

ФИЦ
КНЦ
РАН

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

ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

1/2019



1/2019 (11)

Издается с декабря 2009 года
DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.1
ISSN 2307-5228

0+

ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

Научно-информационный журнал

Основан в 2009 году
Выходит 4 раза в год

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

Свидетельство о регистрации СМИ

ПИ № ФС77-74987 от 22.02.2019

выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

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

Заместитель главного редактора

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.

Печатается по решению Ученого совета ФИЦ КНЦ РАН.

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

184209, г. Апатиты, Мурманская обл.,
ул. Ферсмана, 14
Тел.: 8-81555-79-754
E-mail: 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. заслуженный металлург РФ;
Ф. Д. ЛАРИЧКИН, д. э. н., проф., заслуженный экономист РФ;
С. В. ЛУКИЧЕВ, д. т. н.;
Д. В. МАКАРОВ, д. т. н.;
Г. Г. МАТИШОВ, академик РАН, д. г. н., проф. (ММБИ КНЦ РАН);
А. И. НИКОЛАЕВ, чл.-корр. РАН, д. х. н., проф.,
заслуженный деятель науки РФ;
В. А. ПУТИЛОВ, д. т. н., проф.; заслуженный деятель науки РФ;
И. А. РАЗУМОВА, д. и. н., проф.

Научное издание

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

Подписано к печати 22.04.2019.

Дата выхода в свет 16.05.2019. Формат бумаги 60×84 1/8
Усл. печ. л. 10,11. Заказ № 9. Тираж 300 экз.
Свободная цена.

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

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования.

Подписной индекс в каталоге «Почта России» — П3898

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Голованова О. А.</i> Особенности патогенного минералообразования в организме человека на примере Омской области.....	5
<i>Калюжный И. Л.</i> Гидрофизические свойства деятельного слоя болот Кольского полуострова.....	14
<i>Кириллова Н. Р.</i> Современное состояние коллекции аборигенной флоры Мурманской области в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте им. Н. А. Аврорина.....	30

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Кулькова М. С.</i> Применение аналитического и численного методов исследования для определения оптимальных параметров камер и целиков при отработке Ждановского месторождения.....	42
<i>Ловчиков А. В.</i> Инновационные решения по управлению горным давлением при отработке Ловозерского редкометалльного месторождения.....	50
<i>Мельников Д. Н.</i> Измерение напряжений в массиве пород Ждановского месторождения методом разгрузки (торцевой вариант).....	57
<i>Самсонов А. А.</i> Оценка состояния массива горных пород удароопасного месторождения «Олений ручей» по результатам измерений напряжений.....	62
<i>Абдуллаева Л. Дж.</i> Многоволновый метод для дистанционного определения береговой линии в условиях сильного аэрозольного загрязнения атмосферы.....	68

ЖИЗНЬ НАУКИ. КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ.....	74
--	-----------

КНИГОИЗДАНИЕ.....	79
--------------------------	-----------

ЮБИЛЯРЫ.....	83
---------------------	-----------

AD MEMORIAM.....	87
-------------------------	-----------

1/2019 (11)

Published since December 2009
DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.1
ISSN 2307-5228

HERALD

of the Kola Science Centre of RAS

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

Mass Media Registration Certificate

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

Editor-in-Chief and Chairman of the Editorial Council

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

Vice Editor-in-Chief

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

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

EDITORIAL COUNCIL

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

Scientific Publication

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

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

Subscription index: П3898 (Russian Post catalog).

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

184209, Fersman str., 14, Apatity, Murmansk Oblast
Tel. 8-81555-79-754
E-mail. vestnik2@admksk.apatity.ru

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

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

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCE

<i>Olga A. Golovanova</i> Features of Pathogenic Mineral Formation in the Human Body on the Example of Omsk Region..	5
<i>Igor L. Kalyuzhny</i> Hydro-Physical Properties of the Active Layer in Bogs in the Kola Peninsula.....	14
<i>Natalya R. Kirillova</i> Current Condition of the Collection of Native Flora of Murmansk Region in Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden and Institute.....	30

EARTH SCIENCES

<i>Maria S. Kulkova</i> The Analytical and Numerical Research Methods for Determining the Optimal Parameters of Stopes and Pillars during the Zhdanovskoe Deposit Mining	42
<i>Alexander V. Lovchikov</i> Development of the Lovozero Rare-Metal Deposit: Innovative Solutions for Rock Pressure Management.....	50
<i>Dmitriy N. Melnikov</i> Stress Measurements in Rock Mass of the Zhdanovskoe Deposit by the Doorstopper Method.....	57
<i>Alexander A. Samsonov</i> Assessment of Rock Mass State of Oleniy Ruchey Rock Burst Deposit Based on the Results of Stress Measurements.....	62
<i>Latifa Dj. Abdullayeva</i> Multi-wavelength Method for Remote Determination of Coastline in Condition of Heavy Aerosol Pollution of Atmosphere.....	68
CONFERENCES.....	74
NEW BOOKS.....	79
ANNIVERSARIES.....	83
AD MEMORIAM.....	87

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.1.5-13

УДК 54.168.3:54.02:543.2

ОСОБЕННОСТИ ПАТОГЕННОГО МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА НА ПРИМЕРЕ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

О. А. Голованова

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

Аннотация

Полученные результаты и накопленные по данной проблеме знания позволяют обобщить основные закономерности патогенного минералообразования в организме человека. Установлено, что процессы образования патогенных органоминеральных агрегатов в организме человека протекают в сложных многокомпонентных средах, содержащих органические и неорганические компоненты. Показано, что состав биологической жидкости в процессе камнеобразования претерпевает существенные изменения.

Роль биокосных взаимодействий при патогенном минералообразовании в организме человека проявляется в тесных связях между минеральной и органической компонентой камней, а также во взаимозависимости камней и сред их образования. Механизмы образования патогенных агрегатов, минеральная компонента которых состоит из органических и неорганических соединений, различны. Распространение патогенных агрегатов как в отдельных регионах, так и внутри одного региона имеет локально-региональные особенности, что обусловлено совместным действием экзогенных факторов.

Ключевые слова:

патогенное минералообразование, организм человека, минеральная и органическая компонента, камни, механизм образования.

FEATURES OF PATHOGENIC MINERAL FORMATION IN THE HUMAN BODY ON THE EXAMPLE OF OMSK REGION

Olga A. Golovanova

Dostoevsky Omsk State University, Omsk

Abstract

The obtained results and accumulated data make it possible to generalize basic laws governing the pathogenic mineral formation in human organism. It is established that the processes of the formation of pathogenic organomineral aggregates in human organism proceed in the complex multicomponent media, which contain organic and inorganic components. It is shown that composition of biological fluid in lithogenesis process undergoes substantial changes. The role of bio-nutrient interactions in pathogenic mineral formation in the human body is manifested in close links between the mineral and organic components of stones, as well as stones and their formation environments. The mechanisms of the formation of the pathogenic aggregates, which mineral component consists of organic and inorganic compounds, are different. The propagation of pathogenic aggregates both in the separate regions and inside one region has special local-regional features, which is caused by the combined action of exogenous factors.

Keywords:

pathogenic mineral formation, human body, mineral and organic components, stones, mechanism of formation.



Введение

Минералы всегда были и остаются одним из существенных элементов биоэкологии человека. Проблемой биоминералообразования в организме человека занимается биоминералогия — новое научное направление, тесно связанное по объектам и методам исследования с химией, минералогией и физикой. К объектам биоминералогии относятся образования, имеющие минеральную и органическую составляющие, возникшие в биосфере и созданные в живом организме при его участии или в результате замещения отмершего органического вещества минеральным. Среди биоминералов, сформировавшихся в живых организмах, выделяют две группы — физиогенные, необходимые человеку, и патогенные. Первые входят в состав тех или иных органов и выполняют различные функции, вторые возникают в результате нарушений функционирования всего организма или его отдельного органа.

Патогенные агрегаты генетически являются «болезнями» организма. К ним относятся камни мочевой системы, желчного пузыря, зубные и слюнные камни и некоторые другие. Состав этих агрегатов различен. Трудности изучения патогенных минералов связаны в первую очередь со сложным вещественным и элементным составом камней, являющихся органоминеральными агрегатами (ОМА), содержащими как минеральную (часто очень плохо окристаллизованную), так и органическую части, которые очень трудно разделить. Кроме того, связанные со сложным взаимодействием живого и костного вещества механизмы образования и роста кристаллических фаз, входящих в состав камней, на данный момент изучены недостаточно и являются дискуссионными.

В последнее время в связи с ростом числа заболеваний и ухудшения экологической обстановки в мире, что является одним из важнейших факторов, приводящих к возникновению патогенных биоминеральных образований, интерес к исследованиям этих объектов возрастает. Для того чтобы продвинуться в направлении понимания закономерностей генезиса мочевых, желчных и других камней в организме человека, необходимо более детально изучить их вещество, привлекая широкий круг современных инструментальных методов, а для установления особенностей образования и роста кристаллических фаз, входящих в их состав, активно использовать методы теоретического и экспериментального моделирования. Исследования такого рода в настоящее время ведутся во многих научных центрах, что нашло широкое отражение в ряде работ отечественных ученых [1–11]. Состав и строение патогенных биоминералов изучали зарубежные исследователи [12–15], но до окончательного решения проблемы еще далеко. Обобщение и критический анализ накопленных знаний по вещественному составу и гипотезам образования патогенных агрегатов в организме человека показали, что накопленный на разных этапах развития биоминералогии фактический материал требует уточнения, систематизации и переосмысления. Представления о механизмах образования камней находятся на уровне гипотез и являются дискуссионными.

Настоящая работа посвящена биоминералогии мочевых, желчных, зубных и слюнных камней — основных патогенных органоминеральных агрегатов, образующихся в организме человека.

Методика эксперимента

Для определения минерального состава камней использовались методы рентгенофазового анализа (ДРОН-3) и ИК-спектроскопии (Specord-75 IR). Элементный состав камней определялся методами рентгено-флуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (накопитель ВЭПП-3) на станции элементного анализа ИЯФ СО РАН, количественного рентгеноспектрального микрозондового анализа (микроанализатор Camebax-Micro), атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой (Optima 2000 DV, Perkin Elmer). Аминокислотный состав органической составляющей камней исследовался с применением

метода высокоэффективной жидкостной хроматографии на приборе Series 200 (Perkin Elmer). Для определения химического состава биожидкости использовались методы спектрофотометрического, потенциометрического, титриметрического анализов, атомно-эмиссионный спектральный анализ, вискозиметрия. Достоверность полученных результатов подтверждалась с использованием программных пакетов статистической обработки данных StatSoft Statistica 6.0 и Unscrambler 7.5.

Желчь как камнеобразующая среда.

Проведено количественное определение основных органических компонентов операционной желчи жителей Омского региона. Установлено, что концентрация главного компонента желчи — желчных кислот (стабилизаторов холестерина) для 25 % проб ниже нормы, для 12,5 % — в норме, для 62,5 % — выше нормы. Концентрация холестерина, фосфолипидов и триглицеридов для всех проб выше нормы (для холестерина в среднем в 11 раз); содержание билирубина для 18,7 % проб ниже нормы, а для 81,3 % — повышено относительно нормы. Таким образом, состав патогенной желчи не соответствует норме, в большинстве случаев содержание основных органических компонентов превышает ее.

Для подтверждения литогенных свойств проанализированной желчи для всех проб по полученным данным о ее составе различными способами были рассчитаны индексы литогенности (ИЛ), являющиеся критериями устойчивости желчи к коагуляции. Оказалось, что все значения ИЛ не соответствуют норме, что подтверждает патогенные свойства анализируемой желчи. При оценке содержания белковой компоненты в исследуемых пробах операционной желчи было определено количество общего азота. Оказалось, что его массовая доля находится в диапазоне от 1,50 до 1,80 %, что приблизительно в 3 раза превышает массовую долю азота в желчи здорового человека (0,48 %). Увеличение доли общего азота, вероятно, связано с возрастанием содержания в патогенной желчи не только аминокислот, но и таких азотсодержащих органических соединений, как билирубин и фосфолипиды. Содержание большинства неорганических компонент в патогенной желчи также повышено, а именно: массовая доля натрия в 1,2 раза превышает его содержание в норме, фосфора и калия — в 1,5 раза, кальция — в 2,5 раза, магния — в 4,5 раза, содержание железа в 3,5 раза меньше нормы. Известно, что катионы кальция выполняют цементирующую роль в процессе нуклеации холестерина и осаждаются из желчи в виде карбонатов, пальмитатов и фосфатов. Таким образом, отклонения в элементном и вещественном составе патогенной желчи, по-видимому, приводят к нарушению ее коллоидной структуры, что способствует коагуляции холестерина и образованию камней.

Ввиду того, что минеральный состав холелитов представлен преимущественно холестерином (рис. 1), для обнаружения других составляющих желчных камней необходимо было предварительно извлечь холестерин из образца.

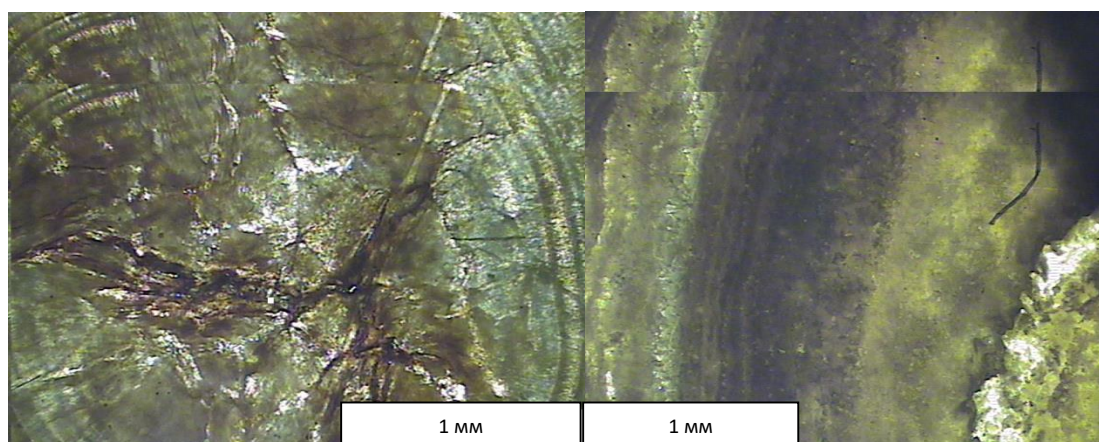


Рис. 1. Микрофотография шлифа концентрически-слоистого холестеринового желчного камня с трещинами усыхания
 Fig. 1. Micrograph of thin section of concentric layered cholesterol gallstone with shrinkage cracks

Использование разработанной методики поэтапного экстракционного разделения компонентов желчных камней [1] позволило кроме безводного холестерина $C_{27}H_{46}O$ обнаружить в исследуемых образцах следующие дополнительные фазы: карбонаты кальция $CaCO_3$ (фатерит, арагонит и кальцит), фосфат кальция витлокит $Ca_3(PO_4)_2$ и ряд органических соединений — билирубин ($C_{33}H_{36}O_6N_4$), натриевая соль желчной кислоты ($C_{21}H_{37} = CONHCH_2COONa$). В двух «черных камнях» холестерин практически отсутствует. Они состоят из билирубина и пальмитата кальция $(C_{15}H_{31}COO)_2Ca$, т. е. относятся к пигментным. В составе желчных камней идентифицировано более 36 элементов, массовая доля которых колеблется в диапазоне от 10–5 до 2 %.

Процентное содержание элементов от их общей массы убывает в следующем порядке: Ca, K, Mn, Fe, Cu, Pb, Ti, Zn, V, Ni, Bi, Cr, Hg. Массовая доля кальция составляет 95 %, калия — более 3 %, на долю хрома и ртути приходится около 0,02 %. Увеличение содержания кальция в патогенной желчи способствует образованию холиолитов, содержащих карбонаты кальция и билирубинат кальция, который является основной фазой пигментных камней. По концентрации марганца, железа и меди в исследуемой коллекции выделяются три группы образцов (первая — $Fe > Cu > Mn$; вторая — $Mn > Fe > Cu$; третья — $Cu > Fe > Mn$). Кроме того, обнаружены единичные желчные камни, в которых среднее значение отдельных элементов резко завышено: свинца — в 50 раз; ртути — в 12 раз, меди — в 290 раз, железа — в 59 раз. Возможно, что повышенное содержание этих элементов в отдельных желчных камнях связано с экологической обстановкой в Омском регионе [1].

Моча как камнеобразующая среда.

В моче здорового человека идентифицировано более двух десятков неорганических и органических соединений. К патологическим компонентам мочи можно отнести глюкозу, белок, кетоновые тела, кровь. При образовании мочевых камней в физиологическом растворе повышается содержание неорганического фосфора (> 75 ммоль/л), общего кальция (> 7 ммоль/л), магния (> 5 ммоль/л), щавелевой ($> 0,25$ ммоль/л) и мочевой (> 4 ммоль/л) кислоты. В моче здорового человека содержатся следы белка, не определяемые обычными качественными реакциями. При болезнях почек и ряде других заболеваний выделение белков с мочой возрастает. Среднесуточное значение pH мочи здорового человека лежит в области 5,5–6,5. При оксалатном литиазе pH изменяется в течение суток в интервале 4,8–7,0, при уратном — 4,5–5,8, при фосфатном — 6,0–7,7. Таким образом, моча — это сложный многокомпонентный раствор. Основными факторами, влияющими на процесс патогенного минералообразования в мочевой системе, являются химический состав и кислотность мочи.

В настоящее время в составе мочевых камней идентифицировано 29 минералов, из которых большинство являются солями кальция. В камнях исследуемой коллекции идентифицировано 11 соединений (рис. 2).

Наиболее часто встречаются оксалаты:

- увеллит $CaC_2O_4 (1 + x) H_2O$ ($x \leq 0,07$) и уедделлит $CaC_2O_4 (2 + x)H_2O$, ($x \approx 0,13-0,37$);
- фосфаты — струвит $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$, гидроксилпатит $Ca_5(PO_4)_3(OH)$, брушит $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ и витлокит $Ca_3(PO_4)_2$;
- ураты — урицит $C_5H_4N_4O_3$, дигидрат мочевой кислоты $C_5H_4N_4O_3 \cdot 2H_2O$, урат аммония $C_5H_2O_3N_4(NH_4)_2$.

В 5 % образцов обнаружен редкий для почечных камней кварц SiO_2 , в одном камне (вместе с кварцем) впервые встречен силикат кальция хатрурит Ca_3SiO_5 . Частота встречаемости минералов в мочевых камнях различных регионов варьирует. Всегда преобладают оксалатные камни (45–75 %), далее следуют фосфатная (20–40 %) и уратная (10–20 %) группы. Впервые обнаружены основные типы локализации органических веществ белковой природы: ядерная (в центре агрегата), прослоечная (концентрические и лучевые прослойки), диффузная (в виде вкраплений в кристаллы минералов). Как правило, в мочевых камнях фиксируются одновременно все типы локализации органического вещества с заметным преобладанием одного из них. Практически

во всех исследованных уrolитах методом сканирующей электронной микроскопии установлено проявление микрогетерогенности. В оксалатных и струвитных камнях (мономинеральных, по данным РФА) выявлены зерна апатита (4–5 мкм), в фосфатных и уратных обнаружены отдельные кристаллики уевеллита (размером 150–200 мкм). На основе вариаций параметров кристаллической решетки и данных локального микроанализа установлено, что оксалаты и фосфаты почечных камней характеризуются переменным нестехиометрическим составом, что отражает неравновесность и нестационарность условий их образования. Нестехиометрия составов оксалатов кальция (уевеллита и уедделлита) связана с переменным количеством воды в их структурах.

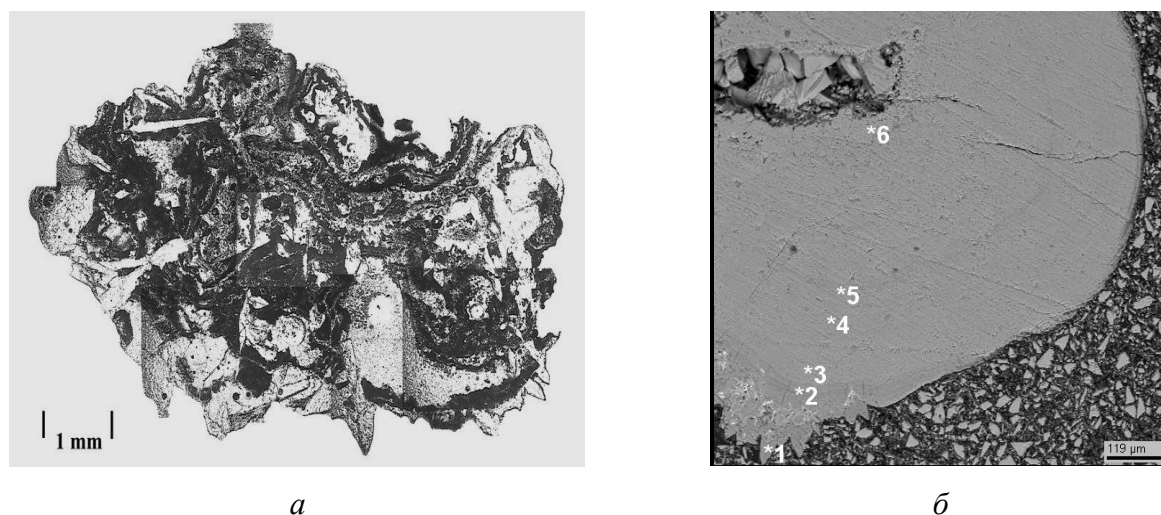


Рис. 2. Шлиф почечного камня, уедделлит ~ 100 %:
a — николи II; *б* — кристаллы уедделита в центре и на поверхности уевеллитового камня
 Fig. 2. Kidney stone thin section, weddellite ~ 100 %:
a — Nicols II; *б* — weddellite crystals in the center and on the surface of a weddellite stone

Вариации составов струвитов и апатитов связаны с изоморфными замещениями во всех кристаллографических позициях:

1. Основные примеси струвитов почечных камней (массовая доля): Ca (0,36–1,89 %), Na (до 0,13 %), K (0,28–0,70 %), S (0,5–0,8 %).

2. Основные примеси апатитов почечных камней (массовая доля): Na, Mg (0,5–0,8 %), K (0,3–0,4 %), S (0,5–0,8 %), Cl (0,07–0,30 %).

Нестехиометрия струвита связана с переменной долей вакансий в позиции Mg, апатита — в позиции Ca. Результаты кластерного анализа показали, что почечные камни различного минерального состава — оксалатные, фосфатные и уратные — отличаются по содержанию таких элементов, как Ca, P, Mg, Na, K, S, F (массовая доля более 0,1 %), а также Sr, Zn, Ba, Cu, Br, Pb, Sb, Zr, Rb (массовая доля менее 0,1 %). Для камней смешанного фосфатно-оксалатного и уратно-оксалатного состава данная дифференциация носит размытый характер. Максимальное число микроэлементов (F, K, Sr, Zn, Ba, Zr, Sb, Rb) тяготеет к фосфатной группе, что можно объяснить их изоморфным вхождением в кристаллические структуры фосфатов, в первую очередь гидроксилapatита.

Ротовая жидкость как камнеобразующая среда.

В составе исследованных зубных и слюнных камней обнаружены различные фосфаты кальция: апатит, брушит, октакальций фосфат $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, витлокит. Самым распространенным минералом является гидроксилapatит (рис. 3).

Как известно, минеральная компонента твердых тканей зуба (эмаль, дентин) представлена только апатитом. Таким образом, минеральный состав образующихся в полости рта патогенных образований (зубные и слюнные камни) более разнообразен, чем физиогенных. Вариации

параметров кристаллической решетки апатитов слюнных и зубных камней также связаны с широким проявлением изоморфизма во всех кристаллографических позициях. Основные примеси апатитов слюнных и зубных камней (массовая доля): Na (0,4–1,0 %), Mg (0,5–3,7 %), K (0,02–0,30 %), S (0,4–1,0 %), Cl (0,02–0,20 %).

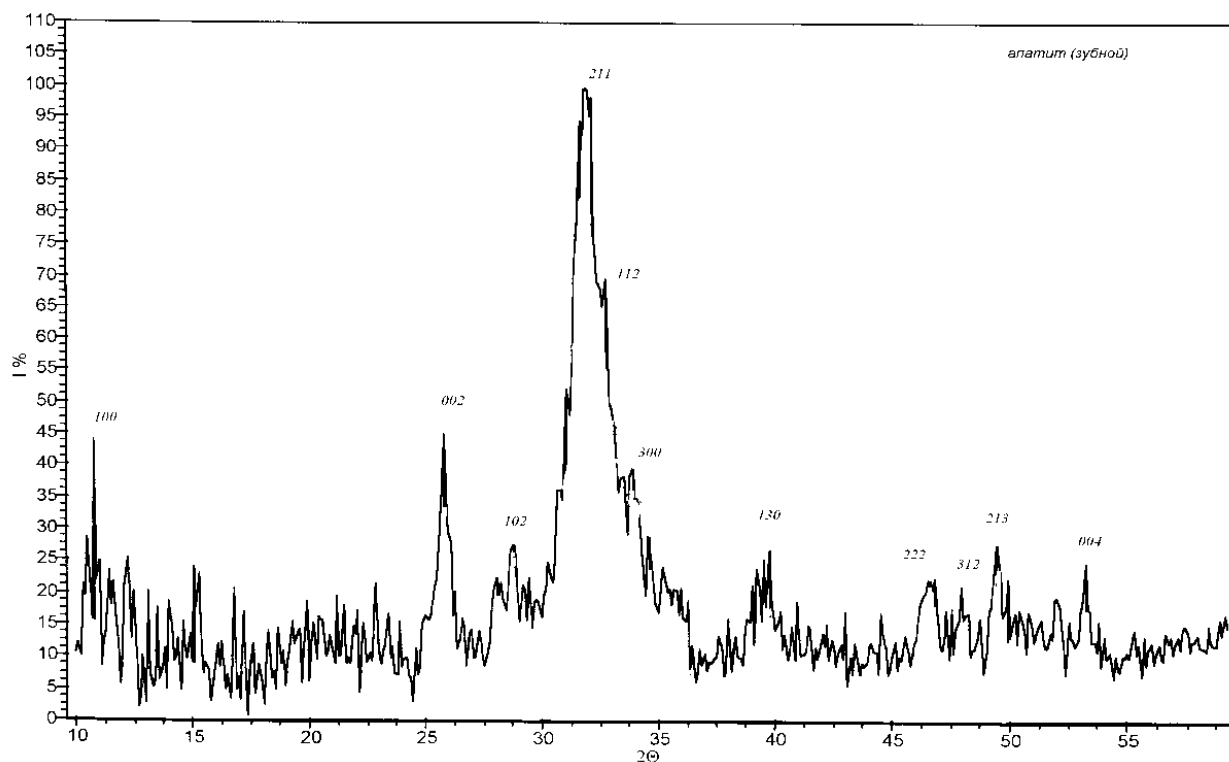


Рис. 3. Фрагмент рентгенограммы зубного камня (брушит и ГА)

Fig. 3. Fragment of the X-ray diffraction of tartar (brushite and hydroxyapatite)

Диапазон изменений параметров решетки апатитов слюнных и зубных камней более широк по сравнению с апатитами твердых тканей зуба, но существенно меньше, чем у апатитов мочевых камней. Следовательно, химический состав и pH ротовой жидкости изменяются в более узком диапазоне по сравнению с мочой. Различные диапазоны изменений параметров кристаллической решетки физио- и патогенных биоапатитов отражают тот факт, что механизм образования твердых тканей зуба полностью контролируется организмом, а формирование ОМА вызвано аномальными изменениями параметров камнеобразующей среды. Для зубных и слюнных камней также характерно концентрически-слоистое строение, проявляющее на разных уровнях. Обычно слои неорганического вещества разделяются более тонкими слоями органического вещества. Установлено, что большинство исследованных камней имеют один центр, от которого происходило их разрастание, встречаются также камни с несколькими центрами (ядрами), вокруг которых формируются концентрические слои.

Общее содержание аминокислот в саливолитах и дентолитах, по сравнению с патогенной ротовой жидкостью, значительно увеличено. Ряд средних концентраций (массовая доля, %) химических элементов в зубных камнях ($Zn > Fe > Cu > Ni > Mn$) практически совпадает с соответствующим рядом для ротовой жидкости. Это указывает на то, что аминокислоты, легко образующие комплексы с соответствующими тяжелыми металлами, извлекаются из общего кругооборота аминокислот, при этом происходит нарушение связи ионов кальция с белковыми коллоидами, находящимися в слюне, в результате чего освободившиеся ионы кальция связываются с фосфат-ионами, что приводит к образованию нерастворимых фосфатов кальция, основных компонентов зубных и слюнных камней.

Онтогенетические закономерности.

Изучение структурно-текстурных особенностей исследуемых патогенных агрегатов показало, что их образование протекает стадийно. Характерной особенностью многих мочевых, зубных и слюнных камней являются перерывы в процессе их роста. Нередко отмечается растворение образовавшихся ранее слоев, в результате чего вновь возникающие слои перекрывают несколько зон «с несогласием». Применение метода рентгеновской компьютерной микротомографии позволило выявить скрытые плотностные аномалии — понижения плотности, которые также указывают на изменения обстановки формирования уролитов, дентолитов и саливолитов. В целом, полученные данные свидетельствует об очень сложных переменных условиях камнеобразования, когда рост камней неоднократно сменялся их растворением. Уролиты исследуемой коллекции, состоящие из увеллита, уедделита или уриката, имеют, как правило, сферолитовое или дендритное строение.

Развитие сферолитов происходит вследствие интенсивного расщепления кристаллов; сферолиты часто сложены одним минералом (рис. 4). Сферолитовая структура агрегатов свидетельствует о прямой кристаллизации компонентов камня с зарождением на иницирующих центрах. При этом возможна кристаллизация метастабильной фазы (уедделита) с последующим ее замещением на увеллит. При изучении шлифов выявляется изменение интенсивности отложения вещества при росте сферолитовых агрегатов с повторными зарождениями сферолитов. Границы роста в местах соприкосновения сферолитов формируют сложную систему пустот (кавернозность агрегатов).

