитозвуковые свойства плазмы, а также с потоками протонов с энергиями более 10 МэВ. Эта группа агентов ассоциирована с модуляцией соматических функций организма, регулируемых, главным образом, автономной нервной системой. В области полярного каспа эти агенты напрямую или опосредованно модулируют мощность и соотношения частотных составляющих сердечного ритма, артериальное диастолическое давление, частоту сердечных сокращений, время свертываемости крови.

Данные проведенного исследования имеют приоритетный характер, позволяющий пересмотреть широко дискутируемую роль геомагнитных возмущений в модуляции функционального состояния организма человека и рассмотреть иные механизмы, обладающие высокой биоэффективностью в области полярных широт. Полученные результаты носят предварительный характер и предполагают дальнейшие исследования в области полярного каспа для выявления индикаторов биоэффективности «космической погоды», разработки алгоритмов прогноза функционального состояния организма в полярных широтах, а также поиска физиологических методов повышения резервных возможностей жителей арктических широт.

Интенсивное освоение Арктики диктует необходимость эффективных прогнозов психоэмоционального состояния полярников для снижения рисков, обусловленных «человеческим фактором». Данное исследование может внести вклад в разработку долговременных прогнозов психоэмоционального и психофизиологического состояния организма человека в условиях арктических широт.

## **Благодарности**

Авторы сердечно признательны всем добровольцам, принимавшим участие в исследованиях, а также коллегам из Полярного геофизического института РАН — заведующему сектором космических лучей, кандидату физико-математических наук Ю. В. Балабину и научному сотруднику, кандидату физико-математических наук Б. Б. Гвоздевскому за участие в исследованиях и предоставление возможности использования данных нейтронного монитора на ст. Баренцбург.

Авторы также выражают искреннюю благодарность генеральному директору ООО БИОТЕХПРОГРЕСС Р. Р. Юсубову и Е. Е. Яновской за предоставление камеры ГРВ-контакт с обновленным программным обеспечением для работы на арх. Шпицберген и за возможности открытого обсуждения полученных результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Tsyganenko N. A., Russell C. T.* Magnetic signatures of the distant polar cusps: Observations by Polar and quantitative modelling // *JGR*. 1999. No. 104, 24. 939.
2. *Савин С. П.* Магнитный щит Земли: плазменные бреши. URL: <http://www.kosmofizika.ru/popular/savin.htm>.
3. О природе электромагнитного излучения низкой частоты в полярной шапке / Ю. В. Голиков [и др.] // Письма в ЖЭТФ. 1975. Т. 22, вып. 1. С. 3–7.
4. Квазипериодические ОНЧ-излучения, ОНЧ-хоры и геомагнитные пульсации рс4 (событие 3 апреля 2011 г.) / Ю. Маннинен [и др.] // Геомагнетизм и аэрномия. 2012. Т. 52, № 1. С. 82–92.
5. Electromagnetic Ion Cyclotron Waves in the High Altitude Cusp: Polar Observations / G. Le [et al.]. URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20010028950.pdf>.
6. Космические ритмы: в магнитосфере, атмосфере, в среде обитания, в биосфере, ноосфере, земной коре / Б. М. Владимирский [и др.]; под ред. проф. С. Э. Шноля. Симферополь, 1994. 173 с.
7. Длиннопериодные геомагнитные пульсации в высокоширотных магнитосопреженных областях / О. В. Большакова [и др.] // Геомагнетизм и аэрномия. 1986. Т. 26, № 1. С. 160–162.
8. Два типа длиннопериодных геомагнитных пульсаций вблизи экваториальной границы дневного полярного каспа / Н. Г. Клейменова [и др.] // Геомагнетизм и аэрномия. 1985. Т. 25, № 1. С. 163–165.
9. Длиннопериодные геомагнитные пульсации в квазисопреженных областях Арктики и Антарктики в магнитную бурю 16–17 апреля 1999 г. / О. В. Козырева [и др.] // Геомагнетизм и аэрномия. 2006. Т. 46, № 5, сентябрь–октябрь. С. 657–670.
10. Аладжалова Н. А. Психофизиологические аспекты сверхмедленной ритмической активности головного мозга. М., 1979. 214 с.
11. Аладжалова Н. А. О генезе сверхмедленных электрических колебаний потенциала головного мозга // Основные проблемы электрофизиологии головного мозга. М.: Наука, 1976.
12. Илюхин В. А., Хабаева Э. Г., Никитин Л. И. Сверхмедленные физиологические процессы и межсистемные взаимодействия в организме. Л.: Наука, 1986.
13. Чугунова О. М., Пилипенко В. А., Энгебретсон М. Появление квазимонохроматических Рс3-4 пульсаций в полярной шапке // Геомагнетизм и аэрномия. 2004. Т. 44, № 1. С. 47–54.
14. Белишева Н. К., Качанова Т. Л. Глобальная модуляция психоэмоционального состояния человека геокосмическими агентами // Материалы VII Междунар. конф. «Экология и развитие Северо-Запада России»: сб. науч. докл. 2–7 августа 2002 г., г. Санкт-Петербург. С. 110–118.
15. Качественная и количественная оценка воздействия вариаций геомагнитного поля на функциональное состояние мозга человека / Н. К. Белишева [и др.] // Биофизика. 1995. Вып. 5. С. 1005–1012.
16. Мицуков А. С., Белишева Н. К. Экстраполяция наземных данных по сопряженности вариаций гелиогеофизических агентов с психофизиологическим состоянием человека в условиях Арктики на космические полеты // Авиакосмическая и экологическая медицина: спецвып. 2016. Т. 50, № 5. С. 150–151.
17. Психофизиологические эффекты гелиогеомагнитных и метеотропных явлений у лиц, проживающих в высоких широтах / В. П. Рожков [и др.] // Физиология человека. 2014. Т. 40, № 4. С. 51–64.
18. Медико-биологические исследования на Шпицбергене как действенный подход для изучения биоэффективности космической погоды / Н. К. Белишева [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 1. С. 26–33.
19. Амплитудно-частотные и пространственно-временные перестройки биоэлектрической активности мозга человека при сильных возмущениях геомагнитной активности / С. И. Сороко [и др.] // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 4. С. 111–122.
20. Оценка влияния геомагнитной и солнечной активности на биоэлектрические процессы мозга человека с помощью структурной функции / В. П. Рожков [и др.] // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2016. Т. 102, № 12. С. 1479–1494.
21. Белишева Н. К. Шпицберген — полигон для изучения психических эффектов космической погоды // Солнечная и солнечно-земная физика — 2014: материалы Всерос. ежегод. конф. с междунар. участием 20–24 октября 2014 г., Санкт-Петербург / Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН; отв. ред.: А. В. Степанов, Ю. А. Наговицын. 2014. С. 43–46.
22. Возможный вклад высокоширотных вариаций геомагнитного поля в особенности волновой структуры сердечного ритма у жителей Заполярья / А. А. Мартынова [и др.] // Physics of auroral phenomena, 39 Annual seminar, 19.02–04.03 2016. Apatity, 2016. P. 55.
23. Особенности variability сердечного ритма у работников горнорудного производства в Мурманской области / А. А. Мартынова [и др.] // Экология человека. Архангельск, 2017. № 3. С. 31–37.
24. Guidelines. *European Heart J.* 1996. No. 17. P. 354–381.
25. Определение времени свертывания крови // *Arteka.ru*: сайт. URL: [http://www.apreka.ru/?a=opredelenie\\_vremeni\\_svertyvaniya\\_krovi](http://www.apreka.ru/?a=opredelenie_vremeni_svertyvaniya_krovi).
26. Программно-методическое обеспечение функциональное биоуправление с биологической обратной связью «РЕАКОР». Руководство пользователя: методический справочник А\_2477-28\_РП. 2014. Ч. 2. С. 135. URL: <http://www.medicom-mtd.com>.
27. *Psylist.net*. URL: <https://psylist.net/slovar/10a19.htm>.
28. Коротков К. Г. Принципы анализа ГРВ-биоэлектрографии. СПб.: Реноме, 2007. 286 с.
29. Провоторов В. М., Любых Е. Н., Овсянников Е. С. Роль газоразрядной визуализации в оценке психовегетативного статуса больных с вентральными грыжами // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2012. Т. V, № 2. С. 388–390.
30. Цветовой тест диагностики нервно-психических состояний и отношений. URL: <http://www.imaton.com/metodiki/met/25/>.
31. Люшер М. Цветовой тест Люшера / пер. с англ. А. Никоновой. СПб.: Сова; М.: ЭКСМО-Пресс, 2002. 192 с.
32. Возможности теста Люшера (8-цветовой вариант) в диагностике характерологических и поведенческих особенностей студентов с различным уровнем физической подготовки / И. И. Черёмушникова [и др.] // Вестник ОГУ. 2010. № 12 (118). С. 108–110.
33. Моисеева Н. И., Сысуев В. М. Временная среда и биологические ритмы. Л.: Наука, 1981. С. 121.
34. Мельникова С. Л., Мельников В. В. Показатели индивидуального восприятия времени как характеристика общего состояния организма // Вестник новых медицинских технологий. 2002. Т. IX, № 2. С. 20–23.
35. Арх. Шпицберген — полигон для аналоговых исследований воздействия космофизических агентов на организм человека / Н. К. Белишева [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 4. С. 21–28.
36. *Bernstein A. S., Taylor K. W., Weinstein E.* The phasic electrodermal response as a differentiated complex reflecting stimulus significance // *Psychophysiology*. 1975. No. 12. P. 158–169.
37. *McCurdy H. D.* Consciousness and the galvanometer // *Psychological Review*. 1950. 57. P. 322–

327. **38.** *Альдерсонс А. А., Кодаков И. М.* Механизмы электродермальных реакций. Рига: Зинатне, 1985. **39.** *Treager R. T.* Physical functions of skin. New York: Academic Press, 1966. **40.** *Darrow C. W.* The rationale for treating the change in galvanic skin response as a change in conductance // *Psychophysiology*. 1964. No. 1. P. 31–38. **41.** *Мусеева Н. И.* Структура биоритмов как один из критериев возможностей физиологической адаптации организма // *Физиологический журнал СССР*. 1978. Т. 4, № 11. С. 1632–1640. **42.** *Козырева О. В.* Волновая структура магнитных бурь: дис. ... докт. физ.-мат. наук: 25.00.10. М., 2013. 334 с. **43.** *Куражковская Н. А., Клайн Б. И., Лавров И. П.* Длиннопериодные иррегулярные пульсации в условиях спокойной магнитосферы // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2016. Т. 56, № 3. С. 314–323.

### Сведения об авторах

*Белишева Наталья Константиновна* — доктор биологических наук, главный научный сотрудник НИЦ МБП КНЦ РАН

E-mail: natalybelisheva@mail.ru

*Мартынова Алла Александровна* — кандидат биологических наук, зав. научным отделом НИЦ МБП КНЦ РАН

E-mail: martynovaalla@yandex.ru

*Пряничников Сергей Васильевич* — инженер-исследователь НИЦ МБП КНЦ РАН

E-mail: prjanik.75@mail.ru

*Соловьевская Наталья Леонидовна* — младший научный сотрудник НИЦ МБП КНЦ РАН

E-mail: silva189@mail.ru

*Завадская Татьяна Сергеевна* — младший научный сотрудник НИЦ МБП КНЦ РАН

E-mail: green.myrtal@mail.ru

*Мегорский Владимир Владимирович* — кандидат медицинских наук, директор НИЦ МБП

E-mail: rdchaa@medknc.ru

### Author Affiliation

*Natalia K. Belisheva* — Dr. Sci. (Bio), Chief Researcher, Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic of KSC RAS

E-mail: natalybelisheva@mail.ru

*Alla A. Martynova* — PhD (Bio), Head of Scientific Department, Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic of KSC RAS

E-mail: martynovaalla@yandex.ru

*Sergey V. Pryanichnikov* — Research Engineer, Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic of KSC RAS

E-mail: prjanik.75@mail.ru

*Natalia L. Solovievskaya* — Junior Researcher, Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic of KSC RAS

E-mail: silva189@mail.ru

*Tatyana S. Zavadskaya* — Junior Researcher, Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic of KSC RAS

*Vladimir V. Megorsky* — PhD (Medical Sciences), Director of Research Center for Medical and Biological Problems of Human Adaptation in the Arctic of KSC RAS

E-mail: rdchaa@medknc.ru

### Библиографическое описание статьи

Связь параметров межпланетного магнитного поля и солнечного ветра в области полярного каспа с психофизиологическим состоянием жителей арх. Шпицберген / *Н. К. Белишева [и др.]* / Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 5–24.

### Reference

*Belisheva Natalia K., Martynova Alla A., Pryanichnikov Sergey V., Solovievskaya Natalia L., Zavadskaya Tatyana S., Megorsky Vladimir V.* Linkage of Parameters of the Interplanetary Magnetic Field and the Solar Wind in the Polar Cusp with Psychophysiological State of the Residents of Spitzbergen Archipelago. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 5–24 (In Russ.).

## ПРОЦЕССЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

**О. А. Голованова**

ФГБОУ ВО «Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского»

### Аннотация

На основе экспериментального моделирования установлены особенности кристаллизации оксалатов кальция в присутствии аминокислот. Исследовано влияние аминокислот разного строения на формирование твердой фазы оксалата кальция в прототипе физиологического раствора. Определены кинетические параметры кристаллизации: период индукции, константа скорости и закономерности роста кристаллитов.

### Ключевые слова:

*кристаллизация, оксалаты кальция, моделирование, аминокислоты, нуклеация, рост, адсорбция.*

## CRYSTALLIZATION PROCESSES IN MODEL SOLUTIONS OF HUMAN BIOLOGICAL FLUIDS

**Olga A. Golovanova**

Omsk Dostoevsky State University

### Abstract

The paper researches a range of problems related to the peculiarities of calcium oxalate crystallization in the presence of amino acids on the bases of experimental data. The regularities of phase formation in the system  $\text{Ca}^{2+} - \text{C}_2\text{O}_4^{2-} - \text{H}_2\text{O}$ -amino acid in a widely variable interval of component concentrations and pH are theoretically researched. The kinetic parameters of crystallization are determined (induction period, rate constant, order of crystals' growth), and the influence of amino acids on the kinetics of crystallization of calcium oxalate is established.

### Keywords:

*crystallization, calcium oxalate, modeling, amino acids, nucleation, growth, adsorption.*



### Введение

На сегодняшний день проблема образования патогенных органоминеральных агрегатов (ОМА) в организме человека сохраняет свою актуальность во всем мире в связи с неуклонным ростом числа заболеваемости, который ежегодно составляет 0,5–5,5 % [1–5].

Мочекаменная болезнь (уролитиаз), приводящая к образованию ОМА в органах мочеполовой системы, является одним из распространенных урологических заболеваний и встречается не менее чем у 3 % населения.

Мочекаменная болезнь выявляется в любом возрасте, однако у 70 % пациентов она диагностируется в наиболее трудоспособном возрасте — от 30 до 50 лет, преимущественно у мужчин [1, 2, 5–11], при этом рост заболеваемости связан как с повышением влияния ряда неблагоприятных факторов окружающей среды на организм человека, так и с особенностями современной жизни (гиподинамия, рацион питания и др.) [6, 10–12].

Известно, что наиболее распространенными среди мочевых камней являются оксалатные, сложенные минералами уэвеллитом  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и уэдделлитом  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , с преобладанием  $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  [1–4, 8, 9, 13–16]. Многие исследователи отмечают, что специфичность органической компоненты контролирует в значительной степени процесс фазообразования в организме человека [1, 2, 8, 13–21 и др.]. На данный момент накоплен объем сведений о влиянии состава раствора на фазовый состав осадков и кинетику кристаллизации оксалатов кальция [22–30]. Новые данные

по изучению кристаллизации оксалата кальция из растворов в присутствии аминокислот необходимы как с точки зрения фундаментальной перспективы понимания процессов биоминерализации, так и с медицинской точки зрения — для предупреждения образования патогенных ОМА в организме человека.

Целью данной работы является изучение кинетических закономерностей образования оксалатов кальция и установление роли ряда аминокислот на процессы фазообразования.

### Материал и методика исследований

Изучение процесса кристаллизации оксалата кальция в неравновесных условиях для установления кинетических закономерностей проводилось при температуре 37 °С и трех основных значениях пересыщений растворов  $\gamma = C_0/C_S = 5; 7$  и 10. Выбор основных значений  $\gamma$  обоснован наличием таких пересыщений в биологических средах, а именно в моче здорового взрослого среднестатистического человека [1, 7].

Пересыщение по оксалату кальция создавалось за счет химической реакции, которая реализовывалась при смешении исходных растворов легкорастворимых соединений стехиометрического состава — хлорида кальция и оксалата аммония:  $\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightarrow \text{CaC}_2\text{O}_4$ .

Для каждой серии экспериментов были приготовлены растворы, содержащие катионы и анионы, при совместном присутствии которых в данных условиях не образуются малорастворимые соединения. Затем растворы смешивались в эквивалентных объемах.

Для определения параметров нуклеации использовался метод, основанный на измерении периодов индукции ( $\tau_{\text{инд}}$ ). Для исследования роста кристаллов применяли кондуктометрический метод измерения концентрации растворов в ходе их кристаллизации [25]. По данным кондуктометрического анализа определялась степень полноты протекания процесса кристаллизации  $\alpha$  в зависимости от времени, алгоритм расчетов представлен работе [30].

Нуклеация и кинетика кристаллизации исследовались как в растворах оксалата кальция без органических компонентов, так и с добавками аминокислот в концентрации 0,004 моль/л, соответствующей их нахождению в физиологическом растворе [7].

### Результаты и обсуждение

На первом этапе было изучено влияние пересыщения на значения периодов индукции моногидрата оксалата кальция в отсутствие посторонних добавок. Была получена линейная зависимость  $\ln \tau = f((\ln \gamma)^{-2})$ . Эта нестандартная зависимость, как было показано, является композицией двух экспоненциальных зависимостей с разными показателями экспоненты. Определение поверхностной энергии  $\sigma$ , входящей в константу  $B$ , для двух участков кинетической кривой дает значения 15,3 и 36,0 мДж/м<sup>2</sup>, что отвечает гетеро- и гомогенному зарождению соответственно.

Влияние органических добавок аминокислот на период индукции одноводного оксалата кальция оказалось весьма разнообразным и зависящим от типа кислоты. Полученные данные представлены на диаграмме (рис. 1), иллюстрирующей значения периодов индукции моногидрата оксалата кальция в присутствии исследованных аминокислот.

Из рис. 1 видно, что аминокислоты могут как ингибировать процесс кристаллизации одноводного оксалата кальция (DL-глутаминовая кислота, глицин, L-лизин), так и промотировать его (DL-валин). Предполагается, что ингибирующее действие аминокислот связано с их адсорбцией на активных центрах поверхности образующихся кристаллов. Адсорбция осуществляется за счет взаимодействия между положительно заряженной поверхностью кристаллов оксалата кальция и аминокислотой, которая находится в наиболее вероятной в данных

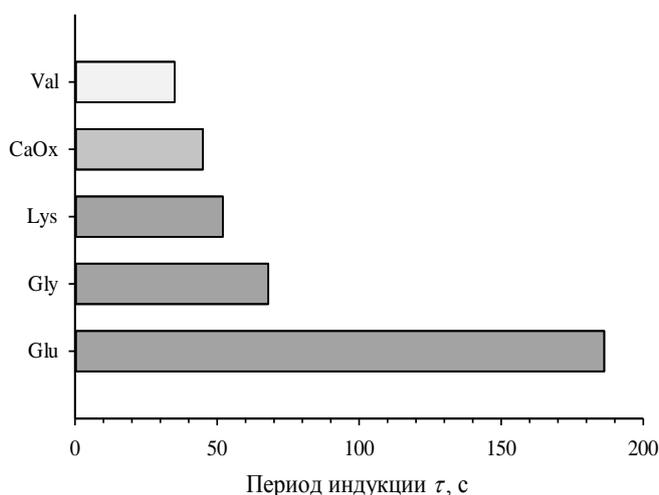


Рис. 1. Влияние аминокислот на кинетику нуклеации оксалата кальция:

CaO<sub>x</sub> — оксалат кальция без добавки; Val — DL-валин; Lys — L-лизин; Gly — глицин; Glu — глутаминовая кислота

Fig. 1. Effect of amino acids on the calcium oxalate nucleation kinetics:

CaO<sub>x</sub> — calcium oxalate without additives; Val — DL-valine; Lys — L-lysine; Gly — glycine; Glu — glutamic acid

условиях конформации. В этом случае можно предположить, что с ростом ингибирующего действия будет расти содержание аминокислоты в почечных камнях. И действительно, для основных аминокислот, по крайней мере, это справедливо [16, 24, 27].

Сравнительный анализ действия изученных нами аминокислот на период индукции показывает, что этот эффект, вероятно, связан с их основными характеристиками, определяющими их адсорбцию на поверхности кристаллов оксалата кальция, — со строением (в частности, с числом карбоксильных групп) и с протолитическими свойствами, определяющими состояние и формы нахождения аминокислот в растворе при различных значениях pH. Таким образом, противоположное действие схожих по строению и свойствам аминокислот

на зарождение оксалата кальция можно объяснить тем, что и ингибирование, и промотирование нуклеации реализуется за счет одного механизма — прочного связывания аминокислоты с ионами кальция на поверхности зародыша (ингибирование) или в растворе (промотирование).

Далее были получены кинетические характеристики процесса кристаллизации оксалата кальция. Анализ полученных кинетических кривых (рис. 2, а и б) показал, что степень превращения  $\alpha$  монотонно увеличивается со временем, при этом процесс постепенно замедляется, вплоть до полного торможения кристаллизации.

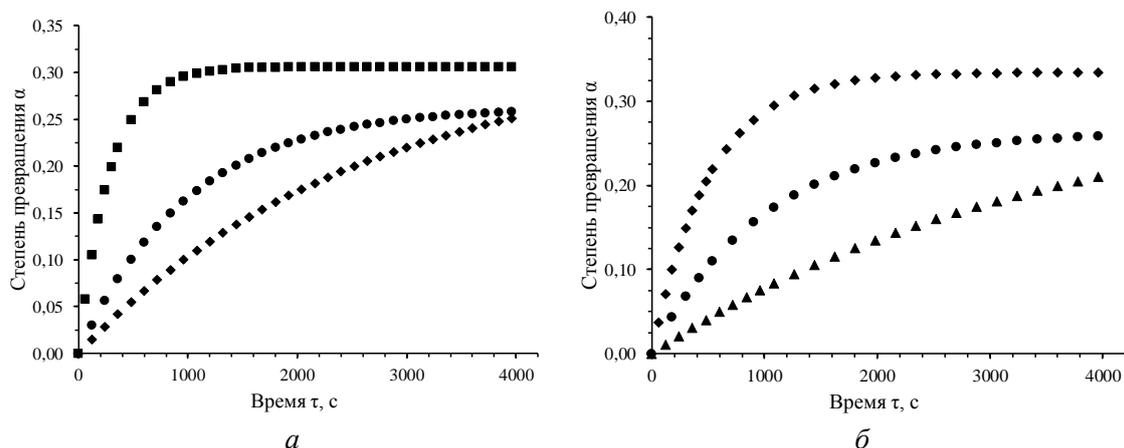


Рис. 2. Кинетические кривые кристаллизации оксалата кальция:

а — без добавок аминокислот при разных пересыщениях (◆ —  $\gamma = 5$ ; ● —  $\gamma = 7$ ; ■ —  $\gamma = 10$ ); б — ( $\gamma = 7$ ) в присутствии аминокислот (● — без добавок; ▲ — L-лизин; ◆ — DL-валин)

Fig. 2. Kinetic curves of calcium oxalate crystallization:

а — without addition of amino acids at different supersaturations (◆ —  $\gamma = 5$ ; ● —  $\gamma = 7$ ; ■ —  $\gamma = 10$ ); б — ( $\gamma = 7$ ) in the presence of amino acids (● — without additives; ▲ — L-lysine; ◆ — DL-valine)

По полученным кинетическим кривым были построены зависимости вида  $\lg\left(\frac{d\alpha}{d\tau}\right) - \frac{2}{3}\lg\alpha = f(\lg(C_\tau - C_s))$ , на которых можно выделить несколько линейных участков с разными наклонами (рис. 3). Участок А соответствует увеличению общего числа частиц за счет образования зародышей кристаллизации, участок В — росту образовавшихся частиц без увеличения их общего количества, участок С отвечает вторичным процессам: уменьшению общего числа образующихся частиц за счет растворения мелких и роста более крупных кристаллов, а также агрегации частиц [25]. Для выявления кинетических закономерностей наибольший интерес представляет участок В, поэтому именно он используется для расчета основных кинетических характеристик кристаллизации оксалата кальция. Пересечение этого отрезка с осью ординат дает константу скорости реакции осаждения, а наклон отрезка определяет порядок реакции.

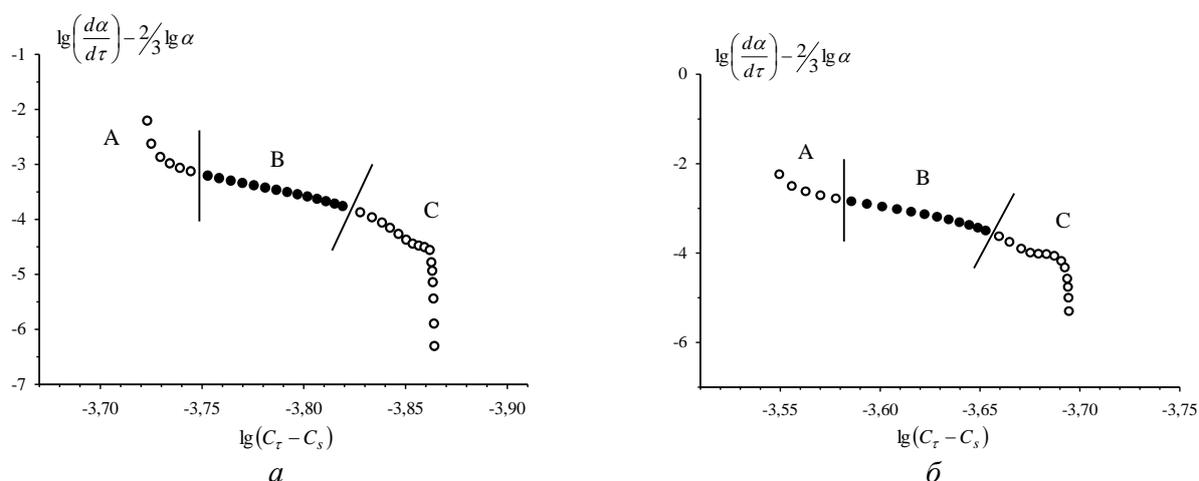


Рис. 3. Определение кинетических параметров кристаллизации оксалата кальция ( $\gamma = 7$ ) в присутствии аминокислот без добавок (а), в присутствии глицина (б)

Fig. 3. Determination of the kinetic parameters of calcium oxalate crystallization ( $\gamma = 7$ ) in the presence of amino acids without additives (a) and in the presence of glycine (b)

Определенные в результате обработки экспериментальных данных константы  $\lg k'$  и  $n$  приведены в таблице.

Кинетические характеристики процесса кристаллизации оксалата кальция в присутствии аминокислот  
Kinetic characteristics of the process of calcium oxalate crystallization in the presence of amino acids

Добавка Additive	Период индукции, $\tau_{\text{инд}}$ , с Induction period, $\tau_{\text{ind}}$ , S	$\gamma = 5$		$\gamma = 7$		$\gamma = 10$	
		$n$	$\lg k'$	$n$	$\lg k'$	$n$	$\lg k'$
CaO <sub>x</sub>	45	7,9	26,5	10,1	33,1	12,0	38,6
Glu	186	5,4	16,3	7,5	23,9	9,1	28,6
Gly	68	7,1	23,5	10,0	32,8	9,9	31,0
Lys	52	5,3	16,9	7,5	23,6	9,3	28,4
Val	35	8,0	27,0	10,2	34,1	11,6	36,9

Прежде всего, следует отметить большие значения порядка нуклеации  $n$  при кристаллизации оксалата кальция. По-видимому, это является следствием приближения степенной зависимостью экспоненциального закона, описывающего кинетику роста кристаллов по механизму двумерного

зарождения. Для использовавшихся высоких пересыщений такой механизм роста вполне реален. Видно, что с увеличением исходного пересыщения скорость кристаллизации возрастает. Это можно объяснить увеличением как общего числа центров кристаллизации, так и средней скорости роста кристаллов.

Присутствие в растворе аминокислот оказывает, как и в случае зародышеобразования, различное действие на процесс кристаллизации оксалата кальция. Ингибирующим эффектом обладают глутаминовая кислота, лизин и глицин, выраженным промотирующим действием обладает валин. Ингибирующее действие аминокислот наиболее естественно объясняется их адсорбцией на растущих кристаллах одноводного оксалата кальция. Анализируя строение аминокислот и их состояние в растворе, можно сделать выводы, что торможение роста кристаллов уэвеллита усиливается с увеличением длины углеводородного радикала, ростом числа карбоксильных групп в аминокислоте и нахождением в растворе при физиологических значениях рН в виде заряженных ионов. С другой стороны, аминокислоты могут служить новыми центрами нуклеации одноводного оксалата кальция, увеличивающими число кристаллов, так как способны связывать ионы кальция [30]. Кроме того, адсорбируясь на поверхности кристаллов, аминокислоты могут стимулировать двумерное зарождение, увеличивая таким образом скорость роста кристаллов [29]. Эти эффекты объясняют промотирующее действие аминокислот на кристаллизацию одноводного оксалата кальция.

## Выводы

1. Исследование процессов нуклеации оксалата кальция в модельных растворах без примесей и с добавками аминокислот показало:

а) в растворах без добавок примесей наблюдается переход от гетеро- к гомогенному зарождению при увеличении пересыщения более  $\gamma = 12$ ;

б) аминокислоты оказывают на нуклеацию моногидрата оксалата кальция как ингибирующее, так и промотирующее действие.

2. Изучение кинетики кристаллизации одноводного оксалата кальция в присутствии добавок аминокислот показало следующее:

а) рост кристаллов уэвеллита происходит по механизму двумерного зарождения;

б) аминокислоты оказывают на кристаллизацию одноводного оксалата кальция как ингибирующее, так и промотирующее действие;

в) влияние аминокислот на рост кристаллов уэвеллита совпадает с их действием на времена индукции зародышеобразования одноводного оксалата кальция;

г) оба эффекта находят объяснение в адсорбции аминокислот на кристаллах уэвеллита (ингибирование — за счет блокировки точек роста, промотирование — за счет создания на поверхности кристаллов центров двумерного зарождения).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Голованова О. А. Патогенные минералы в организме человека. Омск, 2007. 395 с.
2. Зузук Ф. В. Минералогия уролитов: моногр.: в 3 т. Т. 1: Распространение мочекаменной болезни среди населения мира (на укр. яз.) / Вольтский гос. ун-т. Луцк: Вежа, 2002. 408 с.
3. Russian J. General Chemistry / O. A. Golovanova, O. V. Frank-Kamenetskaya, Y. O. Punin. 2011. Vol. 81, No. 6. P. 1392–1406.
4. Brit. J. Urol. Int. / H. Al Zahrani [et al.]. 2000. Vol. 85, No. 6. P. 616–620.
5. Arch. Esp. Urol. / Arias Funez F. [et al.]. 2000. Vol. 53, No. 4. P. 343–347.
6. Ученые записки Орловского гос. ун-та: науч. тр. НИЦ педагогики и психологии / Т. А. Ларина, Т. А. Кузнецова, Л. Ю. Королева. Орел, 2006. Т. 7. С. 135–138.
7. Тиктинский О. Л., Александров В. П. Мочекаменная болезнь. СПб.: Питер, 2000. 384 с.
8. Известия Томского политехнического университета / О. А. Севостьянова, А. К. Полиенко. 2004. Т. 307, № 2. С. 62–64.
9. Голованова О. А. Биоминералогия мочевых, желчных, зубных и слюнных камней из организма человека: дис. ... д. г.-м. н. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2008.
10. Urol. Clin. North. Am. / D. G. Assimos, R. P. Holmes 2000. Vol. 27, No. 2. P. 255–268.
11. Urology / G. G. Baily, R. W. Norman, C. Thompson. 2000. Vol. 56, No. 1. P. 40–44.
12. J. Urol. / M. Bak [et al.]. 2000. Vol. 164. P. 856–863.
13. Химия в интересах устойчивого развития / Э. В. Сокол, Е. Н. Нигматуллина, Н. В. Максимова. 2003. № 11. С. 547–558.
14. Химия и жизнь / Л. Н. Рашкович, Е. В. Петрова. 2006. № 1. С. 158–168.
15. ДАН / О. А. Голованова, П. А. Пятанова, Е. В. Россеева. 2004. Т. 395, № 5. С. 1–3.
16. Вестник СПбГУ / О. А. Голованова, Е. В. Россеева, О. В. Франк-Каменецкая. 2006. Сер. 4. Вып. 2. С. 123–127.
17. Вестник Омского университета / А. Р. Изатулина [и др.]. 2006. № 3. С. 45–47.
18. Биоминералогия / Д. Ю. Власов [и др.]. Луцк, 2008. С. 26–29.
19. J. Chem. Inf. Comput. Sci. /

*D. Batinic [et al.]*. 2000. Vol. 40, No. 3. P. 607–610. **20.** *Urology / S. A. Brown [et al.]*. 2000. Vol. 56, No. 3. P. 364–368. **21.** *Farmacology / M. Carini [et al.]*. 2000. Vol. 55, No. 8. P. 526–534. **22.** *Kidney Int. / R. P. Holmes, H. O. Goodman, D. G. Assimos*. 2001. Vol. 59, No. 1. P. 270–276. **23.** *Urol Int. / T. Ozgurtas [et al.]*. 2004. Vol. 72 (3). P. 233–236. **24.** *OnLine J. Biological Sciences / Shad Muhammad Aslam [et al.]*. 2001. Vol. 1, No. 11. P. 1063–1065. **25.** Кристаллография / О. А. Голованова [и др.]. 2006. Т. 51, № 2. С. 376–382. **26.** *Calcif. Tissue Int. / S. R. Khan [et al.]*. 2000. Vol. 66, No. 2. P. 90–96. **27.** *J. Am. Diet. Assoc. / L. K. Massey, S. A. Kynast Gales*. 2001. Vol. 101, No. 3. P. 326–331. **28.** *J. Urol. / S. Maslamani, P. A. Glenton, S. R. Khan*. 2000. Vol. 164. P. 230–236. **29.** Химия в интересах устойчивого развития / О. А. Голованова [и др.]. 2011. № 19. С. 501–508. **30.** Химия в интересах устойчивого развития / О. А. Голованова [и др.] // 2013. Т. 21, № 4. С. 401–409.

### Сведения об авторе

Голованова Ольга Александровна — доктор геолого-минералогических наук, профессор химического факультета (кафедра неорганической химии) Омского государственного университета им. Ф. М. Достоевского  
E-mail: golovanoa2000@mail.ru

### Author Affiliation

Olga A. Golovanova — Dr. Sci. (Geology & Mineralogy), Professor of Chemical Faculty (Department of Inorganic Chemistry) Omsk Dostoevsky State University  
E-mail: golovanoa2000@mail.ru

### Библиографическое описание статьи

Голованова, О. А. Процессы кристаллизации в модельных растворах биологических жидкостей человека / О. А. Голованова // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 25–30.

### Reference

Golovanova Olga A. Crystallization Processes in Model Solutions of Human Biological Fluids. *Herald of the Kola Science Center of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 25–30 (In Russ.).

## СКРЫТЫЕ БИОМАРКЕРЫ ПРОЦЕССОВ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В ГЕНЕЗИСЕ УРОЛИТОВ

**В. И. Каткова, О. Е. Амосова, С. Н. Шанина**

ФГБУН Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

### Аннотация

Приведены показатели заболеваемости уролителиазом у лиц, проживающих в Республике Коми, значения которых оказались гораздо выше общероссийских. В связи с наблюдаемым увеличением частоты встречаемости уролителиаза и сложностью биоминералогенезиса, требующего специфического подхода, в данной работе представлены исследования аминокислотного состава биоминералов с новых позиций. Выполнена проверка статистической значимости различий белковой составляющей разных типов уролитов. Проведенный статистический анализ аминокислотного состава трех типов уролитов (оксалатных, фосфатных, уратных) позволил выявить отличия в их белковой составляющей и ее связь с основными минеральными компонентами. Показаны специфические особенности состава и содержания аминокислот 28 уролитов в зависимости от минерального состава. На основе анализа литературы показано, что модуляторами процессов минерализации являются продукты защитных реакций в тканях с участием различных типов клеток крови, эндотелия, соединительной ткани и эпителиев.

### Ключевые слова:

*аминокислоты, уролиты, биоминералы, состав, биомаркеры, белки, критерий Краскела — Уоллиса, критерий Манна — Уитни, деревья классификации, дискриминантный анализ.*

## LATENT BIOMARKERS OF MINERAL-FORMING PROCESSES IN THE UROLITH GENESIS

**Valentina I. Katkova, Olga E. Amosova, Svetlana N. Shanina**

Institute of Geology of the Komi Science Centre of UB RAS, Syktyvkar

### Abstract

The urolithiasis morbidity rate of people living in the Komi Republic is given, which is significantly higher than all-Russian. In connection with the observed increasing of urolithiasis occurrence and the complexity of biomineralogenesis, which requires a specific approach, the paper presents studies of the amino acid composition of biominerals, based on a new approach. The statistical importance of differences in the protein component of different urolithic types, was checked out. The statistical analysis of amino acid composition of three urolithic types (oxalates, phosphates, urates) allowed revealing differences in their protein component and its connection with the basic mineral components. The peculiarities of the amino acid composition and content of 28 uroliths are shown depending on the mineral composition. On the basis of literature data, it is shown that modulators of mineralization are products of protective reactions in tissues involving different types of blood, endothelium, connective tissue, and epithelium cells.

### Keywords:

*amino acids, uroliths, biominerals, composition, biomarkers, proteins, Kruskal — Wallis criterion, Mann — Whitney criterion, classification trees, discriminant analysis.*



### Введение

Уролителиаз (мочекаменная болезнь) распространен на земном шаре неравномерно, частота его встречаемости может значительно различаться в стране в зависимости от района проживания.

Последние данные Госкомстата и Минздрава России свидетельствуют о том, что уровень заболеваемости уролителиазом

в Республике Коми возрастал, составив 2016 г. 8,52 случая на 1000 чел., а в целом по России — 5,98 [1]. По статистике, наибольшее число случаев мочекаменной болезни на 1000 чел. В Республике Коми приходится на Усинский (16 случаев), Усть-Цилемский, Койгородский, Прилузский районы (рис. 1). В динамике с 2007 по 2017 гг., по нашим наблюдениям, в этих районах неуклонно отмечался рост заболеваемости мочекаменной болезнью.