Зернистая структура фосфатных камней (уролитов, дентолитов и саливолитов), указывает на то, что формирование этих ОМА обусловлено в основном седиментацией и агломерацией мелкозернистого или аморфного материала (рис. 5). Собственно, кристаллизация в этом случае имеет подчиненное значение, участвуя в формировании второстепенных минералов с более высокой растворимостью (оксалаты, струвит и брусит). Характерные для уролитов камни смешанного типа имеют слоистое строение, в котором чередуются зернистые и сферолитовые агрегаты. Такие камни образуются в наиболее неравновесных условиях в результате чередования процессов кристаллизации и седиментации. Слоистое строение в камнях сферолитового типа фиксируется более четко, чем в зернистых камнях. В целом выявленные закономерности онтогенеза мочевых, слюнных и зубных камней хорошо согласуются между собой и дополняют полученные ранее по уролитам результаты А. К. Полюенко, В. И. Катковой, Ф. В. Зузука и др.

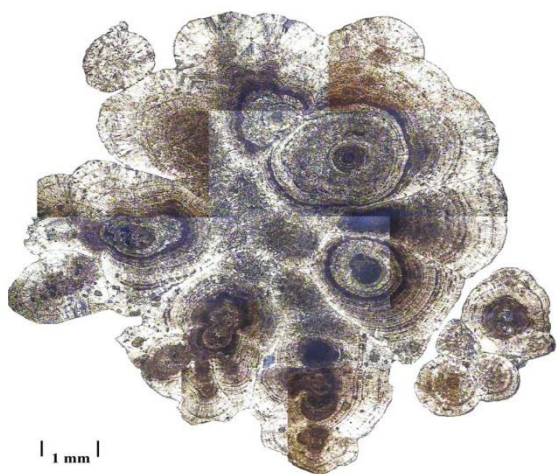


Рис. 4. Микрофотографии шлифа оксалатного камня — сферолиты увеллита ~ 100 %

Fig. 4. Micrographs of oxalate stone thin section — whewellite spherulites ~ 100 %

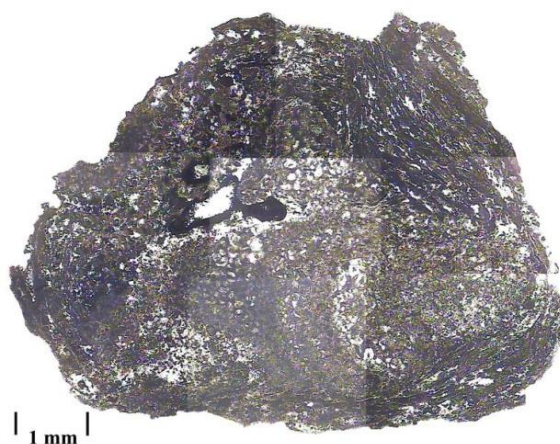


Рис. 5. Микрофотографии шлифа струвит-апатитового мочевого камня — зернистая структура

Fig. 5. Micrographs of thin section of a struvite-apatite urinary stone — granular structure

Большинство желчных камней являются концентрически-зональными сферолитами. Они имеют периферическую тонкослоистую оболочку и более грубую зональность в центральных и промежуточных областях (рис. 1). Обмен веществ и периодическая выработка желчи способствуют формированию концентрических зон различной окраски. Сферолитовое строение холестеринových камней с радиальной, крупнокристаллической, веероподобной структурой указывает на их формирование из истинных растворов. При этом зональное распределение окраски камня дает основание полагать, что один и тот же камень может поочередно формироваться как из истинного раствора желчи, так и из коллоидного, обогащенного билирубином. Можно предположить, что желчь в пузырь периодически переходит из состояния истинного раствора в коллоидное. Таким образом, для камней, минеральная компонента которых состоит из органических соединений (оксалатные и мочекислые уролиты, холестериновые холелиты), характерна сферолитовая структура и прямой рост фаз из пересыщенных растворов. Для фосфатных камней (фосфатные уролиты, дентолиты и саливолиты) характерно зернистое скрытокристаллическое строение и образование путем осаждения вещества (седиментации).

Заключение

В данной работе разработан и использован комплексный подход к исследованию патогенного минералообразования в организме человека, включающий всестороннее изучение органоминеральных агрегатов (почечных, желчных, зубных и слюнных камней), соответствующих камнеобразующих сред, а также широкое применение метода экспериментального моделирования в прототипах биологических жидкостей. Детально исследована представительная коллекция почечных, желчных, зубных и слюнных камней (их морфология, структура, минеральный и химический состав), установлены связи между компонентами ОМА, проанализирована онтогенез органоминеральных агрегатов. Проведено определение параметров желчи и ротовой жидкости в норме и патологии, выявлены отличия состава патогенных камнеобразующих сред, и установлены связи между характеристиками физиологических растворов и образующихся в них камней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голованова О. А. Патогенные минералы в организме человека. Омск: Изд-во Омского гос. ун-та, 2006. 400 с.
2. Зузук Ф. В. Мінералогія уролітів. Т. 3: Онтогенія уролітів. Луцьк: Вежа, 2004. 581 с.
3. Иванов М. А., Панин А. Г., Стецки О. В. Принципы структурно-вещественной классификации почечных камней // Федоровская сессия: сб. тез. докл. 2006. С. 18–20.
4. Минералообразование в организме человека / Т. А. Пальчик [и др.] // Биокосные взаимодействия: жизнь и камень: материалы II Междунар. симп. СПб.: МО РАН, 2004. С. 186–189.
5. Потапов С. С., Мороз Т. Н., Костровский В. Г. Установление, спектральные характеристики и возможный механизм образования кварца в мочевой системе человека // Урал. геол. журн. 2002. № 4 (28). С. 239–244.
6. Сокол Э. В., Нигматулина Е. Н., Максимова Н. В. Сферолиты оксалата кальция в почечных камнях: морфология и условия образования // Химия в интересах устойчивого развития. 2003. № 11. С. 547–558.
7. Влияние белкового вещества и бактерий на образование фосфатов мочевых камней (по результатам модельного эксперимента) / А. М. Николаев [и др.] // ЗРМО. 2014. Т. 143, № 6. С. 120–133.
8. Полиенко А. К. Минеральный состав, морфология и структура уролитов (на примере уролитов жителей Томской области): дис. ... д-ра геол.-мин. наук: спец. 25.00.05. Томск, 2014. 302 с.
9. Полиенко А. К. Основы кристаллографии и минералогии для урологов. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 108 с.
10. Сравнительная характеристика минерального и микроэлементного состава желчных камней, удаленных у пациентов в Новосибирской и Омской областях / О. А. Голованова [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2006. № 14. С. 125–131.
11. Атомно-эмиссионный анализ при исследовании состава желчных камней / Е. В. Размахнин [и др.] // Клиническая лабораторная диагностика. 2014. № 4. С. 11–13.
12. Declet A., Reyes E., Suarez O. Calcium carbonate precipitation: a review of the carbonate crystallization process and applications in bioinspired // Nanotechnology Center for Biomedical, Environmental and Sustainability Applications. 2015. P. 21.
13. Role of cholecystokinin and the cholinergic system in intestinal stimulation of gallbladder contraction in man / W. P. M. Hopman [et al.] // Hepatology 1990. Vol. 11, No. 2. P. 261–265.
14. Abdel-Aal E. A., Yassin A. M. Inhibition of nucleation and crystallisation of kidney stone (calcium oxalate monohydrate) using *Ammi Visnaga* (khella) plant extract // Int. J. Nano and Biomaterials. 2016. Vol. 6, No. 2. P. 110–126.
15. Stability and transformation mechanism of weddellite nanocrystals studied by X176ray diffraction and infrared spectroscopy / C. Conti [et al.] // Physical Chemistry Chemical Physics. 2010. Vol. 12. P. 14560–14566.

Сведения об авторе

Голованова Ольга Александровна — доктор геолого-минералогических наук, профессор химического факультета кафедры неорганической химии Омского государственного университета им. Ф. М. Достоевского

E-mail: golovanoa2000@mail.ru

Author Affiliation

Olga A. Golovanova — Doctor of Sciences (Geology & Mineralogy), Professor, Faculty of Chemistry, Department of Inorganic Chemistry, Dostoevsky Omsk State University

E-mail: golovanoa2000@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Голованова, О. А. Особенности патогенного минералообразования в организме человека на примере Омской области / *О. А. Голованова.* — Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (11). — С. 5–13.

Reference

Golovanova Olga A. Features of Pathogenic Mineral Formation in the Human Body on the Example of Omsk Region. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 1 (11), pp. 5–13. (In Russ.).

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ БОЛОТ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

И. Л. Калюжный

ФГБУ Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Плотность сухого вещества верхних горизонтов мезоолиготрофных болот Кольского п-ова не превосходит $0,1 \text{ г/см}^3$ и возрастает по глубине деятельного слоя до $0,25 \text{ г/см}^3$, при этом доля его объема увеличивается от 1,47 до 4,5 %. Пористое пространство формируется порами радиусом от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $120,0 \cdot 10^{-4}$ см. Слои с наименьшей объемной массой сухого вещества содержат больше капиллярной влаги. В грядово-мочажинном комплексе (гряда сфагново-кустарничковая) больше всего капиллярной влаги содержится в слое 10–20 см — до 60–63 % при массе сухого вещества $0,057\text{--}0,059 \text{ г/см}^3$. Пористость обуславливает подъем уровня воды и водоотдачу при выпадении осадков, которые характеризуются коэффициентами водоподъема и водоотдачи. Первый — изменяется от 2,08 до 5,75 мм на 1 мм атмосферных осадков, второй — уменьшается от значений 0,34–0,48 в верхних горизонтах и до 0,26–0,20 в нижних. Водопроницаемость конкретного слоя зависит исключительно от радиуса наиболее крупных пор в нем.

Ключевые слова:

болота Кольского п-ова, деятельный слой, пористость, капиллярная структура, водоотдача, водоподъем, фильтрация.

HYDRO-PHYSICAL PROPERTIES OF THE ACTIVE LAYER IN BOGS IN THE KOLA PENINSULA

Igor L. Kalyuzhny

State Hydrological Institute, Saint Petersburg

Abstract

Density of dry substance in upper layers of meso-oligotrophic bogs in the Kola Peninsula doesn't exceed $0,1 \text{ gr/cm}^3$ and increases with the active layer depth up to $0,25 \text{ gr/cm}^3$. Its volume also increases from 1,47 to 4,5 %. Pores, which are from $2,0 \cdot 10^{-4}$ to $120,0 \cdot 10^{-4}$ cm in radius, form porous media. The less is the dry substance volume in a layer, the more capillary water it contains. In a hummocky-ridge complex with a sphagnum-subshrub ridge, 60–63 % of capillary water is contained in the upper 10-20 cm layer with dry weight of $0,057\text{--}0,059 \text{ gr/cm}^3$. Porosity causes water level rise and water return during precipitation. They are characterized with water rise and water return coefficients. The first one varies from 2,08 to 5,75 mm per 1 mm of precipitation. The second one decreases from 0,34–0,48 in the upper horizons to 0,26–0,20 in the bottom ones. Transmission constant of a specific layer depends exclusively on the biggest pores' radius.

Keywords:

bogs of the Kola Peninsula, active layer, porosity, capillary structure, water return, water rise, filtration.



Введение

Освоение болотных массивов в различных отраслях экономики России требует глубоких знаний о природе и свойствах болот. Строительство мелиоративных систем, прокладка линейных сооружений (дорог, трубопроводов, кабельных сетей и др.) требует выполнения специальных расчетов и оценки взаимодействия их с болотными массивами. Мелиоративное строительство, которое обусловлено ведением сельскохозяйственного производства, добыча и переработка торфа для иных целей [1] определяют

необходимость определения водно-физических свойств торфяной залежи. Учитывая, что Мурманская обл. выходит за общепринятые границы возможного распространения земледелия, а мелиоративный фонд области ограничен, исследование физических свойств болот здесь практически не проводилось.

Первые работы по определению и обобщению водно-физических свойств торфяной залежи в России были выполнены А. Д. Дубахом [2] еще в 1936–1941 гг. В послевоенные годы водно-физические свойства олиготрофных и эвтрофных болот исследовались К. Е. Ивановым [3], В. В. Романовым [4], П. К. Воробьевым [5], К. П. Лундиным [6] и др.

Первые результаты стационарных исследований гидрофизических процессов, протекающих на болотах Кольского п-ова, были получены на специализированной сети болотных станций Росгидромета, а также путем полевых исследований Государственного гидрологического института.

Целью настоящей работы является обобщение полученных материалов для дальнейшего их использования в различных областях экономики, охраны природы и окружающей среды.

Краткое описание объектов исследования

Основные стационарные полевые и лабораторные работы были проведены на специализированной болотной станции Пулозерская, объект исследований которой — болото Пулозерское. Массив расположен в провинции финско-кольской северной тайги и лапландских аапа. Описание болотного массива приведено в работе [7].

Полевые работы по обследованию болотных массивов и отбору монолитов торфа для лабораторных исследований были выполнены также в следующих пунктах:

- на естественном олиготрофном болоте (провинция финско-кольской северной тайги и лапландских аапа), в районе участка «Колвица» (г. Кандалакша) в сфагново-кустарничковом микроландшафте с редким облесением сосны и березы (торфяная залежь однородная со степенью разложения 5–10 %);
- на болотном массиве Фенноскандийской провинции березовой лесотундры и крупнобугристых болот, расположенном в 50 км от Мурманска на левом берегу р. Тулома, в сфагново-сосновом, облесенном редкой березой, микроландшафте;
- на мезотрофном болотном массиве карело-финской провинции северной тайги и аапа болот, расположенном вблизи пос. Лоухи Республики Карелия, в сфагново-осоковом, кочковатом микроландшафте.

Всего было отобрано 8 монолитов торфа площадью сечения 500 см² и высотой 100 см.

Методы определения водно-физических характеристик

Водно-физические свойства деятельного слоя торфяной залежи определяют интенсивность физических процессов, происходящих в деятельном слое болот. Важнейшими характеристиками этих свойств, которые влияют на формирование протекающих физических процессов в естественном или преобразованном (мелиорированном) состоянии залежи, являются:

- плотность и пористость сухого вещества торфа и растительных остатков;
- капиллярная структура деятельного слоя, выраженная в виде распределения размеров и объемов внутренних и внешних пор, определяющих его водоудерживающую способность;
- водоподъем уровня болотных вод и водоотдача торфяной залежи, определяемая коэффициентами водоподъема и водоотдачи;
- водопрopusкная способность залежи, определяемая характеристиками влагопроводности и, при полном влагонасыщении слоя, коэффициентом фильтрации.

Капиллярные характеристики деятельного слоя позволяют оценить энергию связи влаги с органическим веществом торфа и определить величину гидравлического напора, при котором связанная вода в зоне аэрации переходит в свободное состояние и участвует в процессе

водоотдачи, капиллярного поднятия, вертикальной и горизонтальной фильтрации. Эти характеристики определялись в лабораторных условиях на капилляриметрах ГР-37 и образцах торфа, отобранных в конкретных болотных микроландшафтах. Методика производства работ приведена в работе [8].

Под плотностью сухого вещества торфа понимают содержание в единице объема торфяной залежи массы растительных остатков и торфа. С целью определения плотности в конкретных микроландшафтах болота отбирают монолиты торфа и в лабораторных условиях определяют эту характеристику послойно на образцах, высушенных до воздушно-сухого состояния. Методика определения плотности сухого вещества и твердой фазы торфа приведена в работе [8].

Полевой метод определения реакции уровня болотных вод на выпадающие жидкие атмосферные осадки основан на синхронной записи выпадающих осадков и вызванной ими реакции уровня болотных вод. Коэффициент водоподъема определяется по данным полевых наблюдений на специальной полевой установке, которая состоит из самописцев уровня воды и дождя. Методика наблюдений и их обработка изложена в работе [8].

Коэффициенты фильтрации торфяной залежи характеризуют степень влагопроводности болотных микроландшафтов. В пределах деятельного слоя их определяют на крупных монолитах (размером 90×50×40 см), отобранных в зимний период на болоте и установленных на специальных безнапорных фильтрационных лотках. Методика производства работ приведена в источнике [8].

Плотность и пористость деятельного слоя торфяной залежи

Биохимические процессы, приводящие к распаду органического вещества и образованию торфа, происходят в основном в верхнем, деятельном (торфогенном) слое мощностью до 0,5 м [3, 4]. В этом слое происходит теплообмен, обмен влагой с атмосферой, изменяется ее фазовый состав, поверхностный отток воды за пределы болота и ряд других процессов. Ниже этого слоя процессы разложения органики происходят без доступа кислорода и крайне медленно.

Структура деятельного слоя формируется продуктами распада, остатками растений и живыми растениями, «если они настолько плотно сомкнуты, что в порах между ними вода может двигаться под влиянием капиллярных сил» [4].

Поверхность деятельного слоя представляет собой живой растительный покров, состоящий из головок и стеблей мха, корневой системы растений, и характеризуется чрезвычайно высокой пористостью. В сообществе мхи — кустарнички наибольшая насыщенность корешками кустарничков наблюдается на глубинах 5–8 см от поверхности. Поры при этом вытянуты в вертикальном направлении. Степень разложения торфа составляет 3–5 %. На глубинах 10–15 см увеличивается количество погребенных частей кустарничков. Плотность сухого вещества торфа колеблется в пределах от 0,050 до 0,100 г/см³ и занимает 4–6 % объема при пористости до 97 %.

Далее в деятельном слое хорошо просматривается уплотнение растительного материала, при котором вертикальное расположение стеблей изменяется на горизонтальное со слабыми признаками разложения органики. Мощность этой части деятельного слоя составляет не более 10–15 см. Степень разложения увеличивается до 10–15 %, а пористость несколько уменьшается.

Следующий слой имеет хорошо выраженное слоистое уплотненное строение со степенью разложения до 25 %. Механическое уплотнение растительных осадков в этом слое наблюдается до глубин 50–60 см от дневной поверхности. Плотность сухого вещества торфа становится более 0,110–0,150 г/см³, пористость уменьшается до 93 %.

Физические свойства деятельного слоя характеризуются низкой плотностью сухого вещества торфа и большой пористостью.

В табл. 1 приведены эти характеристики на примере их определений в микроландшафтах Пулозерского болота.

Послойные значения физических характеристик деятельного слоя
болотных микроландшафтов Пулозерского болота
Physical properties of different horizons of the active layer
in bog micro landscapes of the Pulozerskoye bog

Глубина слоя, см Layer thickness, cm	Кустарничково-лишайниковый микроландшафт Subshrub-lichen micro landscape			Грядово-мочажинный комплекс Hummocky-ridge complex		
	Плотность, г/см ³ Density, gr/cm ³	Сухое вещество Dry substance, %*	Пористость Porosity, %*	Плотность, г/см ³ Density, gr/cm ³	Сухое вещество Dry substance, %*	Пористость Porosity, %*
0–5	0,071	4,6	95,5	0,096	6,4	94,0
5–10	0,050	4,8	96,7	0,069	4,6	95,6
10–15	0,050	4,8	96,9	0,094	6,2	94,0
15–20	0,069	4,4	95,7	0,086	5,8	94,5
20–25	0,074	6,4	93,9	0,094	6,3	94,0
25–30	0,084	4,2	93,2	0,100	6,7	93,6
30–35	0,173	9,6	89,4	0,115	7,7	92,7
35–40	0,149	8,6	91,1	0,107	7,1	93,2
40–45	0,108	6,7	93,2	0,108	6,7	93,1
45–50	0,118	7,4	92,5	–	–	–

* От объема / of the volume.

Анализ таблицы показывает, что плотность сухого вещества чрезвычайно мала и в верхнем горизонте деятельного слоя (от 0–25...30 см) не превосходит 0,100 г/см³. Она увеличивается от поверхности по глубине, и на нижних глубинах деятельного слоя (35–40 см) (табл. 2) увеличение плотности несколько замедляется. Доля объема растительного вещества во всех микроландшафтах возрастает от поверхности по глубине залежи, в пределах от 1,47 до 4,50 %. Ниже деятельного слоя плотность сухого вещества торфа неуклонно возрастает. На глубине 50–60 см она достигает 0,150–0,190 г/см³ и пористости 0,90–92,0 %, а на глубинах свыше 100 см — 0,551 г/см³ при пористости до 65,0 %.

Результаты сравнения плотности сухого вещества торфа в пределах деятельного слоя различных болотных микроландшафтов (табл. 1, 2) однозначно показывают, что наибольшей плотностью обладают микроландшафты с высокой степенью облесенности, в частности: сфагново-сосновый (табл. 2) и мохово-травяные (сфагново-осоковый, осоково-пушицевый). Особенностью распределения плотности сухого вещества является ее увеличение по глубине деятельного слоя и торфяной залежи. В сфагново-сосновом микроландшафте, на нижней границе деятельного слоя (50 см) плотность достигает 0,180–0,190 г/см³. Наименьшей плотностью обладает грядово-мочажинный аапа-комплекс и мочажины грядово-мочажинных и грядово-озерковых комплексов.

Средненные величины плотности в пределах деятельного слоя ряда болотных микроландшафтов Кольского п-ова приведены в табл. 3, из которой следует, что средние величины плотности сухого вещества в деятельном слое большинства микроландшафтов болот близки между собой. Исключение составляют только мохово-травяные, в частности, осоково-пушицевый микроландшафт.

Таблица 2
Table 2

Плотность (ρ) и пористость (P) верхних горизонтов торфяной залежи
отдельных микроландшафтов болот Кольского п-ова

Density (ρ) and porosity (P) of the upper horizons of a peat deposit
of the specific bog micro landscapes in the Kola Peninsula

Глубина слоя, см Layer thickness, cm	Сфагново-сосновый с редкой березой (разрез 12) Sphagnum-pine with few birch trees (cross-section 12)		Сфагново-кустарничковый, облесенный сосной и березой (разрез 8) Sphagnum-subshrub, forested with pine and birch (cross-section 8)		Сфагново-осоковый, кочковатый (разрез 20) Sphagnum-sedge, hummocky (cross section 20)	
	ρ , г/см ³ ρ , gr/cm ³	P , %	ρ , г/см ³ ρ , gr/cm ³	P , %	ρ , г/см ³ ρ , gr/cm ³	P , %
0–10	0,089	94,4	0,106	93,3	0,130	91,8
10–20	0,144	90,9	0,086	94,5	0,147	90,7
20–30	0,189	88,0	0,103	93,5	0,145	90,8
30–40	0,183	88,4	0,113	92,8	0,138	91,8
40–50	0,181	88,5	0,115	92,7	0,121	92,2
50–60	0,167	89,4	0,093	94,1	0,125	92,1
60–70	0,194	87,7	0,087	94,5	0,153	90,3
70–80	0,187	88,1	0,089	94,4	0,158	90,0
80–90	0,227	85,6	–	–	–	–
90–100	0,551	65,0	–	–	–	–
100–110	0,551	65,0	–	–	–	–

Таблица 3
Table 3

Осредненные физические характеристики деятельного слоя
болотных микроландшафтов Кольского п-ова

Average physical properties of the active layer in bog micro landscapes in the Kola Peninsula

Микроландшафт Micro landscape	Глубина слоя, см Layer thickness, cm	Плотность, г/см ³ Density, gr/cm ³	Сухое вещество Peat dry substance, %	Пористость Porosity, %
1	2	3	4	5
Пулозерский болотный массив / The Pulozersky wetland				
Кустарничково-лишайниковый Subshrub-lichen	0–50	0,095	6,4	93,8
Грядово-мочажинный; гряды — лишайниково- сфагново-кустарничковые Ridge-pool; ridges — lichen- sphagnum-subshrub	0–50	0,114	6,9	92,8
Грядово-мочажинный; гряды — лишайниково- мохово-кустарничковые (периферия) Ridge-pool; ridges — lichen- sphagnum-subshrub (outskirt)	0–40	0,095	6,4	94,0

1	2	3	4	5
Грядово-мочажинный; гряды — лишайниково- мохово-кустарничковые (центральная часть) Ridge-pool; ridges — lichen- moss-subshrub (central part)	0–40	0,101	6,7	93,5
Краснощельский болотный массив / The Krasnoschelsky wetland				
Грядово-мочажинный аапа-комплекс Ridge-pool аапа-complex	0–0	0,082	5,1	94,8
Осоково-пушицевый Sedge-cotton grass	0–50	0,159	9,8	89,9

Между плотностью абсолютно сухого вещества деятельного слоя (d , г/см³) и его содержанием, определяемого в процентах от объема (D , %), существует хорошо выраженная зависимость:

$$D = 63,8 d + 0,18,$$

коэффициент корреляции, которой равен 0,99. Зависимость справедлива для деятельного слоя всех типов болотных микроландшафтов в диапазоне плотностей от 0,03 до 0,55 г/см³.

Пористость (P , % объема) деятельного слоя в зависимости от содержания сухого вещества определяется выражением:

$$P = 100,0 - 63,6 d,$$

коэффициент корреляции равен 0,99.

Содержание сухого растительного вещества обуславливает изменение пористости деятельного слоя, а его плотность определяет физические свойства, от которых зависит интенсивность протекания ряда водно- и теплофизических процессов.

Капиллярные характеристики деятельного слоя болотных микроландшафтов

Опыты на капилляриметре ГР-37 позволяют получить значения влагоемкости торфа, характеризующие максимальное равновесное влагосодержание в зоне аэрации при различной глубине стояния уровня болотных вод, и распределение пор по размерам. Они охватывают диапазон пор, выдерживающих разрежение от 2,2 до 162 см водяного столба.

Следует различать два вида пор — внутренние и внешние. Внутренние поры — это поры внутри растений и их остатков. Перемещение влаги в них происходит под действием осмотических сил. Внешние поры формируются между живыми и отмершими стеблями растений и частицами торфа. Капиллярная влага по ним перемещается под действием гравитации и капиллярных сил. Внешняя пористость определяет фильтрационные свойства, водоподъем и водоотдачу деятельного слоя во всех типах болот. Посредством капилляриметра мы определяем влагу, содержащуюся во внешних порах, т. е. капиллярную. Влагу внутренних пор определяем расчетным путем как разность между массой образца до и после высушивания с учетом содержания сухого вещества. Эта влага внутриклеточная, адсорбированная и удерживаемая капиллярными силами в столь мелких порах, что высота капиллярного поднятия в них превышает применявшуюся для отсоса разность гидростатического давления.

Влага, удерживаемая в торфе над уровнем грунтовых вод, полностью зависит от структуры пористости торфа. Наибольшая высота капиллярного поднятия воды в неоднородной пористой среде определяется радиусом наиболее тонких пор. Радиусы пор рассчитываются по формуле Жюрена [4]. При проведении опытов на капилляриметре мы определяем объем пор, радиус которых составляет от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $120,0 \cdot 10^{-4}$ см.

Таблица 4
Table 4

Распределение объема пор в микроландшафтах Пулозерского болота
Distribution of pore volume in micro landscapes in the Pulozerskoye bog

Глубина, см Depth, cm	Объем пор в % при данном интервале высот отсоса (в см, числитель) и соответствующий ему радиус пор (в см, знаменатель) Pore volume (%) at the specific level of pumping (cm) (numerator) and the corresponding pore radius (cm) (denominator)									
	0-2,5 2·10 ⁻⁴	2,5-7,5 2,37·10 ⁻⁴	7,5-12,5 127·10 ⁻⁴	12,5-22,5 73,0·10 ⁻⁴	22,5-42,5 43,0·10 ⁻⁴	42,5-62 28,0·10 ⁻⁴	62-92 19·10 ⁻⁴	92-132 13·10 ⁻⁴	132-162 12·10 ⁻⁴	
Грядово-мочажинный комплекс, сфагново-кустарничковая гряда Ridge-pool complex, sphagnum-subshrub ridge										
0-5	8,0	26,9	5,4	4,9	2,4	1,1	1,0	1,0	1,0	0,5
5-10	11,5	20,4	4,9	4,8	4,6	1,1	1,9	0,6	0,6	0,3
10-15	42,8	4,6	2,4	6,5	3,0	1,1	0,8	1,6	1,6	0,3
15-20	33,9	4,3	4,3	5,9	5,6	2,7	1,8	1,1	1,1	0,5
20-25	10,2	4,6	2,4	6,5	8,6	5,6	4,0	6,2	6,2	1,9
25-30	9,9	3,0	1,3	5,2	7,3	4,5	0,3	3,8	3,8	0,5
30-35	13,8	2,7	1,1	3,2	4,9	3,2	1,1	3,7	3,7	1,0
35-40	12,4	3,0	1,1	2,2	5,9	1,1	4,1	4,8	4,8	1,6
40-45	9,7	11,0	3,2	4,6	6,7	3,5	5,1	2,9	2,9	1,6
45-50	6,4	11,6	9,2	10,2	8,9	2,9	4,0	4,1	4,1	0,2
Кустарничково-лишайниковый микроландшафт Subshrub-lichen micro landscape										
0-5	0,8	18,3	6,7	5,7	4,3	2,4	2,4	2,7	2,7	1,9
5-10	10,5	10,2	4,3	6,0	5,4	0,8	0,8	1,8	1,8	1,3
10-15	7,8	8,0	3,0	4,0	6,0	3,0	2,1	2,7	2,7	0,5
15-20	10,5	13,8	6,8	4,6	5,6	2,7	1,6	2,1	2,1	1,1
20-25	-	6,2	3,8	7,6	8,0	3,5	2,7	0,2	0,2	1,0
25-30	-	2,1	1,7	9,4	8,6	2,4	1,9	0,2	0,2	0,3
30-35	-	2,5	3,5	5,4	6,8	4,6	4,1	3,5	3,5	1,6
35-40	6,7	1,3	3,8	5,2	4,9	8,1	8,1	1,9	1,9	0,6
40-45	2,6	2,7	1,0	3,2	7,2	2,7	2,4	2,9	2,9	2,1
45-50	6,7	1,1	1,0	4,8	7,3	4,5	4,6	4,0	4,0	2,1

В качестве примера в табл. 4 приведены результаты определения структуры пористости деятельного слоя гряды грядово-мочажинного комплекса и кустарничково-лишайникового микроландшафта по данным опытов на капилляриметре ГР-37. Из результатов определения капиллярной влаги, приведенных в табл. 4, следует, что при отрицательном гидростатическом давлении до 162 см водяного столба наибольшее количество капиллярной влаги содержат слои с наименьшей объемной массой сухого вещества торфа.