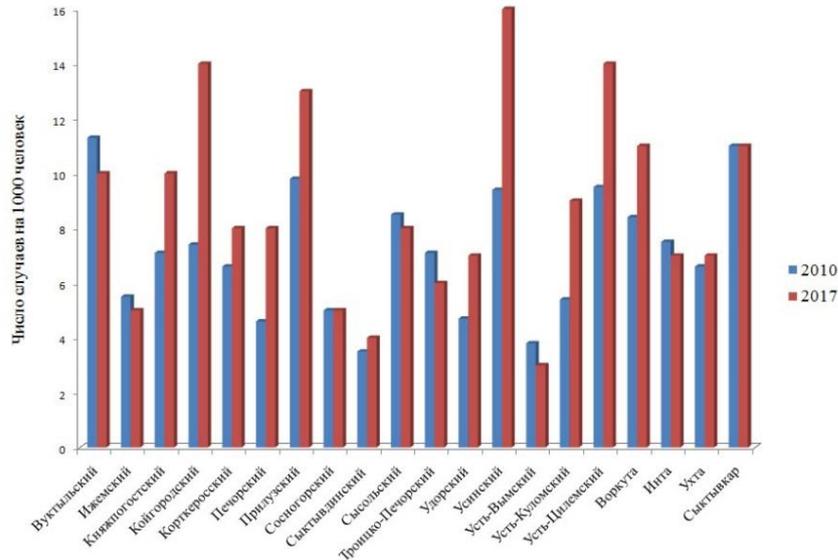


Рис. 1. Динамика роста заболеваемости уролитиазом в Республике Коми  
Fig. 1. The incidence of urolithiasis (urinary stone disease) in the Komi Republic

Эти показатели заболеваемости, отражающие проблемы взаимоотношений в системе «человек — среда», оказались значительно выше общероссийских. При исследовании 90 мочевого камней, полученных от лиц, проживающих в Республике Коми, было установлено, что на долю оксалатных уролитов приходится 67 %, фосфатных — 22 % (струвит-, апатит-, и ньюбериитсодержащие включительно) и уратных — 11 %. Струвит является наиболее распространенной минеральной фазой в фосфатных уролитах.

В исследованных образцах поляризационным, рентгеноструктурным и ИК-спектроскопическими методами идентифицированы 7 минералов: уэвеллит ( $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), уэдделлит ( $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), карбонатсодержащий апатит-( $\text{CaOH}$ ), струвит ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), ньюбериит ( $\text{MgHPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), мочевиная кислота ( $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$ ) и дигидрат мочевиной кислоты ( $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Все уролиты, состоящие из мочевиной кислоты, были обнаружены у мужчин, за исключением одного образца. Следует также заметить, что у них уролитиаз встречается чаще, чем у женщин. По данным анализа 60 анамнезов, фактор наследственности имел место у 11 человек при отсутствии сведений в 8 случаях.

В настоящее время отсутствует единая точка зрения на природу уролитиаза, поэтому лучшее понимание этого сложного механизма приведет к разработке новой стратегии не только профилактики и метафилактики, но и лечения этого заболевания. В последние десятилетия пристальное внимание уделялось изучению активности различных протеолитических ферментов у больных уролитиазом, а также их активаторов и ингибиторов в моче. Биохимические исследования показали, что основой матрицы уролитов, как правило, являются ингибиторы минерализации (уропонтин, уромодулин, бикунин, альбумин и др.), вырабатываемые почечным уротелием [2, 3]. Несмотря на многолетние исследования и большой объем новой информации о белках в составе органической матрицы, в литературе остаются неосвещенными вопросы, касающиеся биомаркеров минерализации [3].

Целью работы является выявление взаимосвязи минеральной фазы и аминокислотного состава в уролитах.

## Материал и методы исследований

Материалом исследования послужила коллекция уrolитов жителей Республики Коми. По химическому составу изученные мочевые камни были предварительно разделены на оксалатные (12 образцов), фосфатные и уратные (по 8 образцов).

Определение аминокислотного состава 14 белковых аминокислот (аланина (Ala), валина (Val), глицина (Gly), изолейцина (Ile), лейцина (Leu), аспарагиновой (Asp) и глутаминовой (Glu) кислоты, треонина (Thr), серина (Ser), фенилаланина (Phe), тирозина (Tyr), пролина (Pro), лизина (Lys), метионина (Met)) проводили по ранее разработанной методике [4]. Для извлечения аминокислот из образцов применяли кислотный гидролиз в 6М HCl при 105 °С в течение 12 час. Выделенные из гидролизата аминокислоты очищали от примесей и переводили в N-пентафторпропионовые изопропиловые эфиры соответствующих аминокислот. Идентификация аминокислот и определение их содержания в образцах выполнены на газовом хроматографе GC-17A (Shimadzu, капиллярная колонка Chirasil-L-Val).

## Результаты и обсуждение исследований

Как следует из обзора литературы [3], содержание матрицы составляет 2–5 % от сухого веса уrolита. Основная масса органической составляющей уrolитов приходится на долю белка (64 %). Кроме того, в составе матрицы идентифицированы гликозаминогликаны, липиды и вода.

Несмотря на значительные успехи в изучении органической матрицы уrolитов, до сих пор не обнаружено ни одного компонента, которому бы отводилась основополагающая роль в генезисе патогенных биоминералов [3]. В настоящее время для определения биомаркеров процессов минералообразования при уrolитиазе используются протеомные методы исследований, позволяющие определять белки, участвующие в сигнальных путях на молекулярном уровне [5–7]. Основным инструментом протеомики является метод двумерного гель-электрофореза в сочетании с масс-спектрометрией, который позволяет проанализировать несколько тысяч белков в одном образце. Предполагается, что расшифровка протеома поможет найти многие новые молекулярные маркеры и причины патологий человека различной природы. Следует отметить, что выявленное многообразие макромолекул гликопротеидов, по-видимому, обусловлено не только особенностью минерального состава конкремента, но и методами исследований [3].

Исследования 25 образцов (13 оксалатсодержащих, 12 апатитсодержащих) [5] показали, что уэвеллитсодержащие уrolиты содержат внутриклеточные элементы и структуры клеточных мембран (16 %), белки свертывающей системы (4 %). Взаимодействие почечных эпителиальных клеток с кристаллами оксалата кальция приводит к увеличению синтеза остеопонтина, бикунина, гепарансульфата и моноцитарного хемотаксического фактора-1 (MCP-1). (MCP-1) совместно с простагландином (PG) E2 при воспалительных процессах участвует в производстве внеклеточного матрикса. Кальциофосфаты имеют большой спектр воспалительных белков (40 %). Кальпротектин выявляется в каждом втором исследованном образце. Авторы установили более 100 белков и заключили, что органическая составляющая кальцийсодержащих камней не различается по составу, что поддерживает гипотезу о том, что образование камней индуцирует клеточный воспалительный ответ.

С использованием жидкостной хроматографии и масс-спектропии идентифицированы остеопонтин, уромодулин, альбумин, белок Z, белок S, протромбин, гемоглобин и гистон H4 в оксалатсодержащих уrolитах как наиболее распространенные белки [6]. Для мочекислых уrolитов особенностью является присутствие IgG из преимущественно гуанидиновой фракции — наиболее распространенного иммуноглобулина, обеспечивающего защиту от микроорганизмов и токсинов. Эпителиальные клетки почки, подвергающиеся воздействию кристаллов мочевой кислоты, синтезируют MCP-1. Моноциты и нейтрофилы, подвергнутые воздействию кристаллов урата, производят фактор некроза опухоли  $\alpha$ -интерлейкин-1 (IL-1), IL-6 и IL-8. Исследования показали, что уромодулин и альбумин часто обнаруживаются в камнях независимо

от минеральной фазы [8]. Идентифицировано 1059 белков при изучении двух оксалатсодержащих уролитов, состав которых отражает молекулярную и клеточную реакцию организма при воспалении, повреждении и восстановлении клеток [9]. Кроме того, выявлен набор, уникальный для каждого из этих двух образцов.

Таким образом, показано, что протеом уролитов представляет многообразный спектр белков, включая макромолекулы почечного и сывороточного происхождения — цитокины, формирующие комплекс защитных реакций в ответ на повреждение тканей токсинами различного происхождения, элементы клеточной мембраны и внутриклеточные белки эпителия мочевых путей.

Ранее проведенные исследования аминокислотного состава разных генетических типов биоминералов в организме человека показали, что различные минералы формируются в условиях повышенного содержания одного и того же набора аминокислот, выполняющих роль структурообразующих компонентов в генезисе патогенных твердых образований [10]. В дальнейшем исследования биоминеральных образований, в частности уролитов, были продолжены. На основании анализа 28 образцов нами выявлено, что общая сумма аминокислот может значительно колебаться в уролитах одного и того же минерального состава, например, в оксалатсодержащих образцах, сформированных в одной почке, разница в их содержании по общей сумме различается двукратно (рис. 2). Анализы аминокислотного состава проб, отобранных из разных частей уролитов, подтвердили неравномерную локализацию белковых веществ, о чем ранее упоминалось в работе [9].

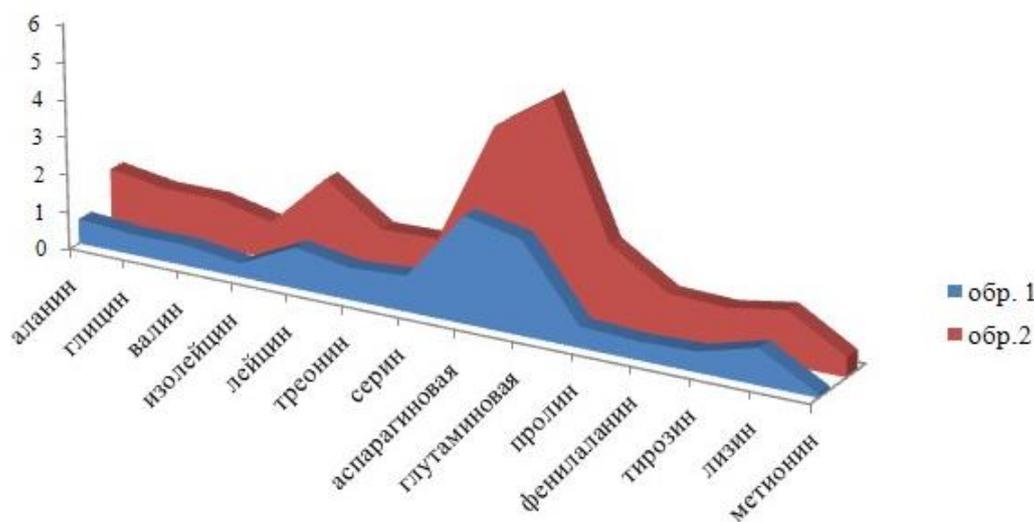


Рис. 2. Содержание аминокислот в оксалатсодержащих уролитах (уэвеллит + уэдделлит), сформированных в одной почке, мг/г

Fig. 2. Amino acids composition in oxalate uroliths (whewellite, weddellite), formed in one kidney, mg/g

При изучении 12 образцов **фосфатсодержащих уролитов (ФСУ)** были выделены три группы по содержанию аминокислот (АК): с высоким (29–46 мг/г, 3 образца), средним (18–22 мг/г, 4 образца) и низким (10–14 мг/г, 5 образцов). Анализы показали, что образцы характеризуются доминированием глутаминовой (12–22 %) и аспарагиновой (10–22 %) кислот, в 6 образцах отмечается высокое содержание лизина (9–13 %).

**Оксалатсодержащие уролиты (ОСУ)** по общей сумме АК разделились на две группы (8 образцов): с высоким содержанием (30–34 мг/г) и низким (13–27 мг/г) при отсутствии корреляции с минеральным составом. Образцы с высоким содержанием АК характеризуются значительными концентрациями аланина (14–29 %), во второй группе его содержания находятся на уровне 5–6 %. Во всех изученных образцах повышены содержания глутаминовой (12–20 %) и аспарагиновой кислоты (8–21 %). В трех случаях установлено высокое содержание пролина (12–15 %). Оксалаты

характеризуются самыми низкими концентрациями глицина (4–7 %). В фосфатных и оксалатных уролитах в единичных случаях установлено присутствие гидроксипролина, что указывает на возможное присутствие в их составе фибриллярных белков.

**Уратные мочевые камни (УМК).** Изучено 8 образцов, которые по содержанию АК разбиваются на две группы — с высоким (29–33 мг/г образца) и низким (12–20 мг/г) содержанием. Установлено, что среди индивидуальных аминокислот доминирует глицин (9–36 %). По сравнению с другими типами камней здесь меньше глутаминовой (9–12 %) и аспарагиновой кислоты (5–14 %). В 3 образцах установлены высокие содержания тирозина (9–11 %).

В связи с тем, что изученные типы уролитов невозможно отличить по содержанию и выделению доминирующих аминокислот, был проведен статистический анализ по относительным процентным содержаниям аминокислот одномерными (критерии Краскела — Уоллиса и Манна — Уитни) и многомерными методами («деревья классификации» и дискриминантный анализ) с использованием программного продукта Statistica 6.0. Критерием Краскела — Уоллиса установлено, что мочевые камни статистически значимо различаются по Gly, Ile, Asp, Glu, Lys ( $p < 0,05$ ). Для того чтобы установить, какие именно группы объектов различаются, был применен критерий Манна — Уитни. При попарном сравнении трех независимых групп образцов — мочекислых (уратных), фосфат- и оксалатсодержащих — использовался скорректированный критический уровень значимости, равный 0,017 [11]. Установлено, что по относительным содержаниям Gly и Glu фосфатные и оксалатные уролиты статистически значимо отличаются от мочекислых, но не различаются между собой. Содержание Asp статистически значимо различается только в УМК и ФСУ, но не различается для других пар мочевых камней.

Поскольку УМК очень хорошо отличаются от ФСУ и ОСУ по Gly и Glu, то сравнение только этих двух типов уролитов (фосфат- и оксалатсодержащих) проводилось с заданным уровнем значимости 0,05. Установлено, что они различаются статистически значимо по Ile, Pro, Phe, Lys.

Метод «деревья классификации» [12], проведенный по аминокислотному составу, показал 100 %-но правильную классификацию всех 28 образцов мочевых камней для всех типов ветвления, реализованных в программе Statistica 6.0 (дискриминантное одномерное ветвление для категориальных и порядковых предикторов, полный перебор для одномерных ветвлений по методу C&RT, дискриминантное ветвление по линейным комбинациям порядковых предикторов), с условием прекращения ветвлений — прямая остановка (ФАСТ) и априорными вероятностями (0,67 — оксалатные, 0,22 — фосфатные, 0,11 — уратные), заданными с учетом исходных частот встречаемости разных типов уролитов у жителей Республики Коми.

Самое простое и короткое дерево классификации, имеющее наименьшее число ошибок классификации в результате проведенной глобальной кросс-проверки, получено дискриминантным ветвлением по линейным комбинациям порядковых предикторов остановкой — прямая остановка (ФАСТ). Граф дерева показан на рис. 3.

Также для выявления статистически значимых различий аминокислотного состава образцов разных типов уролитов использовался традиционный метод — дискриминантный анализ [13]. В результате его применения установлено, что все три типа мочевых камней различаются по аминокислотному составу статистически значимо (статистика лямбда Уилкса 0,005 при уровне значимости  $p = 1,37E-09$ ). Для выявления информативных аминокислот, вносящих значимый вклад в различие образцов мочевых камней разных типов, был проведен дискриминантный анализ двумя методами — пошаговый с включением и пошаговый с исключением.

Наибольшая доля правильной классификации образцов (100 %) была получена методом пошаговый с включением. С его помощью выявлено 10 наиболее информативных аминокислот — Gly, Tyr, Lys, Leu, Ile, Ser, Thr, Phe, Glu, Pro. По этим аминокислотам были вычислены две канонические дискриминантные функции: первая дискриминантная функция очень хорошо различает оксалатные от других типов, но плохо — мочекислые и фосфатные уролиты.

Наибольший вклад в значение первой дискриминантной функции вносят Gly, Leu, Ile, Ser, Thr. Вторая дискриминантная функция очень хорошо различает фосфатные и уратные образцы. Наибольший вклад в значение второй дискриминантной функции вносят Trp и Phe. Все уролиты с помощью двух вычисленных канонических дискриминантных функций по аминокислотному составу белковой составляющей четко разделяются на три типа (рис. 4), определяемых основными минеральными компонентами. Таким образом, на основании статистического анализа показана существующая взаимосвязь аминокислотного состава с минеральной составляющей уролитов.

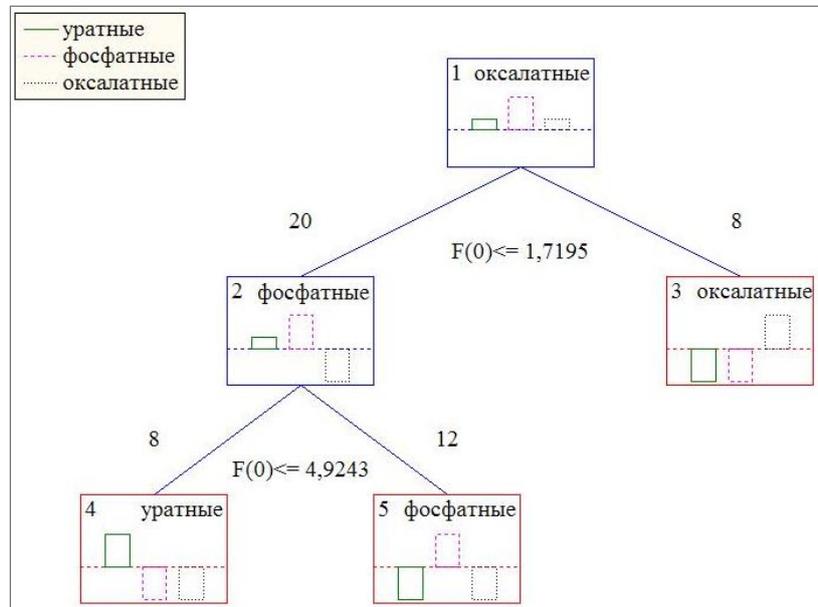


Рис. 3. Граф дерева классификации уролитов по составу 14 аминокислот  
 Fig. 3. The graph of classification tree of uroliths on composition of 14 amino acids

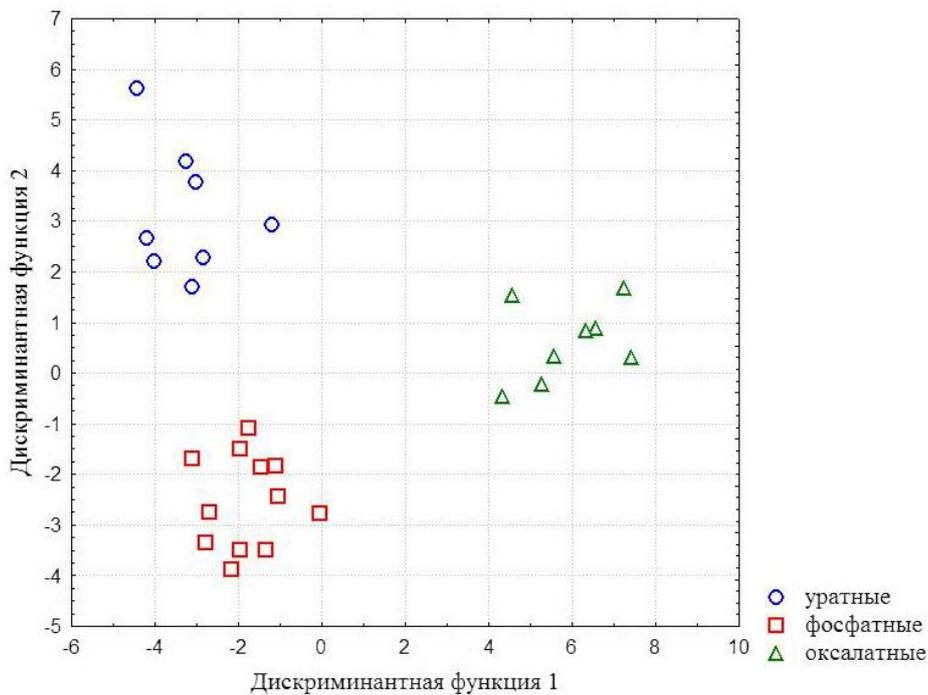


Рис. 4. Расположение образцов уролитов на плоскости, заданной первой и второй дискриминантными функциями  
 Fig. 4. Location of uroliths on the plane defined by the first and second discriminant functions

## Выводы

Установлен значительный рост заболеваемости уrolитиазом у жителей, проживающих в Республике Коми.

Анализ белковой составляющей 28 уrolитов, разделенных по химическому составу, позволил выделить единичные аминокислоты, доминирование которых специфично для конкретного типа уrolитов: в оксалатных наблюдаются относительно высокие концентрации аланина и пролина, в фосфатных — лизина, а в уратных — глицина и тирозина.

Статистическим анализом выявлены статистически значимые различия содержаний аминокислот разных типов уrolитов, что свидетельствует о взаимосвязи аминокислотного состава с минеральной составляющей мочевых камней.

На основании проведенных исследований и анализа литературы можно сделать вывод о том, что аминокислоты в составе органической составляющей уrolитов являются скрытыми биомаркерами в генезисе патогенных биоминералов.

Выявленные различия в аминокислотном составе органической составляющей уrolитов служат подтверждением многообразного спектра белков протеома органо-минеральных конкрементов. Дальнейшие исследования могли бы способствовать поиску специфических органических предикторов и биомаркеров уrolитиаза.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Заболеваемость всего населения России в 2016 году: стат. сб. М., 2017. Ч. II. 142 с.
2. Оксалатно-кальциевый нефролитиаз в детском возрасте / *Е. И. Прахин [и др.]* // Педиатрия. 2004. № 2. С. 67–70.
3. Nephrolithiasis: Molecular Mechanism of Renal Stone Formation and the Critical Role Played by Modulators / *K. P. Aggarwa [et al.]* // BioMed Res. Intern. 2013. P. 1–22.
4. Шанина С.Н., Голубев Е. А. Аминокислоты в шунгитах Карелии // Геохимия. 2010. № 9. С. 972–987.
5. Proteome of Human Calcium Kidney Stones / *B. K. Canales [et al.]* // Urology 76 (4). 2010. P. 13–20.
6. Comparison of matrix proteins in different types of urinary stone by proteomic analysis using liquid chromatography — tandem mass spectrometry / *K. Kaneko [et al.]* // Intern. J. Urology. 2012. P. 1–8.
7. Stock A., Yadav K. K., Gupta M. Analysis of Methods for Extracting Matrix Proteins from Human Kidney Stones // Urology & Nephrology Open Access J. 2017. Vol. 4 (1). P. 1–5.
8. Khan S. R. Crystal-induced inflammation of the kidneys: results from human studies, animal models, and tissue-culture studies // Clinical and Experimental Nephrology. 2004. P. 75–88.
9. Label-free proteomic methodology for the analysis of human kidney stone matrix composition / *F. A. Witzmann [et al.]* // Proteome Sci. 2016. С. 1–10.
10. Каткова В. И., Шанина С. Н., Боровкова Е. В. Аминокислоты: структурообразующие компоненты биоминералов и маркеры процессов биосинтеза // ЗРМО. 2008. № 5. С. 80–85.
11. Унзуряну Т. Н., Гржибовский А. М. Сравнение трех и более независимых групп с использованием непараметрического критерия Краскела — Уоллиса в программе STATA // Экология человека. 2014. № 6. С. 55–58.
12. Деревья классификации: электрон. учебник. URL: [http://www.statlab.kubsu.ru/sites/project\\_bank/trees.pdf](http://www.statlab.kubsu.ru/sites/project_bank/trees.pdf).
13. Клекка У. Р. Дискриминантный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989.

## Сведения об авторах

*Каткова Валентина Ивановна* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [katkova@geo.komisc.ru](mailto:katkova@geo.komisc.ru)

*Амосова Ольга Евгеньевна* — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [kramosova@geo.komisc.ru](mailto:kramosova@geo.komisc.ru)

*Шанина Светлана Николаевна* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

E-mail: [shanina@geo.komisc.ru](mailto:shanina@geo.komisc.ru)

## Author Affiliation

*Valentina I. Katkova* — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Institute of Geology of the Komi Science Centre of UB RAS, Syktyvkar

E-mail: [katkova@geo.komisc.ru](mailto:katkova@geo.komisc.ru)

*Olga E. Amosova* — PhD (Geology & Mineralogy), Researcher of the Institute of Geology of the Komi Science Centre of UB RAS, Syktyvkar

E-mail: [kramosova@geo.komisc.ru](mailto:kramosova@geo.komisc.ru)

*Svetlana N. Shanina* — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Institute of Geology of the Komi Science Centre of UB RAS, Syktyvkar  
E-mail: shanina@geo.komisc.ru

**Библиографическое описание статьи**

*Каткова, В. И.* Скрытые биомаркеры процессов минералообразования в генезисе уролитов / *В. И. Каткова, О. Е. Амосова, С. Н. Шанина* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 31–38.

**Reference**

*Katkova Valentina I., Amosova Olga E., Shanina Svetlana N.* Latent Biomarkers of Mineral-Forming Processes in the Urolith Genesis. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 31–38 (In Russ.).

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АССИМИЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВЫБРОСАМИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Г. М. Кашулина, Т. И. Литвинова, Н. М. Коробейникова

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

### Аннотация

Представлены результаты химического анализа ассимилирующих органов 7 видов растений: черники (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), вороники (*Empetrum hermaphroditum*), березы (*Betula* sp.), ивы (*Salix* sp.), сосны (*Pinus friesiana*) и ели (*Picea obovata*), произрастающих в окрестностях самого крупного на севере Европы источника выбросов SO<sub>2</sub> и тяжелых металлов. Результаты показали, что листья растений в локальной зоне обеднены важными питательными элементами Ca, Mg, особенно Mn, а также Al. В то же время в листьях растений локальной зоны повышены концентрации Si и Fe.

### Ключевые слова:

листья растений, главные питательные элементы, экстремальное загрязнение, медно-никелевое предприятие.

## INORGANIC PLANT CHEMISTRY UNDER EXTREME POLLUTION BY EMISSION FROM COPPER-NICKEL INDUSTRIAL COMPLEX

Galina M. Kashulina, Tatjana I. Litvinova, Natalia M. Korobeynikova

N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of KSC RAS

### Abstract

Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, P, Mn and S concentration in the leaves of 7 plant species (birch — *Betula* sp., willow — *Salix* sp., spruce — *Picea obovata*, pine — *Pinus friesiana*, blueberry — *Vaccinium myrtillus*, black crowberry — *Empetrum hermaphroditum*, cowberry — *Vaccinium vitis-idaea*) from nearby vicinity of the Northern Europe's largest SO<sub>2</sub> and heavy metals emission source are presented. Concentrations of Ca, Mg and, especially Mn, are lower in the most plant species near emission sources compared with background area. Still plants have sufficient level of P and K in their leaves. In contrast Si and Fe concentrations in the leaves of all plant species near industrial complex are higher compared with the background areas.

### Keywords:

plant leaves, major nutrients, extreme pollution, copper-nickel industrial complex.



### Введение

Как и все живые организмы, растения в процессе жизнедеятельности активно регулируют свой химический состав. Накопление химических элементов в растениях во многом определяется их генетическими особенностями, опробуемой частью (орган, ткань) и фазой развития [1]. Условия произрастания — плодородие

почвы, увлажнение и климат местности — также способны оказать влияние на химический состав растений.

Длительное воздействие выбросов медно-никелевого комбината «Североникель» значительно изменило условия произрастания растений в его ближайших окрестностях:

- в воздухе значительно повышены концентрации токсичного для растений SO<sub>2</sub> и техногенной пыли с экстремально высоким содержанием Ni и Cu [2];

- в атмосферных осадках в десятки тысяч раз повышены концентрации основных металлов-загрязнителей — Ni и Cu, а содержания сопутствующих загрязнителей — Cd, Pb, Hg, Zn, Mn — увеличены в десятки раз,  $\text{SO}_4^{2-}$  — до 10 раз [2];
- уровни концентраций основных металлов загрязнителей Ni и Cu в почвах в тысячу и более раз превысили фоновые значения, достигнув уровня перерабатываемых руд [3, 4], при этом концентрации доступных для растений Ca, Mg, K, Mn, наоборот, снижены [5].

Дополнительным стресс-фактором для растений на положительных элементах ландшафта может быть нарушение водного режима экосистемы в сторону иссушения [3].

Одной из задач комплексного почвенно-геоботанического мониторинга, начатого в 2001 г. [2–5] в локальной зоне воздействия выбросов комбината «Североникель», было выявление особенностей химического состава ассимилирующих органов семи наиболее распространенных видов растений, произрастающих в условиях длительного экстремально высокого уровня загрязнения выбросами этого предприятия.

### Материалы и методы исследований

Площадки мониторинга располагались на разных элементах ландшафта на расстоянии 1–17 км от комбината «Североникель» [2–5]. Смешанные образцы ассимилирующих органов семи наиболее распространенных видов растений — черники (*Vaccinium myrtillus*), брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), вороники (*Empetrum hermaphroditum*), березы (*Betula* sp.), ивы (*Salix* sp.), сосны (*Pinus friesiana*) и ели (*Picea obovata*) отбирались в 20-х числах августа 2002, 2005–2014 гг. У листопадных растений (береза, ива, черника) отбирались листья, у хвойных деревьев (сосна и ель) — хвоя второго года жизни, у вечнозеленых кустарничков (брусника, вороника) — листья с 2–3-летних побегов.

Содержание зольных элементов (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Mn, P, K и S) определялось по методике А. А. Поповцевой [6] в лаборатории почвоведения ПАБСИ КНЦ РАН. Для определения фоновых значений были использованы компилированные данные предшествующих исследований в ненарушенных экосистемах Кольского п-ова и Карелии [7–10]. Для оценки достоверности различий по содержанию элементов в ассимилирующих органах растений локальной зоны и фоновых условий использовали *U*-критерий Манна — Уитни\*.

### Результаты и их обсуждение

Оценка состояния экосистем на площадках мониторинга варьировалась в очень широком диапазоне: от полного разрушения (представлены техногенными пустошами с интенсивной эрозией почв) до умеренного с отсутствием только наиболее чувствительных к загрязнению компонентов — мхов и лишайников [3, 4]. Хотя и в различной степени угнетения (рис. 1), но все основные виды растений коренных северотаежных экосистем древесного (береза, ива, сосна и ель) и кустарничкового (вороника, черника и брусника) ярусов сохранились на многих обследованных площадках и после 70-летнего воздействия выбросов комбината «Североникель».

Направленность изменения и степень проявления обеднения или обогащения зольными элементами ассимилирующих органов растений локальной зоны относительно фона различна для разных видов растений. Основные статистические показатели распределения зольных элементов в листьях/хвое растений локальной зоны приведены в табл. 1. В табл. 2 на основе соотношения медиан концентраций оценена степень обеднения/обогащения ассимилирующих органов растений зольными элементами в локальной зоне относительно фоновых условий. Сравнение уровней концентраций зольных элементов в листьях/хвое растений локальной зоны с фоновыми значениями свидетельствует о том, что концентрации важных зольных элементов для большинства видов растений около источника выбросов ниже, чем в ненарушенных экосистемах региона. Расчеты *U*-критерия Манна — Уитни показали, что концентрация Ca в листьях

\* URL: [http://www.psychol\\_ok.ru/statistics/mann\\_whitney](http://www.psychol_ok.ru/statistics/mann_whitney).

березы, вороники, брусники и в хвое ели и сосны значимо ниже при  $p \leq 0,01$ , при этом для всех видов растений кроме вороники, для которой все значения в локальной зоне остаются в области естественного варьирования, различная доля значений опускается ниже минимального фонового значения. Наиболее высокая доля (40 %) значений ниже минимального фонового свойственна хвое ели, хотя минимальное значение концентрации Са в хвое ели в наборе данных, представляющих локальную зону, на 70 % ниже минимального фонового.



Рис. 1. Состояние растений (береза, сосна, брусника и вороника) в локальной зоне воздействия комбината «Североникель»

Fig. 1. The state of the vegetation near "Severonikel" industrial complex (birch, pine, cowberry and crowberry)

Концентрации Mg значимо ниже только для листьев березы и брусники, при этом все значения для березы, ели, брусники и черники остаются в области естественного варьирования. И только единичные значения для сосны и вороники опускаются ниже минимального фонового. Минимальные концентрации в листьях вороники и хвое сосны опускаются ниже минимального фонового значения на 38 и 3 % соответственно.

Концентрации K были значимо ниже только для березы, при этом в 42 % образцов листьев березы из локальной зоны концентрации опускаются ниже минимального фонового значения, а минимальная концентрация K в наборе данных из локальной зоны на 2500 мг/кг ниже фонового минимума. Для остальных видов растений концентрации K в листьях остаются в пределах естественного варьирования.

Наиболее значительное снижение во всех видах растений, по сравнению с ненарушенными экосистемами, в локальной зоне было отмечено для Mn. И это снижение для всех видов растений, согласно *U*-критерию Манна — Уитни, является значимым. При этом только для брусники и черники (род *Vaccinium*) концентрация Mn во всех образцах остается в пределах естественного варьирования. В 87,5 % образцов листьев березы, в 92 % образцов листьев вороники и в 32 %

образцов хвои сосны концентрации Mn опускаются ниже минимального фонового значения. Различия минимальных концентраций в наборах данных, представляющих локальную зону и фоновые условия, составляют 670, 284 184 мг/кг — для березы, вороники и сосны соответственно.

Таблица 1  
Table 1

Медиана и min-max-варьирование концентраций зольных элементов в листьях/хвое растений в локальной зоне воздействия комбината «Североникель»  
Median and minimum-maximum variation of elements concentrations in the leaves/needles of plants near «Severonikel» industrial complex

	P	Ca	Mg	Mn	K	S	Si
Береза (N = 48) Birch							
Медиана Median	2040	4065	2195	348	6383	634	684
Min-max	807–2645	2181–7121	1435–3829	147–1293	3411–10541	276–1720	402–1214
Ива (N = 26) Willow							
Медиана Median	2123	16284	3519	402	11699	1966	773
Min-max	985–3889	7329–21557	1990–6006	108–952	5403–25000	972–3668	476–1676
Сосна (N = 47) Pine							
Медиана	1168	2624	995	310	4167	360	677
Min-max	859–1618	1580–4719	386–1556	116–743	2855–6200	160–1148	163–1760
Ель (N = 15) Spruce							
Медиана Median	1325	4583	1272	410	5993	860	4357
Min-max	737–1966	1251–7143	856–1978	147–519	4407–8449	536–1376	2850–7005
Вороника (N = 36) Crowberry							
Медиана Median	985	4358	1535	224	5121	496	722
Min-max	589–2062	2867–6384	434–2593	116–712	2897–11662	192–1720	434–2965
Брусника (N = 5) Cowberry							
Медиана Median	689	4204	1260	789	3602	640	869
Min-max	628–920	3904–6571	989–1712	224–1107	3362–3727	428–2112	374–1462
Черника (N = 6) Blueberry							
Медиана Median	1308	7987	2572	1118	7267	1080	859
Min-max	1064–1774	3668–9052	1875–3636	441–1838	6258–9645	596–1500	523–1350

В то же время различия по концентрации другого важного питательного элемента — P между локальной зоной и фоновыми условиями для всех видов растений не являются значимыми. При этом концентрации элемента во всех образцах всех видов растений остаются в пределах естественного варьирования этого показателя.

Таблица 2

Table 2

Отношение медиан концентраций зольных элементов в ассимилирующих органах растений локальной зоны к медиане из набора данных, представляющих фоновые условия Кольского п-ова и Карелии

The ratio of the median concentrations of the elements in the plant leaves near industrial complex to the median of the data set representing background area of the Kola Peninsula and Karelia

Растение Plant	Si	Al	Fe	P	Ca	Mg	Mn	K	S
Береза Birch	1,55	0,37	1,22	1,04	0,45	0,67	0,24	0,75	1,09
Ива Willow	1,38	0,41	1,54	1,90	1,78	1,01	0,52	1,24	2,85
Сосна Pine	1,69	0,49	1,67	0,97	0,69	0,90	0,44	1,16	1,20
Ель Spruce	1,28	0,53	1,97	0,95	0,49	0,85	0,44	1,17	1,59
Вороника Crowberry	1,44	0,56	1,74	0,82	0,79	0,69	0,28	1,08	0,79
Брусника Cowberry	1,74	0,43	4,18	0,65	0,67	0,57	0,47	1,20	0,52
Черника Blueberry	1,23	0,41	4,10	0,80	1,15	1,13	0,54	1,05	0,94

Сера является важным элементом питания для растений, концентрации соединений которой как в атмосфере, так и в атмосферных осадках [2] в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» значительно повышены. Поскольку  $SO_2$  является основным компонентом выбросов. Несмотря на избыток соединений серы в окружающей среде, значимое повышение концентрации серы относительно фона было обнаружено только в хвое ели. Наличие единичных значений, превышающих верхний предел естественного варьирования, для березы, сосны и вороники свидетельствует о том, что в условиях экстремального загрязнения концентрации S в листьях растений могут быть повышены. Но их увеличение относительно невелико: при повышении концентрации  $SO_4^{2-}$  в атмосферных осадках в 6 раз [2] максимальное содержание серы в листьях березы и хвое сосны только на 30 % превышает максимум из набора данных, представляющих фоновые условия. Для вороники это превышение достигло 83 %.

Согласно имеющимся данным, ива в локальной зоне, несмотря на угнетение, достаточно успешно обеспечивает себя всеми важными элементами питания, кроме Mn и S. Оценка значимости различий по содержанию элементов в ее листьях была затруднена из-за небольшого числа образцов в наборе данных, представляющих ненарушенные экосистемы Кольского п-ова и Карелии.

Наиболее распространенные элементы земной коры — Si, Al, Fe потребляются растениями в небольших количествах. В локальной зоне воздействия выбросов комбината «Североникель» концентрации Si и Fe в ассимилирующих органах растений были повышены относительно фоновых условий, а Al, наоборот, значительно снижены. Уменьшение содержания Al и увеличение содержания Si и Fe в листьях/хвое растений относительно фона является значимой согласно U-критерию Манна — Уитни. Степень повышения концентрации для Si и обеднения для Al практически не зависит от вида растений, морфологических особенностей ассимилирующих органов (шероховатости, наличия опушения или воскового налета, т. е. тех особенностей, которые

способствовали бы удержанию почвенной или техногенной пыли) растений и положения в экосистеме относительно поверхности эродирующей почвы. Степень обогащения этими элементами не зависит и от продолжительности взаимодействия листьев с загрязненной атмосферой и атмосферными осадками. Например, с загрязненной атмосферой листья березы, ивы и черники взаимодействуют только в течение одного вегетационного сезона, двухлетняя хвоя сосны и ели — около 1,5 лет, а листья брусники и вороники в течение 2–3 лет. Что касается Fe, то его наиболее значительное обогащение свойственно листьям растений рода *Vaccinium* — брусники и черники.