В грядово-мочажинном комплексе (гряда сфагново-кустарничковая) наибольшее количество капиллярной влаги содержится в слое 10–20 см — 60–63 % при массе сухого вещества 0,057–0,059 г/см³. В кустарничково-лишайниковом микроландшафте, в слое от поверхности до глубины 20 см, содержание капиллярной влаги составляет 37,1–48,8 % при плотности сухого вещества 0,040–0,079 г/см³. В слое 25–40 см ее содержание несколько уменьшается, так как здесь практически всегда располагается более плотный торф. В среднем содержание капиллярной влаги в слоях ниже 30 см не выходит за пределы более 20–30 % в зависимости от вида и степени разложения торфа. Распределение капиллярной влаги в деятельном слое осоково-пушицевого микроландшафта Краснощельского болота приведено на рис. 1. В слое 10–20 см содержание капиллярной влаги близко к 50 % от объема образца. С глубиной содержание ее убывает до 20 % при увеличении содержания сухого вещества торфа до 0,210 г/см³.

Капиллярная влагоемкость слоев торфа, в зависимости от положения их над уровнем болотных вод (рис. 2), значительно отличается. Это обусловлено тем, что распределение пор по размерам далеко не равномерное. Распределение капиллярной влагоемкости показывает, что с понижением уровня болотных вод в каждом элементарном слое количество капиллярной влаги уменьшается. Изменение формы кривых объясняется изменением пористости, при котором происходит как увеличение, так и уменьшение крупных пор за счет уменьшения или увеличения более мелких. С увеличением объемной массы сухого вещества содержание капиллярной влаги уменьшается, а остаточной — увеличивается.

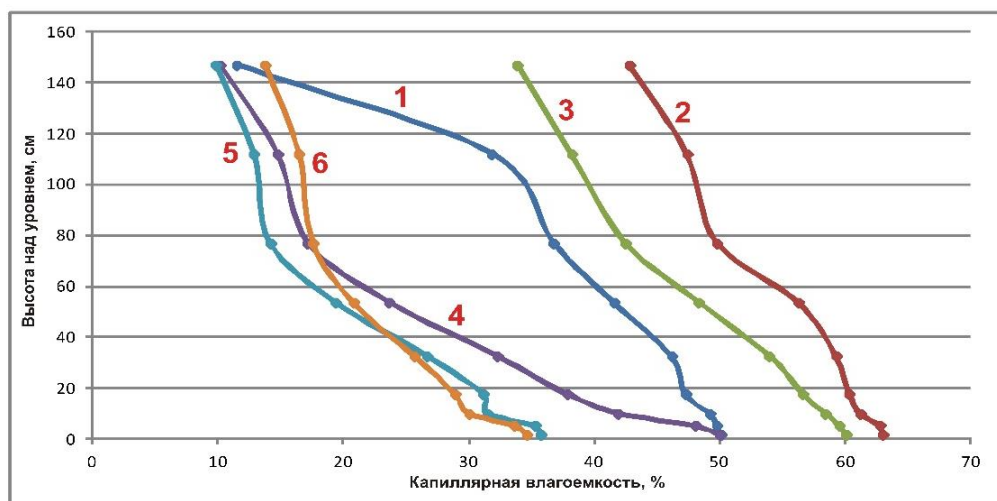


Рис. 1. Распределение капиллярной влаги в отдельных слоях осоково-пушицевого микроландшафта Краснощельского болота: слой 5–10 см (1); 10–15 см (2); 15–20 см (3); 20–25 см (4); 25–30 см (5); 30–35 см (6)
Fig. 1. Capillary water distribution in specific layers of a sedge-cotton-grass micro landscape in the Krasnoschelskoye bog: 5–10 cm (1); 10–15 cm (2); 15–20 cm (3); 20–25 cm (4); 25–30 cm (5); 30–35 cm (6)

Типичное для мезоолиготрофных болот распределение содержания этих двух видов влаги по глубине деятельного слоя приведено на рис. 2. Взаимозависимость между этими двумя характеристиками деятельного слоя осоково-пушицевого микроландшафта Краснощельского болота приведена на рис. 3 и описывается уравнением:

$$W_0 = 72,35 - 0,860 W_K,$$

где W_0 и W_K — остаточная и капиллярная влага, % от объема. Коэффициент корреляции этой зависимости — 0,936. В слое 10–20 см содержание капиллярной влаги близко к 50 % от объема образца. С глубиной ее содержание убывает до 20 %, при увеличении содержания сухого вещества торфа — до 0,210 г/см³.

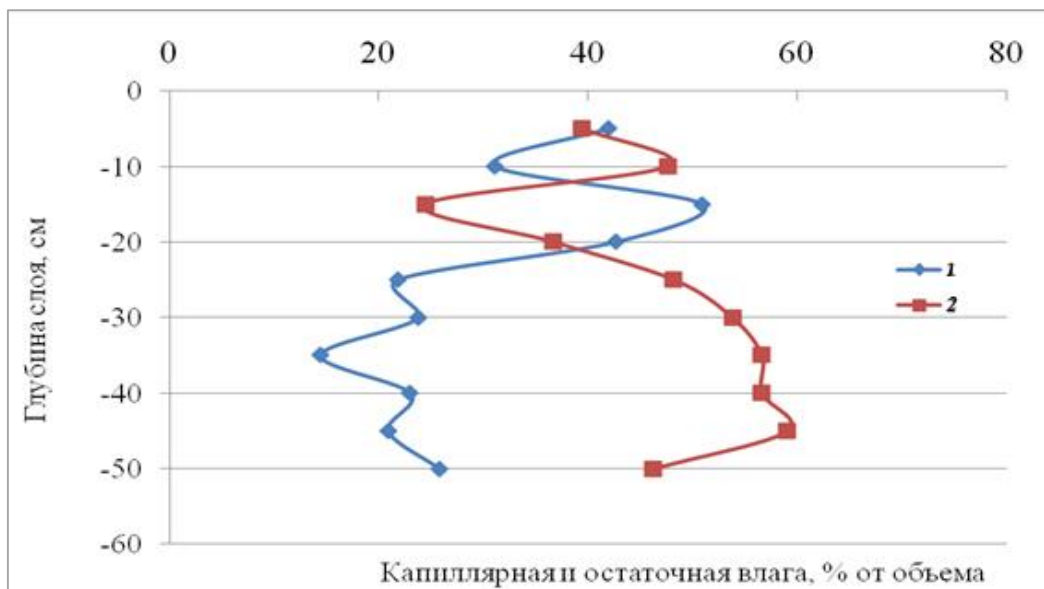


Рис. 2. Распределение капиллярной (1) и остаточной влаги (2) по глубине деятельного слоя осоково-пушицевого микроландшафта Краснощельского болота

Fig. 2. Distribution of capillary (1) and residual water (2) across the active layer of a sedge-cotton-grass micro landscape in the Krasnoschelskoye bog

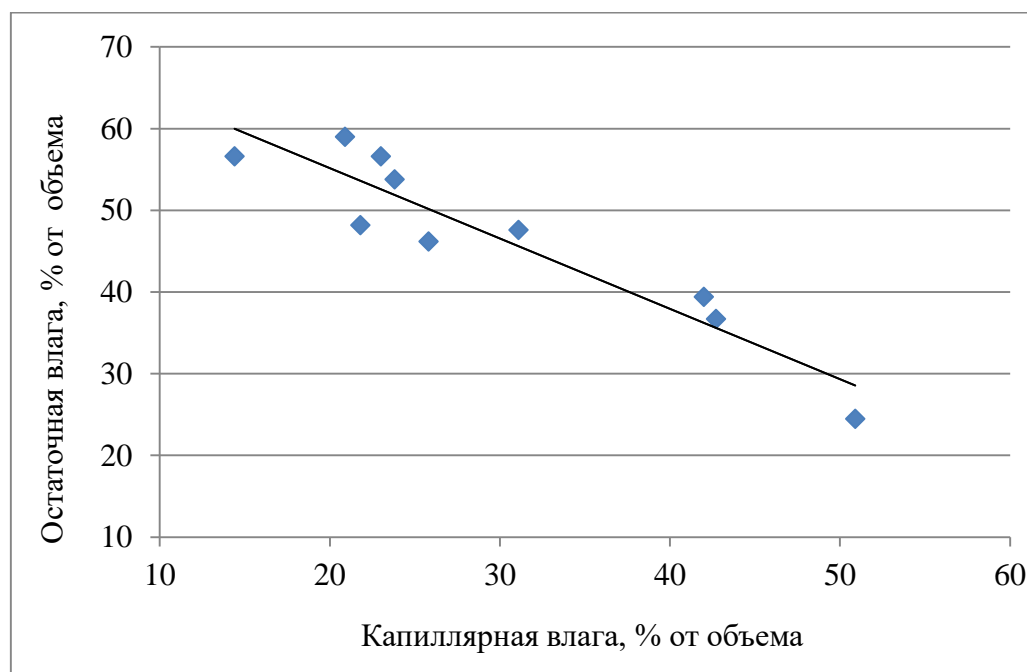


Рис. 3. Взаимозависимость остаточной и капиллярной влаги в деятельном слое осоково-пушицевого микроландшафта Краснощельского болота

Fig. 3. Interdependency between capillary and residual water in the active layer of a sedge-cotton-grass micro landscape in the Krasnoschelskoye bog

Эта же зависимость для гряды грядово-мочажинного комплекса Пулозерского болота имеет вид: $W_0 = 53,55 - 0,592 W_k$, при коэффициенте корреляции — 0,790.

Реакция уровня болотных вод на выпадающие осадки

Попадая на поверхность болота, жидкие атмосферные осадки смачивают пористую структуру деятельного слоя, просачиваются до уровня болотных вод, вызывая его подъем, и далее расходуется на испарение и сток. При уровнях, обуславливающих подъем капиллярной влаги к поверхности болота, потери осадков на смачивания близки к нулю. За короткий период времени (менее 4 ч) влиянием стока и испарения на подъем уровня можно пренебречь. В этом случае практически все осадки принимают участие в подъеме уровня болотных вод.

Подъем уровня болотных вод оценивается коэффициентом водоподъема (η_z), который определяется как отношение величины подъема уровня (ΔZ , мм) к слою выпавших осадков (h , мм), т. е. $\eta_z = \Delta Z/h$. Коэффициент η_z определяет повышение уровня (см) болотных вод при увеличении запаса почвенной влаги на 1 мм за счет выпадения осадков.

Расчет коэффициентов водоподъема производится послойно, таким образом, чтобы каждый слой обладал однородной структурой пористости (содержанием сухого вещества торфа — в нашем случае). Для этого деятельный слой в пределах колебания уровня болотных вод, разбивают

Таблица 5
Table 5

Послойные зависимости уравнения взаимосвязи между подъемом болотных вод и выпавшими осадками. Кустарничково-лишайниковый микроландшафт Пулозерского болота

Dependencies between bog water rise and precipitation sums for particular layers. Subshrub-lichen micro landscape in the Pulozerskoye bog

Глубина заложения слоя, см Layer depth, cm	Уравнение взаимосвязи Dependencies $\Delta Z = f(h)$	Коэффициент корреляции Correlation coefficient
5–10	$\Delta Z = 3,10h + 1,07$	0,903
10–15	$\Delta Z = 4,88h - 1,10$	0,965
15–20	$\Delta Z = 5,10h + 0,22$	0,944
20–25	$\Delta Z = 6,25h - 0,70$	0,969
25–30	$\Delta Z = 6,63h - 1,09$	0,959
30–35	$\Delta Z = 4,12h + 1,72$	0,965
35–40	$\Delta Z = 3,33h + 2,18$	0,985
40–45	$\Delta Z = 6,94h - 0,52$	0,958

на отдельные слои высотой 5 см. В пределах выделенного слоя строят зависимость $\Delta Z = f(h)$, используя весь многолетний ряд наблюдений за реакцией уровня болотных вод на выпадающие осадки. Общим для всех послойных зависимостей $\Delta Z = f(h)$ является прямолинейная взаимосвязь между выпавшими осадками и подъемом уровня (табл. 5) с коэффициентами корреляции не ниже 0,90.

Прямая зависимость пересекает горизонтальную ось (ось осадков) на расстоянии 0,1–0,3 мм от начала ординат. Этот отрезок характеризует расход осадков на смачивание внешней пористости. Ввиду его малости, им в расчетах можно пренебречь. Тангенс угла наклона прямой равен среднему коэффициенту подъема уровня воды в конкретном слое (рис. 4).

По значениям частных коэффициентов строится таблица

изменения коэффициентов подъема уровней по глубине деятельного слоя (табл. 6). Послойные коэффициенты водоподъема растут с глубиной деятельного слоя. В кустарничково-лишайниковом микроландшафте коэффициент η_z в верхних слоях равен 2,08–2,71 до 5,75 и возрастает в нижних до 7,0. В грядово-мочажинном комплексе коэффициент η_z несколько меньший, так как часть комплекса занята мочажинами, которые обладают значительно большей пористостью по сравнению с грядами.

Способность водонасыщенного деятельного слоя торфяной залежи отдавать воду при понижении уровня болотных вод обуславливает процесс водоотдачи. Количественной характеристикой процесса водоотдачи является коэффициент водоотдачи. Коэффициент

водоотдачи любого выделенного слоя есть отношение слоя стекшей воды (обычно в миллиметрах) к величине снижения уровня грунтовой воды (мм). В работе [6] показано, что величины коэффициентов водоподъема η и водоотдачи ξ связаны соотношением $\xi = 1/\eta$.

Таблица 6
Table 6

Коэффициенты водоподъема деятельного слоя микроландшафтов
Пулозерского болотного массива

Water rise coefficient of the active layer of micro landscapes in the Pulozersky wetland

Глубина заложения слоя, см Layer depth, cm	Коэффициент водоподъема / Water rise coefficient			
	последний for layers	суммарный total	последний for layers	суммарный total
	Кустарничково-лишайниковый микроландшафт Subshrub-lichen micro landscape		Грядово-мочажинный комплекс Hummocky-pool complex	
+5–0	–	–	2,93	2,93
0–5	2,08	2,08	4,80	3,86
5–10	2,71	2,39	4,75	4,16
10–15	4,19	2,99	4,05	4,13
15–20	5,19	3,54	3,91	4,09
20–25	5,94	4,02	3,59	4,01
25–30	6,33	4,41	3,48	3,93
30–35	4,47	4,42	3,04	3,82
35–40	3,76	4,33	–	–
40–45	6,77	4,60	–	–
45–50	7,04	4,85	–	–
50–55	5,78	4,93	–	–

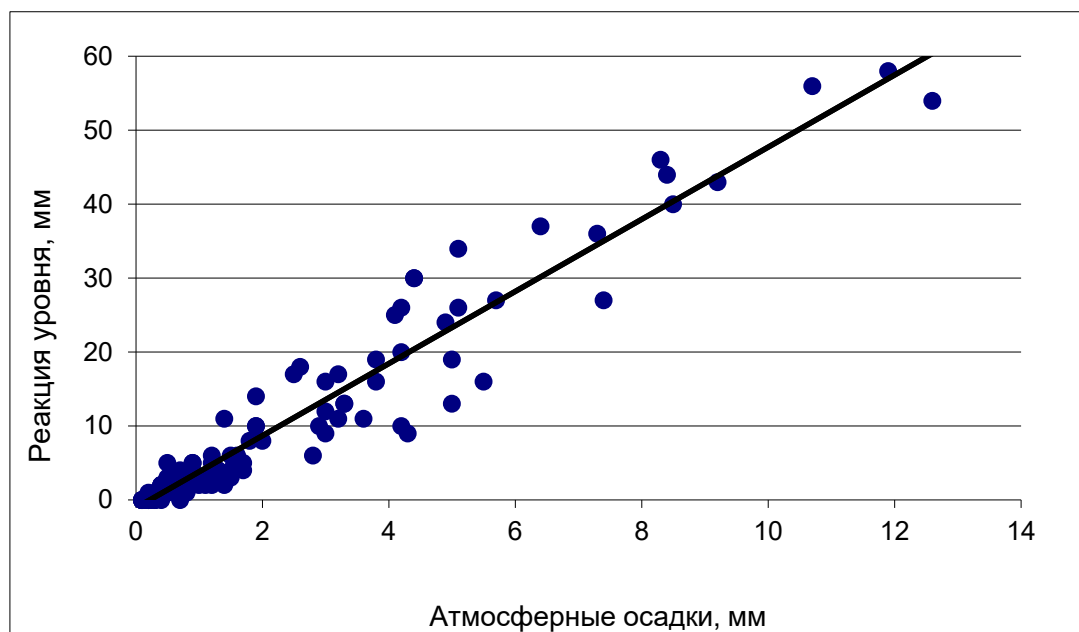


Рис. 4. Реакция уровня болотных вод на выпадающие осадки в слое 10–15 см кустарничково-лишайникового микроландшафта Пулозерского болота

Fig. 4. Precipitation induced change in water level within the 10–15 cm layer in a subshrub-lichen micro landscape in the Pulozerskoye bog

П. К. Воробьев [5] обосновал полевой метод определения послойных значений коэффициента водоотдачи на основе реакции уровня болотных вод на выпадающие осадки, исключая при этом среднюю для конкретного слоя величину зависших осадков. Рассчитанные послойные и суммарные коэффициенты водоотдачи микроландшафтов Пулозерского болота приведены в табл. 7. Анализ этих данных показывает уменьшение суммарных коэффициентов водоотдачи в пределах деятельного слоя от больших значений в верхних слоях (0,34–0,48) до 0,26–0,27 в нижних слоях и последующей их относительной стабилизации за его пределами.

Определение коэффициентов водоотдачи методом реакции уровня болотных вод на выпадающие осадки производится ежегодно в теплый период года. Установлено, что коэффициенты водоотдачи, вычисленные за разные годы наблюдений, накладываются на одну общую зависимость с незначительным отклонением от центра. Это позволяет надежно определять коэффициенты водоотдачи в пределах деятельного слоя.

Таблица 7
Table 7

Коэффициенты водоотдачи деятельного слоя микроландшафтов
Пулозерского болотного массива

Water return coefficients of the active layer in micro landscapes in the Pulozerskoye wetland

Глубина заложения слоя, см Layer depth, cm	Коэффициент водоотдачи / Water return coefficient			
	послойный for layers	суммарный total	послойный for layers	суммарный total
	кустарничково-лишайниковый микроландшафт subshrub-lichen micro landscape		грядово-мочажинный комплекс hummocky-pool complex	
+5–0	–	–	0,34	0,34
0–5	0,48	0,48	0,21	0,28
5–10	0,37	0,42	0,21	0,25
10–15	0,24	0,36	0,25	0,25
15–20	0,19	0,32	0,26	0,25
20–25	0,17	0,29	0,28	0,26
25–30	0,16	0,27	0,29	0,23
30–35	0,22	0,26	0,33	0,27
35–40	0,34	0,27	–	–
40–45	0,15	0,26	–	–
45–50	0,14	0,25	–	–
50–55	0,17	0,24	–	–

Водопроницаемость деятельного слоя болот

Перемещение водной массы на болотном массиве обусловлено характеристиками его водопроницаемости. Последняя полностью зависит от структуры пористого пространства деятельного слоя. Коэффициент водопроницаемости — величина переменная и при полном заполнении пор водой равен коэффициенту фильтрации. Определение коэффициентов фильтрации производится на монолитах торфа с ненарушенной структурой, которые устанавливаются в фильтрационные лотки [8]. Ввиду крайне малых скоростей стекания воды, турбулизация потока на поверхности монолита в лотках не наблюдается и сток можно рассчитывать по уравнению Дарси [3]. Поэтому опыты по его определению производятся при уклонах поверхности монолита максимально приближенных к уклонам поверхности болота.

На болоте с ненарушенной поверхностью микрорельефа отбор монолитов с целью определений коэффициентов фильтрации производился таким образом, чтобы была охвачена вся зона развития микрорельефа. Поверхность монолита определяется относительно расчетной

поверхности микроландшафта и относительно ее рассчитывается осредненный коэффициент фильтрации. Результаты определений коэффициента фильтрации по данным опытов на пяти монолитах в кустарничково-лишайниковом микроландшафте приведены в табл. 8.

Таблица 8
Table 8

Распределение коэффициентов фильтрации (см/с) по глубине деятельного слоя кустарничково-лишайникового микроландшафта Пулозерского болота
Filtration coefficients (cm/sec) distribution with the depth of the active layer in a subshrub-lichen micro landscape in the Pulozerskoye bog

Уровень от расчетной поверхности, см Level above the reference surface, cm	Номера монолитов Monolith number					Среднее значение, см/с Average values, cm/sec
	1	2	3	4	5	
-1,3	–	–	–	90,0	8,60	49,3
-2,8	–	–	–	16,6	4,56	45,0
-4,7	–	153,0	–	9,52	2,64	55,0
-6,2	78,30	39,80	60,0	8,00	2,22	37,6
-8,2	33,60	12,00	46,0	7,00	1,64	20,0
-10,2	13,40	3,460	25,9	5,30	0,929	9,76
-13,2	4,840	1,310	8,00	4,30	0,527	3,79
-17,2	3,120	0,948	4,05	–	3,00	2,78
-20,2	2,280	0,800	1,50	1,50	0,316	1,28
-23,2	1,690	0,688	1,10	1,10	0,082	0,93
-27,2	0,870	0,455	–	–	0,042	0,46
-33,2	0,318	0,250	0,302	–	–	0,29
-39,2	0,128	–	0,276	–	–	0,20
-43,2	0,094	0,077	–	–	–	0,09
-45,2	0,080	0,066	0,095	–	–	0,09
-47,2	0,060	–	–	–	–	0,06

По результатам проведенных опытов установлено, что на каждом из монолитов наблюдается общая закономерность: коэффициент фильтрации в деятельном слое микроландшафтов мезоолиготрофных болот очень быстро уменьшается с глубиной от десятков и даже сотен сантиметров в секунду в верхних (1–2 см) слоях до тысячных долей сантиметров в секунду на нижней границе деятельного слоя.

В инертном горизонте коэффициент фильтрации торфа зависит от степени дисперсности твердой фазы торфа. С ростом мельчайших фракций в торфе, т. е. с увеличением степени разложения и соответственно с увеличением поверхности раздела жидкой и твердой фазы, коэффициент фильтрации уменьшается до крайне малых величин. Так, олиготрофный, слаборазложившийся торф (степень разложения 35–45 %) имеет коэффициент фильтрации, изменяющийся в пределах 0,00025–0,001 см/с. Анализ табл. 8 показывает, что также наблюдается достаточно большая пространственная (по горизонтали) изменчивость коэффициентов фильтрации в пределах зоны развития микрорельефа конкретного микроландшафта. Если в верхних горизонтах этой зоны (уровень — 1,3...–10,2 см) различия могут достигать в десятки раз, в более низких горизонтах они уменьшаются и на границе деятельного слоя и инертного горизонта залежи становятся незначительными.

Анализ осредненных значений послойных коэффициентов фильтрации (табл. 9) основных микроландшафтов Пулозерского болота однозначно показывает, что все они в пределах деятельного слоя обладают высокой водопропускной способностью,

обеспечивающей сток с болота в естественных условиях его существования. Во всех микроландшафтах значение коэффициента фильтрации зависит исключительно от радиуса наиболее крупных пор в деятельном слое. Верхним слоям с радиусом пор от $2,37 \cdot 10^{-4}$ до $127 \cdot 10^{-4}$ см соответствуют коэффициенты фильтрации, измеряемые десятками сантиметров в секунду. При радиусе пор от $19 \cdot 10^{-4}$ до $12 \cdot 10^{-4}$ см и естественных уклонах болота влага в этих порах слабо подвижна.

Таблица 9
Table 9

Осредненные значения послойных коэффициентов фильтрации (КФ)
 деятельного слоя микроландшафтов Пулозерского болота
 Average filtration coefficients (FC) for the active layer horizons
 in micro landscapes in the Pulozerskoye bog

Тип микроландшафта / Micro landscape					
Сфагново-кустарничковый Sphagnum-subshrub		Грядово-мочажинный Ridge-pool		Кустарничково-лишайниковый Subshrub-lichen	
Уровень, см Level, cm	КФ, см/с FC, cm/sec	Уровень, см Level, cm	КФ, см/с FC, cm/sec	Уровень, см Level, cm	КФ, см/с FC, cm/sec
13,5	136,0	-10,8	92,4	-5,7	56,3
13,0	105,0	-11,8	53,4	-6,7	34,1
12,0	90,0	-12,8	36,1	-7,7	27,6
10,0	72,0	-14,8	11,6	-8,7	13,5
8,2	57,4	-16,8	6,11	-9,7	8,80
6,4	46,4	-18,8	4,02	-10,7	6,40
4,9	40,0	-21,8	2,54	-12,2	4,94
3,4	17,3	-24,8	1,87	-14,2	2,34
0,4	2,95	-26,8	1,22	-16,2	2,01
-1,6	1,480	-29,0	0,980	-18,2	1,55
-3,6	0,840	-31,0	0,800	-20,2	1,28
-5,6	0,520	-36,4	0,772	-22,2	1,31
-9,6	0,150	-38,4	0,411	-25,5	0,83
-13,6	0,096	-40,4	0,258	-29,2	0,43
-15,6	0,046	-42,4	0,182	-33,2	0,29
-16,6	0,038	-43,4	0,174	-43,2	0,09
-20,0	0,010	-	-	-47,2	0,06

Примечание. Уровень приведен от поверхности повышений микроландшафта.

Note. Level is above the surface of micro landscape elevations.

Выводы

Поверхность деятельного слоя мезоолиготрофных болот Кольского п-ова представляет собой живой растительный покров, состоящий из головок и стеблей мха, корневой системы растений и обладает высокой пористостью, обусловленной чрезвычайно низкой плотностью сухого вещества. Плотность его в верхнем горизонте деятельного слоя (от 0–25...30 см) не превосходит $0,100 \text{ г/см}^3$. Она увеличивается от поверхности по глубине, и на нижних горизонтах слоя увеличение плотности несколько замедляется до $0,250 \text{ г/см}^3$. Доля объема сухого вещества во всех микроландшафтах возрастает от поверхности по глубине залежи в пределах от 1,47 до 4,50 %.

Влага, удерживаемая в торфе над уровнем грунтовых вод, полностью зависит от структуры пористости торфа. Наибольшая высота капиллярного поднятия воды в неоднородной пористой среде определяется радиусом наиболее тонких пор. Показано, что пористое пространство деятельного слоя составляют поры с радиусом от $2,0 \cdot 10^{-4}$ до $120,0 \cdot 10^{-4}$ см. Установлено, что с увеличением объемной массы сухого вещества содержание капиллярной влаги уменьшается, а остаточной — увеличивается. При отрицательном гидростатическом давлении — до 162 см водяного столба — наибольшее количество капиллярной влаги содержат слои с наименьшей объемной массой сухого вещества торфа. В грядово-мочажинном комплексе (гряда сфагново-кустарничковая) наибольшее количество капиллярной влаги — до 60–63 % (при массе сухого вещества $0,057–0,059$ г/см³) содержится в слое 10–20 см. В кустарничково-лишайниковом микроландшафте — в слое от поверхности до глубины 20 см — содержание капиллярной влаги составляет 37,1–48,8 %, при плотности сухого вещества $0,040–0,079$ г/см³. В слое 25–40 см ее содержание уменьшается, так как здесь располагается более плотный торф.

Подъем уровня болотных вод оценивается коэффициентом водоподъема. Послойные коэффициенты водоподъема увеличиваются с глубиной деятельного слоя. В кустарничково-лишайниковом микроландшафте коэффициент водоподъема в верхних слоях равен 2,08–2,71 до 5,75 и возрастает в нижних — до 7,0. В грядово-мочажинном комплексе этот коэффициент несколько меньший, так как часть комплекса занята мочажинами, которые обладают значительно меньшей пористостью по сравнению с грядами.

Способность водонасыщенного деятельного слоя торфяной залежи отдавать воду при понижении уровня болотных вод обуславливает процесс водоотдачи, количественной характеристикой которого является коэффициент водоотдачи. Послойные и суммарные коэффициенты водоотдачи деятельного слоя уменьшаются от больших значений — 0,34–0,48 в верхних горизонтах до 0,26–0,27 в нижних и отличаются последующей их относительной стабилизацией за его пределами.

Водопроницаемость деятельного слоя полностью зависит от структуры его пористого пространства и, при полном заполнении пор водой, определяется коэффициентом фильтрации. Коэффициент фильтрации в мезоолиготрофных болотах очень быстро уменьшается с глубиной от десятков и даже сотен сантиметров в секунду в верхних (1–2 см) слоях до тысячных долей сантиметров в секунду на нижней границе деятельного слоя. Во всех микроландшафтах предельное значение коэффициента фильтрации исключительно зависит от радиуса наиболее крупных пор. Верхним слоям с радиусом пор от $2,37 \cdot 10^{-4}$ до $127 \cdot 10^{-4}$ см соответствуют коэффициенты фильтрации, измеряемые десятками сантиметров в секунду. При радиусе пор от $19 \cdot 10^{-4}$ до $12 \cdot 10^{-4}$ см и естественных уклонах болота влага в них слабо подвижна.

Наблюдается большая пространственная (по горизонтали) изменчивость коэффициентов фильтрации в пределах зоны развития микрорельефа конкретного микроландшафта. В верхних горизонтах этой зоны различия могут достигать в десятки раз, в более низких горизонтах они существенно уменьшаются и на границе деятельного слоя и инертного горизонта залежи становятся незначительными.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Евзеров В. Я.* Неиспользованные сырьевые ресурсы Мурманской области // Вестник Кольского научного центра РАН. 2018. № 2 (10). С. 38–52.
2. *Дубах А. Д.* Гидрология болот // Труды НИУ ГУГМС. Серия IV. Гидрология суши. 1944. Вып. 10. 228 с.
3. *Иванов К. Е.* Основы гидрологии болот лесной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 500 с.
4. *Романов В. В.* Гидрофизика болот. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 359 с.
5. *Воробьев П. К.* Исследование физических характеристик деятельного горизонта неосушенных болот // Труды ГГИ. 1965. Вып. 126. С. 65–95.
6. *Лундин К. П.* Водные свойства торфяной залежи. Минск: Урожай, 1964. 212 с.
7. *Калюжный И. Л.* Гидрохимический режим и химический состав вод мезоолиготрофных болотных массивов Кольского полуострова // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 3. С. 114–125.
8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам // Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Л.: Гидрометеиздат, 1972. Вып. 8. 296 с.

Сведения об авторе

Калюжный Игорь Леонидович — кандидат технических наук, заведующий лабораторией гидрофизики Государственного гидрологического института

E-mail: hfl@mail.ru

Author Affiliation

Igor L. Kalyuzhny — PhD (Engineering), Head of Laboratory of Hydrophysics, State Hydrological Institute

E-mail: hfl@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Калюжный, И. Л. Гидрофизические свойства деятельного слоя болот Кольского полуострова / *И. Л. Калюжный* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (11). — С. 14–29.

Reference

Kalyuzhny Igor L. Hydro-Physical Properties of the Active Layer in Bogs in the Kola Peninsula. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 1 (11), pp. 14–29. (In Russ.).

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КОЛЛЕКЦИИ АБОРИГЕННОЙ ФЛОРЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ В ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКОМ БОТАНИЧЕСКОМ САДЕ-ИНСТИТУТЕ ИМ. Н. А. АВРОРИНА*

Н. Р. Кириллова

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

Аннотация

Приведена характеристика коллекционных питомников аборигенной флоры Мурманской обл. Наибольшим числом видов представлены семейства Asteraceae Dumort., Cyperaceae Juss., Poaceae Barnhard; среди жизненных форм преобладают многолетние травянистые растения, основной формой исходного материала для Коллекции послужил семенной материал собственной репродукции. Редкие и охраняемые растения Мурманской обл. в составе Коллекции представлены 78 видами, в том числе и подлежащими биологическому надзору. В Коллекции преобладают виды, достигшие полного созревания семян, по степени интродукционной устойчивости большая часть произрастающих видов устойчивые и высокоустойчивые, их можно успешно культивировать в условиях Заполярья.

Ключевые слова:

флора, коллекционные питомники, сосудистые растения, редкие виды, Мурманская обл.

CURRENT CONDITION OF THE COLLECTION OF NATIVE FLORA OF MURMANSK REGION IN AVRORIN POLAR-ALPINE BOTANICAL GARDEN AND INSTITUTE

Natalya R. Kirillova

Avronin Polar-Alpine Botanical Garden and Institute of KSC RAS

Abstract

The characteristics of the collection nurseries of the Murmansk region native flora are given. The main families are Asteraceae, Cyperaceae, Poaceae; perennial herbaceous plants predominate among life forms, the main source material for the collection was the seed material of our own reproduction. The collection contains 78 species of rare and protected plants of Murmansk region, as well as subjects to biological supervision. Most species in the collection have reached full maturity of seeds. According to the degree of introduction resistance, most of the species, growing in the collection, are stable and highly resistant, they can be successfully cultivated in the Arctic.

Keywords:

flora, collection nurseries, vascular plants, rare species, Murmansk region.



Введение

Сохранение биологического разнообразия в современном мире стало всеобщей задачей. Одним из способов обеспечить воспроизводство растений является введение их в культуру, изучение биологии, культивирование на протяжении определенного периода и последующая реинтродукция. Возможность введения в культуру дикорастущих растений Мурманской обл. изучали с момента создания Полярно-альпийского ботанического сада на протяжении 80 лет. За это время многие виды прошли полевые и лабораторные испытания и в результате огромной работы, проведенной сотрудниками, сформировалась коллекция аборигенной флоры Мурманской обл. (далее — Коллекция). Коллекция помимо материала для научных разработок демонстрирует флористическое разнообразие Мурманской обл., выполняя культурно-просветительскую функцию.

*Работа выполнена в рамках темы ПАБСИ КНЦ РАН № 0229-2016-0001.

Целью настоящей работы является анализ состава коллекционного фонда по систематическому положению, возрастным группам, жизненным формам и устойчивости в культуре.

Материалы и методы

Коллекция в настоящее время представлена на четырех объектах: Живой гербарий, Экологический питомник, питомник редких и полезных растений Мурманской обл. (г. Кировск) и питомник аборигенной флоры на экспериментальном участке Сада (г. Апатиты). Расположение питомников Коллекции отличается географически и микроклиматически, что обуславливает приоритетное направление интродукционных исследований на каждом из них [1].

Климат территории Ботанического сада определяется широтным положением ($67^{\circ}38'$ с. ш.), близостью незамерзающего Баренцева моря и поступлением теплых атлантических воздушных масс в холодный период года, а также влиянием Хибинского горного массива. Все это вызывает высокую изменчивость всех элементов температурного режима, что приводит к резким контрастам погоды [2]. В Кировске короткое, прохладное и чаще всего дождливое лето, средняя температура июля $+10^{\circ}\text{C}$, средняя годовая температура около -2°C . Годовое количество осадков около 900 мм. Полярный день длится на протяжении 54 суток (с 26 мая по 18 июля), период «белых ночей» — 51 сутки. Продолжительность вегетационного периода на кировской территории Сада — от 70 до 120 (в среднем — 106) суток. Большое значение для роста и развития растений имеет обычный в конце мая — начале июня возврат холодов, как правило, с заморозками и снегопадами. Заморозки на почве возможны в любой день лета. Крайние даты схода снега с кировских питомников за последние 29 лет: 10 мая — 12 июля.

В Апатитах осадков выпадает меньше, средняя годовая температура около $0,1^{\circ}\text{C}$ и снег сходит раньше (20 апреля — 4 июня), что ускоряет начало вегетационного периода в среднем на 23 (11–40) дня. Следует отметить, что вегетационные сезоны в 2017–2018 гг. отличались пограничными значениями температур. Сумма активных температур ($> 10^{\circ}\text{C}$) 2018 г. (1427°C) была значительно выше температур 2017 г. (855°C) и среднелетних значений ($940\text{--}1010^{\circ}\text{C}$ по А. П. Семко [3]). Средняя температура самого теплого месяца для 2017 г. — $14,8^{\circ}\text{C}$, 2018 г. — $18,8^{\circ}\text{C}$ (по данным «Расписания погоды» [4]).

Мурманская обл. отличается большим разнообразием природных условий, поэтому часть растений, обладающих низкой экологической пластичностью, может показывать небольшую степень интродукционной устойчивости, определяемую нами по шкале Н. В. Трулевич [5]: неустойчивые растения (1), слабоустойчивые (2), устойчивые (3) и высокоустойчивые (4). Виды, недавно введенные в эксперимент, не обрабатывали.

В течение вегетационного сезона 1–2 раза в неделю в Коллекции проводятся фенологические наблюдения за всеми представленными образцами по методике Бейдеман [6]. Таксоны и номенклатура даются в соответствии со сводкой С. К. Черепанова [7] и The Plant List [8].

Пополнение Коллекции происходит живыми растениями из природы, семенами из природы или семенами собственной репродукции. Семена высеваются в теплице для формирования рассады к началу лета, что удлиняет первый вегетационный сезон растения и значительно повышает приживаемость образца.

Результаты и обсуждение

В настоящее время Коллекция составляет 1334 образца, принадлежащих 352 видам и таксонам межвидового ранга 174 родов 62 семейств (табл. 1). Основная часть видов относится к семействам Asteraceae (52), Superaceae (31), Poaceae (36). Эти растения успешно прошли испытания, и большинство из них относятся к устойчивым (165 видов) и высокоустойчивым (127 видов) по классификации Н. В. Трулевич [5]. Такие высокие показатели объясняются тем, что активного внедрения новых таксонов сейчас не происходит, сохранившиеся в коллекции виды успешно прошли испытания, а неустойчивые растения естественным образом исключены из интродукционного эксперимента.

Таблица 1
Table 1

Виды и таксоны межвидового ранга в коллекции аборигенной флоры Мурманской обл.,
их конечные фазы развития и интродукционная устойчивость (ИУ)

Species and interspecies taxa in the collection of the native kflora of the Murmansk region,
final phases of plant development and introduction stability (IS)

Виды и таксоны межвидового ранга Species and interspecies taxa	Конечные фазы развития Final phases of development	ИУ, баллы IS, points	Виды и таксоны межвидового ранга Species and interspecies taxa	Конечные фазы развития Final phases of development	ИУ, баллы IS, points
1	2	3	1	2	3
Alliaceae J. Adardh			<i>Hieracium dolabratum</i> (Norrl.) Norrl.	созр. полн.	3
<i>Allium schoenoprasum</i> L.	созр. полн.	4	<i>Hieracium glabriligulatum</i> Norrl.	вег.	3
Apiaceae Lindl.			<i>Hieracium kuuzamoense</i> Wainio.	созр. полн.	3
<i>Angelica archangelica</i> L.	вег.	3	<i>Hieracium lapponicum</i> Fries	вег.	3
<i>Angelica sylvestris</i> L.	созр. полн.	3	<i>Hieracium laticeps</i> (Norrl.) Norrl.	созр. полн.	4
<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.	созр. полн.	3	<i>Hieracium lignyotum</i> Norrl.	созр. полн.	3
<i>Carum carvi</i> L.	вег.	4	<i>Hieracium litorale</i> Schljak.	созр. полн.	3
<i>Cenolophium denudatum</i> (Hornem.) Tutin	созр. полн.	3	<i>Hieracium murmanicum</i> Norrl.	созр. полн.	3
<i>Conioselinum tataricum</i> (C. boreale Schischk.) Hoffm.	созр. полн.	3	<i>Hieracium subramosum</i> Loennr.	созр. полн.	3
<i>Heracleum sibiricum</i> L.	вег.	3	<i>Hieracium tericum</i> Schljak.	созр. полн.	3
<i>Ligusticum scoticum</i> L.	созр. полн.	3	<i>Hieracium umbellatum</i> L.	созр. полн.	3
<i>Pimpinella saxifraga</i> L.	вег.	2	<i>Hieracium x flagellare</i> , coll. Willd.	созр. полн.	3
Asteraceae Dumort.			<i>Hieracium x suecicum</i> Fries.	созр. полн.	3
<i>Achillea apiculata</i> Orlova	созр. масс.	3	<i>Leontodon autumnalis</i> L.	созр. полн.	3
<i>Achillea millefolium</i> L.	созр. полн.	4	<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam	созр. полн.	4
<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn.	созр. полн.	4	<i>Ligularia sibirica</i> (L.) Cass.	созр. полн.	3
<i>Arctanthemum hultenii</i> (A. et. D. Love) Tzvel.	вег.	2	<i>Omalotheca norvegica</i> (Gunn.) Sch. Bip. et F. Schult	созр. полн.	4
<i>Arnica fennoscandica</i> Jurtz. et Korobkov	созр. полн.	2	<i>Omalotheca supina</i> (L.) DC	созр. полн.	4
<i>Aster sibiricus</i> L.	созр. полн.	4	<i>Petasites frigidus</i> (L.) Fries	не вег.	2
<i>Cicerbita alpina</i> (L.) Walb.	созр. полн.	4	<i>Petasites radiatus</i> (J. F. Gmel.) Toman.	цв. нач.	2
<i>Cirsium heterophyllum</i> (L.) Hill.	созр. полн.	4	<i>Ptarmica vulgaris</i> Hill.	вег.	2
<i>Crepis paludosa</i> (L.) Moench	вег.	4	<i>Saussurea alpina</i> (L.) DC	созр. полн.	3

Продолжение таблицы 1
Table 1 (Continued)

1	2	3	1	2	3
<i>Erigeron borealis</i> (Vierh.) Simm.	созр. полн.	4	<i>Senecio nemorensis</i> L.	вег.	3
<i>Erigeron politus</i> Fries	созр. полн.	4	<i>Solidago lapponica</i> With.	созр. полн.	4
<i>Hieracium alpinum</i> L.	созр. полн.	4	<i>Sonchus arvensis</i> L.	вег.	3
<i>Hieracium caesiiflorum</i> Almg.	созр. полн.	3	<i>Sonchus humilis</i> Orlova	вег.	3
<i>Hieracium chibinense</i> Schljak.	созр. полн.	3	<i>Tanacetum bippinatum</i> (L.) Sch. Bip.	созр. полн.	3
<i>Hieracium congruens</i> Norrl.	созр. полн.	3	<i>Tanacetum vulgare</i> L.	созр. полн.	4
<i>Hieracium crocatum</i> Fries	созр. полн.	3	<i>Taraxacum croceum</i> L.	созр. полн.	4
<i>Hieracium cruentiferum</i> (Norrl. et Lindb f. ex Norrl.) K. Joh.	созр. полн.	3	<i>Taraxacum nivale</i> Lange ex Kihlm.	созр. полн.	2
<i>Taraxacum norvegicum</i> (Dahlst.) Dahlst.	вег.	2	Caryophyllaceae Juss.		
<i>Taraxacum simulum</i> Brenn.	созр. полн.	2	<i>Cerastium alpinum</i> L.	созр. полн.	3
<i>Tephrosieris integrifolia</i> (L.) Holub	созр. полн.	3	<i>Cerastium glabratum</i> (Wahlenb.) C. Hartm.	созр. полн.	3
<i>Tripleurospermum</i> <i>hookeri</i> Sch. Bip.	созр. полн.	4	<i>Cerastium holosteoides</i> Fries	цв. нач.	3
<i>Tusillago farfara</i> L.	созр. полн.	4	<i>Dianthus superbus</i> L.	созр. полн.	4
Athyriaceae Alst.			<i>Dichodon cerastoides</i> (L.) Reichenb.	созр. полн.	3
<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch. ex Opiz	созр. полн.	3	<i>Melandrium lapponicum</i> (Simm.) Kuzen.	созр. полн.	4
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth.	созр. полн.	3	<i>Minuartia biflora</i> (L.) Schinz. et Thell.	созр. полн.	3
<i>Cystopteris fragilis</i> (L.) Bernh.	созр. полн.	3	<i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq.	созр. полн.	4
<i>Gymnocarpium</i> <i>dryopteris</i> (L.) Newm.	созр. полн.	3	<i>Steris alpina</i> (L.) Sourkova	созр. полн.	4
Betulaceae S.F. Gray			Cistaceae Juss.		
<i>Alnus kolaensis</i> Orlova	созр. масс.	4	<i>Helianthemum arcticum</i> (Gresser) Janch.	созр. полн.	4
<i>Betula callosa</i> Lindv.	вег.	3	Convallariaceae Horan.		
<i>Betula czerepanovii</i> Orlova	вег.	3	<i>Majanthemum bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt	созр. полн.	4
Boraginaceae Juss.			Cornaceae Dumort.		
<i>Myosotis asiatica</i> (Vestergren) Schischk. et Serg.	созр. полн.	4	<i>Chamaepericlymenum</i> <i>suecicum</i> (L.) Archers. et Graebn.	вег.	3
<i>Myosotis decumbens</i> Host.	созр. полн.	4	Crassulaceae DC.		
<i>Myosotis palustris f.</i> <i>albiflora</i> (L.) L.	созр. полн.	4	<i>Rhodiola arctica</i> Boriss.	созр. полн.	4
<i>Myosotis sparsiflora</i> Pohl	созр. масс.	4	<i>Rhodiola arctica</i> X <i>Rh. rosea</i>	созр. полн.	4

Продолжение таблицы 1
Table 1 (Continued)

1	2	3	1	2	3
Brassicaceae Burnett			<i>Rhodiola rosea</i> L.	созр. полн.	4
<i>Arabis alpina</i> L.	созр. полн.	4	<i>Sedum acre</i> L.	вег.	4
<i>Cardamine dentata</i> Schult.	вег.	4	Cryptogrammaceae Pichi Sermolli		
<i>Cardamine nymanii</i> Gand.	вег.	4	<i>Cryptogramma crispa</i> (L.) R. Br.	созр. полн.	2
<i>Cochlearia arctica</i> Schlecht. ex DC	созр. масс.	3	Cupressaceae Bartl.		
Campanulaceae Juss.			<i>Juniperus sibirica</i> Borgsd.	вег.	2
<i>Campanula rotundifolia</i> L.	созр. полн.	4	Cyperaceae Juss.		
Caprifoliaceae Juss.			<i>Baeothryon alpinum</i> (L.) Egor.	вег.	3
<i>Linnea borealis</i> L.	вег.	2	<i>Baeothryon cespitosum</i> (L.) A. Dietz.	вег.	3
<i>Lonicera altaica</i> Pall.	вег.	2	<i>Carex aquatilis</i> Wahlenb.	созр. полн.	3
<i>Lonicera pallasii</i> Ledeb.	созр. полн.	2	<i>Carex atrata</i> L.	созр. полн.	2
<i>Lonicera x subarctica</i> Pojark.	созр. полн.	2	<i>Carex bigelovii</i> Torr. ex Schwein.	созр. полн.	2
<i>Carex brunnescens</i> (Pers.) Poir.	созр. полн.	2	<i>Equisetum palustre</i> L.	вег.	2
<i>Carex buxbaumii</i> Wahlenb.	вег.	2	<i>Equisetum pratense</i> Ehrh.	вег.	2
<i>Carex capillaris</i> L.	созр. полн.	3	<i>Equisetum scirpiodes</i> Michx.	созр. полн.	2
<i>Carex cespitosa</i> L.	плод. масс.	3	<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	вег.	3
<i>Carex chordorrhiza</i> Ehrh.	вег.	2	Ericaceae Juss.		
<i>Carex cinerea</i> Poll.	вег.	2	<i>Andromeda polifolia</i> L.	созр. полн.	3
<i>Carex concolor</i> R. Br.	вег.	2	<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	созр. полн.	3
<i>Carex dioica</i> L.	вег.	2	<i>Harrimanella hypnoides</i> (L.) Cov.	вег.	2
<i>Carex flava</i> L.	вег.	2	<i>Ledum palustre</i> L.	цв. масс.	3
<i>Carex juncella</i> (Fries) Th. Fries	созр. полн.	3	<i>Phyllodoce caerulea</i> (L.) Bab.	созр. полн.	3
<i>Carex lachenalii</i> Schkuhr	вег.	2	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	созр. полн.	3
<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh.	вег.	2	<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	созр. полн.	3
<i>Carex limosa</i> L.	вег.	2	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	вег.	3
<i>Carex livida</i> L.	цв. масс.		Fabaceae Lindl.		
<i>Carex panicea</i> L.	созр. полн.	2	<i>Hedysarum arcticum</i> B. Fedtsch.	созр. полн.	4
<i>Carex pauciflora</i> Lightf.	вег.	2	<i>Amoria hybrida</i> (L.) C. Presl.	созр. полн.	3
<i>Carex paupercula</i> Michx.	вег.	2	<i>Amoria montana</i> (L.) Sojak	вег.	3
<i>Carex rostrata</i> Stokes	вег.	2	<i>Amoria repens</i> (L.) C. Presl.	созр. полн.	4

Продолжение таблицы 1
Table 1 (Continued)

1	2	3	1	2	3
<i>Carex rotundata</i> Wahlenb.	вег.	2	<i>Astragalus frigidus</i> (L.) A. Gray.	созр. полн.	4
<i>Carex saxatilis</i> L.	вег.	2	<i>Astragalus subpolaris</i> Boriss. et Schischk.	созр. полн.	4
<i>Carex subspatacea</i> Wormsk. ex Hornem	созр. полн.	2	<i>Chrysochloa spadicea</i> (L.) Greene	созр. полн.	4
<i>Carex vaginata</i> Teusch.	созр. полн.	2	<i>Hedysarum alpinum</i> L.	созр. полн.	4
<i>Carex vesicaria</i> L.	вег.	2	<i>Lathyrus aleuticus</i> (Greene) Pobed.	вег.	3
<i>Eriophorum latifolium</i> Hoppe	цв. масс.		<i>Lathyrus pratensis</i> L.	созр. полн.	4
<i>Eriophorum scheuchzeri</i> Hoppe	вег.	2	<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.	созр. полн.	4
<i>Eriophorum</i> <i>vaginatum</i> L.	цв. масс.	2	<i>Oxytropis sordida</i> (Willd) Pers.	созр. полн.	4
Droseraceae Salisb.			<i>Vicia cracca</i> L.	вег.	3
<i>Drosera anglica</i> Huds.	вег.	2	<i>Vicia sepium</i> L.	вег.	3
<i>Drosera rotundifolia</i> L.	вег.	2	Gentianaceae Juss.		
Dryopteridaceae Ching			<i>Gentiana</i> <i>pneumonanthe</i> L.	цв. полн.	3
<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill) H.P. Fuchs	созр. полн.	3	Geraniaceae Juss.		
<i>Dryopteris expansa</i> (C. Presl) Fraser-Jenkins et Jermy	созр. полн.	3	<i>Geranium pratense</i> L.	созр. полн.	3
<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott.	вег.	3	<i>Geranium sylvaticum</i> L.	созр. полн.	4
<i>Polystichum lonchitis</i> (L.) Roth	созр. полн.	3	Grossulariaceae DC.		
Empetraceae S.F. Gray			<i>Ribes glabellum</i> (Trautv. et C.A. Mey) Hedl.	созр. полн.	3
<i>Empetrum</i> <i>hermaphroditum</i> Hagerup	созр. полн.	3	Hypericaceae Juss.		
Equisetaceae Rich. ex DC.			<i>Hypericum maculatum</i> Crantz	созр. масс.	4
<i>Equisetum arvense</i> L.	созр. полн.	3	Juncaceae Juss.		
<i>Equisetum hyemale</i> L.	вег.	3	<i>Juncus atrofuscus</i> Rupr.	созр. полн.	3
<i>Juncus filiformis</i> L.	созр. полн.	4	<i>Goodayera repens</i> (L.) R. Br.	вег.	3
<i>Juncus nodulosus</i> Wahlenb.	созр. полн.	4	<i>Gymnadenia conopsea</i> (L.) R. Br.	созр. полн.	3
<i>Juncus trifidus</i> L.	созр. полн.	4	<i>Leucorchis albida</i> (L.) E. May.	созр. полн.	3
<i>Luzula arcuata</i> (Wahlenb.) Sw.	созр. полн.	3	<i>Listera cordata</i> (L.) R. Br.	созр. полн.	4
<i>Luzula frigida</i> (Buchenau) Sam.	созр. полн.	3	<i>Listera ovata</i> (L.) R. Br.	вег.	3
<i>Luzula multiflora</i> (Retz.) Lej.	созр. полн.	4	<i>Malaxis monophyllos</i> (L.) Sw.	вег.	3
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	созр. полн.	4	Oxalidaceae R. Br.		
<i>Luzula spicata</i> (L.) DC	созр. полн.	3	<i>Oxalis acetosella</i> L.	созр. полн.	4

Продолжение таблицы 1
Table 1 (Continued)

1	2	3	1	2	3
<i>Luzula sudetica</i> (Willd.) Schult.	созр. полн.	3	Paeoniaceae Rudolphi		
Juncaginaceae Rich.			<i>Paeonia anomala</i> L.	созр. полн.	4
<i>Triglochin maritimum</i> L.	цв. масс.	2	Papaveraceae Juss.		
Lamiaceae Lindl.			<i>Papaver lapponicum</i> (A. Tolm.) Nordh.	созр. полн.	4
<i>Mentha arvensis</i> L.	вег.	4	Pinaceae Lindl.		
<i>Prunella vulgaris</i> L.	созр. полн.	4	<i>Picea obovata</i> Ledeb.	вег.	3
<i>Scutellaria galericulata</i> L.	вег.	3	<i>Picea x fennica</i> (Regel) Korn	вег.	3
<i>Thymus subarcticus</i> Klok. et Shost.	созр. полн.	4	Plantaginaceae Juss.		
Lentibulariaceae Rich.			<i>Plantago maritima</i> L.	вег.	3
<i>Pinguicula alpina</i> L.	созр. полн.	4	Plumbaginaceae Juss.		
<i>Pinguicula vulgaris</i> L.	созр. полн.	4	<i>Armeria scabra</i> Pall. ex Schult.	вег.	3
Melanthiaceae Batsch			Poaceae Barnchard		
<i>Tofieldia pusilla</i> (Michx.) Pers.	созр. полн.	3	<i>Agrostis borealis</i> C. Hartm.	созр. полн.	3
<i>Veratrum lobelianum</i> Bernh.	вег.	4	<i>Agrostis canina</i> L.	созр. полн.	3
<i>Veratrum misae</i> (Sirj.) Loes.fil.	вег.	3	<i>Agrostis gigantea</i> Roth.	созр. полн.	3
Menyanthaceae Dumort.			<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	созр. полн.	3
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	цв. масс.	3	<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol.	созр. полн.	4
Onagraceae Juss.			<i>Alopecurus arundinaceus</i> Poir.	созр. полн.	3
<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.	созр. полн.	4	<i>Alopecurus pratensis</i> L.	созр. полн.	3
<i>Epilobium hornemanii</i> Reichb.	созр. полн.	4	<i>Anthoxanthum alpinum</i> A. et D. Love	вег.	3
<i>Epilobium lactiflorum</i> Haussen.	созр. полн.	4	<i>Avenella flexuosa</i> (L.) Drej.	созр. полн.	3
<i>Epilobium palustre</i> L.	созр. полн.	4	<i>Briza media</i> L.	вег.	2
Onocleaceae Pichi Sermolli			<i>Calamagrostis canescens</i> (Web.) Roth.	вег.	3
<i>Matteuccia struthiopteris</i> (L.) Tod	созр. полн.	4	<i>Calamagrostis lapponica</i> (Wahlenb.) C. Hartm.	вег.	3
Ophioglossaceae Martinov			<i>Calamagrostis neglecta</i> (Ehrh.) Gaertn., Mey. et Scrl.	созр. полн.	3
<i>Botrychium boreale</i> Milde	созр. полн.	2	<i>Calamagrostis phragmitoides</i> C. Hartm.	созр. полн.	3
Orchidaceae Juss.			<i>Dactylis glomerata</i> L.	созр. нач.	3
<i>Dactylorhiza lapponica</i> (Laest.) Soo	вег.	3	<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) Beauv	созр. полн.	3
<i>Dactylorhiza maculata</i> (L.) Soo	созр. полн.	3	<i>Elymus caninus</i> (L.) L.	вег.	3
<i>Festuca ovina</i> L.	созр. полн.	3	<i>Moneses uniflora</i> (L.) A. Gray	созр. полн.	3
<i>Festuca pratensis</i> L.	вег.	3	<i>Pyrola media</i> Sw.	вег.	3

Продолжение таблицы 1
Table 1 (Continued)

1	2	3	1	2	3
<i>Festuca richardsonii</i> Hook	вег.	3	<i>Pyrola minor</i> L.	вег.	3
<i>Festuca rubra</i> L.	вег.	3	<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	вег.	3
<i>Leymus arenarius</i> (L.) Hockst	вег.	3	Ranunculaceae Juss.		
<i>Melica nutans</i> L.	вег.	3	<i>Aconitum septentrionale</i> Koelle	созр. полн.	4
<i>Milium effusum</i> L.	созр. полн.	2	<i>Actaea erythrocarpa</i> Fisch.	вег.	2
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	вег.	3	<i>Anemonoides nemorosa</i> (L.) Holub.	созр. полн.	3
<i>Nardus stricta</i> L.	вег.	2	<i>Beckwithia glacialis</i> (L.) A. et D. Love	вег.	3
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rauschert	вег.	3	<i>Caltha palustris</i> L.	созр. полн.	4
<i>Phleum alpinum</i> L.	созр. полн.	4	<i>Ranunculus acris</i> L.	созр. полн.	4
<i>Phleum pratense</i> L.	вег.	4	<i>Ranunculus cassubicus</i> L.	созр. полн.	4
<i>Poa alpigena</i> (Blytt) Lindm.	вег.	3	<i>Ranunculus friesiana</i> Jord.	созр. полн.	4
<i>Poa alpina</i> L.	созр. полн.	4	<i>Ranunculus glabriusculus</i> Rupr.	созр. полн.	4
<i>Poa annua</i> L.	созр. полн.	4	<i>Ranunculus monophyllus</i> Ovcz.	созр. полн.	4
<i>Poa arctica</i> R. Br.	вег.	3	<i>Ranunculus polyanthemus</i> L.	созр. полн.	4
<i>Poa nemoralis</i> L.	созр. полн.	3	<i>Ranunculus propinguus</i> C. A. Mey	созр. полн.	4
<i>Poa palustris</i> L.	созр. полн.	3	<i>Ranunculus repens</i> L.	созр. полн.	4
<i>Poa pratensis</i> L.	созр. полн.	3	<i>Ranunculus reptans</i> L.	созр. полн.	4
Polemoniaceae Juss.			<i>Ranunculus sulphureus</i> C. J. Phipps	созр. полн.	4
<i>Polemonium acutiflorum</i> Willd. ex Roem. et Schult	вег.		<i>Thalictrum alpinum</i> L.	созр. полн.	4
<i>Polemonium boreale</i> Adams	созр. полн.	4	<i>Thalictrum rariflorum</i> Fries	созр. полн.	3
<i>Polemonium caeruleum</i> L.	созр. полн.	4	<i>Trollius europaeus</i> L.	созр. полн.	4
Polygonaceae Juss.			Rosaceae Juss.		
<i>Bistorta vivipara</i> (L.) S. F. Gray	созр. полн.	4	<i>Alchemilla alpina</i> L.	созр. полн.	4
<i>Oxyria digina</i> (L.) Hill	созр. полн.	4	<i>Alchemilla baltica</i> Juz.	вег.	3
<i>Rumex crispus</i> L.	вег.	3	<i>Alchemilla glomerulans</i> Bus.	созр. полн.	3
<i>Rumex lapponicus</i> (Hiit.) Czernov	созр. полн.	4	<i>Alchemilla murbeckiana</i> Bus.	созр. полн.	4
<i>Rumex thyrsoiflorus</i> Fingerh.	созр. полн.	3	<i>Comarum palustre</i> L.	вег.	3
Polypodiaceae Bercht. et Presl.			<i>Cotoneaster cinnabarinus</i> Juz.	вег.	3
<i>Polypodium vulgare</i> L.	бут.нач.	2	<i>Dryas octopetala</i> L.	вег.	2
Primulaceae Vent.			<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.	созр. полн.	3
<i>Androsace filiformis</i> Retz.	созр. масс.	4	<i>Fragaria vesca</i> L.	созр. полн.	3
<i>Androsace septentrionalis</i> L.	вег.	4	<i>Geum rivale</i> L.	созр. полн.	3
<i>Naumburgia thyrsoiflora</i> (L.) Reichenb.	вег.	3	<i>Padus borealis</i> Schubel.	созр. полн.	4
<i>Trientalis europeus</i> L.	бут.нач.	3	<i>Potentilla arctica</i> Rouy	созр. полн.	4
Pyrolaceae Dumort.			<i>Potentilla crantzii</i> (Crantz) G.Beck ex Fritsch	созр. полн.	4
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Rausch.	созр. полн.	4	<i>Saxifraga hieracifolia</i> Waldst. et Kit.	созр. полн.	4
<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	созр. полн.	3	<i>Saxifraga nivalis</i> L.	созр. полн.	4
<i>Rubus arcticus</i> L.	вег.	3	<i>Saxifraga rivularis</i> L.	созр. полн.	4