Таким образом, направленность и степень изменения химического состава ассимилирующих органов растений в локальной зоне воздействия комбината «Североникель» по сравнению с ненарушенными экосистемами Кольского п-ова и Карелии зависит от вида растений и элемента. Листья/хвоя растений локальной зоны характеризуются низким содержанием важных питательных элементов Са и Mn. Концентрации других важных элементов — Р и К в большинстве видов растений локальной зоны сохранились на фоновом уровне. Концентрации S в листьях/хвое большинства видов растений остаются в пределах диапазона, свойственного ненарушенным экосистемам в регионе, несмотря на избыточное содержание ее соединений в воздухе и атмосферных осадках локальной зоны. В то же время в растениях локальной зоны повышается содержание Si и Fe. Видовые особенности реакции на экстремальные условия произрастания свидетельствуют о том, что растения в локальной зоне, несмотря на стресс, продолжают активно регулировать свой химический состав.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин В. Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 130 с.
2. Kashulina G., de Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the “Severonikel” industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis // *Atmospheric Environment*. 2014. Vol. 89. P. 672–682.
3. Кашулина Г. М. Экстремальное загрязнение почв выбросами медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове // *Почвоведение*. 2017. № 7. С. 860–873.
4. Кашулина Г. М. Мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами в окрестностях медно-никелевого предприятия на Кольском полуострове // *Почвоведение*, 2018. № 4. С. 493–505.
5. Влияние длительного экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель» на содержание доступных для растений Р, К, Са и Mg в подзолах / Г. М. Кашулина [и др.] // *Вестник МГТУ*. 2016. Т. 19, № 1/2. С. 184–193.
6. Поповцева А. А. Методическое руководство по ускоренному анализу золы растений. Сыктывкар: Коми филиала АН СССР, 1974. 83 с.
7. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера / Н. И. Казимиров [и др.]. Л.: Наука, 1977. 304 с.
8. Манаков К. Н., Никонов В. В. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера. Л.: Наука, 1981. 195 с.
9. Морозова Р. М. Минеральный состав растений лесов Карелии. Петрозаводск: Госкомиздат КАССР, 1991. 99 с.
10. Ушакова Г. И. Биогеохимическая миграция элементов и почвообразование в лесах Кольского полуострова. Апатиты, 1997. 150 с.

#### Сведения об авторах

*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

*Литвинова Татьяна Ивановна* — младший научный сотрудник лаборатории почвоведения Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН

E-mail: lita\_0409@mail.ru

*Коробейникова Наталья Михайловна* — младший научный сотрудник лаборатории почвоведения Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН

E-mail: lita\_0409@mail.ru

#### Author Affiliation

*Galina M. Kashulina* — Dr. Sci. (Bio), Chief Researcher of Laboratory of Soil Science, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of KSC RAS

E-mail: galina.kashulina@gmail.com

*Tatyana I. Litvinova* — Junior Researcher of Laboratory of Soil Science, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of KSC RAS

E-mail: [lita\\_0409@mail.ru](mailto:lita_0409@mail.ru)

*Nataliya M. Korobeynikova* — Junior Researcher of Laboratory of Soil Science, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of KSC RAS

E-mail: [lita\\_0409@mail.ru](mailto:lita_0409@mail.ru)

### **Библиографическое описание статьи**

*Кашулина, Г. М.* Особенности формирования химического состава ассимилирующих органов растений в условиях экстремального загрязнения выбросами медно-никелевого предприятия / *Г. М. Кашулина, Т. И. Литвинова, Н. М. Коробейникова* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 39–45.

### **Reference**

*Kashulina Galina M., Litvinova Tatjana I., Korobeynikova Natalia M.* Inorganic Plant Chemistry under Extreme Pollution by Emission from Copper-Nickel Industrial Complex. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 39–45 (In Russ.).

## ПОЛИСАХАРИДЫ ИЗ МОРСКОЙ БУРОЙ ВОДОРΟΣЛИ *FUCUS EVANESCENS* В КОРРЕКЦИИ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ПРИ ДИСЛИПИДЕМИИ

С. П. Крыжановский<sup>1</sup>, Л. Н. Богданович<sup>1</sup>, Е. В. Персиянова<sup>2</sup>, Т. Н. Звягинцева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУЗ Медицинское объединение ДВО РАН (МО ДВО РАН), г. Владивосток

<sup>2</sup>НИИ эпидемиологии и микробиологии имени Г. П. Сомова, г. Владивосток

<sup>3</sup>Тихоокеанский институт биоорганической химии им. Г. Б. Елякова ДВО РАН, г. Владивосток

### Аннотация

Изучено влияние сульфатированных полисахаридов из морской бурой водоросли *Fucus evanescens* в эксперименте на лабораторной модели алиментарной гиперхолестеринемии и в составе БАД «Фуколам» в клинике у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, ассоциированными с дислипидемией (ДЛП). В эксперименте на животных установлено, что фукоидан из *Fucus evanescens*, обладает липидкорректирующим, гепато-, ангиопротекторным, противовоспалительным и антиоксидантным действием. Установлено липидкорректирующее действие БАД «Фуколам» *per se* (само по себе) и в комбинации с аторвастатином у пациентов с ДЛП. Сочетанное применение БАД «Фуколам» и аторвастатина позволяет снижать дозу статина и усиливать его действие.

### Ключевые слова:

атеросклероз, ишемическая болезнь сердца (ИБС), дислипидемия, полисахариды бурых водорослей, фукоидан, препарат «Фуколам», липиды.

## POLYSACCHARIDES FROM THE SEA BROWN ALGAE *FUCUS EVANESCENS* IN THE CORRECTION OF METABOLIC DISORDERS DYSLIPIDEMIC

Sergey P. Kryzhanovsky<sup>1</sup>, Larisa N. Bogdanovich<sup>1</sup>,

Elena V. Persiyanova<sup>2</sup>, Tatyana N. Zvyagintseva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Medical Association of FEB RAS (MO FED RAS), Vladivostok

<sup>2</sup>Somov Institute of Epidemiology and Microbiology, Vladivostok

<sup>3</sup>Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Vladivostok

### Abstract

The influence of sulfated polysaccharides from the brown seaweed *Fucus evanescens* in the experiment on laboratory model alimentary hypercholesterolemia and in the form of the biologically active food supplement "Fukolam" in the clinic in patients with cardiovascular diseases associated with dyslipidemia (DLP), was studied. In an animal experiment, it was found that biologically active sulfated polysaccharides from *Fucus evanescens* has a lipid-regulating, hepatoprotective, angioprotective, anti-inflammatory and antioxidant effect. We have shown the corrective lipid exchange of biologically active food supplement "Fukolam" *per se* and in combination with atorvastatin in patients with DLP. The combined use of the "Fukolam" and atorvastatin allows to reduce the dose of statin and enhance its effect.

### Keywords:

atherosclerosis, ischemic heart disease (IHD), dyslipidemia, brown algae polysaccharides, fucoidan, Fukolam, lipids.

### Введение

Ведущее место среди причин развития сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) занимает атеросклероз [1]. Среди главных факторов риска вклад гиперхолестеринемии в преждевременную смерть населения России составляет 23 %, а в потерянные годы здоровой жизни — 12 % [2]. ДЛП страдает 65,2 % мужчин и 62,1 % женщин [3]. Заболевания, ассоциированные с дислипидемией, представлены не только атеросклерозом и его мультифокальными ишемическими проявлениями, но и конституциональным ожирением с метаболическими нарушениями в органах

пищеварительной, эндокринной и мочеполовой системы, а также заболеваниями, обусловленными развитием эндотелиальной дисфункции [4].

Медикаментозная терапия при ДЛП предусматривает применение различных синтетических липидснижающих препаратов, отличающихся по механизмам действия и степени выраженности влияния на различные показатели липидного обмена [5, 6]. «Золотым стандартом» липидснижающей терапии являются статины. При длительном применении, особенно в больших дозах, они способны вызывать ряд побочных эффектов. Поэтому остается актуальным поиск новых безопасных средств гиполипемической терапии, обладающих многокомпонентным действием.

Большой интерес в этом плане представляют сульфатированные полисахариды (СПС) морских водорослей, в частности фукоиданы — сульфатированные гомо- и гетерополисахариды, характеризующиеся отсутствием токсичности и побочных эффектов, обладающие широким спектром биологической активности, включая антидислипидемическую и антиоксидантную, в связи с чем их предлагают для коррекции дислипидемий [7, 8, 9–12].

В литературных источниках последних лет стали появляться сведения, касающиеся изучения биологической активности альгинатов — полисахаридов, выделенных из морских бурых водорослей, состоящих из остатков гулуруновой и мануруновой кислот, соединенных между собой 1→4 связью [13]. Данные, представленные в работах, свидетельствуют об иммуномодулирующей, цитокиндущирующей, энтеросорбционной активности альгинатов и возможности их применения в клинике. В последние годы были разработаны новые формы для перорального применения с использованием наночастиц, улучшающие его биодоступность [14].

Приведенные данные предопределяют возможность применения полисахаридов, выделенных из морских бурых водорослей при состояниях, сопровождающихся нарушениями со стороны иммунной системы и развитием воспаления, в том числе и при атеросклерозе и дислипидемиях.

Настоящая работа посвящена экспериментальным и клиническим аспектам изучения эффективности полисахаридов морской бурой водоросли *Fucus evanescens*.

## Материал и методика исследований

Фукоидан из бурой водоросли *Fucus evanescens* был выделен в соответствии с протоколом и структурно охарактеризован как описано ранее [15]. Анализ моносахаридного состава, показал, что полисахарид содержал следующие моносахариды (%): Fuc — 79, Xyl — 7, Man — 2, Gal — 12; соотношение сульфатов: Fuc:SO<sub>3</sub>- моль/моль — 1:(0,7-1).

БАД к пище «Фуколам» содержит сульфатированный полисахарид (фукоидан) и альгинат кальция из бурой водоросли *Fucus evanescens* (ТИ и ТУ 9284-065-02698170-2011). В 1 капсуле содержится 100 мг фукоидана и 400 мг альгината кальция.

Аторвастатин — гиполипидемическое средство из группы статинов, производитель — АО «КРКА», Словения. Применяли аторвастатин в дозах 10 и 20 мг/сут.

Экспериментальные и клинические исследования проведены в соответствии со стандартами Хельсинкской декларации 2008 г. и разрешением этических комитетов по биомедицинской этике. Экспериментальные исследования проведены совместно с сотрудниками научно-исследовательских институтов ДВО РАН и выполнены на 330 неинбредных мышцах самцах массой 16–18 г и 140 мышцах BALB/c. Для изучения влияния фукоидана на состояние антиоксидантной системы и липидного обмена использовали модель алиментарной гиперхолестеринемии. Исследование влияния фукоидана на уровень глюкозы проводили на модели аллоксанового диабета, индуцированного у мышей однократным внутривентральным введением диabetогенной дозы аллоксана (17 мг/100 г массы тела). В сыворотке крови определяли уровень глюкозы, содержание общего холестерина (ХС), триглицеридов, липопротеидов низкой (ЛПНП), очень низкой (ЛПОНП) и высокой плотности (ЛПВП). Параметры системы «перекисное окисление липидов —

антиоксидантная защита» оценивали, измеряя содержание малонового диальдегида в эритроцитах крови экспериментальных животных [16].

В клинических исследованиях материалом исследования служили данные субъективного и объективного обследования пациентов, протоколы электрокардиографии, ультразвукового исследования сердца (эхокардиографии), почек, брахиоцефальных сосудов с определением толщины комплекса интима-медиа (КИМ), суточного мониторирования артериального давления (СМАД), сыворотка, плазма, эритроциты крови обследуемых.

В исследовании приняли участие 149 пациентов мужского и женского пола с ИБС и ДЛП в возрасте от 45 до 70 лет (средний возраст  $60,0 \pm 1,3$  года). Среди обследованных лиц было 78 пациентов со стабильной стенокардией напряжения, в том числе 83 % — со II ФК стенокардии и 17 % — с III. У 52 пациентов диагностирована гипертоническая болезнь (ГБ) I–II стадии. Контрольную группу составили 40 практически здоровых мужчин ( $n = 14$ ) и женщин ( $n = 26$ ) того же возраста. Исследование имело параллельный дизайн, было простым, открытым, контролируемым. С использованием метода адаптивной рандомизации были сформированы четыре группы пациентов, принимающих:

I — 10 мг/сут аторвастатина ( $n = 36$ );

II — 20 мг/сут аторвастатина ( $n = 35$ );

III — «Фуколам» ( $n = 39$ );

IV — «Фуколам» + 10 мг/сут аторвастатина ( $n = 39$ ).

Все пациенты получали базисную терапию, назначаемую по показаниям. Пациенты находились на стационарном лечении, в дальнейшем наблюдались в поликлинике МО ДВО РАН в течение 6 месяцев. Результаты клинико-биохимических исследований оценивали до лечения и через 30, 90 и 180 дней, клинико-функциональных — до лечения и через 180 дней.

Комплексное исследование основных клинических и биохимических показателей крови проводили в соответствии с рекомендациями [17, 18], применяя современные валидные и информативные, стандартные методы. Кроме липидограммы, дополнительно определяли окисленные ЛПНП (ОкЛНП) и липопропротеиды (а)-ЛП(а) с помощью тест-систем для ИФА фирм Biomedica Medizinprodukte (Австрия), Human (Германия). Количественный анализ отдельных фракций нейтральных липидов (НЛ) и фракций фосфолипидов (ФЛ) в плазме крови проводили методом тонкослойной хроматографии. Исследования проводились с использованием микропланшетного фотометра  $\mu$ Quant (Bio-Tek, США) и биохимических анализаторов BioChem Analett (США), Stat Fax 450 (Awareness Technology, США).

Статистическую обработку материала проводили с использованием пакета прикладной программы Statistica 6.1.

## Результаты и их обсуждение

Экспериментальные исследования показали, что липидный спектр сывороток крови мышей с алиментарной ДЛП, получавших фукоидан из *Fucus evanescens*, характеризовался снижением уровня ХС на 26 % ( $p < 0,01$ ), ХС ЛПНП на 47 % ( $p < 0,05$ ), ТГ на 11 % ( $p < 0,001$ ), КА на 36 % ( $p < 0,001$ ) и повышением ХС ЛПВП на 37 % ( $p < 0,05$ ). Фукоидан снижал также уровень глюкозы в крови мышей с аллоксановым диабетом на 19,5 % ( $p < 0,05$ ).

## Метаболический статус пациентов с дислипидемией

У пациентов с ДЛП до лечения выраженная гиперхолестеринемия в 20 % случаев сочеталась с гипертриглицеринемией, в 26,7 % случаев — с гипохолестеринемией ЛПВП. Нарушения липидного обмена включали в себя и рассогласование состава НЛ и ФЛ плазмы крови. Показатели липидограмм до лечения представлены в таблицах 1, 2. Таким образом, результаты исследования пациентов до лечения свидетельствовали о системном характере нарушений липидного метаболизма и определили необходимость проведения их адекватной терапии.

Таблица 1

Table 1

Показатели липидного обмена у пациентов с ДЛП при разных схемах терапии до и после лечения через 180 дней

Indicators of lipid metabolism in patients with DLP with different regimens before and after treatment after 180 days

Показатели Indicators	Контрольная группа (n = 40) Control group (n = 40)	Группа I A10 (n = 36) Group I A10 (n = 36)	Группа II A20 (n = 35) Group II A20 (n = 35)	Группа III Ф (n = 39) Group III F (n = 39)	Группа IV A10 + Ф (n = 39) Group IV A10 + F (n = 39)
ХС, ммоль/л	4,44 ± 0,10	***6,14 ± 0,19	***6,43 ± 0,18	***6,55 ± 0,19	***6,28 ± 0,19
		**5,20 ± 0,20**	4,5 ± 0,20***	*4,88 ± 0,19***	<sup>3</sup> 4,21 ± 0,17***
ТГ, ммоль/л	1,16 ± 0,07	1,25 ± 0,16	1,28 ± 0,15	1,46 ± 0,15	1,23 ± 0,14
		1,07 ± 0,10	1,16 ± 0,10	1,40 ± 0,09	1,20 ± 0,15
ХСЛПНП, ммоль/л	2,65 ± 0,06	***4,06 ± 0,18	***4,33 ± 0,19	**4,40 ± 0,22	***4,33 ± 0,12
		***3,47 ± 0,15**	2,60 ± 0,19***	<sup>1</sup> 2,78 ± 0,21***	* <sup>1</sup> 2,34 ± 0,14***
ХСЛПВП, ммоль/л	1,23 ± 0,04	1,31 ± 0,09	1,51 ± 0,12	1,45 ± 0,10	1,38 ± 0,15
		1,19 ± 0,05	1,39 ± 0,06	1,40 ± 0,03	1,29 ± 0,07
ОкЛНП, мкг/мл	1,52 ± 0,13	**3,01 ± 0,54	1,98 ± 0,39	<sup>1</sup> 2,23 ± 0,63	* <sup>3</sup> 2,10 ± 0,40
		2,32 ± 0,35*	1,57 ± 0,16	1,80 ± 0,36*	1,56 ± 0,29**
КА	2,67 ± 0,12	*3,81 ± 0,30	*3,62 ± 0,39	*3,78 ± 0,37	***3,95 ± 0,32
		*3,33 ± 0,14	2,36 ± 0,18**	<sup>1</sup> 2,42 ± 0,17***	<sup>3</sup> 2,32 ± 0,20***
апо А1, мг/дл	141,8 ± 3,75	142,38 ± 6,51	128,73 ± 4,86	153,98 ± 5,24	138,41 ± 6,45
		144,95 ± 6,16	141,80 ± 3,75**	<sup>1</sup> 164,27 ± 6,81 <sup>1</sup>	164,00 ± 5,86***
апо В, мг/дл	119,6 ± 3,34	137,33 ± 8,39	**142,99 ± 5,46	*156,72 ± 5,56	***151,95 ± 7,54
		124,63 ± 4,26	119,59 ± 3,34**	135,68 ± 3,75* <sup>2</sup>	132,26 ± 7,77* <sup>2</sup>
апо В/ апо А1, ед.	0,84 ± 0,02	*0,98 ± 0,07	***1,11 ± 0,03	*1,03 ± 0,05	***1,15 ± 0,07
		0,87 ± 0,03*	0,84 ± 0,02***	0,84 ± 0,04**	0,81 ± 0,05***
ЛП(а), мг/дл	23,33 ± 1,75	***46,19 ± 6,37	***54,14 ± 6,78	**72,13 ± 21,73	***59,94 ± 11,70 <sup>2</sup>
		***43,49 ± 5,09	***40,04 ± 2,71**	*50,34 ± 10,23	**36,94 ± 4,97**

Примечания. Значимость различий: слева от показателя — в сравнении с контрольной группой, справа от показателя — до и после лечения. \*\*\* —  $p < 0,001$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \* —  $p < 0,05$ . Цифры слева от показателя — с группой 1, с группой сравнения 2; <sup>3</sup> —  $p < 0,001$ ; <sup>2</sup> —  $p < 0,01$ ; <sup>1</sup> —  $p < 0,05$ .

ХС — холестерин, ТГ — триглицериды, ХС ЛПНП — ХС липопротеинов низкой плотности, ХС ЛПВП — ХС липопротеинов высокой плотности, ОкЛНП — окисленные липопротеины низкой плотности, КА — коэффициент атерогенности, апо-аполипопротеины, ЛП — липопротеины.

Notes. Significance of differences: to the left of the indicator — in comparison with the control group, to the right of the indicator — before and after treatment. \*\*\* —  $p < 0,001$ ; \*\* —  $p < 0,01$ ; \* —  $p < 0,05$ . The figures to the left of the indicator are with group 1, and with comparison group 2. <sup>3</sup> —  $p < 0,001$ ; <sup>2</sup> —  $p < 0,01$ ; <sup>1</sup> —  $p < 0,05$ .

HC — cholesterol, TG — triglycerides, LDL — HC of low-density lipoproteins, HDL — HC of high-density lipoproteins, LDL — oxidized low-density lipoproteins, KA — atherogenic coefficient, APO-apolipoproteins, LP — lipoproteins.

### Оценка действия БАД «Фуколам»

В процессе работы был проведен сравнительный анализ эффективности БАД «Фуколам» per se (сам по себе) и аторвастатина у пациентов с ДЛП. К концу срока наблюдения (180 дней) «Фуколам» проявил гипохолестеринемическое действие, о чем свидетельствует снижение атерогенных фракций ХС и ХС ЛПНП на 25,5 и 36,8 % соответственно ( $p < 0,001$ ). Показатели липидограммы представлены

в табл. 1. Эффект БАД «Фуколам» на атерогенные фракции сыворотки крови оказался сопоставим с действием аторвастатина в дозе 10 мг.

Включение БАД «Фуколам» *per se* в комплекс с базовой терапией способствовало увеличению доли эфиров жирных кислот (ЭЖК) на фоне снижения эфиров ХС (ЭХС) (табл. 2).

Таблица 2  
Table 2

Показатели содержания нейтральных липидов и фосфолипидов в сыворотке крови пациентов с ДЛП при разных схемах терапии до и после лечения через 180 дней  
Indicators of content of neutral lipids and phospholipids in the serum of patients with DLP with different therapy regimens before and after treatment after 180 days

Показатели Indicators	Контрольная группа (n = 40) Control group (n = 40)	Группа 1 A10 (n = 36) Group I A10 (n = 36)	Группа 2 A20 (n = 35) Group II A20 (n = 35)	Группа 3 Ф (n = 39) Group III F (n = 39)	Группа 4 A10 + Ф (n = 39) Group IV A10 + F (n = 39)
СЖК, %	16,65 ± 0,40	15,41 ± 0,21	15,74 ± 0,21	16,99 ± 0,49	15,71 ± 0,56
		16,80 ± 0,15	20,26 ± 0,24 <sup>***</sup>	16,32 ± 0,35 <sup>2</sup>	16,30 ± 0,19 <sup>3</sup>
ЭЖК, %	15,65 ± 0,49	14,75 ± 0,08	14,71 ± 0,20	14,59 ± 0,53	15,15 ± 0,47
		16,11 ± 0,14	16,48 ± 0,21 <sup>***</sup>	16,37 ± 0,73 <sup>*</sup>	<sup>*</sup> 19,28 ± 0,50
ЭХС, %	28,75 ± 0,37	<sup>***</sup> 30,50 ± 0,43	<sup>***</sup> 30,17 ± 0,18	<sup>***</sup> 31,44 ± 0,53	<sup>***</sup> 31,64 ± 0,38
		28,20 ± 0,22 <sup>***</sup>	20,82 ± 0,30 <sup>***</sup>	<sup>**</sup> 26,42 ± 0,76 <sup>***,2</sup>	<sup>*</sup> 26,87 ± 0,32 <sup>***,3</sup>
ФХ, %	46,14 ± 0,76	<sup>**</sup> 41,11 ± 0,20	<sup>**</sup> 41,76 ± 0,60	<sup>***</sup> 40,27 ± 0,67	<sup>***</sup> 40,82 ± 0,59
		43,00 ± 0,20 <sup>***</sup>	43,01 ± 0,45 <sup>*</sup>	44,19 ± 0,65 <sup>***</sup>	44,33 ± 0,56 <sup>***</sup>
ЛФХ, %	11,00 ± 0,32	<sup>***</sup> 15,17 ± 0,09	<sup>***</sup> 14,75 ± 0,32	<sup>***</sup> 15,27 ± 0,41	<sup>***</sup> 14,87 ± 0,43
		13,00 ± 0,11 <sup>***</sup>	13,28 ± 0,33 <sup>**</sup>	11,10 ± 0,20 <sup>***</sup>	<sup>3</sup> 11,21 ± 0,17 <sup>***</sup>
СМ, %	13,00 ± 0,49	<sup>***</sup> 15,37 ± 0,16	14,93 ± 0,19	<sup>***</sup> 15,68 ± 0,26	<sup>***</sup> 15,05 ± 0,17
		13,91 ± 0,12 <sup>***</sup>	14,03 ± 0,20 <sup>**</sup>	12,92 ± 0,34 <sup>***</sup>	13,50 ± 0,32 <sup>***</sup>
ФЭ, %	8,44 ± 0,42	<sup>***</sup> 6,27 ± 0,09	<sup>***</sup> 5,82 ± 0,17	<sup>**</sup> 6,61 ± 0,33	<sup>**</sup> 6,24 ± 0,41
		7,83 ± 0,09 <sup>***</sup>	6,52 ± 0,17 <sup>**</sup>	8,62 ± 0,32 <sup>***,2</sup>	7,81 ± 0,18 <sup>2</sup>
ЛФЭ, %	6,13 ± 0,43	<sup>***</sup> 8,71 ± 0,09	<sup>***</sup> 8,37 ± 0,18	<sup>***</sup> 8,65 ± 0,27	<sup>***</sup> 8,98 ± 0,15
		6,31 ± 0,09 <sup>**</sup>	6,78 ± 0,15 <sup>***</sup>	6,11 ± 0,13 <sup>**</sup>	5,97 ± 0,17 <sup>3</sup>
ФС, %	5,00 ± 0,32	<sup>***</sup> 3,43 ± 0,09	<sup>**</sup> 3,91 ± 0,09	<sup>***</sup> 3,10 ± 0,35	<sup>**</sup> 3,75 ± 0,26
		4,60 ± 0,10 <sup>***</sup>	8,88 ± 0,21 <sup>***</sup>	5,23 ± 0,29 <sup>***,3</sup>	5,10 ± 0,23 <sup>***,3</sup>
ФИ, %	6,10 ± 0,11	<sup>***</sup> 4,83 ± 0,07	<sup>**</sup> 5,28 ± 0,11	<sup>*</sup> 5,37 ± 0,26	<sup>**</sup> 5,24 ± 0,30
		5,48 ± 0,14 <sup>***</sup>	5,65 ± 0,12 <sup>*</sup>	5,65 ± 0,26	5,92 ± 0,20 <sup>*</sup>
ДФГ, %	6,19 ± 0,24	<sup>***</sup> 5,11 ± 0,14	<sup>***</sup> 5,18 ± 0,22	<sup>***</sup> 5,05 ± 0,11	<sup>***</sup> 5,05 ± 0,11
		5,87 ± 0,06 <sup>***</sup>	5,85 ± 0,54	6,20 ± 0,36 <sup>**</sup>	6,17 ± 0,15 <sup>***</sup>

*Примечания.* Значимость различий показателей: слева от показателя — в сравнении с контрольной группой, справа от показателя — до и после лечения; <sup>\*\*\*</sup> —  $p < 0,001$ ; <sup>\*\*</sup> —  $p < 0,01$ ; <sup>\*</sup> —  $p < 0,05$ . Цифрой слева от показателя — с группой сравнения 1, справа — с группой сравнения 2; <sup>3</sup> —  $p < 0,001$ ; <sup>2</sup> —  $p < 0,01$ ; <sup>1</sup> —  $p < 0,05$ .

СЖК — свободные жирные кислоты, ЭЖК — эфиры жирных кислот, ЭХС — эфиры холестерина, ФХ — фосфатидилхолин, ЛФХ — лизофосфатидилхолин, СМ — сфингомиелин, ФЭ — фосфатидилэтанолламин, ЛФЭ — лизофосфатидилэтанолламин, ФС — фосфатидилсерин, ФИ — фосфатидилинозит, ДФГ — дифосфатидилглицерин.

*Notes.* Significance of differences in indicators: to the left of the indicator — in comparison with the control group, to the right of the indicator — before and after treatment; <sup>\*\*\*</sup> —  $p < 0,001$ ; <sup>\*\*</sup> —  $p < 0,01$ ; <sup>\*</sup> —  $p < 0,05$ . The figure to the left of the indicator — with the comparison group 1, to the right — with the comparison group 2; <sup>3</sup> —  $p < 0,001$ ; <sup>2</sup> —  $p < 0,01$ ; <sup>1</sup> —  $p < 0,05$ .

FFA — free fatty acids, EFA — esters of fatty acids, EKHS — cholesterol esters, FKH — phosphatidylcholine, FKH — lysophosphatidylcholine, SM — sphingomyelin, PE — phosphatidylethanolamine, LPE — lysophosphatidylethanolamine, PS — phosphatidylserine, FI — phosphatidylinositol, DPG — diphosphatidylglycerol.

Под действием «Фуколама» содержание метаболически активных СЖК — основных метаболических ресурсов миокарда поддерживалось на исходно нормальном уровне. «Фуколам» *per se* оказывал однонаправленное с аторвастатином (но более выраженное) воздействие на спектр ФЛ сыворотки крови, способствовал снижению лизоформы ФЛ — ЛФХ и ЛФЭ, что обусловлено активацией фолипазы А.

### Оценка действия БАД «Фуколам» *per se* в комплекс с аторвастатином в дозе 10 мг/сут

Комбинированная терапия статинами и БАД «Фуколам» в дозе 10 мг у пациентов с ДЛП в процессе лечения не оказала отрицательного влияния на уровень АД, а также на показатели, характеризующие ремоделирование миокарда и сосудов. Показатели липидного обмена представлены в табл. 1. У пациентов 4-й группы, получавших статины и БАД «Фуколам», через 180 дней уровень ХС в плазме крови снизился на 32,9 % ( $p < 0,001$ ), ХС ЛПНП на 45,9 % ( $p < 0,001$ ) относительно исходных значений, достигнув контрольных уровней. Отмечалось снижение уровня оЛНП на 26 ( $p < 0,01$ ) и ЛП(а) на 47 % ( $p < 0,001$ ). В результате снижения проатерогенных фракций на фоне сохранившегося на нормальном уровне ХС ЛПВП произошло увеличение коэффициента ХС/ЛПВП на 58,6 % ( $p < 0,001$ ) и снижение ХС/не-ЛПВП на 40,4 % ( $p < 0,001$ ), а также интегрального показателя КА на 41 % ( $p < 0,01$ ), обеспечивающее достижение референсных значений показателей. У пациентов этой группы отмечалось увеличение апоА1 на 18 % ( $p < 0,001$ ), снижение апоВ на 13 % ( $p < 0,05$ ) и соотношения апоВ/апоА1 на 30 % ( $p < 0,001$ ), демонстрирующее уменьшение сердечно-сосудистого риска. У пациентов, принимавших «Фуколам» в комбинации с аторвастатином, уже к 30-му дню терапии отмечалась выраженная динамика большинства показателей ФЛ (ФХ, ЛФХ, СМ, ФС, ФИ) и ЭХС с последующей стабилизацией их на достигнутом уровне (табл. 2)

Результаты комбинированного применения «Фуколама» и аторвастатина в дозе 10 мг были сопоставимы с действием аторвастатина *per se* в дозе 20 мг, что позволяет вдвое уменьшить дозу лекарственного препарата.

### Выводы

1. Экспериментальные исследования позволили установить, что фукоидан из *Fucus evanescens* обладает липидкорректирующим, гепато- и ангиопротекторным, противовоспалительным и антиоксидантным действием, что послужило основанием для его изучения в клинической практике.

2. У пациентов с ДЛП гиполипидемическое действие БАД «Фуколам» реализуется путем постепенного снижения содержания ХС, ХС ЛПНП, ТГ в сыворотке крови до уровня контроля. Эффективность препарата сопоставима с таковой аторвастатина в суточной дозе 10 мг, что дает возможность нормализовать липидный профиль крови у пациентов с ДЛП в тех случаях, когда статины не применяются.

3. Результаты комбинированного применения БАД «Фуколам» и аторвастатина в дозе 10 мг сопоставимы с действием аторвастатина *per se* в дозе 20 мг, что позволяет вдвое уменьшить дозу лекарственного препарата.

4. Включение БАД «Фуколам» в комплекс с базовой терапией пациентов с ДЛП обеспечивает уменьшение атерогенных свойств крови (снижение коэффициентов ХС не-ЛПВП и КА, повышение ХС ЛПВП-отношения) вследствие снижения окисленных ЛПНП.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов Д. М., Лупанов В. П. Некоторые аспекты патогенеза атеросклероза // Атеросклероз и дислипидемии. 2011. № 1. С. 48–56.
2. National cholesterol education program (NCEP) III / Adult Treatment Panel (ATP) // JAMA. 2001. Vol. 285. P. 2486–2497.
3. Бокерия Л. А., Оганов Р. Г. Все о холестерине: нац. докл. М.: НЦССХ им. А. Н. Бакулева РАМН, 2010. 180 с.
4. Ойноткинова О. Ш., Дедов Е. И. Дислипидемия и ассоциированные метаболические заболевания // Архив внутр. мед. 2011. № 10. С. 68–73.
5. Аронов Д. М., Лупанов В. П. Атеросклероз и коронарная болезнь сердца. М., 2009. 248 с.
6. Karourchal F., Surendiran G., Chen L. Animal models of atherosclerosis // World J. Clin. Cases. 2014. Vol. 2, No. 5. P. 126–132.
7. Крыжановский С. П., Запорожец Т. С., Беседнова Н. Н. Биологическая активность сульфатированных полисахаридов морских водорослей // Атеросклероз. 2013. Т. 9, № 1. С. 77–78.
8. Фукоиданы — сульфатированные полисахариды бурых водорослей. Структура, ферментативная трансформация и биологические свойства: монография / отв. ред. Н. Н. Беседнова, Т. Н. Звягинцева. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 148–187.
9. Сульфатированные полисахариды водорослей — модификаторы функций врожденного иммунитета при бактериальных, вирусных и паразитарных инфекциях / Н. Н.

*Беседнова [и др.]* // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131, № 5. С. 503–517. **10.** Противоопухолевые эффекты сульфатированных полисахаридов из морских водорослей / Т. С. Запорожец [и др.] // Успехи современной биологии. 2013. Т. 133, № 4. С. 378–391. **11.** Patel S. Therapeutic importance of sulfated polysaccharides from seaweeds: updating the recent findings // Biotech. 2012. Vol. 2, No. 3. P. 171–185. **12.** Wang H., Fu Z. M., Han C. C. The potential application of marine bioactives against diabetes and obesity // Am. J. Marin. Sci. 2014. Vol. 2, No. 1. P. 1–8. **13.** Harikrishnan, R. Immunomodulatory effect of sodium alginate enriched diet in kelp grouper *Epinephelus bruneus* against *Streptococcus iniae* / R. Harikrishnan, M. Kim, J. Kim // Fish Shellfish Immunol. 2011. Vol. 30, No. 2. P. 543–549. **14.** Determination of alginic sodium diester orally disintegrating tablets / L. J. Ren, F. Su, T. Zhang, L. Yu // Chin. J. Pharm. 2008. No. 39. P. 853–854. **15.** Vishchuk O. S., Ermakova S. P., Zvyagintseva T. N. The fucoidans from brown algae of Far-Eastern seas: Anti-tumor activity and structure-function relationship // Food. Chem. 2013. Vol. 141. P. 1211–1217. **16.** Новгородцева Т. П., Эндакова Э. А., Янькова В. И. Руководство по методам исследования параметров системы «перекисное окисление липидов — антиоксидантная защита» в биологических жидкостях. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 2003. 79 с. **17.** Диагностика и коррекция нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза: рос. рекоменд., V пересмотр, 2011 // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2012. № 4: [прил. 1]. **18.** Рекомендации ЕОКЕОА по диагностике и лечению дислипидемий. 2016 // Рос. кардиол. журн. 2017. № 5. С. 71–77.

### Сведения об авторах

*Крыжановский Сергей Петрович* — доктор медицинских наук, главный врач Медицинского объединения ДВО РАН

E-mail: priemmodvoran@mail.ru

*Богданович Лариса Николаевна* — доктор биологических наук, заместитель главного врача по научной работе Медицинского объединения ДВО РАН

E-mail: lnbogd@mail.ru

*Персиянова Елена Викторовна* — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунологии НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Г. П. Сомова

E-mail: helen-pers@yandex.ru

*Звягинцева Татьяна Николаевна* — доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории химии ферментов Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г. Б. Елякова ДВО РАН

E-mail: zvyag@piboc.dvo.ru

### Author Affiliation

*Sergey P. Kryzhanovskiy* — Dr. Sci. (Medical Sciences), Chief Physician of the Medical Association of FEB RAS (MO FED RAS)

E-mail: priemmodvoran@mail.ru

*Larisa N. Bogdanovich* — Dr. Sci. (Bio), Deputy Chief Physician on Scientific Work of the Medical Association of FEB RAS (MO FED RAS)

E-mail: lnbogd@mail.ru

*Elena V. Persyanova* — PhD (Bio), Senior Researcher, Immunology Laboratory, Somov Institute of Epidemiology and Microbiology

E-mail: helen-pers@yandex.ru

*Tatyana N. Zvyagintseva* — Dr. Sci. (Chemistry), Professor, Leading Researcher, Laboratory of Enzyme Chemistry, Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry

E-mail: zvyag@piboc.dvo.ru

### Библиографическое описание статьи

*Крыжановский, С. П.* Полисахариды из морской бурой водоросли *Fucus Evanesceus* в коррекции метаболических нарушений при дислипидемии / С. П. Крыжановский [и др.] // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 46–52.

### Reference

*Kryzhanovsky Sergey P., Bogdanovich Larisa N., Persyanova Elena V., Zvyagintseva Tatyana N.* Polysaccharides from the Sea Brown Algae *Fucus Evanesceus* in the Correction of Metabolic Disorders Dyslipidemic. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 46–52 (In Russ.).

## ХОЛЕЛИТЫ У ЖИТЕЛЕЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ: РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ, СОСТАВ, СТРУКТУРА, ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ\*

**Е. В. Машина**

ФГБУН Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

### Аннотация

В данной работе представлены сведения по заболеваемости холелитиазом у жителей Республики Коми. Приведены общие данные по составу, строению, предрасполагающим факторам возникновения холелитов.

### Ключевые слова:

*холелиты, холелитиаз, факторы, холестерин, билирубин.*

## GALLSTONE IN INHABITANTS OF THE REPUBLIC OF KOMI: PREVALENCE, COMPOSITION, STRUCTURES, FACTORS OF FORMATION

**Ekaterina V. Mashina**

Institute of Geology of the Komi Science Centre of UB RAS, Syktyvkar

### Abstract

We present the data on incidence of cholelithiasis among residents of the Komi Republic. The data on composition, structure, predisposing factors of occurrence of gallstone are given.

### Keywords:

*gallstones, cholelithiasis, factors, cholesterol, bilirubin.*



### Введение

На образование желчнокаменной болезни оказывают влияние факторы внутренней и внешней среды [1–4]. Серьезность холелитиаза заключается в том, что данное заболевание приводит к росту до- и послеоперационной нетрудоспособности и это представляет собой серьезную экономически затратную и социально-медицинскую проблему [5]. Точно определить время начала образования холелитов довольно трудно, поскольку первые клинические проявления отнюдь не совпадают со временем инициации камней [1]. Желчные камни являются вредными, болезнетворными, хотя в целом формирование патологических биоминеральных образований — защитная функция организма. Данные образования содержат не только особенные органические вещества, являющиеся специфическими продуктами деятельности живого организма, такие как билирубин и холестерин, но и минералы, которые известны в природе (карбонат кальция, фосфат кальция и др.) [6]. До сих пор четко не определены стратегии профилактики и эффективные нехирургические методы лечения холелитиаза. Это наталкивает исследователей, продолжать изучать холелиты и по сей день.

### Материал исследования

В данной работе представлены сведения по заболеваемости холелитиазом у жителей Республики Коми, основанные на статистических данных информационно-аналитического центра регионального Минздрава. Приведены общие данные о составе и строении холелитов жителей региона (более 100 образцов) из научных работ, ранее опубликованных автором. Рассматриваются факторы возникновения холелитов.

---

\*Работа выполнена в рамках темы НИР ИГ Коми НЦ УрО РАН на 2018–2020 гг. ГР № АААА-А17-117121270036-7.

### **Характеристика региона**

Республика Коми — субъект Российской Федерации, расположенный на крайнем северо-востоке европейской части России. Площадь региона составляет 416,8 тыс. км<sup>2</sup> (2,4 % площади России, 13-е место среди административно-территориальных единиц РФ). Территория Республики Коми располагается в области сочленения трех крупных структурных единиц — северо-восточной части Русской плиты Восточно-Европейской платформы, южных и центральных частей Печорской плиты (включая Тиманское поднятие), а также приполярной и полярной частей Западного Урала — Уральского покровно-складчатого пояса. В состав республики входят районы, неоднородные по природно-климатическим, биогеохимическим условиям, национальному составу населения, социальному развитию и уровню антропогенной нагрузки. Выделяются промышленно развитые районы с преимущественно городским населением (города Сыктывкар, Ухта, Сосногорский район), сельские аграрные районы с преимущественным проживанием коми-населения (коми-ижемцы — Ижемский район, южные коми — Корткеросский, Койгородский, Прилузский районы), а также местного русского населения (Усть-Цилемский район), северные районы с преимущественно городским пришлым населением и высокой миграцией (города Воркута, Инта, Усинск) [7]. Деятельность хозяйств населения наиболее развита в Усть-Куломском, Прилузском, Сыктывдинском, Корткеросском, Удорском и Ижемском муниципальных районах. Основными направлениями специализации в животноводстве являются молочно-мясное скотоводство, птице-, свиноводство и северное оленеводство. За счет птице- и свиноводства очень высока доля животноводческой продукции в Сыктывдинском районе, а за счет оленеводства — в Ижемском.

Сельское население республики характеризуется большей долей населения старше трудоспособного возраста, из их числа выделяются Прилузский, Троицко-Печорский, Койгородский, Сысольский и Усть-Вымский. Наиболее существенный удельный вес населения трудоспособного возраста характерен для Усинска, Воркуты, Вуктыла. Группа высокого уровня социального развития включает всего один район ГО «Усинск». Его отличает очень высокий уровень денежных доходов населения, это объясняется размещением в округе высокодоходных предприятий нефтедобывающей промышленности. Группа среднего уровня включает ГО «Сыктывкар» и «Ухта». Это положение связано концентрацией предприятий и организаций обрабатывающей промышленности, оптовой торговли, сервиса, банковских и страховых учреждений. Группы с низким и очень низким уровнем социального развития самые многочисленные, они включают 12 муниципалитетов, специализирующихся в основном на сельском хозяйстве и лесозаготовке. Из их числа Удорский, Сысольский, Усть-Куломский и Корткеросский районы имеют самые низкие показатели душевых денежных доходов [7].

Сельское население менее обеспечено квалифицированными медицинскими кадрами, чем городское. Самая низкая обеспеченность врачами отмечается в Удорском, Ижемском, Сосногорском и Усть-Вымском муниципальных районах. Исследователи медико-экологической ситуации на Европейском Севере относят к факторам риска здоровья населения низкие температуры воздуха, перепады давления, высокий уровень влажности, выраженную сезонность, фотопериодичность, особенности биогеохимической ситуации, наличие геопатогенных зон. Помимо природных факторов существенный вклад в заболеваемость вносит загрязнение окружающей среды вследствие добычи полезных ископаемых, деятельности промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также неблагоприятные социально-экономические условия жизни.

Биогеохимическая среда северных территорий из-за бедных подзолистых почв, пресной и слабоминерализованной питьевой воды характеризуется крайне низким содержанием биогенных химических элементов [8]. Качество вод различных источников водоснабжения не соответствует гигиеническим нормативам по химическим показателям 26–34,5 %, по микробиологическим 1,2–6,5 % [9]. Практически на всей территории региона железо и марганец в воде имеют повышенные концентрации, выявлены также отдельные пробы вод, содержащие превышающие концентрации (ПДК) относительно норм алюминия, меди, цинка, стронция [9]. Высокий уровень фоновых

концентраций железа и марганца имеет природное происхождение и определяется особенностями геологического строения территории. Избыток железа в питьевой воде является экстремально-негативным фактором внешней среды, способным приводить к аккумуляции железа в организме и развитию экологозависимых патологий [10]. Показано, что заболеваемость детей в отдельных районах республики (Троицко-Печорский район, города Ухта, Сыктывкар) обусловлена воздействием факторов окружающей среды [8, 11]. Здоровье жителей Республики Коми тесно взаимосвязано с воздействием на организм различных загрязнителей атмосферного воздуха, воды, почвы и употребляемой пищи [8–11].

### **Распространенность холелитиаза**

В динамике за последние десять лет (2007–2017) в целом наблюдается рост общей заболеваемости холелитиазом в Республике Карелия (рис. 1), при этом выделяются районы с высоким показателем холелитиаза — Усть-Цилемский, Прилузский и Корткеросский. На данных территориях основными отраслями производства являются лесозаготовка, сельское хозяйство, переработка сельскохозяйственной продукции. Среди городов наибольшее число случаев желчнокаменной болезни приходится на Сыктывкар, Усинск и Вуктыл. Заметно отмечается рост заболеваемости в Воркуте. Для Усть-Вымского и Ижемского районов по-прежнему характерны более низкие показатели заболеваемости. Отмечается, что сходные по географическому положению районы имеют значительные отличия по распространению желчнокаменной болезни. Например, в Усть-Цилемском и Усинском районах уровень заболеваемости высокий, чем в граничащем с ними Ижемском.

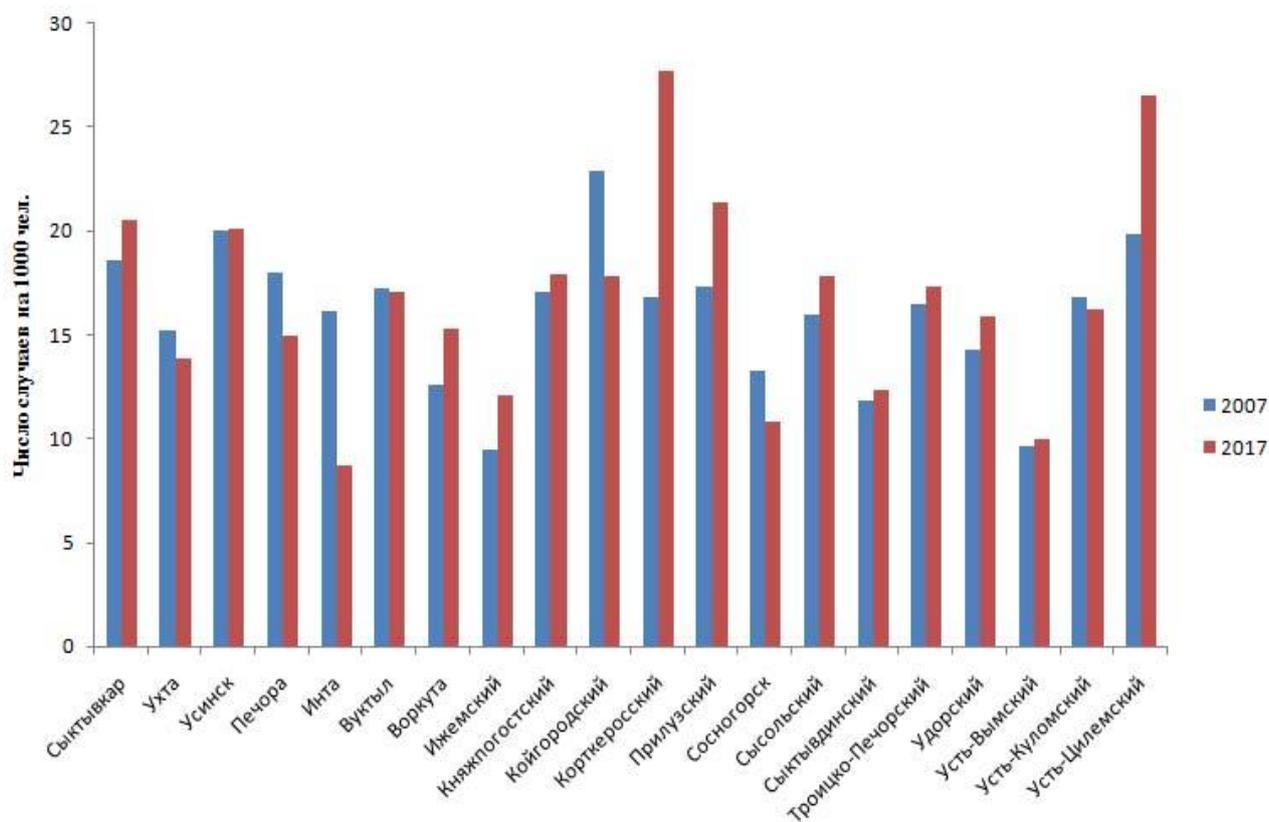


Рис. 1. Заболеваемость холелитиазом в Республике Коми

Fig. 1. The incidence of cholelithiasis in the Komi Republic

Согласно статистическим данным за 2017 г., по уровню первичной заболеваемости среди взрослого населения выделяются города Воркута, Сыктывкар и Усинск, среди районов Прилузский, Корткеросский, Усть-Цилемский и Сысольский. В возрастной группе до 14 лет наибольшее

количество детей с диагнозом желчнокаменная болезнь зафиксировано (в порядке уменьшения) в Троицко-Печорском, Прилузском, Корткеросском районах, в городах Усинск, Сыктывкар и Ухта. Среди подростков (15–17 лет) холелитиаз распространен (в порядке уменьшения) в Прилузском, Троицко-Печорском, Усть-Цилемском районах, в городе Сыктывкаре. Районы Троицко-Печорский и Прилузский относятся к территориям повышенного риска и развития различных патологий среди детского населения [8].

### Состав и строение холелитов

Согласно распространенной классификации, желчные камни делятся на две основные группы — пигментные и холестериновые. Пигментные холелиты встречаются менее 20 % случаев [6]. Установлено, что на территории Республики Коми на долю холестериновых камней приходится 90 %, пигментных — 10 %. Холестериновые камни окрашены в различные оттенки от белого до коричневого цвета, встречаются одиночные и множественные. Количество множественных холелитов из одного желчного пузыря может составлять до 120 штук. Холелиты представлены овально-округлой, граненой, почковидной формой, имеют радиально-лучистое и радиально-слоистое внутреннее строение (рис. 2, *a-b*). Пигментные камни по внешнему виду напоминают кусочки угля с металлическим отблеском, представлены угловатой и округлой формой, определить в них структуру весьма затруднительно (рис. 2, *г*). Основным компонентом холестериновых камней является холестерин ( $C_{27}H_{46}O$ ), пигментных камней — билирубинат кальция ( $C_{33}H_{34}N_4O_6Ca$ ) (рис. 3, *a, б*). Установлено, что рост кристаллов холестерина в холелитах происходит согласно общим принципам послойного роста, инициированного винтовыми дислокациями [12]. Наноструктура пигментных камней представлена глобулоподобными частицами [13].

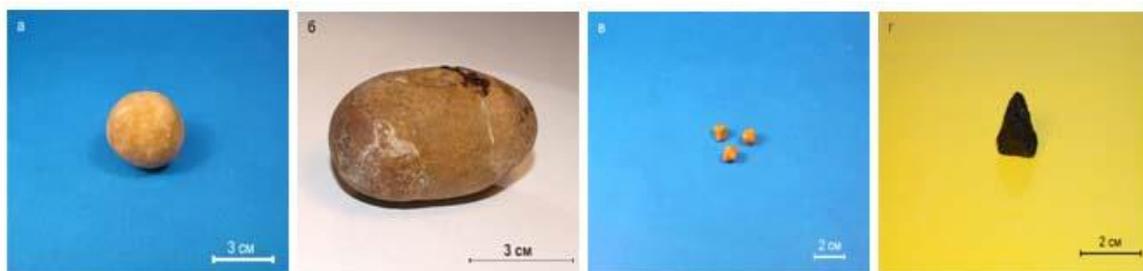


Рис. 2. Внешний вид холелитов: *a-b*— холестериновые; *г*— пигментные

Fig. 2. Appearance of gallstones: *a-b* — cholesterol; *г* — pigmented

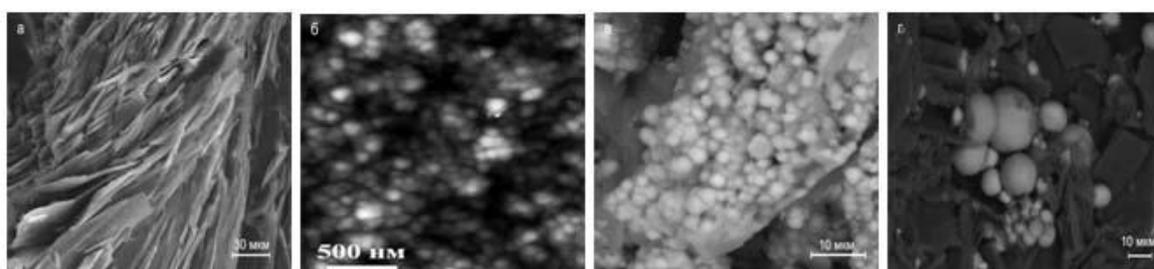


Рис. 3. Изображения сколов холелитов: *a* — холестерин (СЭМ); *б* — билирубинат кальция (АСМ); *в* — фосфат кальция (СЭМ); *г* — ватерит (СЭМ)

Fig. 3. Gallstones cleavage images: *a* — cholesterol (SEM), *б* — calcium bilirubinate (ACM); *в* — calcium phosphate (SEM); *г* — waterite (SEM)

Преобладающими элементами, присутствующими в желчных камнях, являются: кальций, натрий, магний, калий, железо, марганец, алюминий, медь, цинк, барий, стронций, свинец, никель. Обнаружены также редкоземельные элементы, где наибольшими концентрациями характеризуются

лантан и церий, а наименьшими европий. Установлено, что кумуляция легких редкоземельных элементов значительно выше, чем тяжелых [14]. На основании исследования состава аминокислот в холелитах показано, что их образование проходило с участием различных белков [15]. Состав белков представлен в основном алифатическими, гидроксильными, кислыми и ароматическими аминокислотами. Среди минеральных фаз в холелитах установлены карбонат и фосфат кальция (рис. 3, в, з) [16, 17]. Карбонат кальция представлен тремя полиморфными модификациями кальцитом, ватеритом и арагонитом, из которых чаще всего встречается ватерит [17]. Желчные камни характеризуются широким разнообразием микроминеральных включений различного класса оксидов, хлоридов, сульфатов, сульфидов и силикатов, среди самородно-металлических фаз преобладают соединения железа и меди (рис. 4, а-з, л, м) [18]. Кроме того, в холелитах встречаются грибковая микрофлора, яйца гельминтов (рис. 4, и, к), а также бактериальная флора (*Klebsiella*, *Escherichia Coli*, *Streptococcus* и др.) [19].

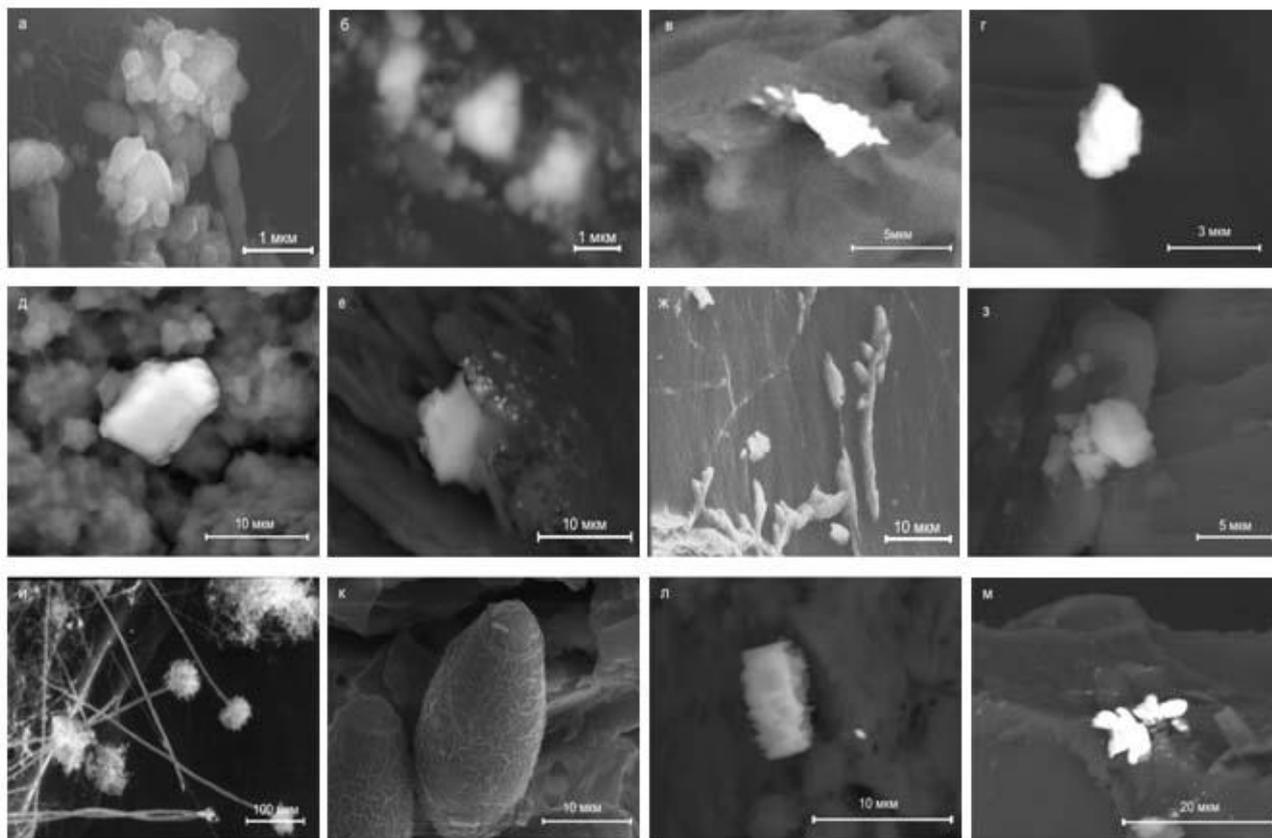


Рис. 4. Микроминералы и включения в холелитах (СЭМ):

а — барит; б — гематит; в — куприт; з — железо с примесью никеля; д — диоксид кремния; е — альбит; ж — галит; з — сильвин; и — грибковая микрофлора; к — яйца гельминтов; л — гипс; м — медь

Fig. 4. Microminerals and inclusions in gallstones (SEM):

а — barite, б — hematite, в — cuprite, з — iron with admixture of nickel, д — silicon dioxide, е — albite; ж — halite, з — silvin, и — fungal microflora, к — eggs of helminths, л — gypsum, м — copper

### Эндогенные и экзогенные факторы возникновения холелитов

Процесс образования желчных камней детально не изучен из-за скрытого протекания начальной стадии желчнокаменной болезни. В настоящее время имеется масса работ с целью выяснить, почему и как образуются желчные камни, но до сих пор нет ни одной общепризнанной теории. В целом считается, что холелитиаз — многофакторное и многостадийное заболевание, характеризующееся нарушением обмена холестерина и/или билирубина с образованием холелитов [1–4].

К общим факторам развития желчнокаменной болезни относят: экологическое неблагополучие; различные нарушения обмена веществ (дисгормональные, воспалительные заболевания органов системы пищеварения, наследственная склонность и др.); особенности питания; образ жизни человека (гиподинамия, алкоголизм, курение, стресс и др.); прием некоторых лекарственных препаратов; возраст (старение связано с учащением образования желчных камней) [1].

К факторам, принимающим участие в образовании холестериновых камней, относят [2]:

1) насыщение желчи холестерином (наследственность, возраст (после 50 лет значительно повышается содержание холестерина), болезни печени, паразитарные инфекции, нарушения состояния кишечной микрофлоры, питание, лекарства и др.);

2) способствующие осаждению холестерина (муцин-гликопротеин, желчные соли);

3) нарушение функций желчного пузыря (опорожнения, всасывания, секреции).

Как правило, в патогенезе камнеобразования придают значение одномоментному наличию всех трех вышеперечисленных факторов [3]. С недавних времен между холестериновым холелитизмом и таким заболеванием, как атеросклероз, проводят прямую параллель, где общие этиопатогенетические корни обусловлены нарушением липидного метаболизма (липидный дистресс-синдром) [4].

Образование холестериновых камней у жителей Севера может быть связано с самыми разными факторами. Питание с низким содержанием волокон в пище, преобладание жирных (пища животного происхождения) и жареных продуктов, а также потребление продуктов с высоким содержанием насыщенных жиров. Следует заметить, что у вегетарианцев желчные камни практически не обнаруживают. В результате изучения липидного обмена подростков Республики Карелия исследователи предположили, что почти полный переход южных коми от традиционной диеты на европейскую пищу, характеризующуюся большим количеством консервированных и синтетических продуктов, способствовал увеличению атерогенных фракций липидов (способствуют повышению холестерина) по сравнению с их уровнем у коми-оленевонов, проживающих в приполярных регионах, в питании которых преобладает оленина [20]. Если у человека есть наследственная предрасположенность к повышению холестерина и при этом он употребляет слишком много холестеринсодержащей пищи, то уровень холестерина увеличивается. Не только пища, богатая холестерином, способствует образованию желчных камней, но и потенциально вредные химические вещества (трансжиры, тяжелые металлы и др.), в т. ч. инфекция, попадающие в организм, могут неблагоприятно влиять на течение метаболических процессов.

Распространенность пораженности гельминтозами на территориях Республики Коми — в Ижемском, Сыктывдинском, Сясьском, Корткеросском, Прилузском, Усть-Вымском, Койгородском районах и Воркуте [6], обусловленная в первую очередь употреблением малосоленой или плохо термически обработанной рыбы, также может способствовать формированию холелитов. Паразитарные инфекции, попадая в желчевыводящую систему, запускают каскад патологических реакций и способствуют образованию желчных камней [21]. На рис. 4, к, показано, как в самом центре холелита находятся яйца гельминтов, образец принадлежит женщине, проживающей в Усть-Вымском районе.

Интересные исследования проведены в Архангельской обл. среди подростков, в процессе которых было выявлено, что сезонность колебаний показателя общего холестерина зависит от фотопериодичности. Так, в период спада светового дня и его минимума (октябрь, декабрь) наблюдается максимальное содержание общего холестерина, эти особенности более выражены у девочек, чем у мальчиков [22]. На сезонную обусловленность изменения липидного обмена у человека в условиях Севера также указывает работа [23]. Воздействие холодного фактора является причиной изменения липидного профиля, особенно у малоадаптированных контингентов, что выражается в нарастании содержания общего холестерина [24]. Таким образом, различные факторы: будь то пища, инфекция, стресс (в том числе и холодный), фотопериодичность

и др. — повышают холестерин и могут способствовать образованию холелитов. Несомненно, генетический фактор, а также сопутствующие заболевания могут являться причиной формирования холестериновых желчных камней.

Факторами, способствующими образованию пигментных камней, являются, прежде всего, состояния с ускоренным обменом гемосодержащих веществ (гемолитические анемии, талассемия, циррозы печени, врожденные и приобретенные порфирии и др.), среди других факторов выделяют воспалительные заболевания кишечника (из их числа болезнь Крона [25]) и бактериальный фактор. Основной причиной образования пигментных камней является гипербилирубинемия, т. е. перенасыщение желчи неконъюгированным (несвязанный с глюкуроновой кислотой) билирубином. Предполагается, что центрами кристаллизации желчных камней является сеть полимеризации радикала билирубина в комплексе с различными металлическими ионами (кальций, медь) [26]. Это обусловлено тем, что билирубин за счет присутствия двух гидроксильных групп способен образовывать различные соли, плохо растворимые как в воде, так и в различных органических растворителях. Точка зрения о возможной роли различных видов микроорганизмов в развитии пигментного холелитиаза поддерживается уже много лет [27–30]. Микроорганизмы могут попадать в желчный пузырь, где образуются желчные камни гемато-, лимфо- или энтерогенным путем. Часто при холелитиазе обнаруживают *Klebsiella*, *Enterococcus*, *Escherichia Coli* и др. Под действием вырабатываемых бактериями ферментов, например, *Escherichia Coli* выделяет фермент —  $\beta$ -глюкуронидазу, происходит трансформация растворимого конъюгированного билирубина в нерастворимый неконъюгированный билирубин. Следует учитывать, что сама желчь обладает выраженными цитолитическими свойствами и способна разрушать любые клеточные элементы, включая вирусы, бактерии и простейшие.

Таким образом, анализ заболеваемости холелитиазом в городах и районах Республики Коми указывает на то, что за последние десять лет в целом наблюдается тенденция к росту. Мониторинг факторов, приводящих к возникновению желчных камней у жителей Республики Коми, несомненно, может помочь в профилактике холелитиаза и улучшении качества жизни северян.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Галеев М. А., Тимербулатов В. М. Желчнокаменная болезнь и холецистит. Уфа: БГМУ, 1997. 219 с.
2. Шерлок Ш., Дули Дж. Заболевания печени и желчных путей: практическое руководство: пер. с англ. / под ред. З. Г. Апросиной, Н. А. Мухина. М.: Гэотар Медицина, 1999. 864 с.
3. Дадвани С. А., Ветшев П. С., Шулуток А. М., Прудков М. И. Желчнокаменная болезнь. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 176 с.
4. Савельев В. С., Петухов В. А. Желчнокаменная болезнь и синдром нарушенного пищеварения. М.: Боргес, 2011. 258 с.
5. Gallstones / C. D. Johnson // J. Surgery. 2003. Vol. 21. No. 5. P. 117–121.
6. Кораго А. А. Введение в биоминералогию. СПб.: Недра, 1992. 279 с.
7. Атлас Республики Коми. М.: Феория, 2011. 448 с.
8. Боднарь И. С. Микроэлементный статус детского населения Европейского Севера (на примере Республики Коми): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / И. С. Боднарь. Сыктывкар, 2012. 22 с.
9. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Российской Федерации» по Республике Коми в 2016 году: гос. докл. / Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Коми. Сыктывкар, 2017. 133 с.
10. Карманова Л. В., Суханов С. Г. Экологическая физиология биоэлементов у жителей Республики Коми // Фундаментальные исследования. 2011. № 5. С. 73–77.
11. Никифорова Е. А. Комплексная гигиеническая и медико-социальная оценка среды обитания и состояния здоровья населения эжвинского промышленного узла Республики Коми: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.02.03 / Е. А. Никифорова. СПб, 2011. 25 с.
12. Механизм роста кристаллов моногидрата холестерина в холелитах / Е. В. Машина [и др.] // Зап. РМО. 2015. № 5. С. 112–119.
13. Машина Е. В., Пискунова Н. Н. Структурные организации черных пигментных холелитов // Материалы минералог. семинара с междунар. участием «Юшкинские чтения». Сыктывкар, 2016. С. 157–158.
14. Машина Е. В. Редкоземельные элементы в холелитах // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии: материалы науч. конф. Петрозаводск, 2015. С. 140–141.
15. Машина Е. В., Шанина С. Н. Белковая составляющая в холелитах // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 4. С. 88–91.
16. Машина Е. В. Фосфаты кальция в холелитах // Материалы минералог. семинара с междунар. участием «Юшкинские чтения». Сыктывкар, 2014. С. 204.
17. Машина Е. В., Макеев Б. А., Филиппов В. Н. Карбонаты кальция в холелитах // Изв. Томского политехнического ун-та. Инжиниринг георесурсов. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. Т. 326. № 1. С. 34–39.
18. Машина Е. В. Микроминералы и включения в холелитах // Минералы: строение, свойства, методы исследования: материалы науч. конф. Екатеринбург, 2018. С. 126–127.
19. Боровкова Е. В., Кулешов К. В. Идентификация микроорганизмов в пигментных и холестериновых холелитах на основе анализа 16S рибосомальной РНК // Материалы II Тихоокеанского симп. «Живое и неживое». Владивосток, 2010. С. 159–160.
20. Потопицина Н. Н., Людина А. Ю., Бойко Е. Р. Липидный обмен у подростков — коренных жителей Европейского

Севера России // Вопросы питания: науч.- практ. журн. 2011. № 6. С. 19–22. **21.** Коркин А. Л. Общие закономерности, особенности развития и течения желчнокаменной болезни на фоне описторхоза: автореф. дис. ... док. мед. наук: 14.00.05 / А. Л. Коркин. Тюмень, 2009. 44 с. **22.** Особенности холестерина гомеостаза и жирового обмена у детей 10–14 лет юга Архангельской области в разные периоды года / Т. В. Третьякова [и др.] // Проблемы адаптации человека к экологическим и социальным условиям Севера: тез. докл. Сыктывкар, 2004. С. 110. **23.** Потолицина Н. Н., Людина А. Ю., Бойко Е. Р. Липидный обмен у подростков — коренных жителей Европейского Севера России // Вопросы питания: науч.-практ. журн. 2011. № 6. С. 19–22. **24.** Бойко Е. Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с. **25.** Enterohepatic cycling of bilirubin: a putative mechanism for pigment gallstone formation in ileal Crohn's disease / M. Brink [et al.] // Gastroenterology. 1999. Vol. 166, No. 6. P. 1420–1427. **26.** Copper bilirubinate and black pigment gallstone / W. H. Li [et al.] // J. Biospectroscopy. 1995. P. 149–156. **27.** Pigment gallstone composition in patients with hemolysis of infection stasis / R. Soloway [et al.] // Digestive Diseases and Sci. 1986. Vol. 31, No. 5. P. 454–460. **28.** Pathogenesis of pigment gallstones in Western societies: the central role of bacteria / L. Stewart [et al.] // J. Gastrointest Surg. 2002. Vol. 6, No. 6. P. 891–904. **29.** Ильченко А. А. Желчнокаменная болезнь. М.: Анахарсис, 2004. 200 с. **30.** Якубовский С. В. Микробиологические аспекты острого холецистита и холецистопанкреатита: мед. журн.: электрон. версия / Белорусский гос. мед. ун-т. 2006. № 3.

### **Сведения об авторе**

Машина Екатерина Валерьевна — младший научный сотрудник Института геологии Коми НЦ УрО РАН  
E-mail: borovkova@geo.komisc.ru

### **Author Affiliation**

Ekaterina V. Mashina — Junior Researcher of Institute of Geology of the Komi Science Centre of UB RAS, Syktyvkar  
E-mail: borovkova@geo.komisc.ru

### **Библиографическое описание статьи**

Машина Е. В. Холелиты у жителей Республики Коми: распространенность, состав, структура, факторы образования / Е. В. Машина // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 53–60.

### **Reference**

Mashina Ekaterina V. Gallstone in Inhabitants of the Republic of Komi: Prevalence, Composition, Structures, Factors of Formation. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 53–60 (In Russ.).

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.4.61-67

УДК 622.73

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НА ИЗМЕЛЬЧАЕМОСТЬ АПАТИТСОДЕРЖАЩИХ РУД

С. А. Алексеева, С. В. Терещенко  
ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

### Аннотация

В связи со снижением качества добываемых руд, вовлечением в эксплуатацию (переработку) бедных и забалансовых труднообогатимых руд становятся значимыми операции предварительного обогащения (предконцентрации), которые в первую очередь решают задачи выделения отвальных крупнокусковых хвостов. Включение в технологическую схему операции предконцентрации, как правило, оказывает влияние на свойства руды и ведет к повышению эффективности процессов рудоподготовки. Для апатитсодержащих руд проведены сравнительные исследования по оценке влияния на измельчаемость предварительного обогащения (руды) методом рентгенолюминесцентной сепарации. Проведен анализ полученных показателей измельчения — скорости измельчения  $u$ , удельной производительности по вновь образованному классу  $q$ , индекса чистой работы  $W_i$ . Показано, что использование предварительного обогащения позволяет улучшить вещественный состав руды и повысить эффективность процесса измельчения.

### Ключевые слова:

*предварительная концентрация, рудоподготовка, измельчаемость, апатитсодержащая руда, удельная производительность, индекс чистой работы шарового измельчения.*

## STUDY OF IMPACT OF PRELIMINARY CONCENTRATION ON GRINDABILITY OF APATITE-CONTAINING ORES

Svetlana A. Alekseeva, Sergei V. Tereshchenko  
Mining Institute of KSC RAS

### Abstract

The decline in the quality of the ores mined and the involvement of low-grade unpayable ores into processing has led to increasing in importance of preliminary processing which primarily solves the problem of selecting dump large-coarse tailings. The use of a preconcentration operation, as a rule, affects the properties of the ore and leads to increase in the efficiency of the ore preparation processes. For apatite-containing ores, comparative studies have been carried out to assess the effect on the grindability of preliminary processing by the X-ray luminescence separation. The obtained indicators of grinding — the grinding rate  $u$ , the specific productivity of the newly formed class  $q$  and the net work index  $W_i$ , were analysed. It is shown that the use of preprocessing allows improving the material composition of the ore and increasing the efficiency of the grinding.

### Keywords:

*preconcentration, ore preparation, grindability, apatite-containing ore, specific productivity, net work index of ball grinding.*



## Введение

В недалекой перспективе минерально-сырьевая база Хибинского массива, вероятнее всего, будет характеризоваться продолжающимся истощением запасов крупных месторождений с относительно высоким содержанием полезных ископаемых. Такая ситуация обусловлена интенсивным освоением недр в предыдущие годы. Содержание основного полезного компонента  $P_2O_5$  в рудах, поступающих на обогатительные фабрики, снизилось с 25 % в начале разработки апатитовых руд до 12 % в настоящее время. Перспективные апатитовые месторождения Мурманской обл., на которых сосредоточено более 555,5 млн т основного полезного компонента  $P_2O_5$ , в большинстве своем представлены бедными и убогими разновидностями апатитсодержащих руд [1].

Эффективность освоения месторождений полезных ископаемых во многом определяется разработкой и внедрением новых ресурсосберегающих технологий обогащения. При вовлечении в переработку бедных и забалансовых руд все более широкое применение находят технологии предварительного обогащения или, правильнее сказать, предварительной концентрации (предконцентрации) руд, которые позволяют добиться не только сокращения объема рудной массы, поступающей на обогатительную фабрику, но и повысить технологические показатели переработки за счет стабилизации качества минерального сырья. Кроме того, использование предконцентрации в определенной степени изменяет вещественный состав рудной массы, удаляя в хвосты пустые и слабоминерализованные породы\*, что ведет к повышению эффективности дальнейших процессов дробления и измельчения, которые являются наиболее затратными технологическими операциями: на их долю приходится до 50–70 % от общих затрат на обогащение. В условиях современного ведения производства возможность снижения энергозатрат при рудоподготовке является весьма актуальной задачей [2, 3].

## Материал и методика исследований

Объектами для исследования являлись две разновидности апатитсодержащей руды месторождения Партомчорр:

- проба 1, представленная бедной апатит-нефелиновой рудой с содержанием: апатита — 16,5 %, нефелина — 48,5 %, сфена — 6 %, титаномагнетита — 5 %;
- проба 2, представленная сфен-apatит-магнетитовой рудой с содержанием: апатита — 16,5 %, нефелина — 35,5 %, сфена — 15,5 %, титаномагнетита — 9,5 %.

Особенностью минерального состава руд данного месторождения является низкое содержание апатита и повышенное количество темноцветных минералов и нефелина. Предконцентрация рудной массы изучаемого месторождения осуществлялась посредством рентгенолюминесцентной сепарации, которая позволила выделить в крупнокусковые хвосты более 27 % пустых и слабоминерализованных пород, содержащих 1,8 %  $P_2O_5$ , при этом в продукте, поступающем на обогащение, содержание пятиоксида фосфора повысилось в 1,3 раза (с 6,1 до 7,8 %) [4–6].

Для каждой разновидности руды измельчение проводилось на материалах исходных проб (1 и 2 исх.) и после их предконцентрации (1 и 2 обогаш.).

\* Слабоминерализованные породы — это породы, содержание полезных компонентов в которых ниже бортового, принятого при добыче полезного ископаемого.

Определение измельчаемости проб проводилось в шаровой мельнице по методике института «Механобр», которая представляет собой имитацию замкнутого цикла и измельчение проб до различной крупности при одинаковом заполнении мельницы пульпой при постоянной циркулирующей нагрузке равной 200 % [7, 8].

По результатам экспериментов рассчитывались: удельная производительность по вновь образованному расчетному классу крупности  $q$  (кг/дм<sup>3</sup>ч) и индекс чистой работы шарового измельчения  $W_{i_{\text{шм}}}$  ((кВт·ч/т)·мкм<sup>0,5</sup>) [9]:

$$q_d = \frac{M (\beta - \alpha) 3600}{V \cdot T \cdot (1 + C)}, \quad (1)$$

$$W_{i_{\text{шм}}} = \frac{(N - N_{x.x}) T (1 + C) \cdot \sqrt{F_{80}}}{36M \left( \sqrt{\frac{F_{80}}{P_{80}}} - 1 \right)}, \quad (2)$$

где  $M$  — масса исходной навески, кг;  $\alpha$  и  $\beta$  — содержание расчетного класса крупности в исходном и измельченном продукте соответственно, доли ед.;  $V$  — рабочий объем мельницы, дм<sup>3</sup>;  $T$  — время измельчения, с;  $C$  — циркулирующая нагрузка, доли ед.;  $N$  и  $N_{x.x}$  — потребляемая мельницей мощность при измельчении и мощность холостого хода соответственно, кВт;  $F_{80}$  и  $P_{80}$  — размер отверстий сит, через которые проходит 80 % питания и разгрузки мельницы соответственно, мкм.

Для сопоставления полученных результатов рассчитывался коэффициент относительной измельчаемости по расчетному классу [10]:

$$K_{\text{изм}} = \frac{q_d}{q_{d_3}}, \quad (3)$$

где  $q_d$  и  $q_{d_3}$  — удельная производительность по расчетному классу, достигнутая на испытуемой и эталонной руде, кг/дм<sup>3</sup>ч.

Сравнительные опыты по измельчаемости для всех разновидностей исследуемых руд проводились до крупности -0,2 мм, т. е. для классификации материала разгрузки мельницы использовалось сито 0,2 мм. Такая крупность выбрана исходя из практики обогащения апатит-нефелиновых руд, где питанием апатитовой флотации является продукт с содержанием класса +0,16 мм — 20,6 %.