1	2	3	1	2	3
<i>Rubus chamaemorus</i> L.	вег.	2	<i>Saxifraga tenuis</i> (Wahlenb.) H. Sendth	вег.	3
<i>Rubus idaeus</i> L.	созр. полн.	3	Scrophulariaceae Juss.		
<i>Rubus saxatilis</i> L.	созр. полн.	3	<i>Bartsia alpina</i> L.	созр. масс.	3
<i>Sanquisorba polygama</i> Nyl.	созр. полн.	3	<i>Euphrasia brevipila</i> Burn. et Gremler	созр. полн.	4
<i>Sibbaldia procumbens</i> L.	созр. полн.	4	<i>Euphrasia frigida</i> Pugsl.	созр. полн.	4
<i>Sorbus gorodkovii</i> Pojark.	плод.полн.	3	<i>Euphrasia hyperborea</i> Jorgens.	созр. полн.	4
Rubiaceae Juss.			<i>Linaria vulgaris</i> L.	плод.масс.	4
<i>Galium boreale</i> L.	созр. полн.	3	<i>Melampyrum pratense</i> L.	созр. полн.	4
<i>Galium palustre</i> L.	созр. полн.	4	<i>Melampyrum sylvaticum</i> L.	созр. полн.	4
<i>Galium uliginosum</i> L.	созр. полн.	4	<i>Veronica alpina</i> L.	созр. полн.	4
Salicaceae Mirt.			<i>Veronica chamaedrys</i> L.	созр. полн.	4
<i>Salix arbuscula</i> L.	вег.	2	<i>Veronica fruticans</i> Jacq.	созр. полн.	4
<i>Salix bebbiana</i> Sarg.	вег.	2	<i>Veronica longifolia</i> L.	созр. полн.	4
<i>Salix borealis</i> (Fries) Nas.	вег.	2	<i>Veronica serpyllifolia</i> L.	созр. полн.	4
<i>Salix glauca</i> L.	вег.	3	Selaginellaceae Willk.		
<i>Salix glauca x phylicifolia</i> L.	созр. полн.	3	<i>Selaginella selaginoides</i> (L.) C. Mart.	созр. полн.	4
<i>Salix hastata</i> L.	вег.	3	Thelypteridaceae Pichi Sermolli		
<i>Salix herbacea</i> L.	вег.	3	<i>Phegopteris connectilis</i> (Michx.) Watt.	созр. полн.	3
<i>Salix lanata</i> L.	вег.	3	Thymelaceae Juss.		
<i>Salix lapponum</i> L.	вег.	3	<i>Daphne mezereum</i> L.	созр. полн.	3
<i>Salix myrsinifolia</i> Salisb.	созр. полн.	3	Trilliaceae Lindl.		
<i>Salix myrsinites</i> L.	вег.	3	<i>Paris quadrifolia</i> L.	созр. полн.	3
<i>Salix phylicifolia</i> L.	вег.	3	Valerianaceae Batsch.		
<i>Salix polaris</i> Wahlenb.	вег.	3	<i>Valeriana sambucifolia</i> Mikan fil	созр. полн.	4
<i>Salix reticulata</i> L.	вег.	3	Violaceae Batsch.		
Saxifragaceae Juss.			<i>Viola biflora</i> L.	созр. полн.	4
<i>Saxifraga aizoides</i> L.	созр. полн.	3	<i>Viola epipsilla</i> Ledeb.	созр. полн.	4
<i>Saxifraga cernua</i> L.	созр. полн.	4	<i>Viola montana</i> L.	созр. полн.	4
<i>Saxifraga cespitosa</i> L.	созр. полн.	4	<i>Viola tricolor</i> L.	созр. масс.	4

Примечание. Сокращенные наименования конечных фаз развития растений: вег. — вегетация, бут. нач. — начало бутонизации, цв. нач. — начало цветения, цв. масс. — массовое цветение, цв. полн. — полное цветение, плод. масс. — массовое плодоношение, созр. нач. — начало созревания семян, созр. масс. — массовое созревание семян, созр. полн. — полное созревание семян. Баллы интродукционной устойчивости: 1 — неустойчивые растения, 2 — слабоустойчивые, 3 — устойчивые и 4 — высокоустойчивые.

Note. Abbreviated names of the final phases of plant development: вег. — vegetation, бут. нач. — beginning of budding, цв. нач. — beginning of flowering, цв. масс. — mass flowering, цв. полн. — full bloom, плод. масс. — mass fruiting, созр. нач. — beginning of seed ripening, созр. масс. — mass ripening of seeds, созр. полн. — full ripening of seeds. Introduction stability points: 1 — unstable plants, 2 — poorly resistant, 3 — stable and 4 — highly resistant.

В Коллекции преобладают многолетние травянистые растения (89 % от общего количества образцов), остальные группы — деревья, кустарники, кустарнички, полукустарнички и малолетние травянистые растения — от 1 до 3 % (рис. 1). Древесные растения, представленные в Коллекции, высажены до момента образования дендрологической лаборатории в 1984 г. [9]. В дальнейшем здесь проводили только фенологические наблюдения, без испытания новых видов и образцов древесных растений.

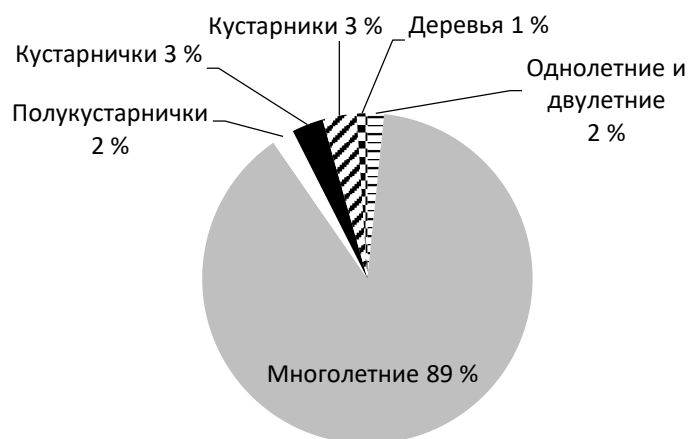


Рис. 1. Соотношение числа коллекционных образцов в зависимости от жизненной формы

Fig. 1. The correlation of the number of collection samples according to life form

Более половины растений коллекции выращено из семенного материала собственной репродукции (678) и растениями из природы (412), меньше образцов получено из семян дикорастущих (131) и пересадкой культурных растений (14) (рис. 2).

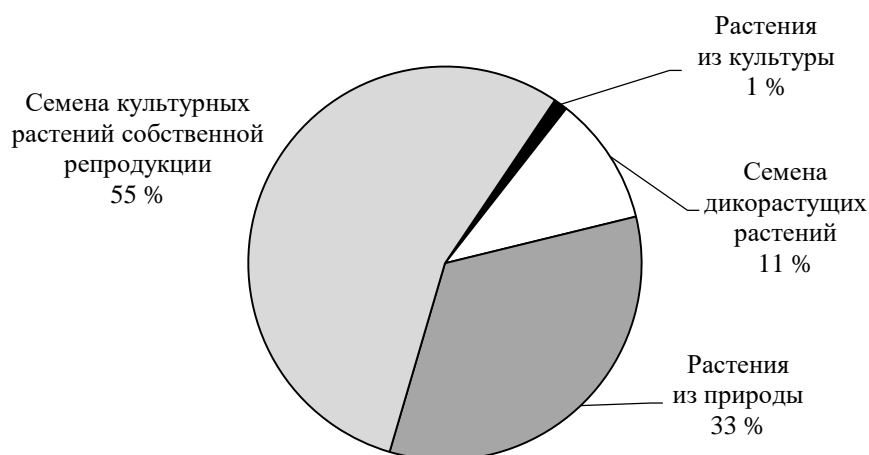


Рис. 2. Соотношение числа коллекционных образцов в зависимости от способа размножения

Fig. 2. The correlation of the number of collection samples according to method of reproduction

В 2018 г. на питомниках флоры Мурманской обл. созрели полностью 219 видов, достигло стадии плодоношения — 12, только цвело — 9, только бутонизировало — 2, вегетировало — 109 видов; вторичное цветение было отмечено у 14 видов (*Aster sibiricus*, *Campanula rotundifolia*, *Dianthus superbus*, *Epilobium hornemanii*, *Epilobium lactiflorum*, *Helianthemum arcticum*, *Hieracium laticeps*, *Myosotis asiatica*, *Myosotis palustris* f. *albiflora*, *Polemonium boreale*, *Prunella vulgaris*,

Ranunculus sulphureus, *Sibbaldia procumbens*, *Tripleurospermum hookeri*), самосев был зафиксирован у 61 вида. Вегетируют в основном угнетенные растения, старые или, наоборот, молодые; только цвели растения, не получившие дальнейшего развития вследствие заболевания (*Cerastium holosteoides*), объедания грызунами (*Hieracium*) или недостаточной продолжительности вегетационного сезона для полного развития вида (*Gentiana pneumonanthe*).

Таблица 2

Table 2

Охраняемые виды сосудистых растений в коллекции аборигенной флоры Мурманской обл.
Protected species of vascular plants in the collection of the native flora of Murmansk region

Категория редкости Rarity class		Число видов Number of species
Красная книга Мурманской области The Red Data Book of Murmansk Region		
16	Исчезающие виды Endangered species	3
2	Уязвимые виды Vulnerable species	18
3	Редкие виды Rare species	16
4	Виды с неопределенным статусом Species of undefined status	2
	Бионадзор Biological surveillance	39
Красная книга Российской Федерации The Red Data Book of the Russian Federation		
1	Находящиеся под угрозой исчезновения Endangered species	1
2	Сокращающиеся в численности Shrinking species	1
3	Редкие Rare species	3

Первая официальная Красная книга Мурманской обл. опубликована в 2003 г., в нее включены 245 видов сосудистых растений, второе издание, выпущенное в 2014 г., включает 189 видов сосудистых растений, подлежащих охране, и 85 видов, подлежащих биологическому надзору. В настоящее время в Коллекции представлено 39 подлежащих охране видов с территории Мурманской обл. и столько же видов, рекомендованных к биологическому надзору (табл. 2). Многие из них успешно прошли испытания и длительное время выращиваются на территории питомников, их самовозобновление обеспечивается семенным или вегетативным путем — это высокоустойчивые в культуре растения (*Aster sibiricus*, *Alchemilla alpina*, *Epilobium lactiflorum* и др.). Подлежат охране на территории РФ 5 видов: *Rhodiola rosea*, *Papaver lapponicum*, *Helianthemum arcticum*, *Beckwithia glacialis*, *Arnica fennoscandica* [11].

Эндемичные для региона растения также представлены в Коллекции, например, *Helianthemum arcticum* — узколокальный эндем Турьего мыса. Этот вид проходил испытания в культуре с 1970 г., цвел, но не завязывал семян в условиях питомников Сада, в настоящее же время плодоносит, но из-за растянутости периода цветения (до полутора месяцев), происходит неполное созревание плодов в Саду (Кировск), на экспериментальном участке в окрестностях

Ежегодно по различным причинам коллекция теряет образцы и полностью виды. К сожалению, в последнее время многие образцы выпадают из-за вытеснения сорными травами и мохообразными, что является следствием отсутствия надлежащего ухода, недостаточной прополки. Кроме того, образцы выпадают по причине несоответствия экологических предпочтений условиям участка (влаголюбивые виды на засушливом участке) или, например, по возрасту (малолетники) выпало 24 вида, 55 образцов. В 2018 г. из коллекции выпало также 7 видов Красной книги Мурманской обл. [10] (*Cardamine bellidifolia*, *Cotoneaster antoninae*, *Diplazium sibiricum*, *Dryas punctata*, *Puccinellia asiatica*, *Rhizomatopteris montana*, *Saxifraga oppositifolia*). Скорость пополнения намного ниже выпада, тем не менее, в 2018 г. Коллекция пополнена 28 образцами 23 видов, 9 из которых отсутствовали в коллекции на начало сезона, 1 вид ранее не проходил испытание в культуре в коллекции аборигенной флоры Мурманской обл. (*Polemonium acutiflorum*).

г. Апатиты созреванию полное и даже отмечен его самосев. В настоящий момент всего в Коллекции насчитывается 14 эндемичных видов: 12 эндемиков Северной Фенноскандии (*Polemonium acutiflorum*; *Cotoneaster cinnabarinus*; *Potentilla arctica*; *Taraxacum nivale*; *Taraxacum simulum*; *Arnica fennoscandica*; *Achillea apiculata*; *Alnus kolaënsis*; *Myosotis decumbens*; *Padus borealis*; *Sonchus humilis*; *Taraxacum norvegicum*), 1 эндем Кольского п-ова (*Papaver lapponicum*) и 1 эндем Турьего мыса (*Helianthemum arcticum*).

Таким образом, определено, что в Коллекции аборигенной флоры Мурманской обл. основными семействами являются Asteraceae, Cypripaceae, Rosaceae; основная жизненная форма — многолетнее травянистое растение, основной формой исходного материала послужил семенной материал собственной репродукции. Редкие и охраняемые растения Мурманской обл. занимают 22 % Коллекции. В 2018 г. большинство видов достигло конечной фазы развития — полное созревание семян. По степени интродукционной устойчивости большая часть произрастающих в коллекции видов устойчивые и высокоустойчивые, их можно успешно культивировать в условиях Заполярья. Коллекция является базой для реинтродукции редких видов в природные местообитания, для внедрения аборигенных видов в культуру как декоративных, лекарственных и пищевых растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллова Н. Р. Фенологическое развитие растений аборигенной флоры в питомниках Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина // Летопись природы России: фенология: материалы I Междунар. фенологической школы-семинара в Центрально-лесном государственном природном биосферном заповеднике 13-17 августа 2018 г., Великие Луки. 2018. С. 103-108.
2. Семко А. П. Климатическая характеристика Полярно-альпийского ботанического сада // Флора и растительность Мурманской области. Л.: Наука, 1972. С. 73–130.
3. Семко А. П. Режим тепла и влаги для роста и развития дикорастущих интродуцированных растений в центральной части Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1989. 30 с.
4. Расписание погоды. URL: <http://rp5.ru>.
5. Трулевич Н. В. Эколого-фитоценологические основы интродукции растений. М.: Наука, 1991. 216 с.
6. Бейдеман И. Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. Ботанический институт им. В. Л. Комарова АН СССР / отв. ред. Е. В. Шифферс. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 130 с.
7. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
8. The Plant List. URL: <http://www.theplantlist.org/1.1/about/>.
9. Каталог коллекции видов местной флоры на питомниках Полярно-альпийского ботанического сада. Апатиты, 1987. 25 с.
10. Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е. Кемерово: Азия-принт, 2014.
11. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / М-во природных ресурсов и экологии РФ; Федер. служба по надзору в сфере природопользования; Рос. акад. наук; Рос. ботан. о-во; МГУ им. М. В. Ломоносова; гл. редкол.: Ю. П. Трутнев [и др]. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.

Сведения об авторе

Кириллова Наталья Руслановна — младший научный сотрудник лаборатории «Гербарий», куратор коллекции аборигенной флоры Мурманской области Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН
E-mail: knr81@mail.ru

Author Affiliation

Natalya R. Kirillova — Junior Researcher of Herbarium Laboratory, Curator of the Collection of Native Flora of Murmansk Region, Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden and Institute of KSC RAS
E-mail: knr81@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Кириллова, Н. Р. Современное состояние коллекции аборигенной флоры Мурманской области в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте им. Н. А. Аврорина / Н. Р. Кириллова // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (11). — С. 30–41.

Reference

Kirillova Natalya R. Current Condition of the Collection of Native Flora of Murmansk Region in Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden and Institute. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 1 (11), pp. 30–41. (In Russ.).

DOI: 10.25702/KSC.2307-5228.2019.11.1.42-49

УДК 622.831

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ЧИСЛЕННОГО МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАМЕР И ЦЕЛИКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЖДАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

М. С. Кулькова

ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

Аннотация

Эксплуатация Ждановского месторождения ведется с применением нескольких систем разработки в зависимости от горно-геологических условий. Так, в 2016 г. запасы Центрального рудного тела обрабатывались с помощью двух систем разработки: с подэтажным обрушением и с открытым очистным пространством. Применение системы разработки с открытым очистным пространством обуславливает проблему определения оптимальных размеров камер и целиков с точки зрения безопасности и эффективности горных работ. Для определения оптимальных параметров камер и целиков применялся аналитический метод с использованием методики ВНИМИ. Для исследований напряженно-деформированного состояния массива в районе проектного положения камер применялся метод численного моделирования в двумерной упругой постановке, реализованный с помощью метода конечных элементов. Определено, что рассчитанные параметры являются оптимальными с точки зрения безопасности и эффективности горных работ.

Ключевые слова:

Ждановское месторождение, численное моделирование, оптимальные размеры камер и целиков.

THE ANALYTICAL AND NUMERICAL RESEARCH METHODS FOR DETERMINING THE OPTIMAL PARAMETERS OF STOPES AND PILLARS DURING THE ZHDANOVSKOE DEPOSIT MINING

Maria S. Kulkova

Mining Institute of KSC RAS

Abstract

The Zhdanovskoe deposit is developed by several mining methods depending on mining and geological conditions. In 2016 the reserves of the Central ore body were developed by the sublevel caving and stoping mining methods. The applying of the stoping method causes a task of determining the optimal sizes of stopes and pillars in terms of safety and the effectiveness of mining. The analytical method with the VNIMI guidance was implemented to determine the optimal parameters of stopes and pillars. The rock mass stress-strain state in vicinity of the stopes was studied with 2D numerical modelling in elastic conditions. The numerical modelling was implemented with a finite element method. It has been determined that the calculated parameters are optimal in terms of the safety and the effectiveness of mining.

Keywords:

Zhdanovskoe deposit, numerical modelling, optimal sizes of stopes and pillars.



Введение

Месторождение Ждановское расположено в Печенгском районе Мурманской обл. и содержит один из крупнейших запасов медно-никелевых руд в России. Месторождение обрабатывается подземным рудником «Северный» АО «Кольская ГМК». В отработку вовлечено шесть рудных тел: Юго-Западное, Западное, Центральное, Восточное, Юго-Восточное и Южное рудные тела [1]. Наиболее крупным по запасам и мощности является Центральное рудное тело (ЦРТ). Оно имеет юго-западное падение под углом

от 32° до 75°, средний угол падения — 51°, истинная мощность колеблется от 1 до 90 м и составляет в среднем 33 м. Вдоль всего лежачего бока массива простирается тектоническая зона, выполненная брекчиевидными рудами, вкрапленное оруденение занимает доминирующее положение в массиве.

В 2016 г. на горизонте –310 м ЦРТ проектом была запланирована отработка части запасов рудного тела с использованием системы с камерно-целиковым порядком отработки запасов [2]. В этом случае отработка запасов ведется в пределах этажей высотой 60 м камерами с оставлением временных междукамерных (МКЦ) и межэтажных целиков (МЭЦ). В пределах камеры выемка запасов осуществляется подэтажами высотой от 15 до 30 м [3]. Устойчивость целиков и вмещающих пород обеспечивается параметрами системы — пролетом камер и размерами целиков [4].

В связи с интенсивной отработкой запасов рудных тел и значительным увеличением глубины горных работ, происходит ухудшение геологических и горнотехнических условий разработки Ждановского месторождения. Таким образом, возникает необходимость изучения напряженно-деформированного состояния массива горных пород месторождения и более тщательной оценки параметров камер и целиков, при которых они остаются устойчивыми.

Методы исследования

На горизонте –310 м ЦРТ проектом было определено местоположение пяти камер, находящихся на противоположных флангах рудного тела — западном и восточном. На западном фланге расположены камеры К27 и К29, на восточном — камеры К(-7), К(-9) и К(-11). Их местоположение показано на рис. 1, а, б.

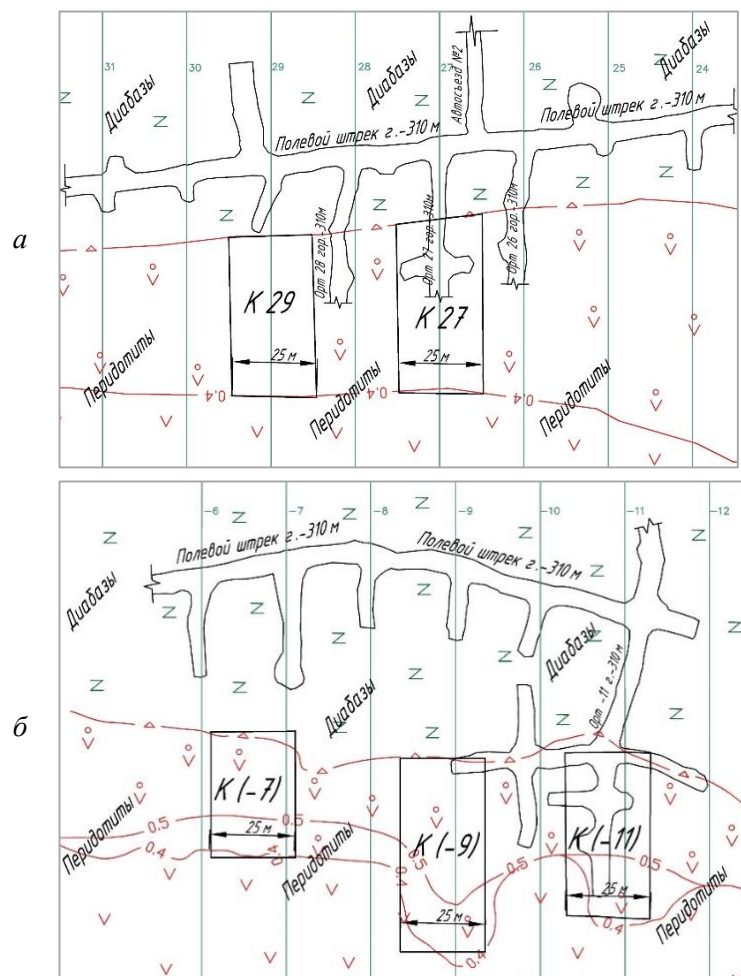


Рис. 1. Местоположение камер К27 и К29 (а) и К(-7), К(-9) и К(-11) (б) (в плане, гор. –310)

Fig. 1. The location of rooms K27 and K29 (a), K(-7), K(-9) and K(-11) (b) (in the plan, level –310)

Для определения безопасных размеров камер и междукамерных целиков применялся аналитический метод исследования. Сущность метода заключается в расчете требуемых параметров на основе методик, зарекомендовавших себя многолетним опытом применения при отработке запасов рудных тел на различных рудниках [5]. На данном этапе выполнялся расчет максимального допустимого пролета камер (b_{\max}) и максимального значения ширины целиков (a) на основании методики ВНИМИ. Значения b_{\max} и a определялись на основе параметров камер, заданных при проектировании.

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) массива в районе камер применялся метод численного моделирования [6, 7]. Исследования проводились для условий упругого изотропного массива горных пород в двухмерной постановке с помощью метода конечных элементов [8].

Были созданы две плоские модели. Для оценки устойчивости междукамерного целика рассматривалось вертикальное сечение по простиранию рудного тела. Схемы моделей представлены на рис. 2 (а и б), на котором показаны: область моделирования, камеры, целики, очистное пространство, геологическое строение и граничные условия.

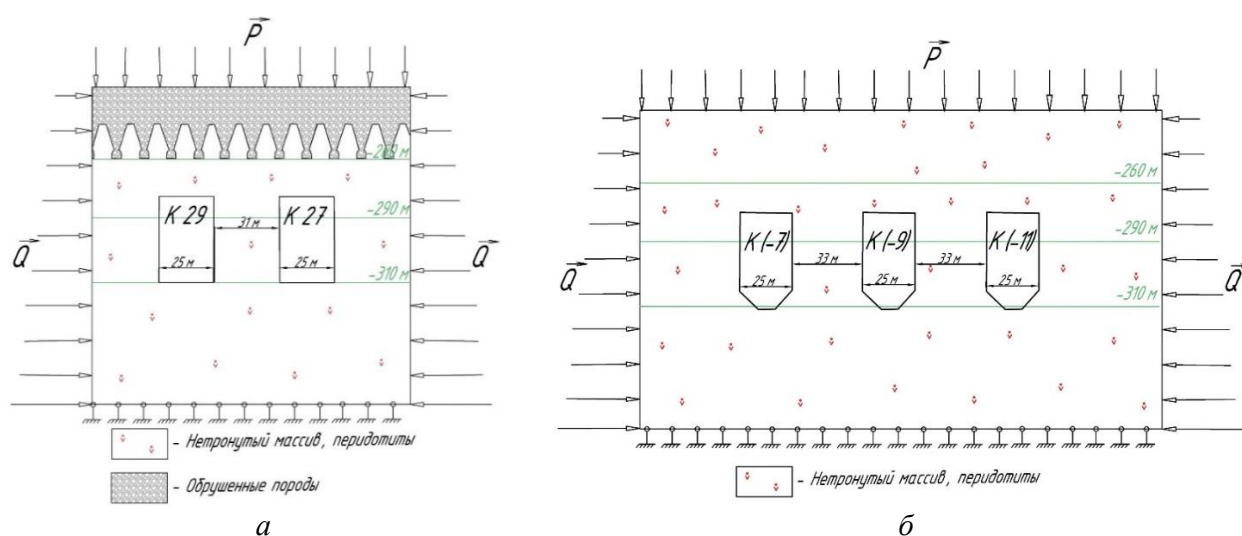


Рис. 2. Схема модели в области камер K27 и K29 (а) и K(-7), K(-9) и K(-11) (б)

Fig. 2. The model diagram near the rooms K27, K29 (a) and K(-7), K(-9) and K(-11) (b)

Физико-механические свойства пород

Physical and mechanical properties of the rocks

Породы и руды Host rocks and ores	Плотность, т/м ³ Density, t/m ³	Коэффициент Пуассона Poisson ratio	Модуль упругости, ГПа Young's modulus, GPa
Вкрапленные руды (рудное тело) Porphyry ore	2,94	0,32	71
Диабазы Diabase	2,85	0,31	71
Перидотиты Peridotite	2,95	0,31	79

При задании граничных условий рассматривалось действие только веса вышележащих пород, при этом были заданы составляющие: вертикальная ($P = \gamma \cdot H$) и горизонтальная $Q = (\gamma \cdot H \cdot \xi)$, где γ — вес пород, H — глубина, ξ — коэффициент бокового отпора.

Физико-механические свойства пород представлены в таблице. Породы в районе камер прочные — с минимальным пределом прочности на сжатие $\sigma_{сж} \approx 100$ МПа и минимальным пределом прочности на растяжение $\sigma_p \approx 10$ МПа. В результате моделирования было получено поле напряжений в окрестности запланированных камер.

Результаты

Параметры камеры определяются ее размерами по длине l — вкрест простирания рудного тела, по ширине b — по простиранию рудного тела и по высоте h . Размеры камеры по длине ограничены контактами рудного тела. В районе камер К27 и К29 мощность рудного тела в горизонтальной плоскости достигает 50 м, в районе камер К(-7), К(-9) и К(-11) мощность рудного тела равна 45 м. Таким образом, для расчетов принимается размер камер по длине 50 и 45 м соответственно.

Исходя из технологических условий отработки запасов ЦРТ была предложена ширина камер b , равная 25 м. Для оценки данного параметра с точки зрения безопасности и устойчивости обнажения пород определен максимальный допустимый пролет b_{max} , который будет ограничивать возможную ширину камеры. При этом необходимым является условие отсутствия людей в очистном пространстве.

Устойчивость обнажений зависит от степени нарушенности пород и характеризуется параметром устойчивости z . Породы Центрального рудного тела характеризуются средней устойчивостью — параметр $z = 10-13$, однако для более консервативной оценки b_{max} и из соображений безопасности принимается заниженный параметр $z = 9$, характерный для слабоустойчивых пород.

По известным величинам z и l , найден максимальный допустимый пролет камеры по следующей формуле

$$b_{max} = \frac{2zl}{l - 2z}. \quad (1)$$

Подставив значения $z = 9$ и $l = 50$ и 45 м соответственно в формулу (1), получим значение b_{max} для камер К27, К29 — 28,1 м, для камер К(-7), К(-9) и К(-11) — 30 м. Таким образом, предложенный размер $b = 25$ м находится в пределах допустимого значения пролета камеры, поэтому ширина всех камер принимается равной 25 м.

Для дальнейших расчетов необходимо определить высоту камер h . Так как по технологическим условиям максимально возможная высота камер составляет 40 м, то параметр h принимается равным 40 м.