Замкнутый цикл измельчения имитировался путем возврата в процесс надрешетного продукта грохочения на выбранной сетке 0,2 мм с добавлением исходного материала до веса принятой навески. Периоды измельчения повторялись до тех пор, пока не устанавливалось равновесие, т. е. постоянство выхода вновь образованного продукта, времени измельчения за каждый цикл и относительной скорости измельчения (г/с) по вновь образованному продукту принятой крупности.

## Результаты и их обсуждение

В начале измельчения все пробы имели близкий гранулометрический состав, параметр  $F_{80}$  составил: для проб 1 исходной и 2 обогатченной — 3,8 мм; для 2 исходной — 3,9 мм, для 1 обогатченной — 3,95 мм (рис. 1).

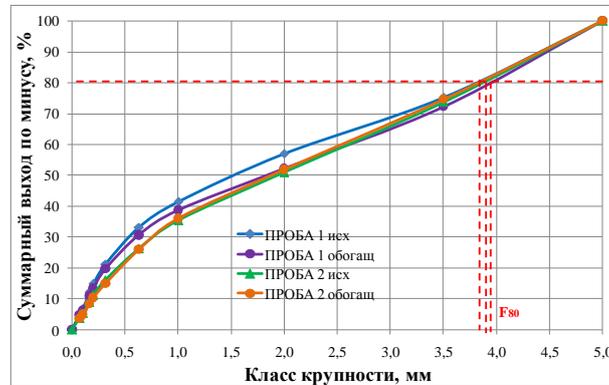


Рис. 1. Исходный гранулометрический состав проб

Fig. 1. Initial granulometric composition of samples

Ситовые характеристики готового продукта измельчения крупностью  $-0,2$  мм для всех исследуемых проб получились близкими между собой: количество класса  $+0,16$  мм составило 17,6–23,3 %, класса  $-0,07$  мм — от 36 до 40 % (рис. 2, а).

Особый интерес представляют характеристики разгрузки мельницы (рис. 2, б): с одной стороны, наблюдается различие в гранулометрических составах обогатченных и исходных проб внутри одной разновидности руды: грансостав пробы 1 исх отличается от пробы 1 обогатч, а 2 исх — от 2 обогатч; с другой — отмечается близость характеристик между исходными и обогатченными продуктами различных разновидностей. Грансостав пробы 1 исх. близок 2 исх., а пробы 1 обогатч. — 2 обогатч.

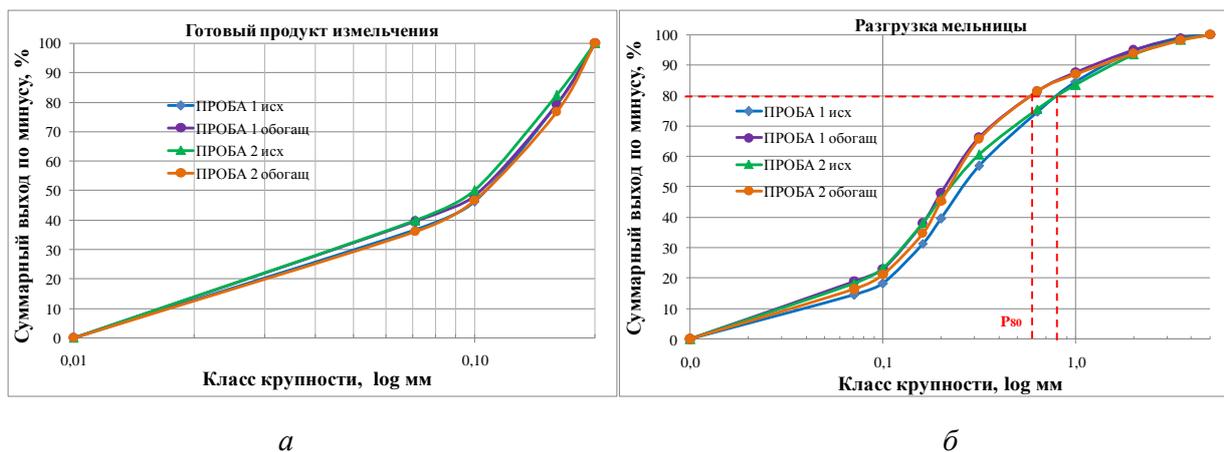


Рис. 2. Гранулометрический состав готового продукта измельчения (а)

и разгрузки мельницы (б) исследуемых проб

Fig. 2. Granulometric composition of the final product of grinding (а) and unloading of mill (б) of the samples studied

Приведенные данные свидетельствуют о том, что в процессе измельчения продукты четко разделились на исходные и обогащенные, что подтверждается как значениями  $P_{80}$ , составившими 0,8 и 0,6 мм соответственно, так и другими показателями измельчения — скоростью измельчения  $v$ , удельной производительностью по вновь образованному классу  $q$ , индексом чистой работы  $W_i$  (табл.). Для обогащенных проб наблюдается увеличение скорости измельчения  $v$  (для пробы 1 — с 2,9 до 3,6 г/с, для пробы 2 с 3,3 до 3,6 г/с), рост удельной производительности по вновь образованному классу  $q$  (проба 1 — с 0,7 до 0,9 кг/дм<sup>3</sup>ч, проба 2 — с 0,8 до 0,9 кг/дм<sup>3</sup>ч), снижение индекса чистой работы  $W_i$  (проба 1 — с 48 до 30 (кВт·ч/т)·мкм<sup>0,5</sup>, проба 2 — с 44 до 31 (кВт·ч/т)·мкм<sup>0,5</sup>).

Сравнительные показатели измельчаемости исследуемых продуктов при работе шаровой мельницы 300×200 в замкнутом цикле  
Comparative indices of grindability of samples studied during the work of ball mill of 300×200 in a close circle

Показатели Indicators	Проба 1 исх Sample 1 orig	Проба 1 обогащ Sample 1 enrich	Проба 2 исх Sample 2 orig	Проба 2 обогащ. Sample 2 enrich
Время измельчения в установившемся цикле $T$ , с Grinding time in steady state cycle $T$ , s	312	255	295	265
Скорость измельчения $v$ , г/с Grinding rate $v$ , g/s	2,91	3,62	3,31	3,61
$F_{80}$ , мм	3,8	3,95	3,9	3,8
$P_{80}$ , мм	0,8	0,6	0,8	0,6
Удельная производительность по вновь образованному классу 0,2 мм $q$ , (кг/дм <sup>3</sup> ·ч) Specific productivity of the newly formed class $q$ , (kg/dm <sup>3</sup> ·h)	0,698	0,868	0,795	0,893
Удельная производительность по вновь образованному классу 0,071 мм $q$ , (кг/дм <sup>3</sup> ·ч) Specific productivity of the newly formed class $q$ , (kg/dm <sup>3</sup> ·h)	0,262	0,349	0,285	0,324
Индекс чистой работы шарового измельчения $W_i$ , (кВт·ч/т)·мкм <sup>0,5</sup> Net work index of ball grinding $W_i$ , (kW·h/t)·mkm <sup>0,5</sup>	47,56	29,85	43,52	30,74

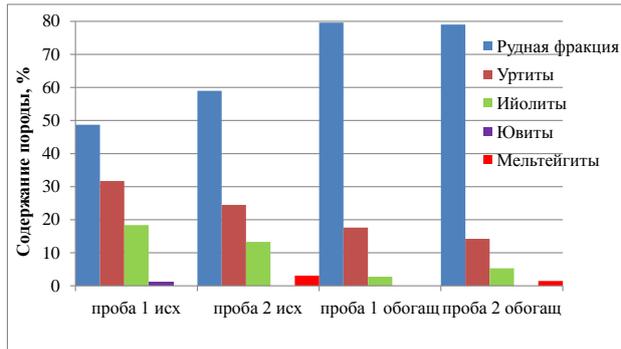


Рис. 3. Минералого-петрографические характеристики исследуемых проб

Fig. 3. Mineralogical and petrographic features of the samples studied

ийолиты, содержится в пробе 1 исх, и их совокупное количество составляет 50 %; в пробе 2 исх. их количество меньше и составляет 38 %. В обогащенных пробах за счет вывода в крупнокусковые хвосты безапатитовой части этих пород доля уртитов и ийолитов снижается в 2–2,5 раза и составляет около 20 %. Соответственно количество рудной фракции увеличивается с 49 и 59 % в 1 и 2 исходных до практически 80 % — в обогащенных.

Становится очевидным факт, что в составе продуктов наиболее существенное влияние на показатели измельчения оказывает рудная фракция, при увеличении доли которой в общем объеме пробы скорость измельчения  $v$  и количество вновь образованного класса  $q_{0,2}$  возрастают, а затраты на измельчение  $W_i$  уменьшаются (рис. 4). Следовательно, предконцентрация способствует изменению вещественного состава продукта, поступающего на обогащение и как, следствие, снижению его прочностных свойств и росту его показателей измельчения.

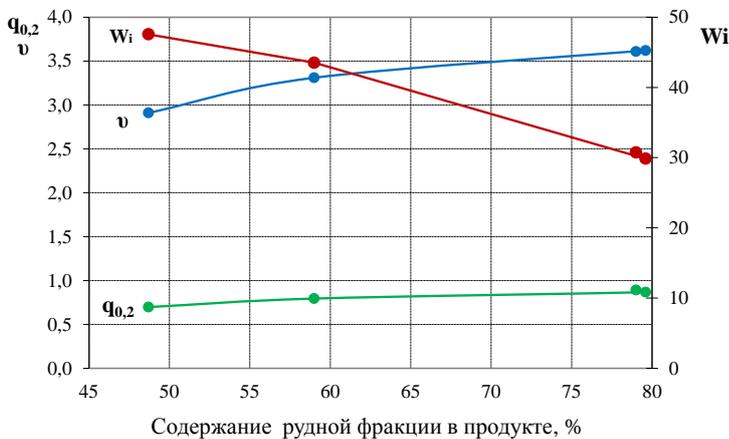


Рис. 5. Зависимость показателей измельчения от количества рудной фракции в продукте:  
 $q_{0,2}$  — удельная производительность по вновь образованному классу 0,2 мм, кг/дм<sup>3</sup>·ч;  $v$  — скорость измельчения, г/с;  $W_i$  — индекс чистой работы шарового измельчения, (кВт·ч/т)·мкм<sup>0.5</sup>

Fig. 5. Dependence of indices of grinding on sample's ore component:

$q_{0,2}$  — specific productivity of the newly formed class 0,2 mm, kg/dm<sup>3</sup>·h;  $v$  — grinding rate, g/s;  $W_i$  — net work index of ball grinding, (kW·h/t)·mkm<sup>0.5</sup>

Идентичные начальные петрографические и гранулометрические характеристики обогащенных проб 1 и 2 (представленные апатит-нефелиновой и сфен-апатит-магнетитовой рудными разновидностями соответственно) позволяют оценить влияние минерального состава на результаты измельчения. Показано, что значения показателей измельчения находятся в пределах статистической погрешности 1–3 % (табл.) и свидетельствуют о том, что различия в минеральном составе исследуемых разновидностей апатитсодержащих руд решающего значения на показатели измельчаемости не оказывают.

## Выводы

Предконцентрация посредством рентгенолюминесцентной сепарации на начальной стадии переработки апатитсодержащих руд способствует увеличению содержания рудной фракции в общей массе сырья за счет сокращения доли наиболее крепких пород, переходящих в отвальные хвосты, что ведет к снижению прочностных свойств обогащенного продукта сепарации и повышению эффективности процесса его измельчения:

- удельная производительность мельницы по вновь образованному классу – 0,2 мм повышается в среднем на 25 % с 0,70 до 0,87–0,89 кг/дм<sup>3</sup>·ч;
- индекс чистой работы шарового измельчения  $W_i$  уменьшается с 47,6 до 29,9–30,1 (кВт·ч/т)·мкм<sup>0,5</sup> и характеризует сокращение энергозатрат на измельчение на 35 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Минерально-сырьевая база Мурманской области / Б. В. Афанасьев [и др.] // Минеральные ресурсы России. 1997. № 3. С. 10–22.
2. Чантурия В. А., Козлов А. П. Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения — 2017). Красноярск: Сибир. федер. ун-т, 2017. С. 3–6.
3. Вашлаев А. И., Брагин В. И. Прогноз эффективности предварительного радиометрического обогащения // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения — 2017). Красноярск: Сибир. федер. ун-т, 2017. С. 125–128.
4. Оценка эффективности экологически сбалансированной технологии разработки месторождения стратегического сырья Партомчорр в Арктической зоне России / С. В. Лукичев [и др.] // Горн. журн. 2017. № 12. С. 57–62.
5. Оценка эффективности комплексной переработки бедных апатит-нефелиновых руд, содержащих редкие и редкоземельные металлы / Г. В. Митрофанова [и др.] // Цв. металлы. 2018. № 8. С. 7–12.
6. Развитие минерально-сырьевой базы обогатительной фабрики АО «СЗФК» с перспективой комплексного обогащения / Г. П. Андронов [и др.] // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения — 2017). Красноярск: Сибир. федер. ун-т, 2017. С. 61–64.
7. Казеннов М. Н. Методы лабораторных исследований и оценки измельчаемости руд для определения производительности промышленных барабанных мельниц. М.: Цветметинформация, 1967. 63 с.
8. Вайсберг В. М. Эксплуатация дробильных и измельчительных установок: справ. пособие для рабочих. М.: Недра, 1989. 196 с.
9. Таранов В. А. Повышение эффективности рудоподготовки золотоизвлекательных фабрик на основе оптимизации технологических схем: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.13. СПб., 2016. 181 с.
10. Справочник по обогащению руд. Т. I. Подготовительные процессы / под ред. О. С. Богданова, В. А. Олевского. М.: Недра, 1972. С. 349.

## Сведения об авторах

*Алексеева Светлана Александровна* — научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

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

*Терещенко Сергей Васильевич* — доктор технических наук, заведующий лабораторией Горного института КНЦ РАН

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

## Author Affiliation

*Svetlana A. Alekseeva* — Researcher of the Mining Institute of KSC RAS

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

*Sergei V. Tereshchenko* — Dr. Sci. (Engineering), Head of Laboratory of the Mining Institute of KSC RAS

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

## Библиографическое описание статьи

*Алексеева, С. А.* Исследование влияния предварительной концентрации на измельчаемость апатитсодержащих руд / С. А. Алексеева, С. В. Терещенко // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 61–67.

## Reference

*Alekseeva Svetlana A., Tereshchenko Sergei V.* Study of Impact of Preliminary Concentration on Grindability of Apatite-Containing Ores. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 61–67 (In Russ.).

## ПОЛУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУД КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ\*

Г. П. Андронов, Т. Н. Перункова

ФГБУН Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты

### Аннотация

Изучена возможность получения дополнительных продуктов из техногенного минерального сырья второго поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК». Предложена принципиальная последовательность обогатительных операций, позволяющих получать из исследуемого техногенного сырья магнетитовый, апатитовый, форстеритовый, флогопитовый, карбонатный и бадделеитовый концентраты. Показаны направления использования перспективных продуктов обогащения с учетом их гранулометрического и химического составов.

### Ключевые слова:

*техногенное месторождение, апатит, магнетит, форстерит, флогопит, бадделеит.*

## PRODUCTION OF SECONDARY PRODUCTS FROM MINING-INDUCED ORE PROCESSING WASTE FROM THE KOVDOR DEPOSIT

George P. Andronov, Tatyana N. Perunkova

Mining Institute of KSC RAS

### Abstract

Successful experience of JSC Kovdorsky GOK has shown high economic and ecological efficiency of industrial processing of mineral raw materials from a mining-induced deposit of the first tailing dump field which was formed in the early years of the magnetite dressing plant. Current processing wastes, stored in the tailing pond, are characterized by a smaller content of apatite due to the continuous improvement of the processing technology used at JSC Kovdorsky GOK and contain more magnetite, forsterite, and phlogopite. The study investigates the possibility of complex processing of mining-induced mineral raw materials of the second tailing dump field from JSC Kovdorsky GOK. The authors propose a basic sequence of processing operations, which makes it possible to yield magnetite, apatite, forsterite, phlogopite, carbonate and baddeleite concentrates from the investigated raw materials. The paper presents the trends in using promising processing products, taking into account their granulometric and chemical compositions.

### Keywords:

*mining-induced deposit, apatite, magnetite, forsterite, phlogopite, baddeleite.*



### Введение

Увеличение объемов добычи и переработки минерального сырья приводит не только к повышению производительности горно-обогатительных предприятий по выпуску концентратов, но и к росту отходов обогащения с образованием техногенных месторождений. Акционерное общество «Ковдорский ГОК» — одно из предприятий России, которое, перерабатывая сложные по минеральному составу бадделеит-апатит-магнетитовые руды, выпускает магнетитовый, апатитовый и бадделеитовый концентраты, тем самым показывая пример рационального отношения к минеральным ресурсам. Кроме того, по разработанной в Горном институте КНЦ РАН технологии АО «Ковдорский ГОК» с конца 1990-х гг. начато масштабное освоение запасов техногенного месторождения I («лежалые»

\*Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН I.39.

хвосты I поля хвостохранилища), сформированного отходами обогащения предыдущих лет работы магнетитовой обогатительной фабрики, с выпуском высококачественных апатитового и бадделеитового концентратов [1–3]. Успешный опыт предприятия показал высокую экономическую и экологическую эффективность промышленной переработки «лежалых» отходов.

В настоящее время в результате складирования с 1985 г. отходов обогащения апатит-бадделеитовой обогатительной фабрики сформировано техногенное месторождение II (II поле хвостохранилища), куда поступают и текущие отходы переработки, что составляет примерно 50 % (8 млн т) поступающей на обогащение руды ежегодно. С ростом количества отходов увеличиваются затраты на их хранение и охрану окружающей среды [4–6]. Разработка технологии обогащения с комплексной переработкой сырья и утилизацией в экономически целесообразных объемах части отходов позволит увеличить сырьевой потенциал предприятия, получить дополнительную прибыль и в то же время снизить экологическую нагрузку на природную среду [7–9].

В данной работе рассмотрена возможность извлечения из техногенного минерального сырья II поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК» максимально возможного количества полезных компонентов с получением дополнительных видов продукции.

### Объекты исследования

Второе поле хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК» отделено от первого дамбой и представляет собой юго-восточную часть техногенного месторождения. Значительную часть площади поля занимает акватория бассейна оборотного водоснабжения. Минеральный состав песков II поля хвостохранилища идентичен первому, но отличается меньшим содержанием полезных компонентов вследствие постоянного совершенствования технологии обогащения АО «Ковдорский ГОК» и более полного извлечения компонентов: беднее по концентрации апатита и содержат большее количество магнетита, форстерита, флогопита. Основными минералами сформированного месторождения являются форстерит (35–45 %), карбонаты (24–27 %), флогопит (10–15 %), апатит (10–12 %), пироксены (4–9 %) и магнетит (2,5–3,0 %), содержание бадделеита составляет менее 0,3 %.

Исследования проводили на технологических пробах хвостов техногенного месторождения II, сформированных из материалов керновых проб скважин различных горизонтов хвостохранилища. Результаты проведенного химического и гранулометрического анализа показали, что исследуемое техногенное минеральное сырье неоднородно по гранулометрическому составу и имеет отличительные особенности по горизонтам и участкам. Условно хвосты месторождения можно разделить по содержанию класса -0,071 мм на «крупные», «средние» и «мелкие» (табл. 1), в то же время характеризуются примерно одинаковым содержанием основных химических компонентов:  $P_2O_5$  — 4,20–5,52 %;  $Fe_{общ}$  — 4,07–4,73 % и  $ZrO_2$  — 0,19–0,24 %.

Таблица 1  
Table 1

Классификация проб по гранулометрическому составу  
Classification of samples according to granulometric composition

Содержание класса крупности, % Content of grade size, %	Проба Sample		
	«Крупная» «Coarse»	«Средняя» «Medium»	«Мелкая» «Fine»
+0,2 мм +0,2 mm	43,0	15,7–27,8	2,4–4,2
-0,071 мм -0,071 mm	6,9	14,2–33,9	61,6–70,1

**Результаты лабораторных исследований**

Для получения качественных железорудного, апатитового и бадделеитового концентратов ранее была использована технология обогащения, принятая на АО «Ковдорский ГОК».

Начальной операцией при подготовке сырья к обогащению является измельчение, необходимость которого обусловлена следующими факторами: подготовкой поверхности минералов к флотации, оттиркой адсорбированных реагентов на минералах за время складирования; раскрытием сростков и включений магнетита.

Ввиду наличия в исследуемом техногенном сырье магнетита (2,5–3,0 %) изучена возможность получения на первой стадии обогащения магнетитового концентрата. Показано, что магнетит, оставшийся после обогащения магнитной сепарацией исходной руды, находится как в сростках с силикатами и карбонатами (класс +0,16 мм), так и в свободных зернах, концентрируясь преимущественно в «тонких» классах (-0,071 мм). Результаты выделения магнетита (двухстадийная магнитная сепарация) из различных по крупности проб приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Table 2

Показатели получения магнетитового и апатитового концентратов  
Indices for obtaining magnetite and apatite concentrates

Проба Sample	Магнетитовый концентрат, % Magnetite concentrate, %		Апатитовый концентрат, % Apatite concentrate, %	
	Содержание Fe <sub>общ</sub> Content of Fe <sub>total</sub>	Извлечение Fe <sub>общ</sub> Recovery of Fe <sub>total</sub>	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Content of P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Извлечение P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Recovery of P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
«Крупная» «Coarse»	60,27	19,3	38,1	42,3
«Средняя» «Medium»	60,8–61,58	21,8–22,9	38,0–38,6	25,6–31,6
«Мелкая» «Fine»	63,42	8,0	15,9–24,2	37,2–26,5

Из «мелких» проб получены концентраты с содержанием более 63 % Fe<sub>общ</sub>, из «крупной» и «средней» — концентраты с содержанием 60–61 % Fe<sub>общ</sub>. Получение более качественного железорудного концентрата возможно при условии проведения дополнительного более тонкого измельчения с последующей магнитной сепарацией: содержание Fe<sub>общ</sub> в концентратах повышается до 63–64 %.

Анализ распределения P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> по классам крупности показал, что более 50 % оксида фосфора в «крупной» пробе сосредоточено в классе +0,2 мм, в «мелкой» пробе 70 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> находится в классе -0,05 мм. Апатит в пробах присутствует как в виде свободных зерен, так и в виде сростков с кальцитом, магнетитом, форстеритом.

Немагнитная фракция после проведения операции обесшламливания (сгущения) является питанием апатитовой флотации. Проведенные лабораторные испытания с использованием фабричного реагентного режима показали, что получение качественного апатитового концентрата зависит от крупности обогащаемого сырья. Для «крупной» и «средней» проб извлечение P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в концентрат составило 42 и 25 % соответственно при содержании P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в концентрате ~38 %. Из пробы с высоким содержанием (более 60 %) класса -0,071 мм получены апатитсодержащие продукты с концентрацией 15–24 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> при извлечении 37–26 % (табл. 2).

По принятой на АБОФ схеме обогащения текущей руды хвосты флотации апатита являются питанием передела для получения бадделеитового концентрата, но так как в составе минерального сырья техногенного месторождения II присутствуют флогопит (10–15 %) и до 45 % форстерита, в настоящей работе рассмотрена возможность получения дополнительных продуктов, перспективных для последующей переработки.

Флогопит относится к группе магнезиально-железистых слюд, в пробах находится в виде тонких листочков, пластинок или таблитчатых агрегатов. Даже в «крупных» классах (+0,2 мм) флогопит присутствует в свободном виде, в незначительном количестве образует сростки с карбонатами, форстеритом и апатитом. Количество флогопита снижается от «крупных» классов к «мелким». Для флотации флогопита использовали катионоактивный собиратель АНП. Флогопитовые концентраты, полученные в оптимальном реагентном режиме, содержали 8,0–8,1 %  $K_2O$ , что, согласно минералогическому анализу, соответствует содержанию флогопита в концентрате на уровне 90 %. Извлечение  $K_2O$  в концентрат составило 71–80 %.

Форстерит — минерал группы оливина, представляет собой силикат магния с некоторой примесью (от 0 до 10 мол. %) фаялита  $Fe_2SiO_4$ . Ковдорский форстерит содержит 51 %  $MgO$  и от 3 до 6 мол. %  $Fe_2SiO_4$ . В исследуемом техногенном сырье 95 % форстерита находится в свободном состоянии. Флотацию форстерита проводили с использованием в качестве собирателя смеси ЖКТМ и реагента Флотол-7,9. В результате получен форстеритовый концентрат с содержанием  $MgO$  на уровне 50 % при извлечении 51 %.

Таким образом, последовательность операций для выделения дополнительных концентратов такова: получение магнетитового концентрата магнитной сепарацией, флотация апатита, флотация флогопита, флотация форстерита. Последующее выделение бадделеитового концентрата осуществляли из хвостов форстеритовой флотации. Гравитационным способом получен черновой бадделеитовый концентрат с содержанием 59,6 %  $ZrO_2$  при извлечении 25 % от операции.

Еще один продукт, который может быть получен из исследуемого сырья, — карбонатный концентрат. Пески II поля хвостохранилища содержат до 27 % карбонатов, представленных в основном кальцитом (90 %) и доломитом. В сростках находится 4–5 % карбонатов, остальная часть — свободные, раскрытые зерна. Содержание в кальците  $CO_2$  составляет 43,5 %. Карбонатный концентрат может быть получен непосредственно из хвостов апатитовой флотации, однако при этом исключается возможность получения форстеритового концентрата.

Наиболее высокие технологические показатели получения флотационного карбонатного концентрата достигнуты при использовании в качестве собирателя жирнокислотного реагента в сочетании с модификатором в соотношении 3:1. Извлечение  $CO_2$  в концентрат составило 39 %, при содержании  $CO_2$  в концентрате 38,9 %.

### **Предварительная технологическая оценка перспективных продуктов**

На сегодняшний день востребованы промышленностью и производятся АО «Ковдорский ГОК» магнетитовый, апатитовый и бадделеитовый концентраты. Флогопитовый, форстеритовый и карбонатный концентраты можно рассматривать как перспективные.

Флогопитовый концентрат с размером зерен менее 0,4 мм может рассматриваться в качестве аналога дробленых (молотых) слюд и использоваться при производстве рубероида, при буровзрывных работах для изоляции зон поглощения и цементирования нефтяных и газовых скважин, в резинотехнической промышленности. Возможно применение молотого флогопита в металлургической промышленности. В зависимости от области использования регламентируется состав концентрата и содержание примесей.

Согласно анализу гранулометрического состава флогопитового концентрата, полученного из техногенного сырья, концентрат занимает промежуточное значение между дробленой слюдой (содержание класса -0,16 мм не более 15 %) и слюдой молотой (содержание класса +0,16 мм не более 0,2 %) (табл. 3). При условии классификации по классу 0,16 мм флогопитовый концентрат полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ 19571-74 для дробленой слюды и может быть использован при изготовлении мягкой кровли. Более мелкая фракция концентрата по крупности удовлетворяет требованиям к молотой слюде, применяемой при производстве резинотехнических изделий. Классификация по классу 0,05 мм позволит удалить из концентрата лимитирующие примеси, ограничивающие использование в традиционных для данного сырья областях промышленности.

Таблица 3  
Table 3Гранулометрический и химический состав флогопитового концентрата  
Granulometric and chemical compositions of phlogopite concentrate

Класс крупности, мм Grade size, mm	Выход, % Output, %	Содержание, % Content, %			Извлечение, % Recovery, %		
		K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>
+0,16	37,6	7,98	0,24	0,24	40,0	49,1	25,5
-0,16 +0	62,4	7,19	0,15	0,46	59,8	50,9	80,5
в том числе -0,05 including -0,05	7,1	4,38	0,29	1,21	4,1	11,8	29,9
Всего Total	100,0	7,5	0,18	0,36	100,0	100,0	100,0

Одно из перспективных направлений применения форстеритового концентрата — использование его при производстве плавящихся фосфорно-магневых удобрений (ПФМУ). Получают их сплавлением фосфатов с магниевым сырьем (дунитом, кизеритом, оливинитом, форстеритом) при температуре 1350–1400 °С с последующим быстрым охлаждением водой.

Карбонатный концентрат, содержащий 53,0 % CaCO<sub>3</sub>, после предварительного гранулирования в перспективе может быть использован в качестве сырья для производства извести III сорта.

**Выводы**

Проведена оценка возможности получения дополнительных видов продукции из минерального техногенного сырья II поля хвостохранилища АО «Ковдорский ГОК».

Предложена последовательность обогатительных операций, методов и режимов обогащения, позволяющих получать из минерального сырья техногенного месторождения наряду с традиционными концентратами — магнетитовым, апатитовым и бадделейтовым, также дополнительно еще флогопитовый, форстеритовый и карбонатный концентраты.

Показаны направления использования перспективных продуктов обогащения с учетом их гранулометрического и химического составов.

Складированные отходы обогащения (техногенное месторождение II) является дополнительной сырьевой базой АО «Ковдорский ГОК», позволяющей производить не только дополнительные объемы апатитового, бадделейтового, форстеритового, флогопитового и карбонатного концентратов, но и сохранить лесные угодья за счет повторного использования подготовленных площадей.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Модернизация минерально-сырьевой базы в стратегии долгосрочного развития Ковдорского ГОКа / А. И. Петрик [и др.] // Горн. журн. 2012. № 10. С. 12–17.
2. Основные итоги и уроки реализации инновационного проекта крупномасштабного освоения техногенного месторождения отходов обогатительного производства / А. А. Данилкин [и др.] // Горн. журн. 2012. № 10. С. 40–44.
3. Сохранение и освоение техногенных месторождений горнопромышленного комплекса для расширения минерально-сырьевой базы региона / Н. Н. Мельников [и др.] // Обогащение руд. 2010. № 9. С. 88–92.
4. Брянцева О. С., Дюбанов В. Г. Учет экологического фактора при оценке эффективности переработки техногенных образований // Экономика региона. 2011. № 2. С. 203–208.
5. Ежов А. И. Оценка техногенного сырья в Российской Федерации (твердые полезные ископаемые) // Горные науки и технологии. 2016. № 4. С. 62–72.
6. Бусырев В. М., Чуркин О. Е. Оценка стоимости запасов и эффективности освоения техногенных месторождений // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2016. № 6. С. 106–114.
7. Чантурия В. А., Вигдерегауз В. Е. Инновационные технологии переработки техногенного минерального сырья // Горн. журн. 2008. № 6. С. 71–74.
8. Гершенков А. Ш., Хохуля М. С., Мухина Т. Н. Переработка техногенного сырья Кольского полуострова // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 1. С. 4–9.
9. Ivanova V. A., Mitrofanova G. V. Aspects of comprehensive processing technology for stockpiled concentration wastes of apatite-nepheline ores // 15-th Balkan Mineral Processing Congress: Paras book, Vol. 2, Sozopol Bulgaria, June 12–16. 2013. P. 1112–1114.

### **Сведения об авторах**

*Андронов Георгий Павлович* — научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

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

*Перункова Татьяна Николаевна* — ведущий технолог Горного института КНЦ РАН

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

### **Author Affiliation**

*George P. Andronov* — Researcher of the Mining Institute of KSC RAS

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

*Tatyana N. Perunkova* — Leading Technologist of the Mining Institute of KSC RAS

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

### **Библиографическое описание статьи**

*Андронов, Г. П.* Получение дополнительных продуктов из техногенных отходов переработки руд Ковдорского месторождения / *Г. П. Андронов, Т. Н. Перункова* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 68–73.

### **Reference**

*Andronov George P., Perunkova Tatyana N.* Production of Secondary Products from Mining-Induced Ore Processing Waste from the Kovdor Deposit. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 68–73 (In Russ.).

## ПОИСК НОВЫХ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Ю. С. Каменева, Е. А. Базарова

ФГБУН Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты

### Аннотация

Осуществлен синтез комплексообразующего реагента моногидроксиамида алкенилянтарной кислоты путем реакции соответствующего ангидрида с гидроксиламином. Проведена экспериментальная оценка возможности его применения для флотации медно-никелевой руды одного из месторождений Печенгского рудного поля. Показана принципиальная возможность использования данного класса реагентов в качестве дополнительного собирателя-вспенивателя при флотации медно-никелевых руд.

### Ключевые слова:

*медно-никелевая руда, флотация, реагенты-комплексообразователи, сульфгидрильные собиратели.*

## SEARCH OF NEW COMPLEXING REAGENTS FOR COPPER-NICKEL ORE FLOTATION

Yuliya S. Kameneva, Ekaterina A. Bazarova

Mining Institute of KSC RAS

### Abstract

The complexing reagent of monohydroxyamide of alkenylsuccinic acid was synthesized through the reaction of the corresponding anhydride with hydroxylamine. The possibility of its application for flotation of copper-nickel ore from one of the Pechenga ore deposits was experimentally estimated. The principal possibility of using this class of reagents as complementary foaming agents in the copper-nickel ore flotation, is shown.

### Keywords:

*copper-nickel ores, flotation, reagent-complexing agents, sulfhydryl collectors.*



### Введение

В последнее время в переработку на горно-обогатительных предприятиях все больше вовлекаются бедные труднообогатимые медно-никелевые руды, для которых характерно низкое содержание ценных компонентов. Сложность вещественного состава, неравномерная тонкая вкрапленность обуславливают снижение технологических показателей обогащения с использованием традиционных схем и реагентных режимов.

Одним из путей решения проблемы является поиск новых реагентов-собирателей.

Для разделения сульфидов цветных металлов и минералов пустой породы применяют реагенты различного строения, преимущественно сульфгидрильные собиратели: ксантогенаты — соли ксантогеновых кислот ( $\text{ROCS}_2\text{Me}$ ) и аэрофлоты — дитиофосфаты ( $(\text{RO})_2\text{PS}_2\text{Me}$ ) [1]. Основные направления для создания новых реагентов — это разнообразные модификации сульфгидрильных собирателей [2, 3] или введение в состав молекулы комплексообразующих группировок [4, 5]. Наличие в кристаллической решетке сульфидных минералов атомов переходных металлов с частично заполненными электронными орбиталями, способных к взаимодействию с органическими лигандами, определяет возможность использования комплексообразующих реагентов в качестве собирателей для сульфидных руд.

Известно, что гидроксамовые кислоты способны образовывать с ионами цветных металлов и железа прочные комплексы [6], что определяет их использование в качестве аналитических агентов и создает предпосылки для применения этих реагентов в экстракционных и флотационных процессах [5, 7].

В настоящей работе исследована возможность получения и использования в качестве собирателя бифункционального соединения, так как известно, что наличие двух функциональных группировок в молекуле реагента определяет его способность образовывать прочные хелатные соединения. Центральный атом в таких соединениях связан с органическим лигандом силами как главной, так и побочной валентности. Примером таких соединений, способных образовывать хелатные комплексы с ионами меди и никеля, являются аминокислоты, в состав которых входит карбоксильная и аминная группировки [8].

### Материалы и методы исследования

Высокая реакционная способность ангидридного кольца дикарбоновых кислот обеспечивает легкость проведения синтеза с участием различных нуклеофильных агентов. Осуществлен синтез моногидроксиамида алкенилянтарной кислоты путем проведения реакции между соответствующим ангидридом и гидроксилламинном в мольном соотношении 1:1. Полученный реагент характеризуется кислотным числом (КЧ), равным 336, соответствующим соединению с одной карбоксильной группировкой.

Оценку собирательных свойств синтезированного реагента проводили на пробе тонковкрапленной медно-никелевой руды одного из месторождений Печенгского рудного поля с содержанием Ni  $\approx$  0,5 % и Cu  $\approx$  0,21 %. Минеральный состав, определенный методом рентгенофазового анализа, показал, что доля главных сульфидных минералов в руде составляет 4,5 %, в том числе: пирротина — 2,6 %, пентландита — 1,4 %, халькопирита — 0,5 %. Породообразующие минералы представлены: серпентином, пироксеном, амфиболами, тальком и оливином. Ранее проведенными исследованиями установлена необходимость измельчения данного типа руды до крупности 97 % класса -0,071 мм ( $\approx$  88 % класса -0,045 мм), что, согласно данным минералогического анализа, обеспечивает практически полное раскрытие сульфидных минералов.

Руда крупностью -2 мм подвергалась измельчению в шаровой мельнице объемом 7 л, соотношение твердого к жидкому 1:0,6, масса шаровой загрузки составляла 9 кг.

Опыты проводились в открытом цикле по схеме (рис.) с проведением основной (ОФ) и контрольной флотаций (КФ). Необходимое значение pH создавали с помощью кальцинированной соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), подаваемой в измельчение согласно сложившейся практики обогащения медно-никелевых руд [9]. В качестве активатора сульфидных минералов использован медный купорос. Расход соды и медного купороса во всех опытах составил 3 кг/т и 30 г/т исходной руды соответственно.

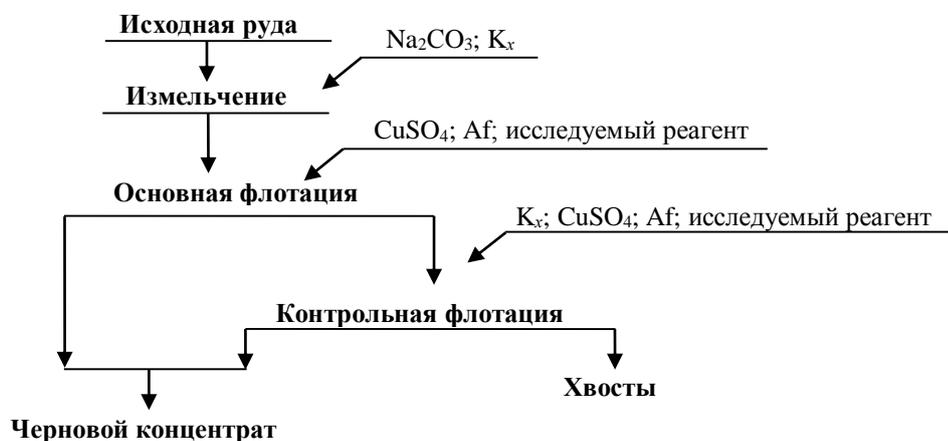


Схема получения черного медно-никелевого концентрата  
Scheme of production of rough copper-nickel concentrate

Основной собиратель — бутиловый ксантогенат ( $K_x$ ) в виде 1 %-го раствора также подавали в измельчение. Принципиальную оценку флотационных свойств проводили по показателям выделения черного медно-никелевого концентрата. Результаты, полученные при использовании синтезированного реагента, сравнивали с показателями обогащения, полученными при использовании традиционных реагентов-собирателей — бутилового ксантогената и аэрофлота (Af).

### Результаты лабораторных испытаний

Синтезированный моногидроксиамид алкенилянтарной кислоты использовали как дополнительный собиратель в сочетании с бутиловым ксантогенатом вместо аэрофлота.