Значение минимальной ширины целика (a) определено на основе методики ВНИМИ [4]. Согласно «Методическим указаниям...», условие прочности при расчете рудных целиков можно записать следующим образом:

$$\frac{K_H \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H(a+b)}{a} = \frac{K_{осл} \cdot K_{\phi 1} \cdot K_{\phi 2} \cdot K_D \cdot \sigma_{сж}^0}{K_3}, \quad (2)$$

где K_H — коэффициент, учитывающий влияние размеров обрабатываемого участка; K_a — коэффициент, учитывающий влияние угла падения рудного тела; γ — удельный вес пород; H — глубина разработки; $K_{осл}$ — коэффициент структурного ослабления; $K_{\phi 1}$, $K_{\phi 2}$ — коэффициенты, учитывающие влияние отношения длины к ширине целика и ширины к высоте целика соответственно; K_D — коэффициент, учитывающий влияние времени; $\sigma_{сж}^0$ — прочность породы в образце; K_3 — коэффициент запаса прочности; a — ширина целика; b — ширина камеры.

Пусть

$$q = \frac{K_H \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H \cdot K_3}{K_{осл} \cdot K_D \cdot \sigma_{сж}^0}. \quad (3)$$

Учитывая, что при данных условиях $K_{\phi 1} = 1$ и $K_{\phi 2} = 0,6 + 0,4 a/h$, выражение (2) можно записать в следующем виде:

$$q \frac{(a+b)}{a} = 0,6 + 0,4 \frac{a}{h}, \quad (4)$$

где h — высота целика, равная высоте камеры, b — ширина камеры.

При решении уравнения (4) относительно параметра a получено:

$$a = 1,25h(q - 0,6) + \sqrt{(1,25h(q - 0,6))^2 + 2,5hqb}. \quad (5)$$

Далее определялись значения коэффициентов и других параметров в выражении (2).

Коэффициент K_H принимается равным 0,7, так как ширина обрабатываемого участка рудного тела L меньше глубины отработки H , то есть $L/H < 0,8$.

Коэффициент K_a при горизонтальном расположении камеры принимается равным 1.

Коэффициент структурного ослабления $K_{осл}$ принимается равным 0,35.

Коэффициент запаса K_3 рассчитывается следующим образом:

$$K_3 = K_{31} \cdot K_{32}, \quad (6)$$

где K_{31} — коэффициент, учитывающий изменчивость среднемаксимальной прочности, равный 1,25; K_{32} — коэффициент, учитывающий возможное уменьшение площади поперечного сечения целика в натуре по сравнению с проектной, принимается равным 1,1.

Коэффициент запаса K_3 равен:

$$K_3 = K_{31} \cdot K_{32} = 1,25 \cdot 1,1 = 1,375. \quad (7)$$

Коэффициент, учитывающий влияние времени K_d принимаем равным 0,7, так как длительность стояния целика менее 3 лет.

Анализ физико-механических и прочностных свойств пород показал, что плотность основных пород продуктивной толщи не превышает 3 т/м³, а средняя прочность пород в образце не ниже 100 МПа. Таким образом, для расчетов принимаем $\gamma = 3$ т/м³ и $\sigma_{сж}^0 = 100$ МПа.

Подставив рассчитанные коэффициенты и другие параметры в выражения (3) и (5), получаем значения ширины целиков a :

- для камер К27, К29 — 31,2 м;
- для камер К(-7), К(-9) и К(-11) — 33 м.

Таким образом, по расчетным данным, безопасная ширина целиков между камерами К27 и К29 равна 31 м и безопасная ширина целиков между камерами К(-7), К(-9) и К(-11) равна 33 м при ширине всех камер, равной 25 м.

Анализ горнотехнических условий отработки запасов в районе разрезов 27 и 29 показал, что вблизи будущих камер располагается очистное пространство вышележащего горизонта –254 м. Методика ВНИМИ, по которой определялись безопасные параметры камер и целиков, не учитывает возможного влияния данного очистного пространства.

Кроме расчетов безопасных параметров камер и целиков по методике ВНИМИ, было проведено исследование напряжений, действующих на контурах камер и в целиках, с помощью методов численного моделирования. Исследования проводились для упругого изотропного массива горных пород в двухмерной постановке.

Задача решалась для условий действия только собственного веса горных пород, так как в 2016 г. натурные исследования состояния массива на Ждановском месторождении не проводились и существовали данные о наличии только гравитационного типа поля напряжений.

В качестве физико-механических свойств пород были взяты усредненные значения для пород продуктивной толщи:

- удельный вес γ — 3 т/м³;
- модуль упругости E — 70 ГПа;
- коэффициент Пуассона ν — 0,31.

Дневная поверхность задана на высотной отметке +120 м. Дно камер находилось на отметке -310 м. Ширина камер и целиков составляла соответственно 25 м и 31 м — для камер К27 и К29 и 25 м и 33 м — для камер К(-7), К(-9) и К(-11). В результате моделирования были получены данные о максимальной σ_1 и минимальной σ_2 компонентах главных напряжений.

На рис. 3, а, представлено распределение σ_1 в окрестностях камер и целиков в сечении, проходящем по простиранию рудного тела и пересекающем камеры К27 и К29.

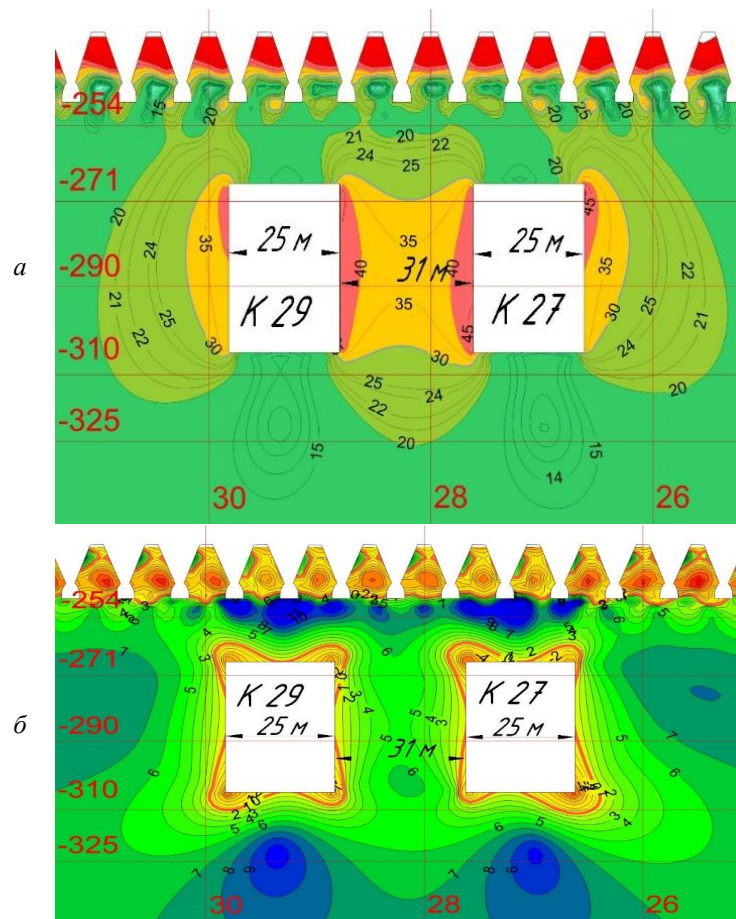


Рис. 3. Распределение σ_1 (а) и σ_2 (б) в вертикальном сечении камер К27 и К29

Fig. 3. The distribution of σ_1 (a) and σ_2 (b) in vertical cross-section of the rooms K27 and K29

Как видно из рис. 3, а, основные зоны концентрации максимальных напряжений σ_1 располагаются в стенках камер и в целике. Значения σ_1 в этих зонах достигают 35–40 МПа. Несмотря на значительные величины σ_1 , они не превышают половины предела прочности пород на сжатие $\sigma_{сж}$. Данный факт свидетельствует об устойчивом состоянии целика.

Анализ минимальных напряжений σ_2 (рис. 3, б) показал, что в целике между камерами К27 и К29 напряжения σ_2 в основном являются сжимающими с незначительными зонами растяжений в стенках камер. Однако в углах и кровле камер есть зоны существенных растягивающих напряжений, значения σ_2 в которых достигают -5 МПа. Данные значения σ_2 приближаются к пределу прочности пород на растяжение, что свидетельствует о возможном прорастании трещин отрыва. С учетом уже существующей трещиноватости массива можно говорить о том, что в углах камер К27 и К29 и их кровли формируются условия для частичного разрушения приконтурного массива.

Таким образом, состояние массива горных пород в целике при данных условиях можно характеризовать как устойчивое. Возможные разрушения в кровле камер требуют исключить присутствие людей в очистном пространстве.

На рис. 4, а, представлено распределение σ_1 в окрестностях камер К(-7), К(-9), К(-11) и их междуканнерных целиков.

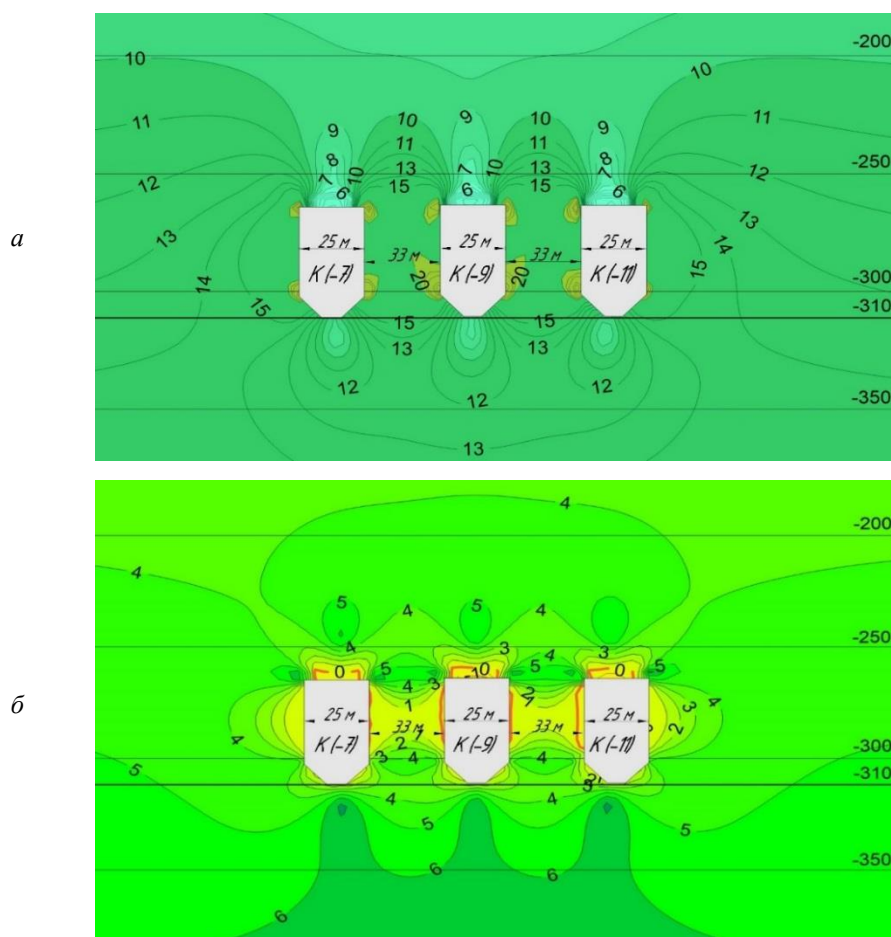


Рис. 4. Распределение σ_1 (а) и σ_2 (б) в вертикальном сечении камер К(-7), К(-9) и К(-11)

Fig. 4. The distribution of σ_1 (a) and σ_2 (b) in vertical cross-section of the rooms К(-7), К(-9) and К(-11)

Зоны концентрации напряжений располагаются в верхней и нижней части целика, при этом значения σ_1 в этих зонах не превышают 20 МПа (рис. 4, а). Данные значения σ_1 в несколько раз меньше предела прочности пород на сжатие $\sigma_{сж}$, что говорит об устойчивом состоянии целика.

При анализе минимальных напряжений σ_2 (рис. 4, б) было установлено, что напряжения σ_2 в целиках в основном являются сжимающими с незначительными зонами растяжений в стенках камер. Также зоны растяжения наблюдаются и в кровле камер, однако во всех зонах растягивающие напряжения не превышают 1 МПа, что значительно ниже предела прочности пород на растяжение. При развитой трещиноватости возможно снижение прочности пород на растяжение и прорастание трещин отрыва в зонах действия растягивающих напряжений.

Таким образом, состояние массива горных пород в окрестностях камер и целиков при данных условиях можно характеризовать как устойчивое.

По результатам расчета параметров камер и целиков с помощью аналитического метода (методики ВНИМИ) и метода численного моделирования (анализа НДС массива горных пород в окрестностях камер) установлено, что при отсутствии людей в очистном пространстве безопасная ширина камер К27 и К29 составляет 25 м, целика между ними — 31 м, безопасная ширина камер К(-7), К(-9) и К(-11) составляет 25 м, целика между ними — 33 м.

Результаты

В работе проведено исследование аналитического и численного методов для определения оптимальных параметров камер и целиков при обработке Ждановского месторождения. На первом этапе для определения безопасных размеров камер и междукамерных целиков применялся аналитический метод исследования с использованием методики ВНИМИ. На основе полученных значений параметров камер и целиков для оценки напряженно-деформированного состояния массива в районе камер применялся метод численного моделирования. В результате моделирования установлено, что полученные величины параметров камер и целиков являются оптимальными с точки зрения безопасности горных работ. Успешный опыт обработки запасов ЦРТ в 2016 г. на горизонте –310 м камерно-целиковой системой подтверждает сделанный ранее вывод о безопасных параметрах камер и целиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В. Н., Макеев В. И. История и перспективы развития минерально-сырьевого комплекса ОАО «Кольская ГМК» // Цветная металлургия. 2013. № 10 (850). С. 27–32. 2. Смирнов А. А., Воробьев В. Л., Анухин М. А. // Цветные металлы. 2004. № 12. С. 22–24. 3. Оптимизация конструктивных и технологических решений при подземной разработке медно-никелевых руд Ждановского месторождения / И. Н. Савич [и др.] // Горн. журн. 2011. № 11. С. 33–35. 4. Martin C. D., Maybe W. G. Strength hard-rock pillars // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2000. Vol. 37. P. 1239–1246. 5. Методические указания по установлению размеров камер и целиков при камерных системах разработки руд цветных металлов. Л.: ВНИМИ, 1972. 6. Čuriš L., Šeupárek R. Numerical analysis of the stability of lignite pillars // Procedia Engineering. 2017. Vol. 191. P. 310–316. 7. Sharma K. G. Numerical analysis of underground structures // Indian Geotechnical J. 2009. Vol. 39 (1). P. 1–63. 8. Numerical analysis of underground space and pillar design in metalliferous mine / T. Malli [et al.] // J. African Earth Sciences. 2017. October. Vol. 134. P. 365–372.

Сведения об авторе

Кулькова Мария Сергеевна — аспирант, младший научный сотрудник Горного института КНЦ РАН
E-mail: maria.vasilevskaya89@yandex.ru

Author Affiliation

Maria S. Kulkova — PhD Student, Junior Researcher of the Mining Institute of KSC RAS
E-mail: maria.vasilevskaya89@yandex.ru

Библиографическое описание статьи

Кулькова, М. С. Применение аналитического и численного методов исследования для определения оптимальных параметров камер и целиков при обработке Ждановского месторождения / М. С. Кулькова // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (11). — С. 42–49.

Reference

Kulkova Maria S. The Analytical and Numerical Research Methods for Determining the Optimal Parameters of Stopes and Pillars during the Zhdanovskoe Deposit Mining. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2019, vol. 1. (11), pp. 42–49. (In Russ.).

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЛОВОЗЕРСКОГО РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ***А. В. Ловчиков**

ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

Аннотация

Рудник «Карнасурт», эксплуатирующий Ловозерское редкометалльное месторождение, обладает рядом специфических горно-геологических условий: отрабатывает две пластообразные пологопадающие, согласно залегающие рудные залежи (каждая мощностью 1,2 м) в массиве крепких, устойчивых горных пород. В массиве рудника действуют современные горизонтальные тектонические напряжения, превосходящие напряжения от веса толщи налегающих пород в 4–6 раз. С глубины 400 м запасы рудника отнесены к склонным и опасным по горным ударам. В работе рассмотрен ряд предложений по обеспечению устойчивости пород и предотвращению опасности горных ударов в выработках при эксплуатации рудника.

Ключевые слова:

тектонические напряжения, устойчивость выработок, целики, опасность горных ударов.

**DEVELOPMENT OF THE LOVOZERO RARE-METAL DEPOSIT:
INNOVATIVE SOLUTIONS FOR ROCK PRESSURE MANAGEMENT****Alexander V. Lovchikov**

Mining Institute KAS RAS

Abstract

The Karnasurt mine, which produces the Lovozero rare metal deposit, has a number of specific mining and geological conditions: it develops two tabular gently falling 1,2 m thick ore bodies in the strong stable rock mass. In the mine rock mass, modern horizontal tectonic stresses act, surpassing the stresses from the weight of the overlying strata by 4–6 times. From a depth of 400 m, the mine reserves are classified as prone to rockbursts and rockburst hazardous. The paper reviews a number of proposals to ensure the rocks stability and prevent the rockburst hazard during the mine operation.

Keywords:

tectonic stresses, excavation stability, pillars, rockburst hazard.

**Введение**

Ловозерское месторождение представлено свитой маломощных и средней мощности пластообразных пологопадающих рудных залежей. Рудник «Карнасурт», разрабатывающий месторождение, отрабатывает две согласно залегающие, пологопадающие (угол падения 10–15° к горизонту) рудные залежи (мощностью 1,2 м каждая, разделенные породным прослойком толщиной 90–110 м) в массиве крепких скальных пород. Прочность руд и пород, относящихся к классу нефелиновых сиенитов (луявриты, уртиты, фойяиты и др.), составляет $\sigma_c = (160–330)$ МПа, $\sigma_p = (6–12)$ МПа. Все породы — хрупкие и удароопасные. Породному массиву свойственна высокая естественная тектоническая напряженность: на достигнутых глубинах отработки максимальные горизонтальные тектонические напряжения имеют величину $\sigma_T = (-40...60)$ МПа и в 4–6 раз превышают вертикальные гравитационные напряжения от веса толщи покрывающих пород на соответствующей глубине. Схематический вертикальный поперечный разрез рудника

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-00563а.

«Карнасурт» представлен на рис. 1. Как видно из рис. 1, пологопадающие рудные залежи выходят на поверхность и уходят вглубь массива на глубину свыше 1 км. Горно-геологические условия определяют применяемую при обработке систему разработки — камерно-столбовую (сплошную) систему с поддержанием покрывающих пород целиками [1].

В рассматриваемых условиях ее конструктивное оформление осуществляется следующим образом: очистная выемка руд ведется панелями по простиранию рудных залежей, которые по вертикали через 20–40 м разделяются откаточными штреками (рис. 1), поддерживаемыми ленточными над- и подштрековыми целиками шириной 3–10 м каждый. Ширина панелей по падению рудных залежей в прежние годы составляла 40–70 м, в последние годы — 120–150 м, до 300 м.

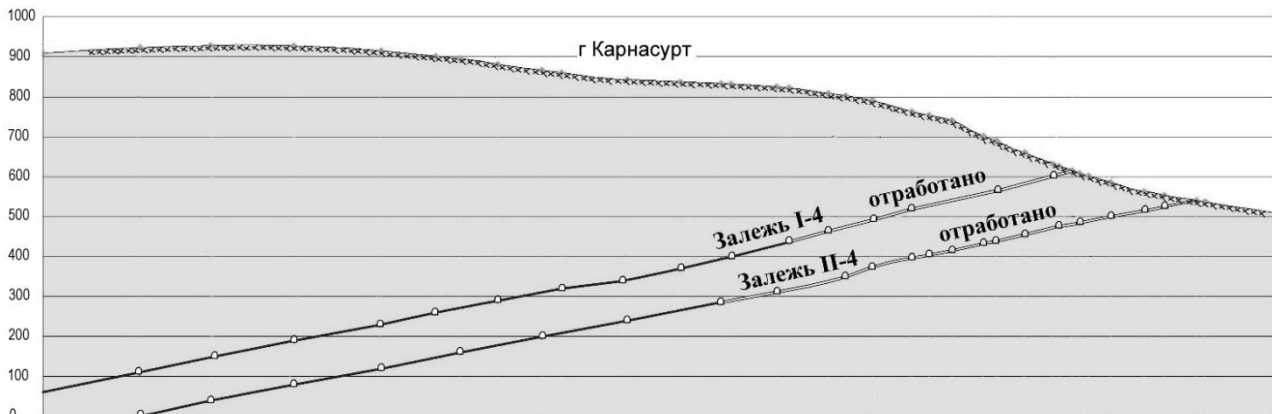


Рис. 1. Схематический вертикальный поперечный разрез рудника «Карнасурт»

Fig. 1. Schematic vertical cross section of the Karnasurt mine

Панели в направлении простирания рудных залежей разделяются на очистные блоки, шириной 60–120 м, до 240 м, ограждаемые в направлении простирания залежей опорными ленточными междублоковыми целиками шириной 3–10 м. Внутри очистных выработок их кровля поддерживается податливыми внутриблоковыми целиками (размеры 1–2×3–4 м), оставляемыми через 6–15 м; длинная сторона внутриблоковых целиков ориентирована параллельно линии подвигания очистных забоев. Отбойка руды в очистных забоях ведется мелкошпуровыми зарядами.

Высокие прочностные свойства вмещающих пород, благоприятное направление в массиве тектонических напряжений, малая выемочная мощность (щелеобразность) очистных выработок (соотношение размеров ширины (ℓ) к высоте (h) — $\ell/h = 60:1$ и более) способствуют повышенной устойчивости кровли очистных выработок. В натуральных условиях рудника установлено, что незакрепленные пролеты кровли очистных выработок шириной 60–70 м (при высоте 1,0–1,2 м), являются устойчивыми на глубине от поверхности 300–400 м и более. Повышенная устойчивость кровли очистных выработок, отсутствие возможностей механизированной установки крепи при малой высоте очистного пространства (1 м), мелкошпуровая отбойка руды в очистных забоях с огневым взрыванием шпуров позволяли в прежние годы крепить очистное пространство рядами кустовой крепи с расстоянием между рядами кустов 6–12 м, другим предназначением которой было ограждение разлета руды от забоев после взрывов. Однако в 1990-х гг., при переходе очистной отбойки руды на электровзрывание, взрывные нагрузки на кустовую крепь возросли, и ее стало выбивать, что нарушало технологию очистной выемки руд [2].

Горным институтом КНЦ АН СССР совместно с Ловозерским ГОКом было разработано инновационное решение: заменить кустовую деревянную крепь внутриблоковыми целиками небольших размеров, которые, кроме того, ограничивали бы разлет руды от забоев [2]. Поскольку Ловозерское месторождение с глубины 400 м от поверхности отнесено Ростехнадзором к склонным и опасным по горным ударам [3], а целики, особенно изолированные внутриблоковые, являются особо опасными элементами по этому фактору, при оформлении внутриблоковых целиков необходимо было предусмотреть профилактические меры по безопасности их от горных

ударов. Такие меры в виде создания строчек шпуров во внутриблоковых целиках, обеспечивающих искусственную податливость целиков в вертикальном направлении, были разработаны [4] и повсеместно применяются (рис. 2). Практика показала эффективность мер по приданию искусственной податливости внутриблоковым целикам: за все время их применения (десятки лет) горных ударов во внутриблоковых целиках не зафиксировано. В результате длительных опытно-промышленных испытаний и промышленной отработки были оптимизированы размеры податливых внутриблоковых целиков — 1–2×2–4 м на стадии их оформления методом недозаряжания устьевых участков шпуров [4].

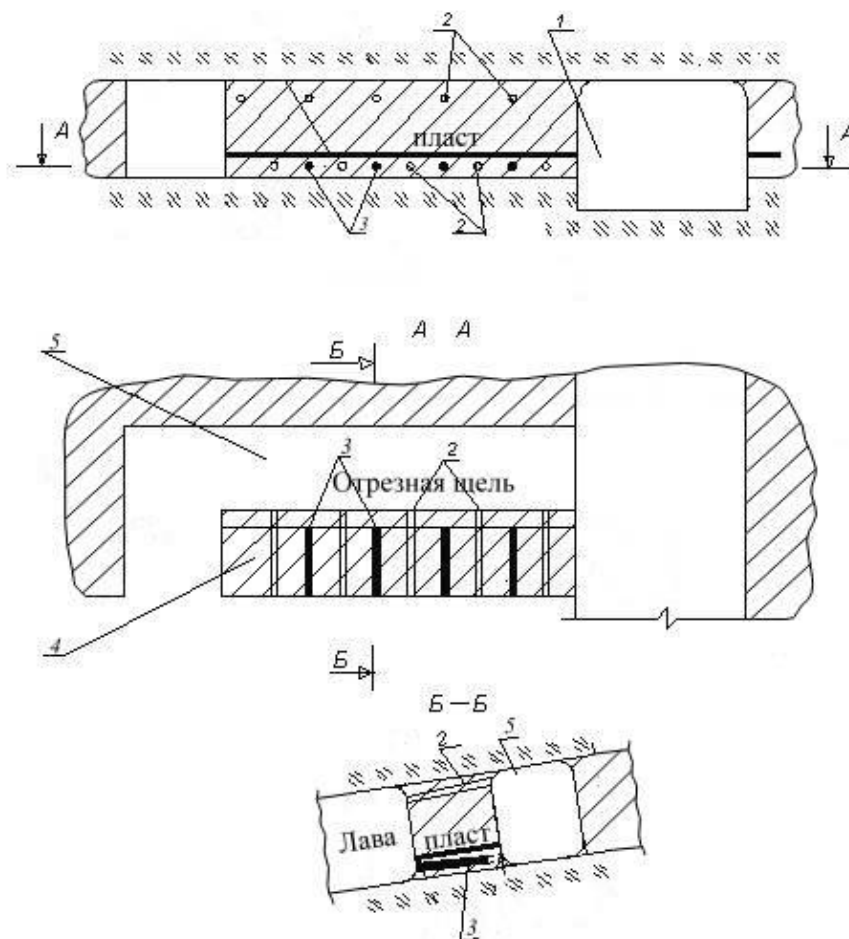


Рис. 2. Паспорт на оформление внутриблокового целика:

- 1 — аккумулирующий блоковый восстающий; 2 — недозаряжаемые части шпуров;
3 — шпур для камуфлетного взрывания; 4 — внутриблоковый целик; 5 — отрезная щель, пройденная методом недозаряжания шпуров

Fig. 2. Registration passport for intrablock pillar: 1 — accumulating block raise; 2 — incompletely chargeable parts of the boreholes; 3 — boreholes for camouflet blasting; 4 — intrablock pillar; 5 — cutting slot passed by the method of incomplete charging of boreholes

Другое инновационное решение было предпринято при расчете сетки расположения внутриблоковых целиков. При поддержании кровли очистных выработок кустовой крепью и на первых стадиях применения внутриблоковых целиков расстояние между опорами (кустами крепи или внутриблоковыми целиками) рассчитывалось по формуле ВНИМИ [5]:

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{8\sigma_{изг}mk_c}{3\gamma(1+k_{пр})k_3}}, \quad (1)$$

где α_k — расстояние между опорами крепи, м; $\sigma_{изг}$ — прочность пород кровли на изгиб, т/м²; m — мощность непосредственной кровли, м; γ — плотность пород, т/м³; k_c — коэффициент структурного ослабления массива; $k_{пр}$ — коэффициент пригрузки; k_3 — коэффициент запаса прочности.

Способы определения аргументов, входящих в формулу (1), приведены в работе [2]. Формула (1), как нетрудно видеть, представляет собой формулу В. Д. Слесарева для второго предельного устойчивого пролета балки на двух опорах, в которую ВНИМИ добавлен коэффициент пригрузки и коэффициент запаса прочности [6]. Поскольку В. Д. Слесаревым эта формула выводилась для условий угольных месторождений, то очевидно, что в условиях рудных месторождений как сама формула, так и введенные дополнительные коэффициенты здесь мало пригодны. Основным недостатком формулы (1) заключается в том, что в ней не учитываются горизонтальные тектонические напряжения в массиве, превосходящие гравитационные, которые, в частности, действуют в массиве Ловозерского месторождения. В горнотехнической литературе отсутствовали методические разработки, учитывающие влияние горизонтальных тектонических напряжений на устойчивость кровли очистных выработок рудных месторождений. Поскольку внутриблоковые целики в рассматриваемых условиях играют роль крепи для поддержания кровли очистных выработок, в Горном институте КНЦ РАН для расчета сетки расположения целиков был использован методический подход, примененный И. В. Баклашовым, О. В. Тимофеевым для расчетов штанговой крепи, в котором непосредственная кровля рассматривается как тонкая плита, отслаивающаяся от основной кровли [7]. Отслаивающаяся плита рассматривается в вертикальном плоском сечении как трехшарнирная балка, нагруженная собственным весом и горизонтальными тектоническими силами, для обрушения которой необходимо преодолеть сопротивление пород в шарнирах.

В Горном институте КНЦ РАН разработана методика расчета сетки расположения внутриблоковых целиков [8]. Схема к расчету устойчивого пролета кровли между внутриблоковыми целиками приведена на рис. 3.

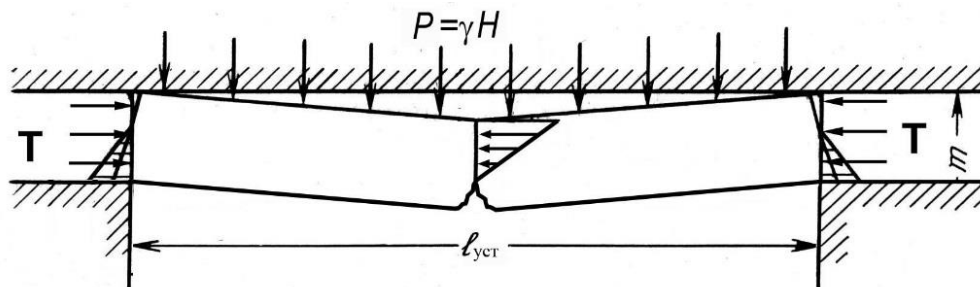


Рис. 3. Схема к расчету устойчивого пролета кровли между внутриблоковыми целиками

Fig. 3. Scheme to calculate the stable span of the roof between intrablock pillars

Расчет устойчивого пролета кровли между целиками осуществляется по формуле

$$\ell_{уст} = 1,22m \sqrt{\frac{\sigma_c k_c - \lambda \gamma H}{\gamma m k_c}}, \quad (2)$$

где $\ell_{уст}$ — устойчивый пролет кровли между внутриблоковыми целиками, м; λ — отношение горизонтальных напряжений к вертикальным на данной глубине; H — глубина горной выработки до поверхности, м. Остальные обозначения — прежние.