Результаты проведенных ранее исследований показали, что монофункциональные реагенты — алкилгидроксамовые кислоты характеризуются высокими пенообразующими свойствами при флотации медно-никелевых руд, обеспечивая увеличение выхода черного концентрата при увеличении их доли в собирательной смеси по сравнению с традиционным реагентным режимом [5]. Флотационные испытания исследуемого реагента показали, что его использование в качестве дополнительного собирателя также приводит к повышенному пенообразованию.

Следует отметить, что исследуемый собиратель обладает большей активностью по отношению к никелю. Замена аэрофлота на комплексообразующий реагент в равном количественном соотношении приводит к увеличению извлечения никеля в концентрат на 1,2 %. Увеличение в смеси доли комплексообразующего реагента при равном суммарном расходе собирателей обеспечивает еще большее извлечение никеля, в то время как извлечение меди сохраняется примерно на том же уровне (табл.). Повышение извлечения никеля, обусловленное только увеличением выхода пенного продукта, может говорить о том, что использование исследуемого реагента позволяет перевести в пенный продукт бедные сростки никеля с другими минералами.

Технологические показатели обогащения медно-никелевой руды  
Technological indices of copper-nickel ore processing

№ п/п	Продукт Product	Выход, % Output, %	Содержание, % Content, %		Распределение, % Distribution, %		Общий расход реагентов, г/т Total consumption of reagents, g/t
			Ni	Cu	Ni	Cu	
1	Черновой концентрат Rough concentrate	27,21	1,44	0,612	78,32	85,45	$K_x$ — 175 Af — 123
	Хвосты Tails	72,79	0,149	0,039	21,68	14,55	
	Исходный Original	100,00	0,50	0,19	100,00	100,00	
2	Черновой концентрат Rough concentrate	32,73	1,26	0,532	80,27	85,73	$K_x$ — 175 Исследуемый реагент — 123 Monohydroxyamide — 123
	Хвосты Tails	67,27	0,151	0,043	19,73	14,27	
	Исходный Original	100,00	0,51	0,20	100,00	100,00	
3	Черновой концентрат Rough concentrate	34,82	1,2	0,51	81,16	85,81	$K_x$ — 149 Исследуемый реагент — 149 Monohydroxyamide — 149
	Хвосты Tails	65,18	0,149	0,045	18,84	14,19	
	Исходный Original	100,00	0,51	0,20	100,00	100,00	

По-видимому, высокая комплексообразующая способность моногидроксиамида алкенилянтарной кислоты по отношению к никелю обеспечивает его прочное закрепление на поверхности минеральных зерен.

Последующие перемывки чернового концентрата позволяют получить готовый концентрат с содержанием никеля на уровне 6–7 %.

## Выводы

Предложен новый бифункциональный реагент, который обладает высокими комплексообразующими свойствами по отношению к никелю.

Лабораторными флотационными испытаниями показана возможность использования моногидроксиамида алкенилянтарной кислоты в сочетании с бутиловым ксантогенатом в качестве собирателя для флотации медно-никелевых руд.

Использование предложенного реагента вместо аэрофлота в составе собирательной смеси обеспечивает прирост извлечения никеля в черновой медно-никелевый концентрат.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамов А. А.* Технология переработки и обогащения руд цветных металлов: в 2 кн. Кн. 2. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 470 с.
2. *Комогорцев Б. В., Вареничев А. А.* Применение селективных реагентов-собирателей в технологиях флотационного обогащения золотосодержащих сульфидных руд // ГИАБ. 2016. № 12. С. 231–242.
3. Совершенствование технологии обогащения медно-молибденовых руд месторождения «Эрдэнэтийн Овоо» (Монголия) в условиях изменения вещественного состава руды / *А. М. Десятков [и др.]* // ГИАБ. 2008. № 6. С. 345–349.
4. *Тимошенко Л. И., Чеканова Л. Г., Маркосян С. М.* Реагенты класса гидразидов для флотационного обогащения вкрапленных медно-никелевых руд // Хим. технология. 2014. Т. 15, № 8. С. 488–492.
5. Использование квантово-химических расчетов для прогнозирования эффективности взаимодействия реагентов-комплексообразователей с минералами руд цветных металлов / *Е. В. Черноусенко [и др.]* // ГИАБ. 2017. № 23: [спецвып.]. С. 493–501.
6. *Пилипенко А. Т., Зулфигаров О. С.* Гидроксамовые кислоты. М.: Наука, 1989. 312 с.
7. *Каменева Ю. С., Черноусенко Е. В., Вишнякова И. Н.* Изучение обогатимости лопаритовых шламов методом флотации // Горн. информ.-аналит. бюлл. (науч.-техн. журн.). 2017. № 5. С. 292–298.
8. *Горболетова Г. Г., Гридчин С. Н., Луценко А. А.* Термохимическое исследование процессов комплексообразования ионов  $\text{Cu}^{2+}$  с L-глутамином в водном растворе // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84, № 11. С. 2036–2041.
9. *Блатов И. А.* Обогащение медно-никелевых руд. М.: Руда и металлы, 1998. 224 с.

## Сведения об авторах

*Каменева Юлия Сергеевна* — младший научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

E-mail: Dgeremi@mail.ru

*Базарова Екатерина Александровна* — инженер Горного института КНЦ РАН

E-mail: klybnika-number1@rambler.ru

## Author Affiliation

*Yuliya S. Kameneva* — Junior Researcher of the Mining Institute of KSC RAS

E-mail: Dgeremi@mail.ru

*Ekaterina A. Bazarova* — Engineer of the Mining Institute of KSC RAS

E-mail: klybnika-number1@rambler.ru

## Библиографическое описание статьи

*Каменева, Ю. С.* Поиск новых комплексообразующих реагентов для флотации медно-никелевых руд / *Ю. С. Каменева, Е. А. Базарова* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 74–77.

## Reference

*Kameneva Yuliya S., Bazarova Ekaterina A.* Search of New Complexing Reagents for Copper-Nickel Ore Flotation. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 74–77 (In Russ.).

## РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ГРАФИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОДАХ ХАНКАЙСКОГО МАССИВА ПРИМОРЬЯ ПО ДАННЫМ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

**П. П. Сафронов**

ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

### Аннотация

Методом аналитической растровой электронной микроскопии изучены углеродсодержащие метаморфические породы Ханкайского массива Приморья (Лесозаводский район), в которых выявлен широкий спектр рудных минералов микронной и нанометровой размерности. Среди них установлены самородное золото разной пробы, изоферроплатина Pt<sub>3</sub>Fe, серебро и его соединения с галогенами, серой и ртутью, самородные Ni, Fe, Zn, Sn, Al, W, Bi, сплавы систем Cu-Sn, Fe-Cu, Ni-Fe-Cu, Cu-Fe-Sn, интерметаллиды меди — латунь и бронза, а также теллуриды, оксиды, сульфиды, сульфаты и фосфаты различных элементов.

Выделены основные минерализации: 1) самороднометальная, включающая самородное золото, изоферроплатину, вышеназванные самородные металлы, сплавы и интерметаллиды; 2) серебряносная, состоящая из серебра и его соединений; 3) редкоземельно-иттриевая, представленная монацитом, церианитом и ксенотимом. Рассмотрен генезис этих минерализаций, и обоснован вывод о том, что серебряносная минерализация была связана с углеродистыми флюидными системами.

### Ключевые слова:

*самородное золото, изоферроплатина, серебро, соединения серебра, самородные металлы, сплавы, интерметаллиды, минералы редкоземельных элементов.*

## ORE MINERALIZATION IN GRAPHITE-BEARING ROCKS OF KHANKA MASSIF OF PRIMORYE FROM DATA OF SCANNING ELECTRON MICROSCOPY

**Peter P. Safronov**

Far East Geological Institute of FEB RAS, Vladivostok

### Abstract

The method of analytical scanning electron microscopy was used to study the carbon-bearing metamorphic rocks of Khanka massif of Primorye (Lesozavodsky district) that made it possible to reveal in them a wide spectrum of ore minerals of micron and nanometric dimensions. Among them there have been found native gold of different fineness, isoferroplatinum Pt<sub>3</sub>Fe, silver and its compounds with halogens, sulfur, and mercury, native Ni, Fe, Zn, Sn, Al, W, Bi, alloys of the Cu-Sn, Fe-Cu, Ni-Fe-Cu, and Cu-Fe-Sn systems, copper intermetallides — bronze and brass, as well as tellurides, oxides, sulfides, sulfates, and phosphates of different elements. Three main mineralizations have been distinguished: 1) native-metal one comprising native gold, isoferroplatinum, and listed above native metals, alloys, and intermetallides; 2) silver-bearing one consisting of silver and its compounds; 3) rare-earth-yttrium one represented by monazite, cerianite, and xenotime. The genesis of these mineralizations has been considered and the conclusion has been substantiated that the silver-bearing mineralization was related to the carbonaceous fluid systems.

### Keywords:

*native gold, isoferroplatinum, silver, compounds of silver, native metals, alloys, intermetallides, minerals of rare-earth elements.*



### Введение

Изучение черносланцевых, графитизированных и углеродсодержащих пород имеет важное металлогеническое значение, поскольку с этими породами связаны многие крупные месторождения благородных металлов — золота, платины, серебра и редких металлов [1–5]. В Приморье внимание к этой проблеме в последние годы заметно усилилось в связи с полученными данными о присутствии в графитсодержащих породах повышенных содержаний Pt и Au, и это послужило предметом интенсивных исследований указанных пород на благороднометальную минерализацию [6–10]. Вместе с тем, наряду с платиной и золотом,

в метапородах Ханкайского массива присутствуют микровключения минералов серебра, никеля, железа, олова, свинца, РЗЭ и др., количество которых, по полученным данным, иногда превосходит количество микрообразований благородных металлов. Изучение этих минералов дает дополнительную информацию о генезисе оруденения в углеродизированных породах Ханкайского массива, что позволило выделить серебряную минерализацию в отдельный этап минералообразования.

В настоящей работе представлены аналитические данные по широкому спектру минералов: от самородных металлов, сплавов и интерметаллидов до различного рода химических соединений рудных элементов, в том числе фаз микро- и нанометровой размерности — этих начальных «кирпичиков» возможных рудных скоплений. Приведенные материалы дополняют результаты предшествующих исследователей по изучению благороднометалльной минерализации графитоносных пород Ханкайского массива и содержат новые сведения о формировании в углеродсодержащих породах рудных минералов не только микронных, но и нанометровых размеров.

### **Краткая геологическая характеристика**

В северо-западной части Приморского края в междуречье рек Уссури и ее правого притока Большая Уссурка (рис. 1) развиты протерозойские и раннепалеозойские метаморфические образования с графитовой минерализацией (иманская, уссурийская, лесозаводская и орловская серии Ханкайского массива). Графитсодержащие породы (мраморы, сланцы, гнейсы, кварциты, а также графитизированные граниты, диориты, габброиды и метавулканиды) широко распространены в пределах Ханкайского массива и перекрывающих его отложениях. Возраст графитизированных пород варьирует от раннего протерозоя до позднего палеозоя, охватывая интервал продолжительностью более чем 1 млрд лет, но наиболее интенсивной графитизации подвержены метаморфические породы из основания Ханкайского массива (снизу-вверх): иманская, уссурийская, лесозаводская и орловская серии, включающие месторождения графита [11] — Тамгинское (иманская серия) и Тургеневское (лесозаводская серия). В метаморфических породах, наряду с углеродизацией, отмечаются микро- и нановключения золота, платины, серебра, а также ряда редких металлов, сплавов, интерметаллидов и пр. соединений [8, 10].

В составе иманской серии видимой мощности 7000 м основная роль принадлежит метатерригенным высокоглиноземистым сланцам и гнейсам (матвеевская свита). Меньшим распространением пользуются биотит-амфиболовые сланцы и амфиболиты (тургеневская свита). В основании серии залегает толща мраморов (ружинская свита) [12, 13]. Породы серии зонально метаморфизованы в условиях от амфиболитовой до гранулитовой фации и неравномерно графитизированы. На отдельных участках концентрация графита в метапородах отвечает промышленным содержаниям [11]. Образований, подстилающих иманскую серию не установлено.

Выше иманской серии залегает уссурийская серия, включающая нахимовскую (биотитовые, амфибол-биотитовые сланцы, амфиболиты и гнейсы с прослоями мраморов) и татьяновскую (биотитовые и диопсидовые сланцы с линзами кальцифиров и амфиболитов) свиты. Мощность уссурийской серии — 3500 м. Метапороды уссурийской серии, как и породы иманской серии, неравномерно графитизированы, участками интенсивно (месторождение Тургеневское) [11]. Наблюдаемая мощность уссурийской свиты — 3500 м. Метаморфизм пород уссурийской серии соответствует зеленосланцевой и амфиболитовой фациям [12].

Радиоизотопными методами (Sm-Nd) установлено, что нижний возраст протолитов метापород иманской и уссурийской серий ограничен значением 1700 лет [14]. Возраст протолитов вулканических образований уссурийской серии — 1300 млн лет.

На отложениях уссурийской серии с тектоническим несогласием залегают позднерифейские метапороды лесозаводской серии, включающие митрофановскую (графитистые, слюдяные сланцы, графитистые кварциты, серицит-кварц-гематитовые сланцы с линзами известняков), лысогорскую (мраморизованные известняки с маломощными прослоями амфибол-биотитовых, мусковитовых и

графитистых сланцев) и кабаргинскую (филлиты и метапесчаники) свиты. Степень метаморфического преобразования пород лесозаводской серии варьирует от слабых зеленокаменных изменений до амфиболитовой фации. Мощность серии — 2600 м.

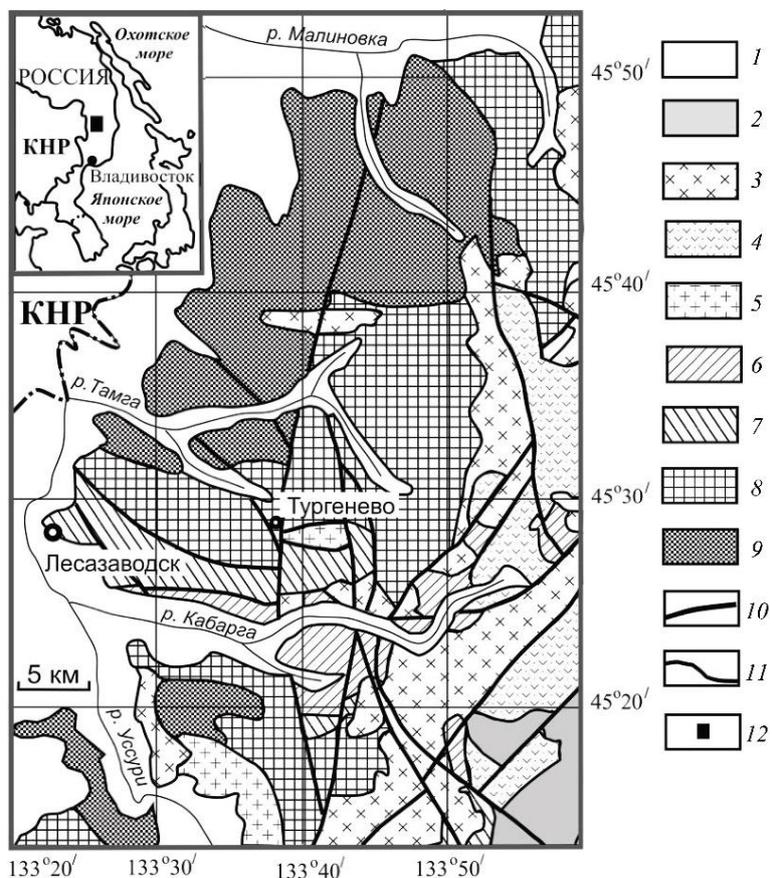


Рис. 1. Схематическая геологическая карта междуречья рек Усури и Малиновка (левый приток р. Бол. Уссурка), заимствованная из работы [6], с небольшими дополнениями:  
 1 — кайнозойские отложения; 2 — нижнемеловые отложения; 3 — габбро-гранитные магматические комплексы палеозойского и мезозойского возраста; 4 — палеозойские вулканиты дунайского вулканического комплекса; 5 — раннепалеозойские гранитоиды уссурийского магматического комплекса; 6 — кембрийские отложения орловской серии; 7–9 — протерозойские отложения лесозаводской (7), уссурийской (8) и иманской (9) серий; 10 — разломы; 11 — геологические границы; 12 — местоположение района исследований на обзорной схеме

Fig. 1. Schematic geological map of the Ussuri and Malinovka Rivers interfluvium (left tributary of the Bol'shaya Ussurka River) taken from the work [6] with little additions:  
 1 — Cenozoic deposits; 2 — Lower Cretaceous deposits; 3 — gabbro-granite magmatic complexes of the Paleozoic and Mesozoic age; 4 — Paleozoic volcanites of the Dunaisky volcanic complex; 5 — Early Paleozoic granitoids of the Ussuriiskiy magmatic complex; 6 — Cambrian deposits of the Orlovskaya series; 7–9 — Proterozoic deposits of Lesozavodskaya (7), Ussuriiskaya (8), and Imanskaya (9) series; 10 — faults; 11 — geological boundaries; 12 — position of the study district on the review scheme

Венчают разрез пород основания Ханкайского массива слабометаморфизованные раннекембрийские отложения орловской серии мощностью 1000 м, состоящие из смольнинской (доломиты, известняки с прослоями глинистых и кремнистых сланцев) и рудоносной (кварц-серицитовые, хлорит-серицитовые, углистые сланцы, железистые кварциты, марганцевые руды, известняки) свит.

По данным [13, 15], породы Ханкайского массива претерпели два этапа метаморфизма: первый этап регионального метаморфизма амфиболитовой фации проявился в позднем докембрии (730 млн лет), второй — зональный, варьирующий от зеленосланцевой до гранулитовой фации, датируется радиоизотопными методами возрастом  $506,9 \pm 2,6$  млн [15].

В работе [16] метапороды Ханкайского массива, наряду с Буреинским (Хабаровский край) и Цзямусским массивами (Китай), рассматриваются как фрагменты фанерозойского Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Состав протолитов стратифицированных метаморфических образований Ханкайского массива (песчаники, алевролиты, туффиты, вулканиты, карбонатные отложения) [12, 17] свидетельствует о том, что накопление пород происходило в условиях осадочного морского бассейна с рифовыми постройками и вулканическими островами и сопровождалось периодами эндогенной активизации территории с проявлениями базитового и андезитового вулканизма. Воздействие на терригенные отложения регионального метаморфизма (730 и 506 млн лет), гранитизации, внедрение интрузий габброидов и гранитоидов приводило к многократному переотложению биогенного углеродистого вещества, присутствовавшего в осадочных породах и обладающего значительной подвижностью в условиях высоких температур. Кроме того, в работе [18] на основании изотопных исследований углерода сделан вывод о ювенильном привносе углерода в отложения Ханкайского массива. Вместе с углеродом и углеродистыми соединениями осуществлялся газотранспортный перенос рудных компонентов [19], содержащихся в органических осадках, а также частично привносимых магматическими флюидами.

Особенностью рудной минерализации, проявленной в графитизированных метапородах Ханкайского массива, является нано- и микроразмерность рудных частиц и сопряженность рудообразования с углеродизацией, что объясняется конденсацией рудных компонентов из органометаллических соединений в процессе миграции углеродсодержащих газов и флюидов [20].

### **Методика исследования**

Из монолитных кусков породы приготовлены срезы в виде прямоугольных столбиков, а также многочисленные сколы (сколки размером от десятков микрометров до нескольких миллиметров). Основная информация извлекалась из свежеприготовленных сколков. Преимущество натуральных сколков, в отличие от аншлифов, заключается в том, что они не подвергались нарушениям, связанным со шлифовкой и полировкой, поэтому в них сохранены пространственные взаимоотношения микро- и наночастиц самородных минералов с кристаллической матрицей изучаемых пород, в которой они находятся. Подготовленные образцы (сколки) закреплялись на специальных столиках и изучались методом аналитической растровой электронной микроскопии (АРЭМ). Измерения составов проводились на электронных микроскопах EVO 50XVP и EVO 40XVP (фирмы Carl Zeiss, Германия), оснащенных системой энергодисперсионного рентгеновского (ЭДР) анализа INCA Energy (фирмы Oxford instruments, Великобритания). Все измерения выполнялись при ускоряющем напряжении электронного пучка 20 кВ. Ток пучка устанавливался достаточным для получения рентгеновского сигнала от образца в несколько тысяч импульсов в секунду. Состав найденных микро- и наночастиц, а также наноразмерных минеральных фаз в агрегатах определялся по специально разработанной методике [21] с использованием стандартной программы ЭДР-спектрометра. Концентрации элементов были нормализованы, т. е. их суммы приводились к 100 %.

Сценарий исследований состоял в следующем. Сначала под электронным микроскопом в режиме упруго-рассеянных электронов (а при необходимости и во вторичных электронах) осуществлялось последовательное наблюдение участков при различных увеличениях с параллельным ЭДР-зондированием обнаруженных выделений. Затем проводилось более тщательное изучение их состава и окружающей породной матрицы. Всего было просмотрено и исследовано несколько тысяч участков поверхности образцов-сколков.

### **Результаты исследования**

Для изучения были отобраны штучные пробы весом 3–5 кг графитизированных сланцев митрофановской (уссурийская серия) и рудоносной (кабаргинская серия) свит. Образцы для исследований предоставлены сотрудником ДВГИ ДВО РАН д. г.-м. н. М. А. Мишкиным. Из коллекции 30 образцов выбрано два (АР 36/2 и АР 34), на основании предварительного минераграфического изучения образцов позволившего выделить породы с наличием тонкой рудной вкрапленности.

Образец AP 36/2 — зеленый сланец, состоит из преобладающих мелких кристаллов альбита, биотита и кварца с подчиненными количествами актинолита, эпидота, ортоклаза и редких мелких включений графита, рассеянных в основной массе. Уровень метаморфического преобразования породы отвечает зеленосланцевой фации.

Образец AP 34 — графитизированный кремнистый сланец, имеет близкий к мономинеральному кварцевый состав с незначительной примесью серицита, хлорита, полевых шпатов и микрочешуек графита. Химический состав образцов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Химический состав (XC) метапород уссурийской (AP 36/2) и лесозаводской (AP 34) серий, мас. %  
Chemical composition (CC) of metarocks of Ussuriiskaya (AR 36/2) and Lesozavodskaya (AR 34) series (mass %)

XC CC	Образец Sample		XC CC	Образец Sample		XC CC	Образец, г/т Sample, g/t		XC CC	Образец, г/т Sample, g/t	
	AP 36/2	AP 34		AP 36/2	AP 34		AP 36/2	AP 34		AP 36/2	AP 34
SiO <sub>2</sub>	67,64	79,74	CaO	4,05	0,17	Cu	18	15	Ni	38	14
TiO <sub>2</sub>	0,37	0,60	Na <sub>2</sub> O	0,38	0,22	Pb	6	43	Co	22	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,67	11,01	K <sub>2</sub> O	1,09	3,23	V	61	530	Pt	н. о.	0,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,05	0,14	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,42	0,09	Cr	38	80	Pd	н. о.	0,008
FeO	5,57	0,08	п.п.п.	1,53	3,78	Mo	—	4,2	Rh	н. о.	<0,005
MnO	0,29	0,01	C <sub>орг</sub>	<0,1	2,94	Ag	—	0,16	Ir	н. о.	<0,01
MgO	6,94	0,93				Zn	83	—	Au	н. о.	0,10

*Примечание.* Содержания основных петрогенных компонентов определены методом «мокрой химии» в ДВГИ ДВО РАН (аналитики: В. У. Крамаренко, С. П. Славкина). Микроэлементы проанализированы спектральным методом в лаборатории рентгеновских методов ДВГИ ДВО РАН. Содержания благородных металлов определены спектрохимическим методом в ИГЕМ РАН; н. о. — не определялось; прочерк означает, что содержания ниже порога чувствительности используемого анализа.

*Note.* Contents of main petrogenic components have been determined by the method of “wet chemistry” at FEGI, FEB RAS (analysts: Kramarenko V. U., Slavkina S. P.). Microelements have been analysed with the spectral method at the Laboratory of the Roentgen methods of FEGI, FEB RAS. Contents of precious metals have been determined with the spectrochemical method at IGEM RAS. н. о. — not determined; dash means that the contents are below the threshold sensitivity of the analysis been used.

### Минералы благородных элементов (Au, Pt, Ag)

**Самородное золото** встречается в породе в виде обособлений размером от 0,5 мкм до нескольких микрометров, самая крупная частица — ~ 16 мкм (рис. 2). В целом золото по составу подразделяется на два типа — серебристое и медистое (табл. 2). К серебристому золоту относят высокопробное — 990–960 ‰ и низкопробное — 584 ‰ (электрум), к медистому — медьсодержащий электрум с пробой 493–640 ‰. Выделения золота, размеры которых не превышают нескольких микрометров (рис. 2, б, в, г), находятся в тесных срастаниях с породной матрицей, что указывает на близко-одновременную кристаллизацию золота и вмещающей породы. Лишь самая крупная частица (рис. 2, а) находилась в пустотном пространстве породы. Частица имеет слоистое строение, что свидетельствует о многоимпульсном характере процесса минералообразования.

Следует отметить, что вблизи золотин, как правило, находятся участки с повышенным, а иногда и высоким содержанием углерода.

**Изоферроплатина.** В 2008 г. в углеродистых сланцах Ханкайского массива нами впервые была установлена минеральная форма платины [8]. Наиболее крупная частица длиной 7 мкм показана на рис. 3. Ее средний состав, после вычета захваченных элементов матрицы Si и O, равен 73,44 ат. % Pt и 26,56 ат. % Fe, т. е. близок к стехиометрическому Pt<sub>3</sub>Fe, что соответствует кристаллохимической формуле изоферроплатины. Следует отметить, что находки платины в местах отбора проб А-34 и А-36 существенно более редки, чем золота, серебра и других самородных элементов.

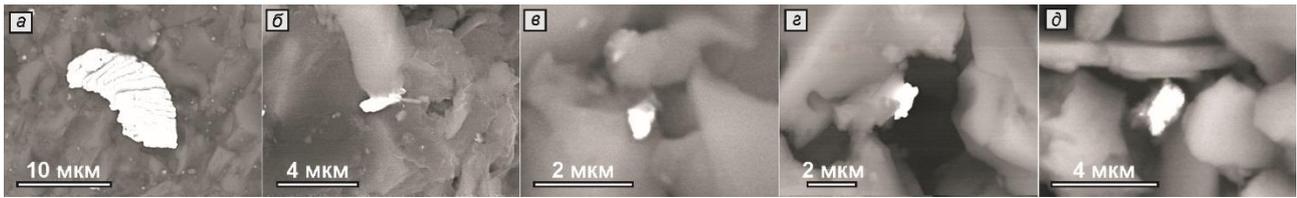


Рис. 2. Микроснимки с выделениями самородного золота в углеродистой породе Ханкайского массива (снято в упруго-рассеянных электронах)

Fig. 2. Microphotographs with the aggregates of native gold in the carbonaceous rock of Khanka massif. Photographed in the shape-elastic-scattered electrons

Таблица 2  
Table 2

Состав выделений самородного золота в углеродистой породе Ханкайского массива, мас. %  
Composition of the native gold aggregates in the carbonaceous rock of Khanka massif (mass %)

Элемент Element	а				б	в		г	д		
	Сп 1	Сп 2	Сп 3	Сп 4	Сп 1	Сп 1	Сп 2	Сп 1	Сп 1	Сп 2	Сп 3
Au	99,17	99,11	99,19	99,13	95,95	59,99	56,79	63,97	49,29	49,66	49,04
Ag	—	—	—	—	4,05	40,01	43,21	30,32	45,03	43,66	44,89
Cu	—	—	—	—	—	—	—	5,71	5,68	6,68	6,07
Fe	0,83	0,89	0,81	0,87	—	—	—	—	—	—	—
Сумма Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Проба, ‰ Sample, ‰	992				960	584		640	493		

Примечание. Частицы: а, б — высокопробное самородное золото; в — электрум; г, д — низкопробное медистое золото. Сп 1, Сп 2, Сп 3, Сп 4 — спектры.

Note. Particles: а, б — high-standard native gold; в — electrum; г, д — low-standard copper gold. Сп 1, Сп 2, Сп 3, Сп 4 — spectra.

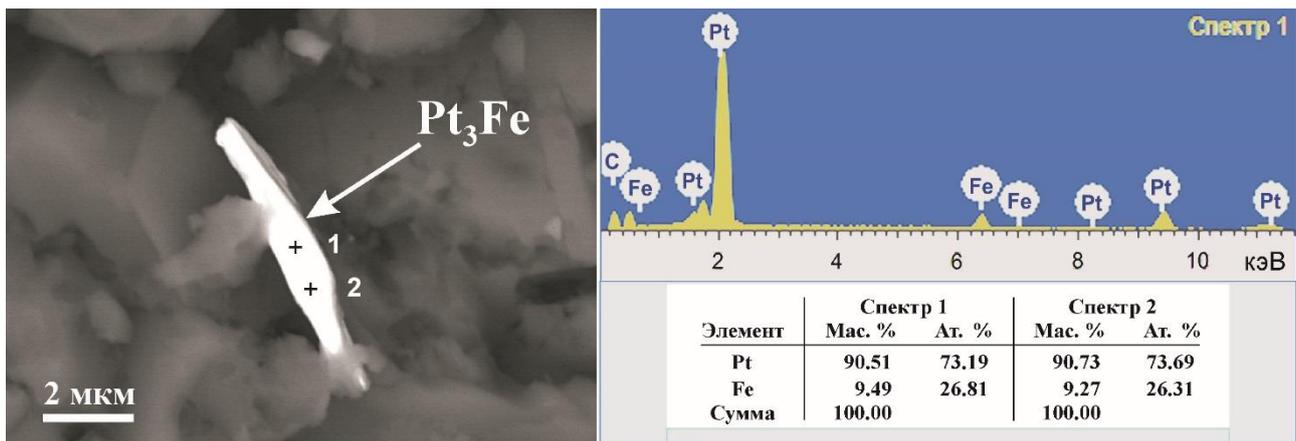


Рис. 3. Выделение изоферроплатины в углеродистой породе Ханкайского массива: слева — микроснимок в упруго-рассеянных электронах, справа — ЭДР-спектр в точке 1 и состав в точках 1 и 2

Fig. 3. Isoferroplatinum aggregates in the carbonaceous rock of Khanka massif: in the left — microphotograph in the shape-elastic-scattered electrons, in the right — EDX spectrum in point 1 and composition in points 1 and 2

**Самородное серебро и его соединения.** Самородное серебро, как и золото в изученных породах, широко распространено; наряду с ним присутствуют его соединения с галогенными элементами, ртутью и серой. Ксеноморфные обособления беспримесного самородного серебра показаны на рис. 4, их размеры колеблются в пределах от 4 до 10 мкм.

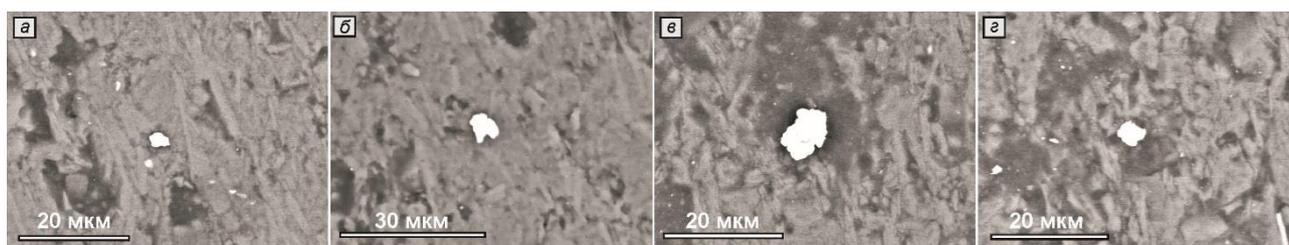


Рис. 4. Микровыделения самородного серебра в углеродистой породе Ханкайского массива (снято в упруго-рассеянных электронах)

Fig. 4. Microaggregates of native silver in the carbonaceous rock of Khanka massif. Photographed in the shape-elastic-scattered electrons

В отличие от самородного серебра природные химические соединения Ag встречены в тонкодисперсных агрегатах, которые состоят в основном из нескольких различающихся по составу фаз (рис. 5, табл. 3). К этим фазам относятся: самородное серебро, акантит  $Ag_2S$ , кераргирит  $AgCl$ , бромирит  $AgBr$ , йодирит  $AgI$ , амальгама серебра  $Hg_3Ag_2$ ; кроме того, в них фиксируется примесь U (этот элемент, скорее всего, находится в дисперсном состоянии в оксидной форме в виде уранинита  $UO_2$ ). Агрегаты отличаются морфологией, размерами, которые варьируют в диапазоне 0,5–8 мкм, и, самое главное, количественным соотношением входящих в них фаз. Только один из них однофазный — йодирит (рис. 5, *и*). Остальные же представляют собой тонкодисперсную смесь двух, трех и более фаз. Наиболее распространены самородное серебро, йодирит и акантит. Кроме перечисленных серебросодержащих двухэлементных фаз высока вероятность присутствия в агрегатах типа *в* и *е* трех- и четырехэлементных фаз, как известно встречающихся в природе, в частности, — эмболита  $Ag(Cl,Br)$  и йодобромита  $Ag(Cl,Br,I)$ . Но идентифицировать их в изученных агрегатах, т. е. отделить от двухэлементных фаз не представляется возможным, поскольку все эти фазы, как уже отмечалось, находятся в агрегатах в ультратонкой смеси. Поэтому окончательные мольные концентрации фазовых составляющих в серебросодержащих агрегатах вычислялись из расчета присутствия в них фаз, состоящих не более чем из двух элементов. Тем не менее нет сомнения в том, что в агрегатах, подобных *в* и *е*, фазы, относящиеся к эмболиту и йодобромиту, в небольших количествах также должны присутствовать.

Таблица 3  
Table 3

Фазовый состав серебросодержащих выделений в углеродистой породе Ханкайского массива, мол. %  
Phase composition of silver-bearing aggregates in the carbonaceous rock of Khanka massif (mol. %)

Фаза (минерал) Phase (mineral)	<i>а</i>		<i>б</i>				<i>в</i>				<i>г</i>			
	Сп 1	Сп 1	Сп 1	Сп 2	Сп 3	Сп 4	Сп 1	Сп 2	Сп 3	Сп 4	Сп 1	Сп 2	Сп 3	Сп 4
Акантит $Ag_2S$ Acanthite $Ag_2S$	26,2	18,2	–	–	–	9,1	3,9	1,2	–	2,5				
Кераргирит $AgCl$ Cerargyrite $AgCl$	–	–	8,2	8,9	4,7	5,0	1,3	4,2	3,0	5,5				
Бромирит $AgBr$ Bromyrite $AgBr$	–	–	7,6	5,1	7,3	4,8	–	–	–	–				
Йодирит $AgI$ Iodirite $AgI$	–	71,2	73,6	73,7	40,8	61,4	5,2	5,0	33,3	11,5				
Амальгама серебра $Hg_3Ag_2$ Silver amalgam $Hg_3Ag_2$	–	–	4,3	4,0	14,5	2,5	–	0,4	1,8	0,4				
Самородное Ag Native Ag	73,8	10,6	3,1	4,8	28,4	16,9	87,8	87,1	57,8	77,8				
Уранинит $UO_2$ Uraninite $UO_2$	–	–	3,2	3,5	4,3	0,3	1,8	2,1	4,1	2,3				
Сумма Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0				

Окончание таблицы 3  
Table 3 (Continued)

Фаза (минерал) Phase (mineral)	$\delta$ Сп 1	$e$ Сп 1	$ж$ Сп 1	$з$ Сп 1	$и$ Сп 1
Акантит $Ag_2S$ Acanthite $Ag_2S$	1,7	1,5	88,4	1,0	–
Кераргирит $AgCl$ Cerargyrite $AgCl$	1,9	4,1	5,5	12,9	–
Бромирит $AgBr$ Bromyrite $AgBr$	–	7,5	–	–	–
Йодирит $AgI$ Iodirite $AgI$	36,6	20,5	2,7	79,6	100,0
Амальгама серебра $Hg_3Ag_2$ Silver amalgam $Hg_3Ag_2$	2,3	2,1	0,9	–	–
Самородное $Ag$ Native $Ag$	55,1	61,4	0,8	4,6	–
Уранинит $UO_2$ Uraninite $UO_2$	2,4	2,9	1,7	1,9	–
Сумма Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

*Примечание.* После расчетов элементных составов в анализированных точках отбрасывались элементы породной матрицы и углерод, затем в этих точках определялись концентрации элементов (мас. и ат. %), которые пересчитывались на мольные доли соответствующих фаз.

*Note.* After the calculations of the element compositions in the analysed points the elements of the rock matrix and carbon were rejected, and then the element concentrations in these points were calculated (in mass and at. %), which recalculated on the mole shares of corresponding phases.