Основное достоинство разработанной методики заключается в том, что она позволяет учитывать горизонтальные тектонические напряжения, действующие в кровле, вместе с силами гравитации, чего в других методиках не предусмотрено. При этом, как видно из формулы (2), величина устойчивого пролета кровли между целиками увеличивается при увеличении горизонтальных тектонических сил, что вполне объяснимо, так как с ростом бокового давления увеличиваются усилия, поддерживающие кровлю в устойчивом состоянии.

Ловозерское месторождение является удароопасным. На руднике «Карнасурт» к склонным и опасным по горным ударам относятся участки шахтного поля с глубины 400 м от поверхности [3]. К текущему моменту максимальная глубина горных работ до поверхности достигла 600 м, а в дальнейшем в пределах горного отвода рудника она должна достигнуть 900 м. Естественно, что большая часть горных работ рудника будет проводиться в условиях опасности по горным ударам. Наиболее удароопасными элементами применяемой системы разработки, как указывалось, являются целики. Для внутриблоковых целиков разработаны меры профилактики горных ударов, описанные выше, однако удароопасны также и опорные ленточные околоштрековые и междублоковые целики.

Наиболее ответственными выработками на руднике являются откаточные штреки, которые проходятся по рудному телу и по которым производится транспортировка руды, передвигаются люди, осуществляется проветривание очистных и подготовительных выработок. По восстанию и падению залежей штреки ограждаются ленточными целиками шириной 3–10 м. Над- и подштрековые целики являются основными опорными элементами, на которых держится вес покрывающих пород. Ввиду ответственного назначения выработок, стенки и кровля штреков должны быть ограждены от опасности горных ударов, то есть уровень напряжений в них не должен превышать прочности пород. В работе [3] для приведения участков выработок в неудароопасное состояние предлагается создавать защитные зоны в боках выработок в виде щелей, полостей, разгрузочных скважин и другими способами в направлении, перпендикулярном направлению действия максимальных напряжений. Способ профилактики горных ударов в околоштрековых целиках для условий рудника «Карнасурт» с помощью создания разгрузочных щелей в боках выработок для глубоких горизонтов рудника предложен и обоснован Горным институтом КНЦ РАН.

С использованием методов численного математического моделирования в плоской (двухмерной) постановке, имитирующей вертикальный поперечный разрез рудника, решена задача (методом конечных элементов) распределения напряжений вокруг откаточного штрека, расположенного на глубине более 400 м от поверхности, с над- и подштрековым целиками, ослабленными щелями, сооруженными в боках выработки. Схема расположения разгрузочных щелей в околоштрековых целиках, которая моделировалась, представлена на рис. 4.

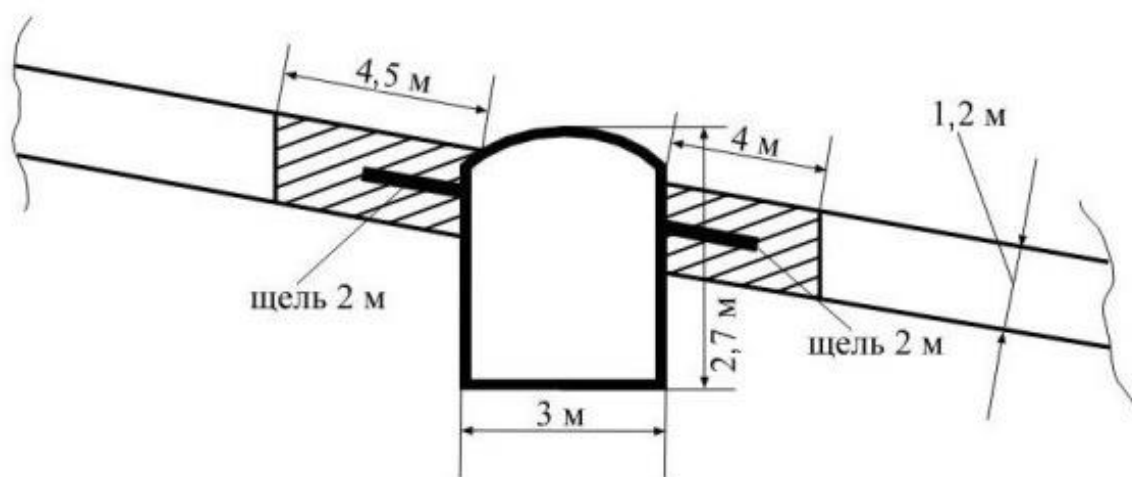


Рис. 4. Расположение разгрузочных щелей в околоштрековых целиках

Fig. 4. The location of the discharge slots in the near-drift pillars

Рассчитана ширина и удельная несущая способность над- и подштрекового целиков со щелями и без щелей. Результаты расчетов удельной несущей способности целиков для глубины свыше 400 м от поверхности представлены в таблице [9].

Ширина (d) и удельная несущая способность (R) ленточных целиков с разгрузочными щелями и без щелей для глубин отработки свыше 400 м от поверхности
 Width (d) and specific bearing capacity (R) of rib pillars with and without discharge slots for working depths above 400 m from the surface

Параметры Parameters	Глубина H , м Depth H , m										
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Надштрековые целики Above-drift pillars											
$d_{\text{ц}}^{\text{н}}$, м	4,5	5	5,3	5,7	6	6,3	6,5	7	7,2	7,5	7,7
$d_{\text{щц}}^{\text{н}}$, м	2,5	3	3,3	3,7	4	4,3	4,5	5	5,2	5,5	5,7
$k_{\text{ф}}$	1,4	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2
$R_{\text{щц}}^{\text{н}}$, тыс. т/м ²	57,7	76,8	89,76	106,56	115,2	130,72	136,8	160	174,72	184,8	200,64
$R_{\text{ц}}^{\text{н}}$, тыс. т/м ²	72	80	84,8	91,2	96	100,8	104	112	115,2	120	123,2
Подштрековые целики Under-drift pillars											
$d_{\text{ц}}^{\text{п}}$, м	4,0	4,5	4,7	5,3	5,5	5,7	6,0	6,5	6,8	7,0	7,3
$d_{\text{щц}}^{\text{п}}$, м	2,0	2,5	2,7	3,3	3,5	3,7	4,0	4,5	4,8	5,0	5,3
$k_{\text{ф}}$	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	2,2
$R_{\text{щц}}^{\text{п}}$, тыс. т/м ²	41,6	56	64,8	89,76	95,2	106,56	115,2	136,8	153,6	160	186,56
$R_{\text{ц}}^{\text{п}}$, тыс. т/м ²	64	72	75,2	84,8	88	91,2	96	104	108,8	112	116,8

Примечание. Ширина надштрековых $d_{\text{щц}}^{\text{н}}$, $d_{\text{ц}}^{\text{н}}$ и подштрековых $d_{\text{щц}}^{\text{п}}$ и $d_{\text{ц}}^{\text{п}}$ ленточных целиков с разгрузочными щелями и без щелей соответственно; удельная несущая способность надштрековых $R_{\text{щц}}^{\text{н}}$, $R_{\text{ц}}^{\text{н}}$ и подштрековых $R_{\text{щц}}^{\text{п}}$, $R_{\text{ц}}^{\text{п}}$ ленточных целиков с разгрузочными щелями и без щелей соответственно.

Note. Width of above-drift ($d_{\text{щц}}^{\text{н}}$, $d_{\text{ц}}^{\text{н}}$) and under-drift ($d_{\text{щц}}^{\text{п}}$, $d_{\text{ц}}^{\text{п}}$) rib pillars with and without discharge slots correspondingly; specific bearing capacity of above-drift ($R_{\text{щц}}^{\text{н}}$, $R_{\text{ц}}^{\text{н}}$) and under-drift ($R_{\text{щц}}^{\text{п}}$, $R_{\text{ц}}^{\text{п}}$) rib pillars with and without discharge slots correspondingly.

В соответствии с расчетным принципом Турнера — Шевякова, с глубиной растет ширина (площадь) поддерживающих целиков. Как видно из таблицы, с глубиной увеличивается необходимая для поддержания покрывающих пород ширина околотрековых целиков, как со щелями, так и неослабленными щелями. Однако ширина целиков со щелями с глубины 500–550 м, как это видно из таблицы, имеет меньшую величину, чем ширина целиков без щелей. Это обстоятельство, кажущееся на первый взгляд парадоксальным, обусловлено существующими методами оценки прочности низких рудных целиков (соотношение ширины d к высоте h которых $d/h > 1$) с помощью коэффициента формы $k_{\text{ф}}$, рассчитываемого по формуле Церна [6].

В настоящее время отсутствуют методы оценки прочности целиков неправильной формы, в частности, тех целиков, у которых стороны неодинаковы. Эта задача требует дальнейших исследований. Расчет по существующим методикам дают представленные в таблице результаты.

Выводы

1. Для условий Ловозерского месторождения разработано несколько инновационных решений в области управления горным давлением.

2. Разработано и внедрено решение о замене деревянной крепи в очистных выработках небольшими податливыми внутриблоковыми целиками, которые одновременно выполняют роль крепи для поддержания непосредственной кровли выработок и служат препятствием разлету руды при взрывании очистных забоев.

3. Разработана методика расчета сетки расположения внутриблоковых целиков в очистных выработках с учетом действия в массиве горизонтальных тектонических напряжений.

4. Для нижних горизонтов рудника в условиях опасности горных ударов разработаны предложения о профилактике горных ударов в околоштрековых целиках с помощью близгоризонтальных разгрузочных щелей в боках выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила технической эксплуатации рудников, приисков и шахт, разрабатывающих месторождения цветных, редких и драгоценных металлов. М.: Недра, 1980. 109 с. 2. Выбор современной технологии очистной выемки тонких пологих рудных залежей на основе учета геомеханических факторов / И. И. Бессонов [др.] // Горн. журн. 1990. № 3. С. 23–26. 3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (утв. приказом Федер. службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 02.12.2013, № 576). 4. Ловчиков А. В., Наливайко А. С. Применение податливых внутриблоковых целиков в очистных выработках на руднике «Карнасурт» // Горн. журн. 2002. № 1. С. 37–39. 5. Выемка целиков на отработанных рудных месторождениях / М. Ж. Битимбаев [и др.]. М.: Недра, 1993. 240 с. 6. Галаев Н. З. Управление состоянием массива горных пород при подземной разработке рудных месторождений: учебник для вузов. М.: Недра, 1990. 176 с. 7. Баклашов И. В., Тимофеев О. В. Конструкция крепей и обделок. М.: Недра, 1979. 263 с. 8. Ловчиков А. В. О расчетах устойчивости камерных выработок при гравитационном и гравитационно-тектоническом напряженном состоянии массива // Геодинамика и напряженное состояние Земли: XX Всерос. конф. с участием иностранных ученых. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2013. С. 281–285. 9. Ловчиков А. В., Земцовский А. В. Профилактика горных ударов в низких рудных целиках с помощью разгрузочных щелей (для условий Ловозерского редкометалльного месторождения) // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22, № 1. С. 158–166.

Сведения об авторе

Ловчиков Александр Васильевич — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Горного института КНЦ РАН
E-mail: vocson@goi.kolasc.net.ru

Author Affiliation

Aleksandr V. Lovchikov — Dr. Sci. (Engineering), leading researcher, Mining Institute KSC RAS
E-mail: vocson@goi.kolasc.net.ru

Библиографическое описание статьи

Ловчиков, А. В. Инновационные решения по управлению горным давлением при отработке Ловозерского редкометалльного месторождения // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (11). — С. 50–56.

Reference

Lovchikov Alexander V. Development of the Lovozero Rare-Metal Deposit: Innovative Solutions for Rock Pressure Management. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 1 (11), pp. 50–56. (In Russ.).

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ПОРОД ЖДАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДОМ РАЗГРУЗКИ (ТОРЦЕВОЙ ВАРИАНТ)

Д. Н. Мельников

ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

Аннотация

Ждановское месторождение медно-никелевых руд относится к Печенгскому рудному полю, находится на северо-западе Мурманской обл. и отрабатывается подземным рудником «Северный». В настоящее время при отработке запасов месторождения наблюдается ухудшение геологических и горнотехнических условий, поэтому детальное изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива является актуальной задачей для обеспечения эффективности и безопасности горных работ. Ранее различными исследователями выполнялись работы по определению действующих в массиве напряжений, однако были получены противоречивые данные. Одни исследователи утверждают, что в массиве преобладает вертикальная (гравитационная) составляющая тензора напряжений, другие — говорят о наличии в массиве тектонических напряжений, которые значительно превышают гравитационную составляющую. С 2016 г. на Ждановском месторождении силами Горного института КНЦ РАН выполняются инструментальные исследования НДС массива горных работ. Один из методов, который использовался при исследовании, — это измерение напряжений методом разгрузки в торцевом варианте. Данный метод, позволяющий определить значение и направление действия напряжений, хорошо себя зарекомендовал, давно и широко используется у нас и за рубежом. В результате измерений были получены параметры поля напряжений, действующих в массиве Ждановского месторождения, то есть были определены значения всех трех главных компонент тензора напряжений и направление их векторов. Установлено, что максимальные показатели напряжения превышают значения гравитационной составляющей и действуют субгоризонтально. Данный факт свидетельствует о наличии в массиве тектонических напряжений, что характеризует тип поля напряжений как гравитационно-тектонический. На следующем этапе исследований планируется разработка объемной численной геомеханической модели Ждановского месторождения, в которой полученные данные о действующих в массиве напряжений будут использованы при задании граничных условий.

Ключевые слова:

Ждановское месторождение, измерения напряжений, метод разгрузки в торцевом варианте, напряженно-деформированное состояние, гравитационно-тектонический тип поля напряжений.

STRESS MEASUREMENTS IN ROCK MASS OF THE ZHDANOVSKOE DEPOSIT BY THE DOORSTOPPER METHOD

Dmitriy N. Melnikov

Mining Institute of KSC RAS

Abstract

Zhdanovsky deposit of copper-nickel ores refers to the Pechenga ore field. It is in the north-west of the Murmansk region and mined by the underground mine “Severnyi”. At present, the deposit development causes the deterioration of geological and mining conditions, therefore the detailed study of rock mass stress-strain state is actual task to ensure the efficiency and safety of mining operations. A number of researchers have previously defined the rock mass stresses, however, conflicting data have been obtained. Some researchers showed that the vertical (gravitational) component of the stress tensor prevails in the rock mass. Other researchers say about the presence of tectonic stresses in the rock mass, which significantly exceed the gravitational component. Since 2016, the Mining Institute of KSC RAS has been carrying out the instrumental studies of rock stress state at the Zhdanovskoye deposit. One of the methods that was used

in the study is doorstopper method. This method allows obtaining the value and direction of stresses. It is well-proven, long and widely used in our country and abroad. As a result of the measurement, the parameters of the stress field acting in the Zhdanovskoye deposit were obtained, namely, the values of all three main components of the stress tensor and the direction of their vectors were determined. It was established that the maximum stress exceeds the value of the gravitational component and acts subhorizontally. This fact indicates the presence of tectonic stresses in the rock mass, so the type of stress field is gravitational-tectonic. At the next stage of our research we are planning to develop a 3D numerical geomechanical model of the Zhdanovskoye deposit, in which the obtained data on the rock mass stresses will be used for setting the boundary conditions.

Keywords:

Zhdanovskoye deposit, stress measurements, doorstopper method, stress-strain state, gravitational-tectonic type of stress field.



Введение

Ждановское месторождение медно-никелевых руд располагается в северо-западной части Кольского п-ова и разрабатывается рудником «Северный», входящим в состав АО «Кольская ГМК». В геологическом отношении оно представлено несколькими рудными телами, имеющими пластообразную форму. Средняя мощность рудных тел — 23 м, средний угол падения — 40°. Руда с повышенным содержанием полезного компонента приурочена к лежащему боку, где богатые эпигенетические руды граничат с вмещающими туфогенно-осадочными породами. Руда и вмещающие породы разбиты дизъюнктивными нарушениями и межпластовыми тектоническими зонами.

На месторождении осуществлен переход от открытого способа разработки месторождения к подземному. При этом увеличение интенсивности эксплуатации месторождения и значительное понижение подземных горных работ приводит к ухудшению геологических и горнотехнических условий отработки запасов рудных тел. Таким образом, задача исследования НДС массива месторождения с целью обеспечения безопасности и эффективности горных работ является актуальной и важной.

На месторождении осуществлен переход от открытого способа разработки месторождения к подземному. При этом увеличение интенсивности эксплуатации месторождения и значительное понижение подземных горных работ приводит к ухудшению геологических и горнотехнических условий отработки запасов рудных тел. Таким образом, задача исследования НДС массива месторождения с целью обеспечения безопасности и эффективности горных работ является актуальной и важной.

Ранее исследователями выполнялись работы по определению напряжений в массиве Ждановского месторождения. Применялся ультразвуковой метод [1] и метод щелевой разгрузки [2]. В результате ультразвуковых исследований был сделан вывод о преобладании в массиве вертикальных напряжений, соответствующих гравитационной составляющей. Измерения напряжений методом щелевой разгрузки [2] свидетельствуют о наличии горизонтальной составляющей тензора напряжений, превышающей вертикальную. В 2016 г. сотрудниками Горного института были выполнены исследования состояния массива различными методами [3], в результате которых была высказано предположение о преобладании в массиве горизонтальных напряжений.

В статье представлены результаты определения напряжений методом разгрузки, полученные в 2017 г.

Методика измерений

При измерениях напряжений, действующих в массиве, применялся метод разгрузки в торцевом варианте. В основе метода лежат измерения упругих деформаций восстановления при отделении породы от массива и разгрузке от действовавших на нее напряжений. По измеренным деформациям, зная модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν , можно вычислить действовавшие в массиве напряжения, используя математический аппарат теории упругости. В работах Е. Р. Лимана [Leeman] методика измерений изложена более подробно [4–6]. Данный метод хорошо себя зарекомендовал за десятилетия его применения и широко используется при измерениях напряжений в массиве [7–11].

Измерения проводились на трех станциях — на горизонтах –440, –680, –780 м. Выбранные места были удалены от влияния фронтов горных работ и каких-либо крупных геологических нарушений, которые могли бы привести к искажениям в результатах измерений природных напряжений.

Результаты и обсуждение

Исследования состояния массива горных пород Ждановского месторождения проводились в 2016–2017 гг. на глубоких горизонтах. Расположение измерительных станций было выбрано таким образом, чтобы они были удалены от влияния фронтов подземных горных работ и каких-либо крупных геологических нарушений, которые могли бы привести к искажениям в результатах измерений природных напряжений. Первая станция располагалась на гор. –440 м рудника «Северный» в погрузочно-разгрузочной камере транспортного штрека в миндалекаменных мелкозернистых диабазах. Первоначально была пробурена вертикальная скважина 01-зп, в которой были определены относительные значения главных напряжений, а также азимут их направлений. В данном случае замеры показали, что азимут вектора максимальных напряжений составил 124° . Для определения остальных компонент тензора напряжений горизонтальная скважина 02-зп была пробурена перпендикулярно направлению действия максимальных напряжений σ_{\max} , т. е. азимут скважины составил 215° . Затем в результате аналогичных измерений методом разгрузки по скважине 02-зп были получены остальные значения главных напряжений и данные о их направлениях относительно горизонтали. После отбора керна и его дальнейшего испытания в лабораторных условиях были определены модуль Юнга и коэффициент Пуассона и рассчитаны значения главных напряжений по данной станции. Значение минимальных напряжений σ_{\min} составило 6 МПа, максимальных σ_{\max} — 43 МПа, при этом угол наклона вектора σ_{\max} составил 23° относительно линии горизонта, что свидетельствует о преобладании субгоризонтальных напряжений в массиве Ждановского месторождения.

Вторая станция на гор. –780 м станция была заложена в погрузочно-разгрузочной камере автоуклона в массивных среднезернистых диабазах. В результате натурных измерений, последующей обработки керна и расчетов по данной станции были получены следующие данные: азимут вектора максимальных напряжений составил 149° , азимут вектора минимальных напряжений — 60° , σ_{\max} — 57 МПа, σ_{\min} — 4 МПа. Угол наклона вектора σ_{\max} равен 27° к горизонту.

Необходимо отметить, что в начале бурения вертикальной скважины отмечались признаки дискования керна (рис. 1), что свидетельствует о наличии высоких горизонтальных сжимающих напряжений и косвенным образом подтверждает результаты измерений.



Рис. 1. Керна, полученный при бурении вертикальной скважины

Fig. 1. Core sample obtained by drilling a vertical borehole

Третья станция располагалась на гор. –680 м рудника «Северный» в погрузочно-разгрузочной камере автоуклона в миндалекаменных и массивных диабазах с прослоями шаровой лавы. Аналогичный первым двум станциям комплекс работ дал следующие результаты: азимут вектора максимальных напряжений составил 125° , азимут вектора минимальных

напряжений — 35° , σ_{\max} — 54 МПа, σ_{\min} — 9 МПа. Угол вектора главных максимальных напряжений к линии горизонта составил 16° , что также подтверждает преобладание горизонтальных напряжений в массиве. Полные данные приведены в сводной таблице.

Результаты измерения напряжений на Ждановском месторождении
The results of stress measurements at the Zhdanovskoe deposit

Глубина, м Depth, m	Максимальная компонента главных напряжений σ_{\max} Maximum principal stresses σ_{\max}			Минимальная компонента главных напряжений σ_{\min} Minimum principal stresses σ_{\max}		
	Значение, МПа Value, MPa	Азимут, град. Azimuth, degrees	Угол наклона к горизонту, град. Angle of inclination to the horizon, degrees	Значение, МПа Value, MPa	Азимут, град. Azimuth, degrees	Угол наклона к горизонту, град. Angle of inclination to the horizon, degrees
740	43	123	23	6	33	67
970	54	125	16	9	35	74
1080	57	149	27	4	60	63

На рис. 2 представлен график изменения максимальных напряжений с глубиной. Сплошной линией показано изменение σ_{\max} , полученных при измерениях методом разгрузки, пунктирной — гравитационная составляющая поля напряжений.



Рис. 2. Зависимость максимальных напряжений σ_{\max} от глубины

Fig. 2. Dependence of σ_{\max} on depth

Как видно из графика (рис. 2), значения максимальных напряжений растут с глубиной, при этом максимальные напряжения, действующие в массиве, превышают гравитационную составляющую примерно в 2 раза. Данный факт дает основание утверждать, что в массиве действуют тектонические напряжения, а тип поля напряжений относится к гравитационно-тектоническому типу.

Закключение

По результатам измерений напряжений методом разгрузки на трех замерных станциях можно утверждать, что в массиве пород Ждановского месторождения действуют высокие субгоризонтальные напряжения, значения которых существенно превышают вертикальную гравитационную составляющую и увеличиваются с глубиной в диапазоне отметок проведения

измерений (рис. 2). При этом азимут максимальных напряжений колеблется от 123° до 149°. Полученные данные измерений хорошо согласуются с данными визуального обследования, которые показали, что в большей степени разрушаются выработки штрекового направления, при этом основные разрушения контура локализируются в кровле штреков. С большой вероятностью напряженное состояние Ждановского месторождения можно отнести к гравитационно-тектоническому типу, что будет являться определяющим геомеханическим фактором и должно учитываться при проектировании и ведении горных работ. Для подтверждения сделанного предположения о наличии в массиве тектонических напряжений и уточнения их зависимости от глубины необходимо продолжить измерения на других участках и высотных отметках Ждановского месторождения.

На следующем этапе исследований планируется создание объемной численной геомеханической модели Ждановского месторождения, при этом полученные результаты измерений будут использоваться в качестве граничных условий.

Благодарности

Автор считает своим долгом выразить благодарность за помощь в подготовке статьи и ценные советы д. т. н., проф. А. А. Козыреву, к. т. н., старшему научному сотруднику А. В. Земцовскому, ведущим технологам И. В. Данилову и М. И. Потокину, а также главному маркшейдеру АО «Кольская ГМК» С. В. Временкову за помощь в организации измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ловчиков А. В., Удалов А. Е., Белявский Ю. Г. Напряженное состояние пород в верхних слоях земной коры по данным натуральных измерений в рудниках вблизи скважины СГ-3 // Вестник МГТУ. 2007. Т 10, № 2. С. 267–272. 2. Геомеханическая оценка состояния массива при ведении горных работ на Ждановском месторождении подземным способом / В. А. Еременко [и др.] // Горн. информ.-аналит. бюл. 2010. № 11. С. 271–282. 3. Козырев А. А., Семенова И. Э., Земцовский А. В. Об оценке удароопасности массива горных пород Ждановского месторождения // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. Апатиты, 2017. № 14. С. 300–303. 4. Leeman E. R. The measurement of stress in rock: a review of recent developments (and a bibliography) // Proc. Int. Symp. on the Determination of Stresses in Rock Masses, Lab. Nac. de Eng. Civil. Lisbon. 1971. P. 200–229. 5. Leeman E. R., Hayes D. J. A technique for determining the complete state of stress in rock using a single borehole // Proc. 1st Congo Int. Soc. Rock Mech. (ISRM). Lisbon, Lab. Nac. de Eng. Civil. Lisbon. 1966. Vol. II. P. 17–24. 6. Leeman E. R. The 'Doorstopper' and triaxial rock stress measuring instruments developed by the C.S.I.R. // J. South African Institute of Mining and Metallurgy. 1969. February. P. 305–339. 7. Kozыrev A. A., Semenova I. E., Zemtsovskiy A. V. Investigation of Geomechanical Features of the Rock Mass in Mining of Two Contiguous Deposits under Tectonic Stresses // Procedia Engineering. 2017. Vol. 191. P. 324–331. 8. Stress measurements in soft rocks / R. Corthésy [et al.] // Engineering Geology. 2003. Vol. 69, Iss. 3–4. P. 381–397. 9. Guo R., Thompson P. Influences of changes in mechanical properties of an overcored sample on the far-field stress calculation // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2004. Vol. 41, Iss. 7. P.1153–1166. 10. Рыбин В. В., Козырев А. А., Данилов И. В. Определение параметров напряженного состояния приконтурного массива пород на карьерах Кольского полуострова // Горн. информ.-аналит. бюл. 2009. № 10. С. 402–405. 11. Экспериментальные определения параметров напряженного состояния прибортового массива пород карьера «Восточный» Олимпиадинского золоторудного месторождения / А. А. Козырев [и др.] // Проблемы недропользования. 2018. № 3 (18). С. 61–69.

Сведения об авторе

Мельников Дмитрий Николаевич — младший научный сотрудник Горного института КНЦ РАН
E-mail: hibini-trans@mail.ru

Author Affiliation

Dmitriy N. Melnikov — Junior Researcher of the Mining Institute of KSC RAS
E-mail: hibini-trans@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Мельников, Д. Н. Измерение напряжений в массиве пород Ждановского месторождения методом разгрузки (торцевой вариант) / Д. Н. Мельников // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (11). — С. 57–61.

Reference

Melnikov Dmitriy N. Stress Measurements in Rock Mass of the Zhdanovskoe Deposit by the Doorstopper Method. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 1 (11), pp. 57–61. (In Russ.).

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД УДАРООПАСНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ОЛЕНИЙ РУЧЕЙ» ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ

А. А. Самсонов

ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

Аннотация

Представлены результаты исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород месторождения «Олений ручей». Апатит-нефелиновое месторождение «Олений ручей» располагается на северо-востоке Хибинского массива, в центре Мурманской обл. Его запасы обрабатываются карьером и подземным рудником. Подземные горные работы ведутся в сложных геологических и горнотехнических условиях. Кроме того, месторождение отнесено к склонным и опасным по горным ударам. Данные факты свидетельствуют о необходимости детального изучения состояния массива горных пород месторождения «Олений ручей». В 1980-х гг. проводилась оценка действующих напряжений в массиве месторождения по данным геологического бурения, по результатам которого было установлено, что там действуют горизонтальные напряжения и они значительно превышают гравитационную составляющую. Это свидетельствует о наличии в массиве тектонических напряжений. С 2012 по 2018 гг. сотрудниками Горного института КНЦ РАН проводились измерения напряжений в горных выработках подземного рудника для получения более детальной информации о параметрах действующих полей напряжений. Для исследований применялся метод разгрузки в торцевом варианте, который хорошо себя зарекомендовал и применяется как у нас, так и за рубежом. По итогам измерений были определены значения и векторы главных компонент тензора напряжений на различных глубинах и участках месторождения «Олений ручей». Установлено, что в массиве преобладают горизонтальные напряжения, значения которых превышают гравитационную составляющую напряжений. Данный факт подтверждает высказанное ранее предположение о наличии в массиве тектонических напряжений. Полученные данные применялись для создания численной геомеханической модели, которая позволила обосновать безопасный и эффективный способ подземной отработки запасов месторождения.

Ключевые слова:

месторождение «Олений ручей», измерение напряжений, метод разгрузки в торцевом варианте, тектонические напряжения, напряженно-деформированное состояние.

ASSESSMENT OF ROCK MASS STATE OF OLENIY RUCHEY ROCK BURST DEPOSIT BASED ON THE RESULTS OF STRESS MEASUREMENTS

Alexander A. Samsonov

Mining Institute of KSC RAS

Abstract

The paper presents the results of the rock mass stress-strain state study of the Oleniy Ruchey deposit. Apatite-nepheline deposit Oleniy Ruchey is located in the northeast of the Khibiny massif, in the center of Murmansk region. The deposit reserves are mined by an open-pit and an underground mine. Underground mining is carried out in difficult geological and mining conditions. In addition, the deposit is classified as prone and hazardous to rock bursts. These facts indicate the need for a detailed rock mass state study. In the 1980s, the assessment of the acting stresses in the rock mass was carried out according to geological drilling. It was found that horizontal stresses acts on the deposit. The stresses significantly exceed the gravitational component, and this indicates the presence of tectonic stresses in the rock mass. From 2012 to 2018, the researchers of the Mining Institute of KSC RAS were carrying out the stress measurements in the underground mine excavations in order to obtain more detailed information about the parameters of the acting stress fields. Doorstopper method was applied. This method is well established and used both in our country and abroad. So the values and directions of the principal stress were determined on different depths and areas of Oleniy Ruchey deposit.