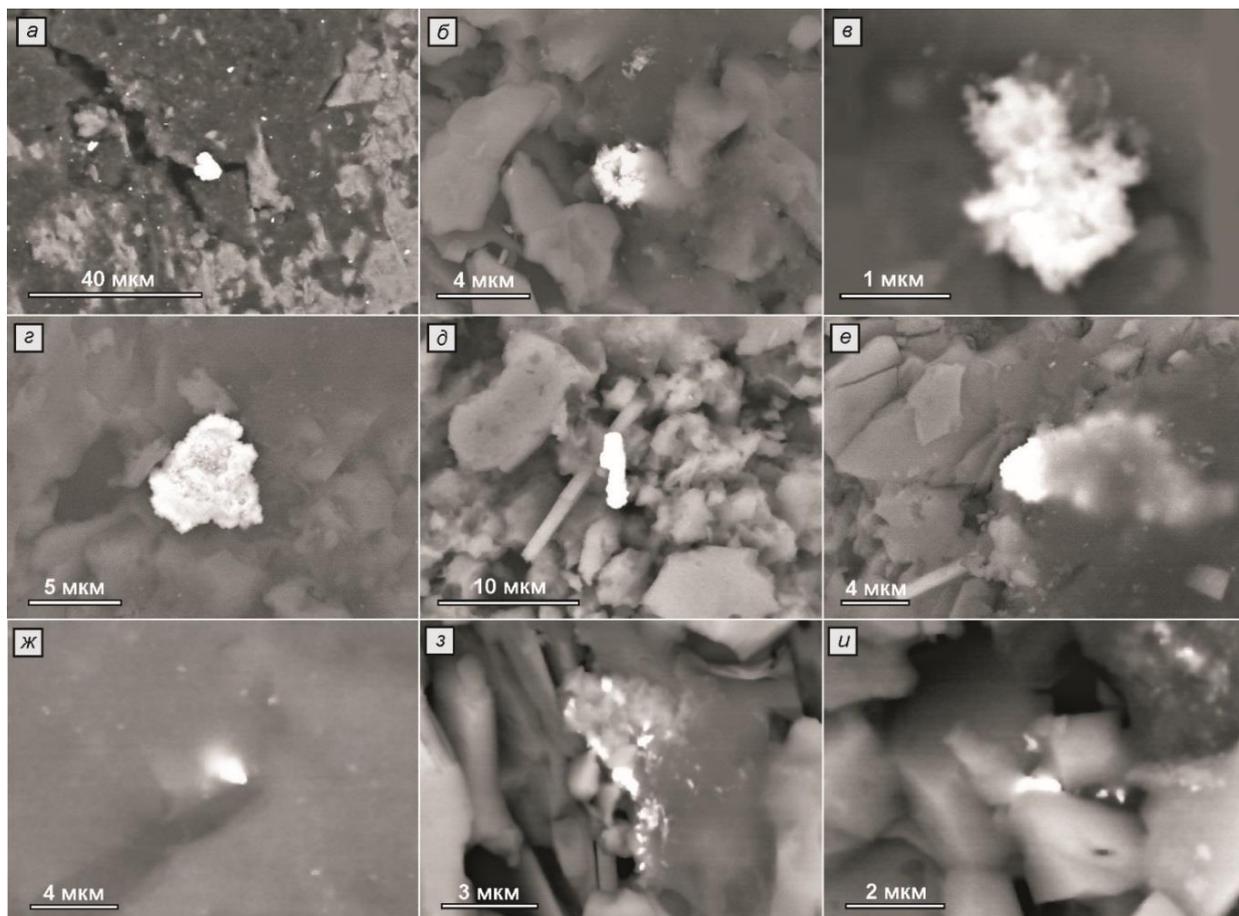


Рис. 5. Наиболее показательные Ag-содержащие выделения в углеродистой породе Ханкайского массива и их фазовый состав (табл. 3): а, б, в, г, д, е, ж, з — многофазовые агрегаты; и — однофазное соединение (йодирит) (снимки получены в режиме упруго-рассеянных электронов)

Fig. 5. The most demonstrative Ag-bearing aggregates in the carbonaceous rock of Khanka massif and their phase composition (Table 3): а, б, в, г, д, е, ж, з — multiphase aggregates; и — monophase compound (iodirite). (Photographed in the shape-elastic-scattered electrons)

Следует особо отметить, что практически все выделения самородного серебра и сереброносные агрегаты либо приурочены к углеродистым/высокоуглеродистым участкам породы, либо содержат в тех или иных количествах аморфный углерод. Некоторые агрегаты весьма неоднородны по составу. В разных участках количества входящих фаз заметно разнятся (см. в табл. 3 спектры для частиц *в* и *з*).

## Самородные металлы, сплавы и интерметаллиды

### Самородные металлы

Наряду с минералами благородных металлов углеродистые породы Ханкайского массива изобилуют микронными и субмикронными выделениями обычных металлов, некоторых бинарных и тройных сплавов, а также интерметаллидов. Среди самородных металлов установлены Fe, Ni, Sn, Zn, Al, W, а также полуметалл Bi. Размеры их обособлений не превышают 10–15 мкм, но в основном составляют несколько микрометров (рис. 6). Кроме того, встречаются субмикронные выделения (< 1 мкм). Из этих металлов наиболее распространен Ni. Обнаружены скопления из множества частиц никеля протяженностью более 100 мкм (рис. 6, *ж*). Также нередко встречается самородное железо. Некоторые из самородных металлов содержат примесь другого элемента, 1,5–3 % (табл. 4). Морфология выделений разнообразна. Их микроструктура, как правило, монолитная. Выделения цинка имеют тонкодисперсное строение. Алюминий представлен тонким агрегатом, состоящим из мельчайших частиц (наночастиц), небольшая доля которых (5,5 %) принадлежит цинку. Довольно крупная частица никеля (рис. 6, *з*) имеет слоистое строение, подобное выделениям золота (рис. 2, *а*), что опять-таки может свидетельствовать о сложном характере роста самородных фаз.

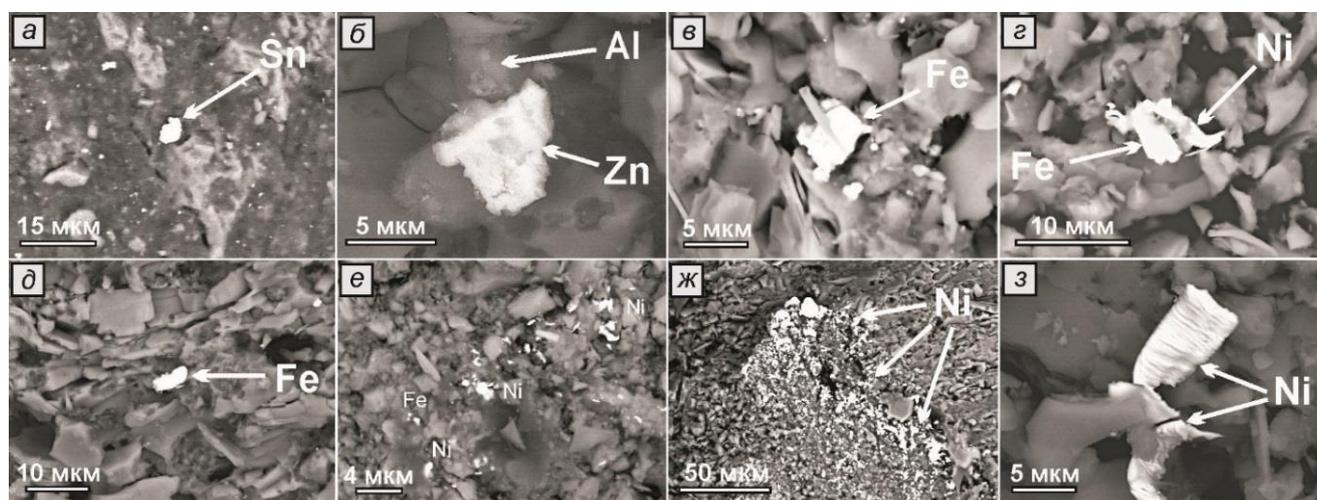


Рис. 6. Микроснимки с выделениями некоторых самородных металлов в углеродистых породах Ханкайского массива (снято в упруго-рассеянных электронах)

Fig 6. Microphotographs with the aggregates of some native metals in the carbonaceous rocks of Khanka massif. Photographed in the shape-elastic-scattered electrons

**Сплавы и интерметаллиды.** В изученных углеродистых породах также выявлены двух- и трехкомпонентные самородные сплавы элементов: Fe-Cu, Cu-Sn, Cu-Fe-Sn, Ni-Fe-Cu. Кроме того, установлены интерметаллиды меди: бронза ( $\text{Cu}_4\text{Sn}_1$ ) и латунь ( $\text{Cu}_2\text{Zn}_1$ ). Размеры выделений колеблются от 1 до 10 мкм.

Таблица 4  
Table 4

Состав выделений самородных металлов, показанных на рис. 6, мас. %  
Composition of aggregates of native metals shown in Figure 6 (mass %)

Элемент Element	Выделения металлов / Aggregates of native metals									
	<i>a</i>	<i>b</i> <sub>Zn</sub>	<i>b</i> <sub>Al</sub>	<i>в</i>	<i>z</i> <sub>Fe</sub>	<i>z</i> <sub>Ni</sub>	<i>д</i>	<i>e</i> <sub>Fe</sub>	<i>e</i> <sub>Ni</sub>	<i>ж, з</i>
Fe	–	–	–	100,00	98,54	–	97,41	100,00	–	–
Ni	–	–	–	–	–	100,00	2,59	–	100,00	100,00
Cu	2,94	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Zn	–	100,00	5,47	–	–	–	–	–	–	–
Sn	97,06	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Al	–	–	94,53	–	–	–	–	–	–	–
Mn	–	–	–	–	1,46	–	–	–	–	–
Сумма Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Примечание: *a* — олово; *b*<sub>Zn</sub> — цинк; *b*<sub>Al</sub> — алюминий; *в*, *z*<sub>Fe</sub>, *д*, *e*<sub>Fe</sub> — железо; *z*<sub>Ni</sub>, *e*<sub>Ni</sub>, *ж, з* — никель.  
Note. *a* — tin; *b*<sub>Zn</sub> — zinc; *b*<sub>Al</sub> — aluminum; *в*, *z*<sub>Fe</sub>, *д*, *e*<sub>Fe</sub> — iron; *z*<sub>Ni</sub>, *e*<sub>Ni</sub>, *ж, з* — nickel.

### Теллуриды

К теллуридам, обнаруженным в изученных породах, относятся колорадоит HgTe и соединения Te с Sb и Bi, а также Te с Sb и As с общими формулами (Sb,Bi)<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> и (Sb,As)<sub>3</sub>Te<sub>3</sub>. Выделения этих минералов обнаружены в единичных случаях, их размеры от 1 до 10 мкм.

### Минералы редкоземельных элементов и иттрия

Таблица 5  
Table 5

В углеродистых породах весьма распространены минералы редкоземельных элементов, особенно монацит и ксенотим (табл. 5 и 6, рис. 7 и 8). Их выделения иногда достигают нескольких десятков микрометров. Химический состав монацитов не постоянен. Содержание в них одного из главных редкоземельных элементов Ce колеблется от 18 до 27 мас. %. Церианит (Ce<sub>0,66</sub>La<sub>0,33</sub>)O<sub>2,00</sub>, который содержит до 47 мас. % Ce более редок (табл. 6, з).

Состав ксенотимов, как и состав монацитов, не постоянен. Концентрация Y в них колеблется в диапазоне 28–40 мас. % (табл. 5).

Состав ксенотимов, мас. %  
Composition of xenotimes (mass %)

Элемент Element	Выделения ксенотимов в участках <i>a-г</i> Aggregates of xenotimes at points <i>a-г</i>				
	<i>a</i> (1)	<i>a</i> (2)	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>
Al	–	–	–	0,68	–
Si	–	–	1,60	7,90	3,72
P	18,63	19,25	16,55	15,79	16,54
Y	40,29	35,09	38,39	30,65	28,26
Zr	–	–	0,44	–	–
Gd	1,96	–	3,04	1,60	4,27
Dy	3,40	–	5,07	4,26	11,61
Ce	–	5,94	–	–	–
Nd	–	3,76	–	–	–
O	35,73	35,97	34,92	39,13	35,60
Сумма Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 6  
Table 6

Состав некоторых монацитов и церианита, мас. %  
Composition of some monazites and cerianite (mass %)

Элемент Element	Частицы монацитов в участках <i>a-ж</i> и обособление церианита в участке <i>з</i> Fractions of monazites at points <i>a-ж</i> and segregation of cerianite at point <i>з</i>										
	<i>a</i> (1)	<i>a</i> (2)	<i>б</i>	<i>в</i> (1)	<i>в</i> (2)	<i>г</i> (1)	<i>г</i> (2)	<i>д</i>	<i>е</i> (1)	<i>ж</i>	<i>з</i>
F	—	—	—	—	—	—	—	—	0,18	—	0,26
Al	—	0,48	0,55	—	1,20	2,02	0,23	2,37	—	—	—
Si	3,12	4,65	3,52	1,87	4,60	4,89	8,38	7,77	—	3,64	1,05
P	11,15	12,66	14,18	14,68	10,48	12,78	12,22	12,45	17,11	14,10	—
K	—	—	—	—	—	0,44	—	0,71	—	—	—
Ca	—	—	—	—	—	0,56	0,29	0,63	0,63	—	—
La	13,05	11,76	12,05	11,91	12,67	11,15	11,38	8,82	11,99	13,24	23,56
Ce	27,23	23,44	23,28	24,38	24,92	21,31	21,23	18,22	22,05	23,41	47,45
Pr	4,03	2,28	1,33	2,66	1,83	2,08	0,76	1,68	1,03	—	3,56
Nd	12,05	10,86	9,97	11,36	10,89	9,89	9,45	6,98	8,66	10,19	8,68
Th	1,59	3,12	3,84	3,06	4,38	2,78	2,71	6,01	7,51	4,46	—
O	27,78	30,75	31,29	30,09	29,02	32,12	33,33	34,36	30,85	30,96	15,44
Сумма Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Примечание: *a* (1), *a* (2), *б*, *в* (1), *в* (2), *г* (1), *г* (2), *д*, *е* (1), *ж* — монациты; *з* — лантансодержащий церианит.  
Note: *a* (1), *a* (2), *б*, *в* (1), *в* (2), *г* (1), *г* (2), *д*, *е* (1), *ж* — monazites; *з* — lanthanum-bearing cerianite.

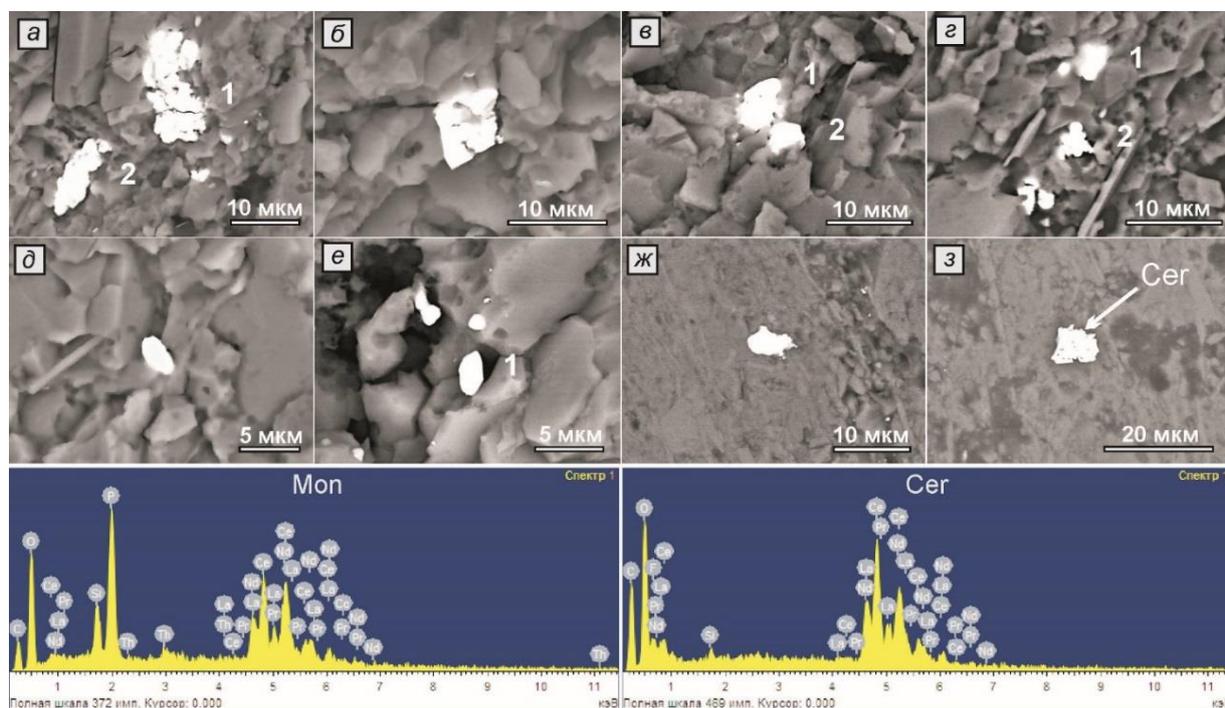


Рис. 7. Микроснимки с выделениями монацитов (*a, б, в, г, д, е, ж*) и церианита (*з*) в углеродистых породах Ханкайского массива (снято в упруго-рассеянных электронах). Ниже — характерные ЭДР-спектры от монацита (mon) и церианита (cer)

Fig. 7. Microphotographs with the aggregates of monazites (*a, б, в, г, д, е, ж*) and cerianite (*з*) in the carbonaceous rocks of Khanka massif (photographed in the shape-elastic-scattered electrons). Below — characteristic EDX spectra of monazite (mon) and cerianite (cer)

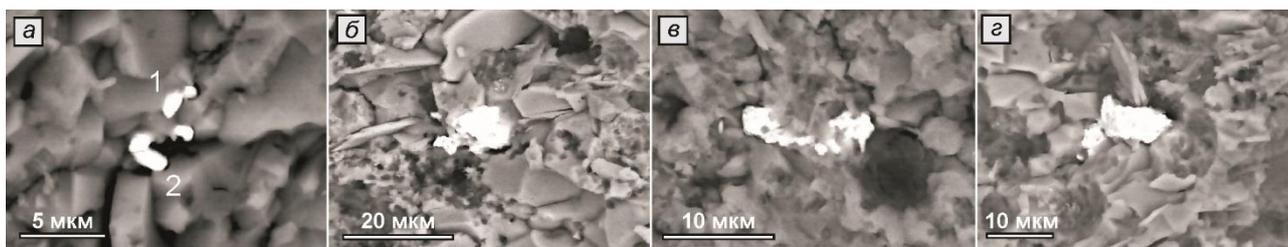


Рис. 8. Микроснимки с выделениями ксенотима в углеродистых породах Ханкайского массива (снято в упруго-рассеянных электронах)

Fig. 8. Microphotographs with the xenotime aggregates in the carbonaceous rocks of Khanka massif. Photographed in the shape-elastic-scattered electrons.

### Оксиды, сульфиды и сульфаты

Эти минеральные формы наименее распространены в изученных породах. Среди них встречаются гематит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и касситерит  $\text{SnO}_2$ , последний представлен единичными обособлениями размером от первых сотен нанометров до 1–2 мкм. Также редки находки бисмита  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (или силленита), галенита  $\text{PbS}$ , барита  $\text{BaSO}_4$  (в барите зафиксирована примесь  $\text{Co}$  — 0,3 мас. %).

### Обсуждение результатов

В ходе проведенных электронно-микроскопических исследований в углеродсодержащих породах Ханкайского массива установлен широкий спектр рудных минералов: самородное золото, электрум, медистый электрум, низкопробное медистое золото, серебро, изоферроплатина, самородные металлы  $\text{Ni}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{W}$ , двойные и тройные сплавы систем  $\text{Cu-Sn}$ ,  $\text{Fe-Cu}$ ,  $\text{Ni-Fe-Cu}$ ,  $\text{Cu-Fe-Sn}$ , интерметаллиды меди — латунь и бронза, химические соединения серебра с галогенными элементами  $\text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ , а также с серой и ртутью, теллуриды  $\text{Sb}$ ,  $\text{Bi}$ ,  $\text{As}$  и  $\text{Hg}$  и, кроме того, оксиды, сульфиды, сульфаты и фосфаты различных элементов (табл. 7). Учитывая заметную градацию минералов по типу и некоторые особенности их состава и строения, выделяют три основные минерализации:

1-й тип — самороднометаллическая, включающая самородное золото всех разновидностей, изоферроплатину  $\text{Pt}_3\text{Fe}$ , а также вышеназванные самородные элементы, сплавы и интерметаллиды;

2-й тип — редкоземельно-иттриевая, представленная монацитом, церианитом и ксенотимом;

3-й тип — сереброносная, состоящая из самородного серебра и соединений  $\text{Ag}$  — кераргирита  $\text{AgCl}$ , бромирита  $\text{AgBr}$ , эмболита  $\text{Ag}(\text{Cl}, \text{Br})$ , йодирита  $\text{AgI}$ , йодобромита  $\text{Ag}(\text{Cl}, \text{Br}, \text{I})$ , акантита  $\text{Ag}_2\text{S}$ , амальгамы серебра  $\text{Hg}_3\text{Ag}_2$ , а также уранинита  $\text{UO}_2$ .

Если в первых двух типах минерализации все минералы однородны по составу, а по кристаллическому строению, как правило, монолитны (рис. 2, 3, 6–8) (за исключением отдельных индивидов, что отмечалось выше), то в сереброносной минерализации микро- и нановыделения в основном имеют гетерогенный состав и по строению представляют тонкодисперсные смеси нескольких фаз (рис. 5, табл. 3, а также рис. 9) и только обособления из чистого серебра однородны (рис. 4). Есть еще теллуридная, оксидная, сульфидная и сульфатная минерализации, но их из-за ничтожно малой распространенности в исследуемых породах их можно считать второстепенными. Хотя некоторые минералы из этих групп отнесены к основным минерализациям, например, лантансодержащий церианит — ко второй, а уранинит вообще является одной из составляющих фаз в серебряных агрегатах, т. е. непосредственно присутствует в третьей (сереброносной) минерализации.

Состав общей рудной минерализации  
в изученных углеродистых породах Ханкайского массива (Приморье)  
Composition of the common ore mineralization in the studied carbonaceous rocks  
of Khanka massif (Primorye)

Система элементов System of elements	Группы (типы) минеральных образований, минералы Groups (types) of mineral compounds, minerals	Размеры выделений (или фаз в агрегатах) Size of aggregates (or size of phases in aggregates)
	<b>Самородные металлы и сплавы Native metals and alloys</b>	
Au	Самородное золото с примесью Fe Native gold with Fe admixture	Колеблются в диапазоне от 0,5 до 16 мкм Vary in the range from 0,5 to 16 mkm
Au-Ag	Самородное золото, электрум Native gold, electrum	
Au-Ag-Cu	Медистый электрум, низкопробное медистое золото Copper electrum, base copper gold	
Pt-Fe	Изоферроплатина Pt <sub>3</sub> Fe Isoferroplatinum Pt <sub>3</sub> Fe	
Ag	Самородное серебро Native silver	
Ni	Самородный никель Native nickel	
Fe	Самородное железо Native iron	
Zn	Самородный цинк Native zinc	
Sn	Самородное олово Native tin	
Bi	Самородный висмут Native bismuth	
Al	Самородный алюминий Native aluminum	
W	Самородный вольфрам Native tungsten	
Ni-Fe-Cu	Тройной сплав Ni <sub>0,47</sub> Fe <sub>0,38</sub> Cu <sub>0,15</sub> Triple alloy Ni <sub>0,47</sub> Fe <sub>0,38</sub> Cu <sub>0,15</sub>	
Cu-Sn	Оловянистая медь Cu <sub>0,92</sub> Sn <sub>0,08</sub> Tin copper Cu <sub>0,92</sub> Sn <sub>0,08</sub>	
Cu-Fe-Sn	Железооловянистая медь Cu <sub>0,82</sub> Fe <sub>0,12</sub> Sn <sub>0,06</sub> Iron-tin copper Cu <sub>0,82</sub> Fe <sub>0,12</sub> Sn <sub>0,06</sub>	
Fe-Cu	Медистое железо Fe <sub>0,83</sub> Cu <sub>0,17</sub> Copper iron Fe <sub>0,83</sub> Cu <sub>0,17</sub>	
	<b>Интерметаллиды / Intermetallides</b>	
Cu-Sn	Бронза Cu <sub>4</sub> Sn <sub>1</sub> Bronze Cu <sub>4</sub> Sn <sub>1</sub>	От 1 до 10 мкм From 1 to 10 mkm
Cu-Zn	Латунь с примесями Fe и S — Cu <sub>2</sub> Zn <sub>1</sub> Brass with Fe and S — Cu <sub>2</sub> Zn <sub>1</sub> impurities	

	<b>Соединения Ag с галогенами, серой и ртутью</b> <b>Ag compounds with halogens, sulphur and mercury</b>	
Ag-Cl	Кераргирит AgCl Cerargyrite AgCl	Сами выделения — от долей микрометра до 12 мкм, а частицы дисперсных фаз, вероятно, варьируют от единиц до десятков нанометров The aggregates are from fractions of micrometer to 12 mkm. The particles of dispersed phase are supposed to vary from a few to tens of nanometers
Ag-Br	Бромирит AgBr Bromyrite AgBr	
Ag-Cl-Br	Эмболит Ag(Cl,Br) Embolite Ag(Cl,Br)	
Ag-I	Йодирит AgI Iodirite AgI	
Ag-Cl-Br-I	Йодобромит Ag(Cl,Br,I) Iodobromite Ag(Cl,Br,I)	
Ag-S	Акантит Ag <sub>2</sub> S Acanthite Ag <sub>2</sub> S	
Ag-Hg	Амальгама серебра Hg <sub>3</sub> Ag <sub>2</sub> Silver amalgam Hg <sub>3</sub> Ag <sub>2</sub>	
	<b>Теллуриды / Tellurides</b>	
Te-Sb-Bi	Неназванный минерал (Sb,Bi) <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> Unnamed mineral (Sb,Bi) <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	От 1 до 10 мкм From 1 to 10 mkm
Te-Sb-As	Неназванный минерал (Sb,As) <sub>3</sub> Te <sub>3</sub> Unnamed mineral (Sb,As) <sub>3</sub> Te <sub>3</sub>	
Te-Hg	Колорадоит HgTe Coloradoite HgTe	
	<b>Оксиды / Oxides</b>	
Sn-O	Касситерит SnO <sub>2</sub> Cassiterite SnO <sub>2</sub>	От первых сотен нанометров до 10 мкм From the hundreds of nanometers to 10 mkm
Fe-O	Гематит Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Hematite Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Bi-O	Бисмит Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (или силленит) Bismite Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (or sillenite)	
U-O	Уранинит UO <sub>2</sub> Uraninite UO <sub>2</sub>	
Zr-Si-O	Циркон ZrSiO <sub>4</sub> Zircon ZrSiO <sub>4</sub>	
(Ce,La)-O	Лантансодержащий церианит (Ce <sub>0,67</sub> La <sub>0,33</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>2,00</sub> Lanthanum-bearing cerianite (Ce <sub>0,67</sub> La <sub>0,33</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>2,00</sub>	
	<b>Фосфаты / Phosphates</b>	
(Ce,La,Nd,Pr,Th)-P-O	Монацит (Ce,La,Nd,Pr,Th)PO <sub>4</sub> Monazite (Ce,La,Nd,Pr,Th)PO <sub>4</sub>	От 2–3 до 20 мкм From 2–3 to 20 mkm
Y-P-O	Ксенотим YPO <sub>4</sub> Xenotime YPO <sub>4</sub>	От нескольких микрометров до 13 мкм From a few micrometers to 13 mkm
	<b>Сульфиды и сульфаты</b> <b>Sulfides and sulfates</b>	
Pb-S	Галенит PbS Galena PbS	Первые единицы микрометров First units of micrometers
Ba-S-O	Барит BaSO <sub>4</sub> Barite BaSO <sub>4</sub>	

Примечание. Сульфиды и сульфаты весьма редки.  
Note. Sulfides and sulfates are rather rare.

Генезис первых двух минерализаций и третьей, с учетом всего выше сказанного, явно разный. Самороднометальная и редкоземельно-иттриевая минерализации есть результат воздействия гидротермально-метасоматических процессов в период регионального метаморфизма при погружении осадочных толщ, а также последующего наложенного метаморфизма, связанного с воздействием магматических расплавов, внедряющихся по зонам тектонических нарушений [12, 14, 17]. На это указывает и характер вмещающих рудную минерализацию пород. Они нередко состоят из перекристаллизованного, в основном мелкокристаллического, кварца, содержащего рудные минералы. Вместе с тем, картина пространственных взаимоотношений вмещающей породной матрицы и рудного минерала, а они зачастую находятся в тесных срастаниях друг с другом, свидетельствует о близко-одновременных процессах формирования вмещающей породы и отложения рудных минералов.

Сереброносная минерализация, скорее всего, была связана с высокоуглеродистыми флюидами, имеющими иной компонентный состав (серебро, галогены, сера, ртуть, углерод, уран). О высокой роли газовой компоненты при формировании этой минерализации свидетельствует ультрадисперсное и неоднородное строение Ag-содержащих агрегатов, что показано на примере одного из них, снятого и проанализированного при больших увеличениях (рис. 9). Подобное микроструктурное и ультратонкое состояние вещества характерно для марганцево-железистых рудных корок, встречающихся в целом ряде пород Ханкайского массива, и оно объяснялось конденсатным отложением при газотранспортном механизме переноса [22] (*гипотеза существования на определенных этапах рудного процесса мощной газовой продувки пород была предложена авторами для объяснения углекислотной деструкции пород*). На высокую степень углеродистости флюидов указывает совместное нахождение сереброносных фаз с дисперсным (аморфным) углеродом. Так, содержание углерода, например, в одном из сереброносных агрегатов (рис. 9, спектры 1–4) колеблется от 37 до 50 ат. %. В некоторых других агрегатах зафиксированы еще большие его содержания. Нередко агрегаты оказываются глубоко вросшими в углеродистое вещество.

Происхождение обогащенных углеродистой составляющей флюидов можно трактовать двояко. Это могли быть глубинные флюиды мантийного происхождения [18]. С другой стороны, подобные флюиды могли возникать при прохождении газовых потоков через мощные толщи осадочных углеродсодержащих пород. Независимо от своего происхождения в дальнейшем на своем пути они прорабатывали огромные массы осадочных пород, обуславливая кислотную деструкцию, аргиллизацию с разрушением кристаллических решеток минералов, мобилизацией, переносом (при комплексообразовании) рудных элементов и их дальнейшим осаждением на барьерах. Этому благоприятствовали физико-химические характеристики самой породы — ее строение (высокоуглеродистые слои усиливали восстановительную обстановку) и высокоактивированное состояние поверхности составляющих породу кристаллов и зерен (многочисленные вакансии, поры, дислокации, механические напряжения, разорванные химические связи, электрический заряд и т. д. как результат воздействия тектонических процессов, неоднократно сопровождавших становление Ханкайского кристаллического массива).

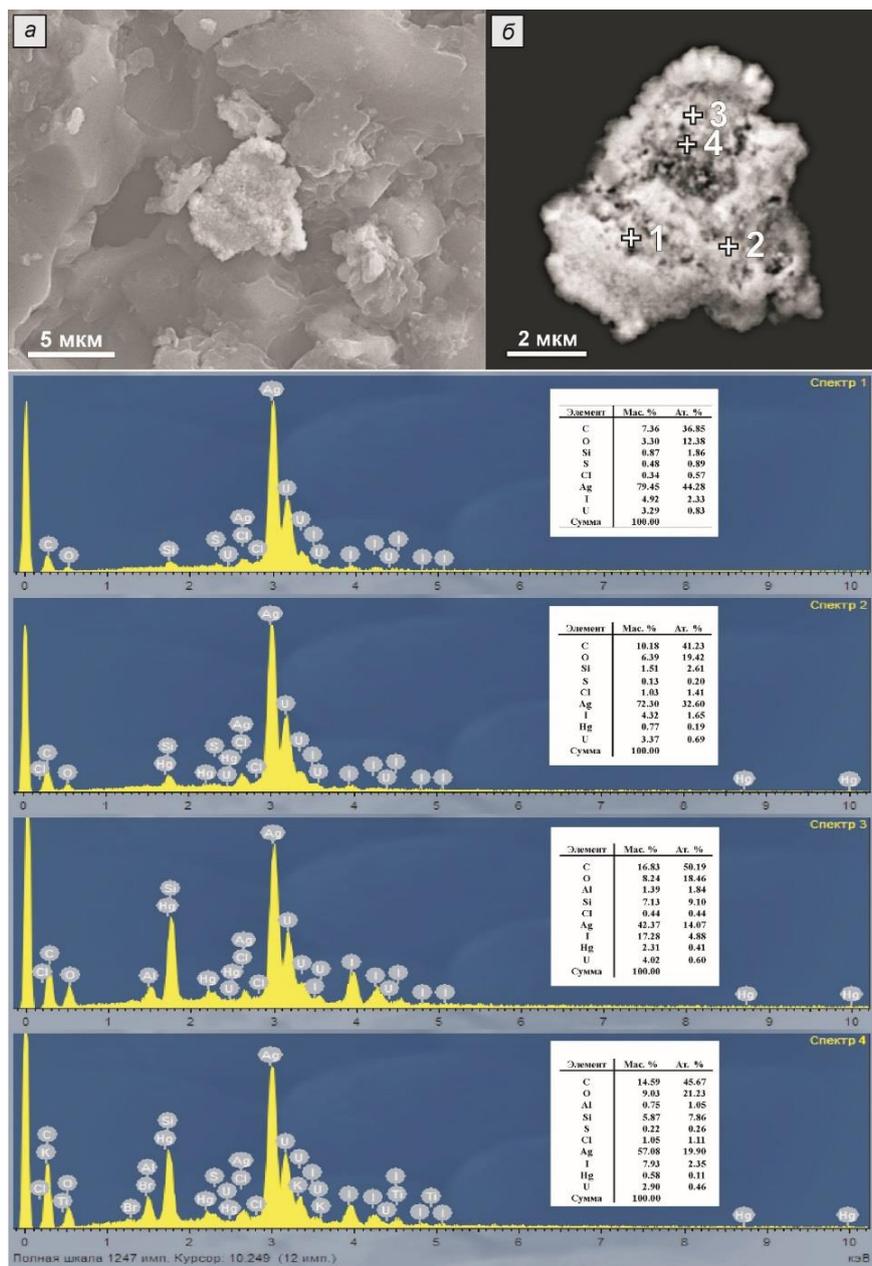


Рис. 9. Полифазовый тонкодисперсный агрегат, состоящий из соединений Ag с галогенными элементами (Cl, I), а также с серой и ртутью:

*a* — микроснимок во вторичных электронах; *б* — микроснимок в упруго-рассеянных электронах, на нем показаны точки 1, 2, 3, 4 ЭДР-анализа, ниже приведены соответствующие спектры и анализы

Fig. 9. Polyphase finely dispersed aggregate consisting of Ag compounds with halogen elements (Cl, I) as well as with sulfur and mercury: *a* — microphotograph in the secondary electrons; *b* — microphotograph in the shape-elastic-scattered electrons where the points 1, 2, 3, and 4 of EDX analysis are shown, and the corresponding spectra and analyses are given below

Что касается углерода, которым обогащены флюиды, то его влияние на минералообразование, скорее всего, было определяющим. Так, согласно экспериментальным исследованиям Г. А. Пальяновой [23], растворы, насыщенные диоксидом углерода, в которых растворено серебро, способствуют при определенных условиях интенсивному осаждению из них Ag. Поэтому из природных флюидов в первую очередь выпадало самородное серебро, затем, с понижением температуры и ростом активности кислотных компонентов, формировались гели комплексных соединений Ag с Cl, Br, S, I и оставшегося атомарного серебра, создавая многофазные тонкодисперсные смеси.

В сравнении с рассмотренными тремя типами минерализации, несколько обособленной оказывается ассоциация теллуридных минералов. Дело в том, что если бы теллуридная минерализация образовывалась совместно либо с самороднометальной, либо с сереброносной, то обязательно проявились бы теллуридные минералы Au и Ag, как мы ранее наблюдали, например, при изучении золотоносных руд карлинского типа [24, 25]. Но в данном случае этого не наблюдается. Следовательно, теллуридная минерализация возникла в результате самостоятельного этапа поступления флюидов, обогащенных Te, Sb, As, Bi и Hg.

Необходимо отметить, что в изученных породах содержится углерод двух видов: один в форме плотных слоистых отложений (слоев) в породах (т. е. осадочного происхождения), другой, незакономерно распределенный в различных участках породы, в виде тонкодисперсных скоплений (вероятно, глубинного происхождения). Углерод играл важнейшую роль в образовании самородной минерализации. Это подтверждается экспериментальными данными М. А. Меретукова [26], которые показывают, что способность к осаждению благородных металлов из раствора на порядок повышается в присутствии даже небольшого количества, распыленного на осадительную поверхность подложки углерода.

**Характер проницаемости пород.** Изученные породы характеризуются неплотным, трещиноватым и пористым строением. Между кристаллическими зернами пород развиты поры различной конфигурации и размеров, более крупные пустоты, пустотные каналы и т. п., что обеспечивало свободное проникновение в породы металлоносных флюидов.

Установленное в углеродистых породах Ханкайского массива многообразие рудных компонентов в оксидных и восстановленных формах обусловлено, по-видимому, многократным переотложением рудных компонентов в периоды эндогенной активизации региона с участием газотранспортных реакций металлоорганических соединений. В виде самостоятельной фазы минералообразования следует рассматривать серебряную минерализацию, связанную, предположительно, с внедрением гранитоидов Орловского магматического комплекса верхнекембрийского возраста. Представляется, что в пределах Ханкайского массива могут проявляться разные виды рудной минерализации. В нашем случае для графитизированных сланцев рудоносной (кабаргинская серия) и митрофановской (уссурийская серия) свит установлены золото-, сереброносная и редкометальная минерализации.

## Выводы

В результате проведенных исследований образцов графитизированных сланцев митрофановской и рудоносной свит Ханкайского массива Приморья обнаружен широкий спектр рудных минералов в виде выделений микронной и нанометровой размерности и проанализирован их состав. Установлены различные типы этих образований — самородное золото разной пробы, электрум, медистое золото, самородное серебро, изоферроплатина, самородные металлы Ni, Fe, Zn, Sn, Al, Bi, W, двойные и тройные сплавы систем Cu-Sn, Fe-Cu, Ni-Fe-Cu, Cu-Fe-Sn, интерметаллиды меди — латунь и бронза, химические соединения серебра с галогенными элементами Cl, Br, I, а также с теллуридом и ртутью, теллуриды Sb, Bi, As и Hg, а также оксиды, сульфиды, сульфаты и фосфаты различных элементов.

Среди проявленных в этих породах минерализаций выделены три основные:

- 1) самороднометальная, включающая самородное золото всех разновидностей, изоферроплатину Pt<sub>3</sub>Fe, вышеназванные металлы, сплавы и интерметаллиды;
- 2) редкоземельно-иттриевая, представленная монацитом, церианитом и ксенотимом;
- 3) сереброносная, состоящая из серебра, галогенидов Ag, амальгамы серебра и акантита.

Обосновывается различный генезис установленных минерализаций. Две из них — самороднометальная и редкоземельно-иттриевая — имеют гидротермально-метасоматическое происхождение, третья — сереброносная — связана с проникающими сквозь толщину пород глубинными флюидными потоками, обеспечившими химическое экстрагирование, перенос и нанодисперсное отложение совместно с углеродом Ag и его соединений.

Впервые в толщах Ханкайского массива установлено явление газового диспергирования сереброносного вещества с определяющей ролью в этом процессе углеродистого флюида. Фактически это отражение кластерной, блочной сборки при конденсации вещества, широко проявленной в природных газотранспортных процессах [27].

В изученных породах предполагаются два источника углерода: первый — углерод осадочного происхождения во вмещающих слоистых осадочных породах, из которого состоят плотные черные слои, второй — углерод глубинного, вероятно, мантийного происхождения, участвующий в газовой-флюидной переработке осадочных толщ региона с образованием в породах скоплений и рассеянной минерализации.

Изучение самородной рудной минерализации в различных углеродсодержащих породах важно для понимания процессов формирования промышленно значимых рудных месторождений. Оно позволяет выявить основные факторы, способствующие мобилизации и последующей конденсации микрофаз, созданию термодинамически более выгодного состояния с уменьшением поверхностной энергии (коалесценцией микрочастиц), иными словами, созданию собственно месторождения металлов.

### Благодарности

Автор выражает благодарности д. г.-м. н. М. А. Мишкину за предоставленные для исследований образцы углеродсодержащих пород, к. г.-м. н. С. О. Максимова за полезные замечания при подготовке статьи, к. г.-м. н. З. Г. Бадредина за оказанную помощь при описании геологической обстановки района.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Золоторудные гиганты России и мира / М. М. Константинов [и др.]. М.: Науч. мир, 2000. 272 с.
2. Константинов М. М. Золоторудные провинции мира. М.: Науч. мир, 2006. 358 с.
3. Платинометальные месторождения мира / Д. А. Додин [и др.]. М.: Геоинформмарк, 1994. Т. 1, кн. 1. 279 с.
4. Додин Д. А., Чернышов Н. М., Яцкевич Б. А. Платинометальные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
5. Гурская Л. И. Платинометальное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 208 с.
6. Ханчук А. И., Плюснина Л. П., Молчанов В. П. Первые данные о золото-платиноидном оруденении в углеродистых породах Ханкайского массива, Приморье // Докл. РАН. 2004. Т. 397, № 4. С. 524–529.
7. Благородные металлы в графитизированных породах Ханкайского террейна (Приморье) по результатам анализа на основе окислительного фторидного разложения / А. И. Ханчук [и др.] // Доклады РАН. 2008. Т. 422, № 2. С. 239–243.
8. Ханчук А. И., Сафронов П. П. Рудная минерализация в черносланцевых толщах Ханкайского массива (Приморье) // Материалы XXIII Рос. конф. по электронной микроскопии (г. Черноголовка, 31 мая — 4 июня 2010 г.). Черноголовка, 2010. С. 324–325.
9. Графитовые сланцы как перспективный источник благородных металлов на Дальнем Востоке России / А. И. Ханчук [и др.] // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 3–12.
10. Углеродизация и геохимическая специализация графитоносных пород северной части Ханкайского террейна, Приморье / А. И. Ханчук [и др.] // Геохимия. 2010. № 2. С. 115–125.
11. Солоненко В. П. Геология месторождений графита Восточной Сибири и Дальнего Востока. М.: Госгеолиздат, 1951. 384 с.
12. Мишкин М. А. Петрология докембрийских метаморфических комплексов Ханкайского массива Приморья. М.: Наука, 1969. 184 с.
13. Докембрий Ханкайского и Цзямусского срединных массивов. Стратиграфическая корреляция / М. А. Мишкин [и др.] // Тихоокеанская геология. 1993. № 6. С. 85–94.
14. Первые данные по Sm-Nd систематике метаморфических пород Ханкайского массива Приморья / М. А. Мишкин [и др.] // Докл. РАН. 2000. Т. 374, № 6. С. 813–815.
15. Первые результаты U-Pb геохронологических исследований пород гранулитового комплекса Ханкайского массива Приморья (метод LA-ICP-MS) / А. И. Ханчук [и др.] // Докл. РАН. 2010. Т. 434, № 2. С. 212–215.
16. Геология и полезные ископаемые Приморского края / А. И. Ханчук [и др.]. Владивосток: Дальнаука, 1995. 66 с.
17. Шехоркина А. Ф. Формации рифея и нижнего кембрия Ханкайского массива Приморья. М.: Наука. 1966. 96 с.
18. Благородные металлы в высокоуглеродистых породах Ханкайского террейна, Приморье / А. И. Ханчук [и др.] // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26, № 1. С. 70–80.
19. Природа графитизации и благороднометальной минерализации в метаморфитах северной части Ханкайского террейна, Приморье / А. И. Ханчук [и др.] // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55, № 4. С. 261–281.
20. Дистлер В. В., Юдовская М. А. Флюидный транспорт и газотранспортные реакции в процессах концентрирования и отложения благородных металлов // Геодинамика, магматизм и минералогия континентальных окраин Севера. Пацифики: материалы Всерос. совещ. (XII годовое собрание Северо-Восточного отделения ВМО, Магадан, 3–6 июня 2003 г.). Магадан, 2003. Т. 3. С. 33–35.
21. Сафронов П. П. Способ проведения на SEM с EDX-спектрометрией приближенно количественных рентгеноспектральных измерений состава наноразмерных минеральных фаз // VII Всерос. конференция по рентгеноспектральному анализу (г. Новосибирск, 19–23 сентября 2011 г.): материалы конф. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 71.
22. Максимов С. О., Сафронов П. П. Образование кобальтоносных железомарганцевых корок

при флюидной деструкции силикатного вещества // Докл. РАН. 2016. Т. 466, № 4. С. 467–472. **23.** Пальянова Г. А. Физико-химические особенности поведения золота и серебра в процессах гидротермального рудообразования: автореф. дис. ... д. г.-м. н. Новосибирск, 2005. 33 с. **24.** Сафронов П. П., Школьник Э. Л. Теллуридно-селенидная благороднометаллическая минерализация в месторождениях карлинского типа // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: сб. докл. Второй Всерос. науч. конф. / Ин-т геологии и природопользования ДВО РАН. Благовещенск, 2012. С. 140–143. **25.** Новая оценка особенностей золоторудной минерализации карлинского типа на основе детального минералого-геохимического изучения и анализа геологической ситуации / Э. Л. Школьник [и др.] // Рудник будущего. 2012. № 1. С. 29–32. **26.** Меретуков М. А. Золото и природное углеродистое вещество. М.: Руда и металлы, 2007. 109 с. **27.** Асхабов А. М. Кватеронная концепция: основные идеи и некоторые приложения // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2011 № 7. С. 70–77.

### **Сведения об авторе**

*Сафронов Петр Петрович* — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Дальневосточного геологического института ДВО РАН

E-mail: [psafronov@mail.ru](mailto:psafronov@mail.ru)

### **Author Affiliation**

*Peter P. Safronov* — PhD (Physics & Mathematics), Senior Researcher of the Far East Geological Institute of FEB RAS

E-mail: [psafronov@mail.ru](mailto:psafronov@mail.ru)

### **Библиографическое описание статьи**

*Сафронов, П. П.* Рудная минерализация в графитсодержащих породах Ханкайского массива Приморья по данным растровой электронной микроскопии / *П. П. Сафронов* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — С. 78–96.

### **Reference**

*Safronov Peter P.* Ore Mineralization in Graphite-Bearing Rocks of Khanka Massif of Primorye from Data of Scanning Electron Microscopy. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2018, vol. 4 (10), pp. 78–96 (In Russ.).

**Региональный молодежный форум «Молодая наука Арктики» и всероссийская конференция-школа молодых ученых и специалистов «Геотехнология и обогащение полезных ископаемых»**

**Горный институт ФИЦ КНЦ РАН, 14–15 ноября 2018 г.**

14–15 ноября 2018 года в г. Апатиты в рамках Мурманской международной деловой недели Горным институтом — обособленным подразделением Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» проведены Основные направления работы конференции-школы:

- Геомеханические проблемы безопасной отработки месторождений полезных ископаемых.

Проблемы мониторинга природных и техногенных процессов при ведении горных работ.

- Геотехнология (открытая, подземная и строительная) — новые взгляды и подходы.

• Информационные технологии в горном деле. Автоматизация и роботизация горного производства.

- Проблемы переработки минерального сырья, в том числе техногенного.

- Экологические проблемы освоения месторождений.

- Современные технологии поиска, разведки и добычи полезных ископаемых.

- Экономические проблемы недропользования.

В работе конференции приняли участие 73 человека, среди которых 58 молодых ученых и специалистов. В числе участников конференции-школы представители 4 академических учреждений (ГоИ КНЦ РАН, ИППЭС КНЦ РАН, ЦЭС КНЦ РАН, ИГД УрО РАН), 2 университетов (АФ МАГУ, АФ МГТУ), 3 организаций (АО «Апатит», ООО «Ловозерский ГОК», ЗАО «ORICA»).

Конференция-школа включала в себя проведение научной школы, ознакомление с работами молодых ученых, аспирантов и специалистов, круглый стол, а также экскурсии.

В рамках научной школы проведены лекции ведущих научных сотрудников ГоИ КНЦ РАН и ИГД УрО РАН. Заслушаны лекционные доклады д.т.н., проф. А.А. Козырева и д.т.н. А.Д. Сашурина. В рамках конференции заслушаны 37 докладов молодых ученых и специалистов. Отмечено, что в большинстве заслушанных докладов отражены современные теоретические подходы и практические решения актуальных проблем. Участники конференции-школы посетили VIII Международную конференцию «Горнодобывающая промышленность Баренцева Евро-Арктического региона: взгляд в будущее» - «Модернизация горнодобывающих, горно-химических и металлургических предприятий для комплексного освоения минерально-сырьевой базы» в г. Кировске, прослушали пленарные доклады, а также посетили секции, круглые столы и экскурсии на производственные площадки КФ АО «Апатит» (Кировского рудника, Восточного рудника, АНОФ-3, Учебного центра ФосАгро).

Для расширения территории диалога был организован телемост с Институтом горного дела УрО РАН (ИГД УрО РАН) г. Екатеринбург.

**XIV Всероссийская научная конференция с международным участием «Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа»**

**Мурманский морской биологический институт, г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.**

В работе конференции приняли участие 126 чел., представивших научные, образовательные и научно-производственные организации России и Норвегии (Апатитов, Архангельска, Баренцбурга, Казани, Калининграда, Кировска, Ломоносова, Москвы, Мурманска, Обнинска, Петрозаводска, Ростова-на-Дону, Санкт-Петербурга, Томска, Тюмени и Лонгьербина). Сборник материалов конференции: Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). – Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. – 133 с. – ISBN 978-5-91137-374-0 – DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0 включает 86 кратких сообщений, представленных от имени 40 организации России и зарубежных стран (Норвегия, США, Великобритания, Польша). Наиболее интересные исследования опубликованы в виде 26 полноценных статей в журнале «Вестник Кольского научного центра РАН» (3/2018).

Конференция стала не только площадкой, на которой были обсуждены новые научные данные о природе и истории архипелага, но также встречей коллег и друзей, работающих вместе в суровых условиях высокоширотной Арктики. Всего было заслушано 74 устных доклада и представлено 12 постеров. Интерес основных научных фондов к финансированию исследований в Арктике привел к формированию новых творческих коллективов с участием молодых исследователей, сотрудничеству разных организаций, расширению научной тематики. Впервые в конференции участвовали ученые из Сибири. Традиционные для форума направления в области геологии, гляциологии, сейсмологии, геофизики, физики атмосферы, климатологии, океанологии, биогеохимии, почвоведения, зоологии, ботаники, экологии, истории и археологии были расширены за счет новых, активно развиваемых в последние годы на Шпицбергене, – морфологии и репродуктивной биологии морских организмов, экотоксикологии, экологии человека на стыке экологии и медицины. Очевидным для участников стало позитивное обновление состава участников и научных направлений. Большую роль в координации работ, логистике, расширении тематики исследования на архипелаге в последние годы выполняет Российский научный центр на Шпицбергене. Научный форум Шпицбергена (Svalbard Science Forum), целью которого является международная координация и содействие научным исследованиям на Шпицбергене, проявил большой интерес к проводимому ММБИ мероприятию. Х. Андерсен, представляющая на конференции SSF, внимательно ознакомилась с результатами российских исследователей на Шпицбергене.

**Калинин, А. А. Золото в метаморфических комплексах северо-восточной части Фенноскандинавского щита / А. А. Калинин.** — Апатиты: ФИЦ «КНЦ РАН», 2018. — 250 с.: ил.

Систематизированы опубликованные данные и собственные материалы по проявлениям золоторудной минерализации в неoarхейских и палеопротерозойских зеленокаменных структурах Кольского региона, Финской Лапландии и Северной Карелии. Основное внимание при характеристике рудопроявлений золота уделено их геолого-структурному положению, особенностям метасоматических преобразований вмещающих минерализацию пород, минералогическим характеристикам оруденения и времени формирования минерализации. Проведена геолого-генетическая типизация золоторудных объектов, показано, что большая их часть относится к орогеническому типу месторождений либо к орогеническому с аномальной ассоциацией металлов. Выделено два основных этапа формирования золоторудной минерализации — неoarхейский (2,7–2,6 млрд лет назад) и палеопротерозойский (1,9–1,7 млрд лет), причем на палеопротерозойском этапе формирование минерализации золота происходило не только в протерозойских, но и в архейских зеленокаменных поясах. Намечены геологические структуры в Кольском регионе, наиболее перспективные на обнаружение новых золоторудных объектов.

Монография может быть полезной при разработке стратегии поисковых работ на золото в Кольском регионе.

**Проблемы Арктического региона: труды XVII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов** (г. Мурманск, 15 мая 2018 г.). — Апатиты: ФИЦ «КНЦ РАН», 2018. — 159 с.

В сборнике представлены научные статьи по материалам докладов XVII Международной научной конференции студентов и аспирантов «Проблемы Арктического региона». В книгу вошли результаты научной работы студентов и аспирантов различных вузов, научных организаций и их филиалов. Тематика представленных докладов включает исследования, связанные с физическими, химическими, биологическими, медицинскими, экологическими, техническими проблемами, а также посвященные вопросам педагогики, экономики и социологии Арктического региона.

**Экономическая безопасность Российской Арктики: особенности и проблемы обеспечения /** под науч. ред. **В. С. Селина** [и др.]. — Апатиты: ФИЦ «КНЦ РАН», 2018. — 103 с.

В коллективной монографии представлены результаты оценки и анализа экономической безопасности с позиций как внешних движущих сил, так и внутренних проблемных факторов. В работе исследуются особенности обеспечения национальной экономической безопасности в Арктической зоне Российской Федерации и устойчивость хозяйственных систем отдельных регионов АЗРФ. Большое внимание уделено стратегическим аспектам энергетической безопасности, играющим особую роль для деятельности в экстремальных природно-климатических условиях. Рассматриваются также отдельные проблемы, связанные с западной санкционной политикой, в том числе обусловленной «украинским» кризисом.

Монография базируется на научных результатах выполнения государственного задания ИЭП КНЦ РАН на 2013–2017 гг. Отдельные разделы выполнялись при поддержке программ фундаментальных исследований Президиума РАН № 10 «Анализ и прогноз долгосрочных тенденций научного и технологического развития: Россия и мир» (разд. 2.4) и № 13 «Пространственное развитие России в XXI веке: природа, общество и их взаимодействие» (разд. 2.1 и 2.2), а также гранта РФФИ 17-02-00248 «Инновационные факторы в освоении арктического шельфа и проблемы импортозамещения» (разд. 3.5).

**Вестник Кольского научного центра РАН. — 2018. — № 4 (10). — 109 с.**

**Север и рынок: формирование экономического порядка:** науч.-информ. журн. / Ин-т экон. проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН. — Апатиты: ФИЦ «КНЦ РАН», 2018. — № 4 (60). — 158 с.

**Труды Кольского научного центра РАН.** — Апатиты: ФИЦ «КНЦ РАН», 2018. — № 4 (9). — 139 с. — (Океанология, вып. 5).

**Труды Кольского научного центра РАН.** — Апатиты: ФИЦ «КНЦ РАН», 2018. — № 7 (9). — 144 с. — (Гуманитарные исследования, вып. 14).

**Труды Кольского научного центра РАН.** — Апатиты: ФИЦ «КНЦ РАН», —2018. — № 8 (9). — 139 с. — (Энергетика, вып. 17).

**ГОДНЕВА Мария Моисеевна**

к. х. н., ведущий инженер Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН, где трудится с 1956 г.

В 1951 г. окончила химический факультет Казанского государственного университета им. Лобачевского. Мария Моисеевна — первый аспирант Кольского филиала АН СССР (1953–1956 гг.), одна из первых сотрудников Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья.

В 1960 г. защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук на тему «Электропроводность и вязкость растворов гидроокисей лития, натрия и калия в воде и смешанных растворителях».

М. М. Годнева — специалист по изучению фазообразования в многокомпонентных сульфатных и сернокислых системах элементов подгруппы титана с исследованием твердых фаз методами рентгенофазового, кристаллооптического, химического, термического анализов, а также ИК-спектроскопии и протонного магнитного резонанса, проводит большую научную работу фундаментального и прикладного характера, направленную на решение проблем использования минеральных ресурсов Мурманской обл.

Полученные ею данные о физико-химических свойствах титанового и комплексных дубителей для кож, а также данные о поведении их в растворах использованы двумя итальянскими и австралийской фирмами при составлении лицензионных соглашений, которые признаны самыми крупными в истории Российской академии наук по величине выплаченной за изобретения суммы.

Ею вместе с соавторами впервые было получено более 100 соединений: сульфато-металлатов, оксо(гидрокси)сульфатов, фторосульфатов, фторосульфатометаллатов и фторофосфатоцирконатов элементов подгруппы титана, для которых описаны области их образования в физико-химических системах. Новизна 40 соединений подтверждена сертификатами Международного центра дифракционных данных (ICDD, США).

Участник разработки технологии получения антипиренов из ковдорского бадделеита. Принимала участие в выполнении программ фундаментальных исследований Президиума РАН.

Мария Моисеевна является автором около 400 работ, в т. ч. 6 монографий и 78 авторских свидетельств и патентов, из которых 49 зарубежных заявок и патентов. Внедрено 5 изобретений.

Она награждена медалью «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина», бронзовой медалью ВДНХ (1983) и знаком «Изобретатель СССР». Отмечена благодарностью в связи с 275-летием РАН, благодарственным письмом губернатора Мурманской области. Лауреат премии Международной академической издательской компании (МАИК) за лучшую публикацию (2003). В 2018 г. номинирована на Премию РАН им. Л. А. Чугаева.

За преданность науке, стойкость в трудных жизненных ситуациях и доброжелательность Мария Моисеевна пользуется исключительным уважением в коллективе.

От всей души поздравляем Марию Моисеевну с юбилеем и желаем неиссякаемой энергии, крепкого здоровья и новых научных свершений!



## **БАШМАКОВА Елена Петровна**

к. э. н., доцент, ведущий научный сотрудник отдела социальной политики на Севере Института экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН (ИЭП КНЦ РАН), работает в Кольском научном центре с 1975 г.

Известный специалист в области региональной экономики, исследований проблем социально-экономического развития Севера и Арктики. Сфера научных интересов: формирование стратегий регионального развития, производственных кластеров, развитие частно-государственного партнерства, социальная ответственность бизнеса на российском Севере и в Арктике; пространственное развитие северных территорий, геоэкономическое и геополитическое значение Севера и Арктики для развития России, международное сотрудничество в Баренцевом Евро-Арктическом регионе.

Елена Петровна Башмакова родилась в городе Ленинграде, где на первые годы ее жизни пришлось такое тяжелое испытание, как блокада. Потом было не самое сытое послевоенное детство, комсомольская юность, с 1956 по 1961 гг. — учеба в Ленинградском горном институте им. Г. В. Плеханова и, наконец, начало трудовой деятельности в Чаунском РайГРУ Магаданской обл. Работая горным мастером и геологом, она принимала участие в разведке золотоносных россыпных месторождений, ртутного и оловорудного месторождений. Ее яркие зарисовки-воспоминания об этом суровом крае полны романтики, оптимизма молодости и веры в собственные силы. Вернувшись в Ленинград после рождения дочери, с 1966 по 1975 гг. она работала старшим инженером горного отдела института «Гипронефтемаллоруд».

В январе 1975 г. Елена Петровна, не изменяя своим представлениям о романтике, приехала на Кольский Север и стала сотрудником Горного института Кольского филиала Академии наук СССР. Самая значимая страница в ее биографии была открыта в 1978 г., когда она перешла на работу в тогда еще Отдел экономических исследований КФАН СССР, на базе которого в 1986 г. был создан Институт экономических проблем. От младшего научного сотрудника до заместителя директора Института экономических проблем Кольского научного центра РАН — таков путь профессионального ее роста Башмаковой. Практические знания, научная эрудиция и широкий кругозор позволили ей выполнять научные и прикладные исследования в различных областях экономической науки на самом высоком уровне. Ее исследования, связанные с геолого-экономической оценкой апатитовых, редкометалльных и баритовых месторождений Кольского п-ова в 1980-х гг. способствовали расширению минерально-сырьевого потенциала Европейского Севера России и доказали возможность и целесообразность эксплуатации этих месторождений. Елена Петровна участвовала в комплексной переоценке запасов Хибинских месторождений и за внедрение результатов этих работ была награждена дипломом лауреата юбилейного конкурса, посвященного 60-летию образования СССР.

Елена Петровна является одним из авторов научных основ стратегии формирования и развития конкурентоспособного внешнеэкономического комплекса северного региона, в которой впервые обоснован и применен кластерный подход. Принимала активное участие в проводимых ИЭП КНЦ РАН исследованиях по определению основных принципов международного интеграционного сотрудничества и в разработке концепции развития интеграции в рамках Баренцева Евро-Арктического региона, которые легли в основу практической деятельности по развитию сотрудничества в БЕАР в период председательства в нем Мурманской обл. Ею выполнен комплекс работ по приграничному сотрудничеству на Севере и в Арктике, созданию свободных экономических зон, проблемам региональной экономической безопасности, оценке последствий для Мурманской обл. по поводу вступления России в ВТО. При ее непосредственном

участии выполнен ряд научно-практических разработок, представленных в органы власти федерального, регионального и муниципального уровня.

В настоящее время сферой научных интересов Елены Петровны является пространственное развитие северных и арктических регионов России в новых геоэкономических условиях, формирование и развитие институтов частно-государственного партнерства и социальной ответственности регионального бизнеса на Севере и в Арктике.

Много сил и времени Елена Петровна отдала педагогической и воспитательной деятельности в филиалах вузов города Апатиты, пользуясь авторитетом у студентов.

Значительны ее заслуги в научно-организационной деятельности: являясь ученым секретарем ИЭП, она была инициатором присвоения научному учреждению имени его первого директора чл.-корр. Г. П. Лузина и была одним из основных организаторов успешного проведения пяти международных научно-практических конференций «Лузинские чтения». Будучи членом Ученого совета ИЭП КНЦ РАН на протяжении 20 лет, она всегда была бескомпромиссна как в процессе обсуждения решений, так и при их принятии. Активная жизненная позиция, открытость и доброжелательность, готовность помочь и сопереживать — все эти и многие другие качества есть основа большого уважения, доверия и авторитета, которым заслуженно пользуется Елена Петровна в коллективе. Честная, принципиальная, она на многие годы стала совестью нашего Института. Елена Петровна воспитала дочь, которая в настоящее время работает в Геологическом институте КНЦ в должности зав. лабораторией, имеет докторскую степень.

Результаты научных исследований Е. П. Башмаковой неоднократно включались в число важнейших достижений РАН. Ею лично и в соавторстве опубликовано более 100 научных трудов, в том числе более десятка монографий, посвященных актуальным проблемам социально-экономического развития российского Севера и Арктики.

За плодотворную научную и практическую деятельность Е. П. Башмакова награждена медалью «Ветеран труда» (1984), юбилейной медалью в память 300-летия Санкт-Петербурга (2003), юбилейными медалями 50, 60, 65 лет Победы в Великой Отечественной войне (1995, 2005, 2010), дипломами Кольского научного центра (1982, 1995, 1999, 2016), почетными грамотами Президента РАН (1999, 2005), губернатора Мурманской обл. (2000), главы г. Апатиты (1996, 2005, 2008), Петрозаводского государственного университета (2014), благодарственным письмом Мурманской областной Думы (2016).

Поздравляем Елену Петровну со славным юбилеем, желаем ей крепкого здоровья, неугасаемой энергии и творческого долголетия!



### **ВИРАЧЕВА Любовь Леонидовна**

к. б. н., зав. лабораторией интродукции растений (1998–2002).

В 1971 г. окончила Ленинградский государственный университет, в 1985 г. защитила кандидатскую диссертацию «Семенное размножение некоторых интродуцированных на Север травянистых многолетников».

Любовь Леонидовна — один из ведущих специалистов в области интродукции и акклиматизации растений на Кольский Север.

Область научных интересов — семенная продуктивность и репродуктивные особенности декоративных и лекарственных интродуцированных растений. Большой вклад ею внесен в развитие и сохранение коллекционных фондов открытого и закрытого грунта, охрану редких и исчезающих видов, создание и изучение искусственных фитоценозов полезных интродуцированных растений на территории Ботанического сада. Куратор коллекции тропических и субтропических растений (с 1992 г.). Провела детальную инвентаризацию и определение основного фонда интродуцированных растений открытого грунта.

Поздравляем Любовь Леонидовну с замечательным юбилеем и от всей души желаем крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов!



### **КОЗЛОВА Наталия Евгеньевна**

Наталия Евгеньевна в течение многих лет работала научным сотрудником лаборатории геологии и геохимии протолитов раннедокембрийских комплексов древних щитов Геологического института КНЦ РАН, куда пришла работать в марте 1975 г.

В сферу ее научных интересов входили структурная геология метаморфических комплексов, метаморфизм и микроструктурный анализ. Применяемые методы анализа T- и P-параметров образования метаморфических пород позволили Наталии Евгеньевне проводить исследования на уровне, соответствующем мировому. Итоги этих работ неоднократно представлялись на международных и всероссийских совещаниях. Она автор 5 научных отчетов, в том числе по международным проектам, ею также было подготовлено более 40 печатных работ, включая 4 монографии.

Коллеги любят Наталию Евгеньевну как общительного, остроумного человека и талантливого художника. В настоящее время она живет в Колпино, воспитывает внучку и консультирует сотрудников института по вопросам метаморфической и магматической петрографии.

Коллектив Геологического института поздравляет Наталию Евгеньевну с юбилеем и желает ей крепкого здоровья и творческих успехов!



### **КОНСТАНТИНОВА Любовь Ивановна**

зав. химико-аналитической лабораторией Геологического института КНЦ РАН.

Любовь Ивановна начала работать в Геологическом институте в 1972 г. в должности лаборанта, а с 1999 г. руководит химико-аналитической лабораторией. За эти годы в аналитической химии произошли большие изменения: многие методики ушли в прошлое, на смену им пришли менее трудоемкие и более точные методы, выполняемые на приборах нового поколения.

Современные методы количественного анализа обеспечивают высокую селективность, чувствительность, скорость измерения, точность и производительность, а от аналитика требуют постоянного совершенствования своих навыков, освоения новых приборов и методик. Высокий профессиональный уровень химико-аналитической лаборатории ГИ КНЦ РАН был достигнут и сохраняется во многом благодаря усилиям и заслугам Любви Ивановны Константиновой.

За годы работы она стала выдающимся химиком-аналитиком и организатором, освоив и приумножив богатый опыт своих учителей и предшественников. Л. И. Константинова постоянно следит за высоким качеством выполнения анализа, в курсе всех технических новинок аналитической химии.

За последние 20 лет химико-аналитическая лаборатория проанализировала десятки тысяч горных пород, руд и минералов, что легло в основу фундаментальных исследований института и ряда других научных и производственных организаций.

Коллектив Геологического института поздравляет Любовь Ивановну с юбилеем и желает ей крепкого здоровья и дальнейших успехов!



### **МАРЧЕВСКАЯ Валентина Викторовна**

к. т. н., ведущий научный сотрудник, зав. сектором контроля состава минерального сырья Горного института КНЦ РАН, где трудится с 1997 г.

Окончила физический факультет Горьковского государственного университета им. Н. И. Лобачевского по специальности «физика» в 1971 г., по окончании которого работала в ОКБ Горьковского завода «Орбита». Далее в течение 6 лет руководила группой ядерно-физических методов геолого-разведочной службы ГМК «Печенганикель», затем работала научным сотрудником лаборатории радиометрического обогащения руд Кольского филиала института «Механобр» и НТП «ТЭТРОС».

В. В. Марчевская — ответственный исполнитель нескольких тем и многих договорных работ, а также руководитель нескольких договоров. Ею был выполнен большой объем работ по вводу в эксплуатацию рентгенофлуоресцентных сепаратора СФР-2-100/10 и спектрометра ARL Advant'X, рентгеновского дифрактометра D2 PHASER. По итогам проведенных исследований получены положительные результаты по оценке эффективности сепарации титаномагнетит-ильменитовых руд месторождений Юго-Восточная Гремяха и Большой Сейим, хромитовых руд месторождений Рай-Из, Сопчеозерского и Большая Варака, железных руд Бакальского месторождения, железо-медных руд Быстринского рудного поля, бедных медно-никелевых руд, малосульфидных благороднометалльных руд Федорово-Панского массива и Мончегорского плутона, геофизического технологического опробования в подземных горных выработках рудника Карнасурт ООО «Ловозерский ГОК». Кроме того, была доказана возможность рентгеноспектрального и рентгенофазового анализа минерального сырья и продуктов его обогащения.

Валентина Викторовна являлась руководителем пяти дипломных работ студентов горного факультета КФ ПетрГУ, трое из которых поступили в аспирантуру Горного института. В настоящее время научный руководитель аспиранта очной аспирантуры по специальности «Обогащение полезных ископаемых».

В. В. Марчевская — секретарь обогатительной секции Ученого совета Горного института КНЦ РАН.

Автор 72 опубликованных работ, в том числе 1 монографии, 55 статей, 1 издания в LAP Lambert Academic Publishing, 3 авторских свидетельств, 1 патента.

Поздравляем Валентину Викторовну с юбилеем, желаем здоровья, благополучия и успехов в работе, которой она посвятила свою жизнь!



#### **МАСЛОБОВА Софья Михайловна**

к. т. н., старший научный сотрудник лаборатории материалов электронной техники Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья (ИХТРЕМС) КНЦ РАН, где работает с 1972 г.

В 1972 г. окончила с отличием Московский институт тонкой химической технологии. В 1986 г. защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук (специальная тема).

Софья Михайловна занималась исследованием свойств и гидродинамики полидисперсных систем жидкость-жидкость применительно к процессам экстракционного выделения и разделения редких металлов. Кроме того, внесла свой вклад в разработку методов определения дисперсионного состава эмульсий и скоростей их расслаивания, методов расчета экстракционной аппаратуры, в создание эффективных экстракторов типа смеситель-отстойник, внедренных в производство редких металлов. Принимала участие в создании экстракционной технологии высокочистого оксида железа, лицензия на которую была приобретена фирмой Andritz-Ruthner (Австрия, 1987 г.).

Научная деятельность Софьи Михайловны связана также с разработкой гидрофторидной технологии редкометалльного сырья Кольского п-ова, с решением проблем регенерации серной кислоты из маточных растворов медеплавильного цеха комбината «Североникель» и с разработкой отдельных процессов гидрометаллургической технологии переработки пылей медно-никелевого производства. Занимается созданием комплексной технологии высокочистых соединений тантала и ниобия из природного и техногенного сырья. В настоящее время проводит исследования процессов получения с использованием золь-гель методов гомогенно легированных прекурсоров и исходной шихты для получения кристаллических и керамических материалов для электронной техники и других областей высокотехнологичной промышленности.

Автор более 160 научных работ, в том числе монографии, научных статей в рецензируемых журналах, авторских свидетельств и патентов на изобретения.

С. М. Маслобоева принимала участие в организации и проведении всероссийских конференций с международным участием в качестве секретаря конференций. Научную деятельность успешно сочетает с учебно-педагогической: она ведущий научный сотрудник и преподаватель Мурманского арктического государственного университета (МАГУ), читает лекционные курсы «Общая и неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Органическая химия», проводит семинары и руководит курсовыми и дипломными работами студентов. Имеет ученое звание доцента по специальности 05.16.02 «Металлургия черных и цветных металлов».

Награждена Почетной грамотой Президиума РАН и профсоюза работников РАН (2000), благодарственными письмами Мурманской областной Думы (2008) и Управления образования г. Апатиты (2015, 2017), благодарностью губернатора Мурманской обл. (2018).

За время работы в ИХТРЭМС КНЦ РАН С. М. Маслобоева проявила себя как грамотный, целеустремленный, настойчивый, работоспособный и ответственный сотрудник, умеющий реализовать поставленные перед ней задачи. Она является в высшей степени доброжелательным человеком, принимает активное участие в общественной жизни лаборатории.

Поздравляем Софью Михайловну с замечательным юбилеем и от всей души желаем крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.



#### **АПАНАСЕВИЧ Елена Александровна**

ведущий инженер лаборатории геохронологии и изотопной геохимии Геологического института КНЦ РАН.

В 1977 г. окончила Ленинградский государственный университет (кафедра аналитической химии), была направлена в Геологический институт Кольского филиала АН СССР и поступила на работу в химико-аналитическую лабораторию. Активно участвовала в автоматизации обработки результатов анализа спектрофотометрических данных, освоила методики по определению закисного железа в магнетитах, железистых кварцитах и в пробах с высоким содержанием серы. В период активизации исследований по определению металлов платиновой группы ею разработана методика определения золота, платины, палладия с низкими пределами обнаружения и достаточно высокой точностью. С 1992 г. Е. А. Апанасевич работает в лаборатории геохронологии и изотопной геохимии, где занимается анализом цирконов методом изотопного разбавления, ведет работу, направленную на снижение уровня внутрилабораторного холостого загрязнения, постоянно участвует в разработке новых методик анализа.

Коллектив ГИ КНЦ РАН поздравляет Елену Александровну с круглой датой и желает ей крепкого здоровья и дальнейших успехов!

**КИРНАРСКИЙ Юлий Мордухович**

научный сотрудник Геологического института Кольского научного центра РАН. Выпускник Ленинградского горного института, после окончания которого начал работать в Геологическом институте КФАН СССР в должности старшего лаборанта (1956 г.), затем младшего научного сотрудника (1957 г.) и в дальнейшем — научного сотрудника. В 2018 г. Юлий Мордухович вышел на заслуженный отдых.

Основная сфера его научных интересов — минералогия и геохимия массивов щелочных пород и карбонатитов Карело-Кольского региона. Юрий Матвеевич первым из сотрудников Института начал целенаправленно изучать карбонатиты, исследовал массивы Гремяха-Вырмес, Ковдор, Вуориярви, Себлявр, Маврагубский, Песочный, Тикшеозерский и др. Он участвовал в создании рабочего атласа и банка данных по геологии и полезным ископаемым наиболее значительных и интересных щелочных массивов мира.

Автор более 50 опубликованных научных работ по минералогии и геохимии щелочных пород и карбонатитов.

Неоценимый вклад Юлий Мордухович внес в воспитание и подготовку молодых специалистов в области геологии. Работал педагогом высшей квалификационной категории и старшим преподавателем кафедры геологии и полезных ископаемых Апатитского филиала Мурманского государственного технического университета. На протяжении многих лет увлеченно занимался воспитанием юных геологов, руководил геологическим кружком школьников в Апатитском городском доме детского творчества, помогает работе кружка и сейчас. Многие его «кружковцы» успешно окончили геологические вузы и работают геологами, среди них 4 кандидата наук. Организатор городских и областных геологических олимпиад школьников, руководитель областных команд на всероссийских олимпиадах и слетах юных геологов. Создатель постоянно действующей выставки, посвященной академику А. Е. Ферсману.

Ю. М. Кирнарский награжден знаком «Отличник народного просвещения СССР», педагог высшей квалификационной категории (2004).

Коллектив Геологического института КНЦ РАН желает Юлию Мордуховичу крепкого здоровья и долгих лет жизни!



**ЧУРКИН Олег Елиферович**

к. т. н. (1980), ученый секретарь Горного института КНЦ РАН (2010). В Кольском научном центре РАН работает с 1970 г. после окончания Ленинградского горного института.

Высококвалифицированный специалист в области технологии подземной добычи руд, технико-экономической оценки месторождений полезных ископаемых Арктического горнопромышленного региона России.

Им обоснованы и определены основные параметры горных предприятий на стадиях технико-экономической оценки перспективных рудных месторождений Кольского п-ова с использованием информационных технологий, выполнен анализ состояния и перспектив практического использования неосвоенных полезных ископаемых, технико-экономическая оценка перспективных месторождений Мурманской обл. и выявлены наиболее привлекательные с инвестиционной точки зрения объекты, разработана комплексная методология и ранжирование перспективных апатитовых месторождений России по промышленной значимости и экономической эффективности.

Олег Елиферович — авторитетный и высококвалифицированный специалист, получивший признание в научных учреждениях и на горных предприятиях региона. Его работы находят широкое применение в геолого-разведочных и горных предприятиях Кольского п-ова.

С 2010 г. О. Е. Чуркин, являясь ученым секретарем Горного института, успешно сочетает научные исследования с активной научно-организационной деятельностью.

Им опубликовано более 80 работ, в том числе 8 монографий (в соавторстве).

Ведет активную преподавательскую деятельность в филиале Мурманского арктического государственного университета в г. Апатиты и Апатитском филиале Мурманского государственного технического университета, член государственной аттестационной комиссии.

Награжден знаками «Горняцкая слава» I, II степени, «Трудовая слава» III степени, Почетной грамотой губернатора Мурманской обл., Почетной грамотой РАН и профсоюза работников РАН, почетной медалью Кольского научного центра РАН «За личный вклад в исследование и развитие Севера России», имеет благодарности и грамоты от администрации Горного института, ему присвоено звание «Ветеран труда».

Поздравляем Олега Елиферовича с юбилеем и желаем здоровья, неугасаемой энергии, успешного претворения в жизнь научных идей!



**КАРПОВ СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**

(10.09.1964–20.11.2018)

20 ноября 2018 г. ушёл из жизни замечательный человек, высококвалифицированный специалист, кандидат геолого-минералогических наук.

В 1990 г. Сергей Михайлович окончил геологоразведочный факультет Ленинградского горного института им. Г. В. Плеханова.

В Геологическом институте с 1990 г. по 2005 г. занимал должность стажера-исследователя, младшего научного сотрудника, научного сотрудника. В 2000 г. окончил аспирантуру ГИ КНЦ РАН, а в 2004 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Геологическое строение Панского интрузива и особенности локализации в нем комплексного платинометалльного оруденения». Работал по совместительству геологом I категории, начальником полевого отряда в ОАО «Пана».

В период 2005–2009 гг. работал главным геологом, геологом проектов в негосударственных горных и геологоразведочных компаниях, занимающихся поиском и разведкой медно-порфировых с золотом месторождений Дальневосточного региона и платинометалльных месторождений Кольского региона.

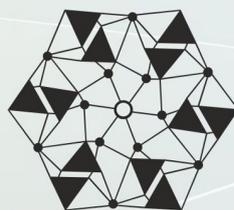
С 2009 г. Сергей Михайлович работал в ГИ КНЦ РАН научным сотрудником, старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией золота и других высоколиквидных полезных ископаемых № 36, начальником отдела уникальных минеральных коллекций.

Область научных интересов Сергея Михайловича — геология и закономерности локализации комплексных платинометалльных руд расслоенных комплексов Кольского региона; минералогия золота и других редких металлов (V, Sc, Ad и др.) в стратиформных сульфидных проявлениях палеопротерозойских рифтогенных структур Кольского региона.

С 2012 г. Сергей Михайлович работал доцентом кафедры геологии и полезных ископаемых АФ МГТУ, где вел занятия по курсам «Минералогия», «Систематическая минералогия», «Минералогия и кристаллохимия», «Минералогия и петрология».

Весь коллектив Геологического института навсегда запомнит его ответственным, порядочным, активным человеком широкой души, высококвалифицированным специалистом, увлеченным геологией, верным товарищем и надежным другом.

Выражаем искренние глубокие соболезнования всем родным и близким Сергея Михайловича.



**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