It was established that the horizontal stresses prevail in the rock mass, the values of which exceed the gravitational component of the stresses. This fact confirms the previously stated assumption about the presence of tectonic stresses in the rock mass. The obtained data were used to create a numerical geomechanical model, which allowed justifying a safe and effective method of underground mining of the deposit reserves.

Keywords:

Oleniy Ruchey deposit, stress measurements, doorstopper method, tectonic stresses, stress-strain state.

**Введение**

Месторождение «Олений ручей» имеет сложное многоярусное строение, обусловленное чередованием в разрезе пластообразных тел апатит-нефелиновых руд, трахитоидных уртитов, ийолитов, мельтейгитов, массивных уртитов и ювитов, нефелиновых сиенитов. Рудные залежи представляют собой самостоятельные тела пластообразной формы, которые располагаются в двух рудных ярусах — верхнем (мощностью 200 м) и нижнем (мощностью 50–330 м) и разделяются безрудной толщей мощностью 200–300 м. Вмещающие породы месторождений, а в большинстве своем и руды, являются хрупкими и крепкими с коэффициентом хрупкости больше 10. Основные физико-механические и прочностные свойства пород месторождений представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Физико-механические и прочностные свойства пород
Physical-mechanical and strength properties of rocks

Параметры Parameter	Вмещающие породы Enclosing rocks	Апатит-нефелиновые руды Apatite-nepheline ores
Прочность при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа Compressive strength $\sigma_{сж}$, МПа		
пределы вариации / limits of variation	80–340	60–120
среднее значение / average value	210	95
Прочность при растяжении σ_p , МПа Compressive strength $\sigma_{сж}$, МПа		
пределы вариации / limits of variation	8–37	5–8
среднее значение / average value	19	5
Коэффициент хрупкости $\sigma_{сж}/\sigma_p$ Fragility coefficient $\sigma_{сж}/\sigma_p$	11	19
Скорость продольных волн, среднее значение, км/с Speed of longitudinal waves, average value, km/s	4,6	4,0
Модуль продольной упругости $E \cdot 10^4$, МПа Modulus of longitudinal elasticity $E \cdot 10^4$, МПа		
пределы вариации / limits of variation	1,3–9,0	1,5–6,0
среднее значение / average value	5,5	3,8

В конце 1980-х гг. были выполнены исследования состояния массива месторождения по данным геологического бурения [1]. В результате анализа данных было установлено, что в массиве действуют высокие горизонтальные напряжения. Выделено три зоны по глубине месторождения:

I — до глубины 400 м, слабонапряженная зона, $\sigma_{max} \leq 20$ МПа;

II — с глубины 400 до 1000 м, средненапряженная зона $20 \text{ МПа} < \sigma_{max} < 40 \text{ МПа}$;

III — с глубины свыше 1000 м, сильнонапряженная зона $\sigma_{max} \geq 40 \text{ МПа}$.

Представленные выше свойства пород свидетельствуют о их склонности к хрупкому разрушению. Кроме этого установлено, что в массиве действуют высокие тектонические напряжения. Данные факты свидетельствуют о том, что месторождение «Олений ручей» является удароопасным. В соответствии с нормативными источниками [2, 3] месторождение отнесено к склонным, а ниже глубины 400 м — к опасным по горным ударам. Таким образом, малоизученность и удароопасность месторождения «Олений ручей» обуславливают необходимость детального исследования параметров поля напряжений, действующих в массиве.

Методика измерений

Для исследования состояния массива выполнялись измерения напряжений методом разгрузки в торцевом варианте. В основе метода лежат измерения упругих деформаций восстановления при отделении породы от массива и разгрузке от действовавших на нее напряжений. Если известен модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν , то, используя математический аппарат теории упругости, по измеренным деформациям мы можем вычислить действовавшие в массиве напряжения. Более подробно методика представлена в работах [4–8]. Данный метод измерений широко применяется при исследовании состояния массива как у нас [9, 10], так и за рубежом [11, 12] и хорошо себя зарекомендовал за десятилетия его применения.

Измерения проводились в тупиковых выработках на горизонтах +240, +100, +40 м. Для того чтобы получить данные о природных напряжениях, действующих в нетронутом массиве, расположение измерительных станций выбиралось вдали от горных работ и каких-либо крупных геологических нарушений, которые могли бы повлиять на результаты измерений.

Результаты и обсуждение

Измерения напряжений проводились с 2012 по 2018 гг. на четырех станциях [13]. Первая станция располагалась на гор. +240 м в тупиковом забое воздухоподающей штольни. В результате измерений на первой станции было установлено, что максимальная компонента главных напряжений σ_{\max} на гор. +234 м составляет 25 МПа, азимут вектора максимальной компоненты равен приблизительно 75° . Минимальная компонента σ_{\min} равна 2 МПа, азимут вектора σ_{\min} равен -15° .

В декабре 2013 г. были проведены измерения на второй измерительной станции, которая располагалась на пересечении сбойки № 10 и транспортной штольни. Состояние керна, полученного при бурении измерительных скважин, свидетельствует о малой нарушенности массива в месте проведения измерений, а дискование керна в пределах первых метров указывает на наличие концентрации напряжений на контуре выработок. В результате измерений были получены следующие значения компонент главных напряжений: σ_{\max} — 31 МПа, σ_{\min} — 15 МПа.

Измерения напряжений в 2018 г. проводились на двух станциях: третья станция на гор. +40 м и четвертая — на гор. +100 м. Выбор местоположения станций осложнялся наличием на исследуемом участке массива взаимно пересекающихся геологических структур разной мощности, формирующих отдельные блоки.

Измерения на третьей станции проводились на гор. +100 м в забое породного бурового штрека. По данным сотрудников Службы прогноза и профилактики горных ударов АО «СЗФК», здесь не наблюдалось проявлений горного давления в динамической форме. Значения напряжений по измерительной скважине являются достаточно однородными после ее выхода за пределы нарушенной зоны на контуре выработки, что говорит о надежности полученных результатов. В основном kern этой станции представлен апатит-нефелиновой рудой, выраженного дискования не отмечено. Более низкий уровень максимальных напряжений $\sigma_{\max} \approx 21$ МПа, по сравнению с предыдущими станциями, скорее всего, связан именно с местоположением станции в руде, упругие свойства которой значительно ниже, чем свойства пород вмещающего массива, при этом значение минимальной компоненты составило 8 МПа.

Четвертая измерительная станция располагалась в забое подэтажного штрека на гор. +40 м. Kern по скважинам четвертой станции представлен вмещающими породами — рихчорритами с признаками содовой минерализации. При проходке подэтажного штрека проявления горного

давления отмечались на кровле и сопряжении с юго-восточной стенкой. Общая геомеханическая ситуация была подтверждена инструментальными результатами. Здесь зафиксирован наиболее высокий уровень сжимающих напряжений по всем имеющимся на сегодня данным натурных измерений на месторождении «Олений ручей» — приблизительно 42 МПа на глубине 600 м от дневной поверхности. Более детально результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

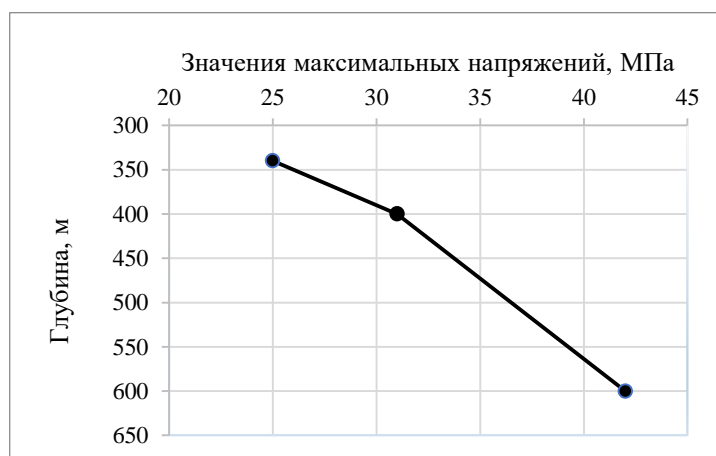
Table 2

Результаты измерения напряжений на месторождении «Олений ручей»

The results of stress measurements at Oleniy Ruchey deposit

Компонента главных напряжений Principal stresses component	Глубина, м Depth, m			
	340	400	540	600
Максимальная σ_{\max} Maximum σ_{\max}				
значение, МПа value, MPa	25	31	21	42
азимут, град. azimuth, degrees	75	90	111	72
угол наклона к горизонту, град. angle of inclination to the horizon, degrees	33	13	1	8
Минимальная σ_{\min} Minimum σ_{\min}				
значение, МПа value, MPa	2	15	8	14
азимут, град. azimuth, degrees	-15	0	21	-18
угол наклона к горизонту, град. angle of inclination to the horizon, degrees	57	77	89	82

На рисунке представлен график изменения максимальных напряжений с глубиной. Значения на третьей станции не учтены, так как измерения проведены в рудном теле и величины максимальных напряжений значительно ниже, чем во вмещающем массиве. Линией показано изменение максимальных напряжений σ_{\max} , полученных при измерениях методом разгрузки. Как видно из графика (рис.), эти значения растут с глубиной.



Зависимость максимальных напряжений σ_{\max} от глубины
Dependence of σ_{\max} on depth

В целом, если анализировать измеренные *in situ* данные о параметрах поля напряжений, то полученные величины максимального сжатия соответствуют уровню, который прогнозировался по полученным ранее результатам оценки действующих напряжений в массиве месторождения [1]. Что касается направления, то оно во всех точках измерений отлично от предполагаемого (по простиранию рудной залежи). Векторы σ_{\max} действуют в направлении, диагональном к выделяемой рудной зоне, и направления варьируются в достаточно широких пределах от 72° до 110° курсом на север.

Заключение

В результате инструментальных измерений была получена закономерность изменения максимальных напряжений с глубиной, которая подтверждает сделанное ранее предположение о действии в массиве месторождения «Олений ручей» высоких тектонических напряжений. Полученные результаты хорошо согласуются с данными визуального обследования состояния подземных горных выработок, которые также свидетельствуют о действии в массиве высоких горизонтальных напряжений. Таким образом, как и на других апатит-нефелиновых месторождениях Хибинского массива, тип поля напряжений, действующих на месторождении «Олений ручей», можно отнести к гравитационно-тектоническому.

Результаты измерений напряжений применялись при создании численной геомеханической модели месторождения, которая позволила выбрать наиболее безопасный и эффективный способ отработки запасов подземным рудником.

В будущем планируется продолжить данные исследования для получения более полной информации о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород месторождения «Олений ручей».

Благодарности

Автор считает своим долгом выразить благодарность за помощь в подготовке статьи и за ценные советы д. т. н., проф. А. А. Козыреву, к. т. н., ведущему научному сотруднику И. Э. Семеновой, к. т. н., старшему научному сотруднику А. В. Земцовскому, ведущим технологам И. В. Данилову и М. И. Потокину, а также начальнику службы прогноза и предотвращения горных ударов АО «СЗФК» П. Ю. Меньшикову за помощь в организации измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах: в 2 т. / А. А. Козырев [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Т. 2.
2. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Положение по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам»: приказ от 2 декабря 2013 года № 576 / Федер. служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499086982>.
3. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (месторождение Олений ручей) / А. А. Козырев [и др.]; Горный ин-т КНЦ РАН, АО «СЗФК». Апатиты, 2015. 101 с.
4. Методические рекомендации по изучению напряженно-деформированного состояния горных пород на различных стадиях геолого-разведочного процесса / науч. ред. Е. И. Шемякин. М.: ВНИИгеоинформсистем, 1987. 116 с.
5. Турчанинов И. А., Иванов В. И., Марков Г. А. Руководство по измерению напряжений в массиве скальных пород методом разгрузки. Апатиты: КФ АН СССР, 1970. 48 с.
6. Leeman E. R. The measurement of stress in rock: a review of recent developments (and a bibliography) // Proc. Int. Symp. on the Determination of Stresses in Rock Masses, Lab. Nac. de Eng. Civil. Lisbon. 1971. P. 200–229.
7. Leeman E. R., Hayes D. J. A technique for determining the complete state of stress in rock using a single borehole // Proc. 1st Congo Int. Soc. Rock Mech. (ISRM). Lisbon, Lab. Nac. de Eng. Civil. Lisbon. 1966. Vol. II. P. 17–24.
8. Leeman E. R. The 'Doorstopper' and triaxial rock stress measuring instruments developed by the C.S.I.R. // J. South African Institute of Mining and Metallurgy. 1969. February. P. 305–339.
9. Рыбин В. В., Козырев А. А., Данилов И. В. Определение параметров напряженного состояния приконтурного массива пород на карьерах Кольского полуострова. // Горн. информ.-аналит. бюл. 2009. № 10. С. 402–405.
10. Экспериментальные определения параметров напряженного состояния прибортового массива пород карьера «Восточный» Олимпиадинского золоторудного месторождения / А. А. Козырев [и др.] // Проблемы недропользования. 2018. № 3 (18). С. 61–69.
11. Stress measurements in soft rocks / R. Corthésy // Engineering Geology. 2003. Vol. 69, Iss. 3–4. P. 381–397.
12. Guo R, Thompson P. Influences of changes in mechanical properties of an overcored sample on the far-field stress calculation // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2004. Vol. 41, Iss. 7. P. 1153–1166.
13. Семенова И. Э., Земцовский А. В., Павлов Д. А. Комплексное геомеханическое исследование массива горных пород удароопасного месторождения «Олений ручей» при ведении подземных горных работ // Горн. информ.-аналит. бюл. 2014. № 4. С. 46–55.

Сведения об авторе

Самсонов Александр Анатольевич — научный сотрудник Горного института КНЦ РАН
E-mail: hibini-trans@mail.ru

Author Affiliation

Alexander A. Samsonov — Researcher of the Mining Institute of KSC RAS
E-mail: hibini-trans@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Самсонов, А. А. Оценка состояния массива горных пород удароопасного месторождения «Олений ручей» по результатам измерений напряжений / *А. А. Самсонов* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (11). — С. 62–67.

Reference

Samsonov Alexander A. Assessment of Rock Mass State of Oleniy Ruchey Rock Burst Deposit Based on the Results of Stress Measurements. *Herald of the Kola Science Centre of RAS*, 2019, vol. 1 (11), pp. 62–67. (In Russ.).

МНГОВОЛНОВЫЙ МЕТОД ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

Л. Дж. Абдуллаева

НИИ Аэрокосмической информатики Национального аэрокосмического агентства
г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация

Статья посвящена разработке многоволнового метода дистанционного определения береговой линии в условиях сильного аэрозольного загрязнения атмосферы. Проведен краткий обзор существующих методов определения береговой линии спектральными методами, и указаны их недостатки. Предложена модель оценки сигналов спутниковых спектрорадиометров для случая аномального загрязнения атмосферы аэрозолями. На основе предложенной модели разработан многоволновый метод определения береговой линии, позволяющий устранить аэрозольную погрешность известного двухволнового метода.

Ключевые слова:

береговая линия, спектрорадиометр, двухволновая методика, аэрозольная погрешность, оптическая плотность.

MULTI-WAVELENGTH METHOD FOR REMOTE DETERMINATION OF COASTLINE IN CONDITION OF HEAVY AEROSOL POLLUTION OF ATMOSPHERE

Latifa Dj. Abdullayeva

Research Institute of Aerospace Informatics of National Aerospace Agency,
Baku, Azerbaijan Republic

Abstract

The article is devoted to development of multi-wavelength method for remote determination of coastline in condition of heavy aerosol pollution of atmosphere. The brief review of existing methods designated for determination of coastline by spectral techniques and their shortcomings is carried out. The model for estimation of satellites onboard spectroradiometers signals for a case of abnormal aerosol pollution of atmosphere, is suggested. On the basis of the suggested model the multi-wavelength method for determination of coastline is developed which make it possible to remove the aerosol error of the known two-wavelength method.

Keywords:

coastline, spectroradiometer, two-wavelength method, aerosol error, optical thickness.



Введение

Хорошо известно, что проведение достоверного мониторинга береговых зон — важнейшая задача для устойчивого развития прибрежных территорий и защиты окружающей среды в этих регионах [1, 2]. При этом особую важность имеет исследование долговременной и сезонной динамики береговых линий различных водоемов. Как отмечается в работе [3], береговая линия — наиболее важная характеристика земной поверхности, обладающая временной динамикой. Применение дистанционного спектрального зондирования в целях определения береговой линии основывается на свойствах водной среды — поглощения оптической радиации в инфракрасной области и сильного отражения этой радиации почвой и растительностью. Эти спектральные свойства компонентов прибрежных зон обуславливают использование изображений видимого и инфракрасного диапазонов для решения задач картирования береговых линий [1].

Существующие методы

Береговая линия может быть определена с помощью сигнала одного спектрального канала спектрорадиометра, например, сигнал отражения воды в ИК-диапазоне существенно ниже по уровню сигнала отражения почвы и других компонентов прибрежной суши. С этой целью может быть использован один из ИК-каналов аппаратуры ТМ или ЕТМ⁺. Согласно [4], для этой цели наиболее подходящим является 5-й канал среднего ИК-диапазона ТМ. Однако, как отмечается в [1], если граница земля-вода имеет комплексный характер и заполнена водными растениями, то из-за высокой отражательной способности растений возникает некоторая погрешность определения береговой линии. Для устранения указанного недостатка используется

Номер канала Channel number	Спектральный диапазон Spectral range	
	ЕТМ ⁺	ТМ
1	0,45–0,515	0,45–0,52
2	0,525–0,6	0,53–0,60
3	0,63–0,69	0,63–0,69
4	0,75–0,9	0,76–0,90
5	1,55–1,75	1,55–1,75
6	10,4–12,5	10,5–12,4
7	2,09–2,35	2,08–2,35

двухволновая методика, например, сигналы каналов 4 и 2 аппаратуры ЕТМ⁺/ТМ. Данные спектральных каналов ЕТМ⁺/ТМ представлены в таблице.

Как отмечается в работе [1], для определения береговой линии может быть использовано следующее свойство спектральных каналов: отношение сигналов каналов 2 и 5, т. е. b_2/b_5 , применительно к водной среде больше, чем единица, однако меньше единицы для суши. Существенный недостаток данного метода заключается в том, что некоторые растительные участки, существующие в береговой зоне, могут быть отнесены к водной территории. Другой, не менее существенный

недостаток данного метода — незащищенность от влияния аномального атмосферного аэрозоля, что может привести к уменьшению сигнала b_2 . Как результат, уменьшение b_2/b_5 может привести к оценке некоторых водных участков в качестве суши. Для устранения вышеуказанного недостатка в настоящей статье далее рассматривается возможность разработки теоретических основ многоволнового метода определения береговой линии, основу которой составляет трехволновый метод устранения аэрозольной погрешности в солнечных фотометрах, изложенный в работах [4, 5].

Предлагаемый метод

Описывая предлагаемую модель оценки сигналов спутниковых спектрорадиометров, автор настоящей статьи с коллегами считают, что на исследуемую поверхность прибрежной зоны попадают две составляющие солнечной радиации:

1) $I_{пр}$ — прямая солнечная оптическая радиация;

2) $I_{рас. н. п.}$ — половина рассеянной солнечной оптической радиации, направленная в нижнюю полусферу (рис.).

При этом в противоположном направлении в космос излучается вторая половина суммарной рассеянной радиации $I_{рас. в. п.}$. Таким образом, в зону береговой линии попадает суммарная радиация:

$$I_{\Sigma} = I_{пр} + I_{рас. н. п.} \quad (1)$$

Отраженная радиация может быть оценена как:

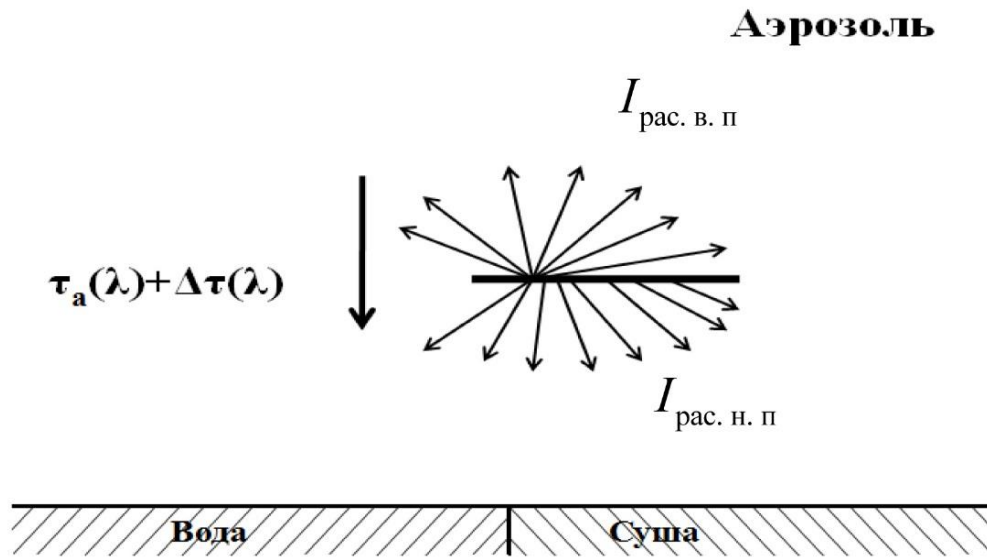
$$I_{отр} = \alpha(\lambda)(I_{пр} + I_{рас. н. п.}), \quad (2)$$

где $\alpha(\lambda)$ — альbedo отражения в прибрежной зоне.

Так как $I_{отр}$ направлен в сторону спектрорадиометра, то на его вход поступает суммарная радиация F_0 , определяемая как:

$$F_0 = \int_{\omega} \left[\left[I_{о. пр} + \frac{I_{рас. н. п.}}{2} \right] \cdot \alpha(\lambda) + \frac{I_{рас. в. п.}}{2} \right] e^{-\tau_a(\lambda)} d\omega, \quad (3)$$

где ω — угол обзора оптики спектрорадиометра; $\tau(\lambda)$ — оптическая толщина атмосферного аэрозоля.



Предлагаемая модель формирования входной оптической радиации спектрорадиометра
The suggested model of formation of input optical radiation of spectroradiometer

Хорошо известно, что спектрорадиометры, установленные на спутниках дистанционного зондирования, осуществляют атмосферную коррекцию, включая аэрозольную коррекцию по собственному алгоритму. Вместе с тем, как было показано в работе [6], валидационные оценки с использованием данных AERONET показывают разность оптических толщин аэрозоля, измеренных с помощью спутника и AERONET, достигающую 0,1.

Таким образом, оптическую толщину атмосферного аэрозоля можно определить как:

$$\tau_a(\lambda) = \tau_{a.n}(\lambda) + \tau_{a.a}(\lambda), \quad (4)$$

где первая составляющая в выражении (4) определяет корректируемую на борту часть оптической толщины аэрозоля, а вторая составляющая — некорректируемую часть.

С учетом выражений (3) и (4):

$$F_0 = e^{-\tau_{a.n}(\lambda)} \int_{\omega} \left[I_0 + \frac{I_{\text{рас. н. п}}}{2} \right] \alpha(\lambda) + \frac{I_{\text{рас. в. п}}}{2} e^{-\tau_{a.n}(\lambda)} d\omega. \quad (5)$$

Выражение (5) в коротком виде:

$$F_0(\lambda) = e^{-\tau_{a.a}(\lambda)} \cdot F_1 \left[I_{0 \text{ пр}}, I_{\text{рас. н. п}}, \alpha, I_{\text{рас. в. п}}, \tau_{a.n}(\lambda) \right] e^{-\tau_{a.n}(\lambda)} \cdot F_1(\lambda), \quad (6)$$

где F_1 — суммарная оптическая радиация на входе спектрорадиометра при $\tau_{a.a}(\lambda) = 0$.

С учетом модели (6), вышеупомянутое отношение b_2/b_5 , предложенное в работе [1], может быть оценено:

$$\frac{b_2}{b_5} = \frac{b_2(\lambda_2)}{b_5(\lambda_5)} = \frac{e^{-[\tau_{a.a}(\lambda_2) - \tau_{a.a}(\lambda_5)]} \cdot F_1(\lambda_2)}{F_1(\lambda_5)} = \frac{C_0 \cdot F_1(\lambda_2)}{F_1(\lambda_5)} \quad (7)$$

Как видно из выражения (7), двухволновый метод, изложенный в [1], будет давать результат, зависимый от:

$$\Delta\tau_{a.a} = \tau_{a.a}(\lambda_2) - \tau_{a.a}(\lambda_5), \quad (8)$$

т. е. от случайной величины $\Delta\tau_{a.a}$ ввиду случайного характера величины оптической толщины атмосферного аэрозоля.

С учетом вышеизложенного предлагается многоволновый метод определения береговой линии в условиях сильного аэрозольного загрязнения.

Суть предлагаемого метода заключается в использовании известной трехволновой методики [4, 5] применительно к $b_2(\lambda_2)$ и $b_5(\lambda_5)$ для устранения влияния $\tau_{a.a}(\lambda_2)$ и $\tau_{a.a}(\lambda_5)$ соответственно. Согласно трехволновой методике вводится промежуточный показатель γ , определяемый как:

$$\gamma_1 = \frac{I_1(\lambda_1)^{K_1} \cdot I_3(\lambda_3)^{K_2}}{I_2(\lambda_2)}, \quad (9)$$

где $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$; $I_1(\lambda_1)$, $I_2(\lambda_2)$, $I_3(\lambda_3)$ — результаты спектрометрических измерений на длинах волн λ_1 , λ_2 , λ_3 ; K_1 , K_2 — коэффициенты коррекции, вычисляемые с учетом модели Ангрстрема атмосферного аэрозоля в виде:

$$\tau_a = \beta \cdot \lambda^{-\alpha}, \quad (10)$$

где β — показатель аэрозольной мутности атмосферы; α — показатель Ангрстрема, а также аддитивной модели атмосферного аэрозоля в виде:

$$\tau_a = \tau_{ac} + \tau_{af}, \quad (11)$$

где τ_{ac} — оптическая плотность крупнодисперсной составляющей аэрозоля; τ_{af} — оптическая плотность мелкодисперсной составляющей аэрозоля.

С учетом методики, заключенной в выражениях (9–11), введем промежуточный показатель $\gamma_1(b_2)$ применительно к b_2 , подобно (9).

Имеем:

$$\gamma_1(b_2) = \frac{\left[F_1(\lambda_2^+) \cdot e^{-\tau_{a.a}(\lambda_2^+)} \right]^{K_{11}} \cdot \left[F_1(\lambda_2^-) \cdot e^{-\tau_{a.a}(\lambda_2^-)} \right]^{K_{21}}}{F_1(\lambda_2) \cdot e^{-\tau_{aa}(\lambda_2)}}, \quad (12)$$

где $\lambda_2^+ = \lambda_2 + \Delta\lambda$; $\lambda_2^- = \lambda_2 - \Delta\lambda$; $\Delta\lambda = \text{const}$.

Очевидно, что условия устранения влияния атмосферного аэрозоля в формуле (12) имеют следующий вид:

$$K_{11}\tau_{a.a}(\lambda_2^+) + K_{21}\tau_{a.a}(\lambda_2^-) = \tau_{a.a}(\lambda_2). \quad (13)$$

С учетом выражений (10), (11) и (13) получим следующую систему уравнений для вычисления коэффициентов K_{11} и K_{21} :

$$K_{11} \cdot \lambda_{2^+}^{-\alpha_f} + K_{21} \cdot \lambda_{2^-}^{\alpha_f} = \lambda_2^{-\alpha_f} \quad (14)$$

$$K_{11} \cdot \lambda_{2^+}^{-\alpha_c} + K_{21} \cdot \lambda_{2^-}^{\alpha_c} = \lambda_2^{-\alpha_c}, \quad (15)$$

где α_f , α_c — показатели Ангрстрема для мелко- и крупнодисперсных составляющих аэрозоля соответственно.

Очевидно, что вычисление K_1 и K_2 позволяет нам написать выражение (12) в виде:

$$\gamma_1(b_2) = \frac{F_1(\lambda_{1^+})^{K_{11}} \cdot F_1(\lambda_{2^-})^{K_{21}}}{F_1(\lambda_2)}. \quad (16)$$

Повторив все процедуры трехволновой методики для $b_5(\lambda_5)$, получим:

$$\gamma_1(b_5) = \frac{F_1(\lambda_{5^+})^{K_{12}} \cdot F_1(\lambda_{5^-})^{K_{22}}}{F_1(\lambda_5)} \quad (17)$$

С учетом формул (16) и (17):

$$\chi = \frac{\gamma_1(b_5)}{\gamma(b_2)} = \frac{C_1 \cdot F_1(\lambda_2)}{F_1(\lambda_5)} \quad (18)$$

где

$$C_1 = \frac{F_1(\lambda_{5^+})^{K_{12}} \cdot F_2(\lambda_{5^-})^{K_{22}}}{F_1(\lambda_{1^+})^{K_{11}} \cdot F_1(\lambda_{2^-})^{K_{21}}} \quad (19)$$

При сравнении выражений (7) и (18) можно заметить их схожесть по форме, однако существенное различие заключается в том, что C_0 — случайная величина, а C_1 — детерминированная.

Возвращаясь к решаемой задаче определения береговой линии двухволновым методом, критерий, изложенный в работе [1], на основании выражения (18) можно переформулировать следующим образом: отношение $\frac{C_1 \cdot F_1(\lambda_2)}{F_2(\lambda_5)}$ применительно к водной среде больше, чем C_1 ,

и меньше, чем C_1 , для суши.

Таким образом, проведенный анализ позволяет усовершенствовать известную двухволновую методику в смысле устранения влияния аномальных величин атмосферного аэрозоля.

Применительно к практическому использованию предлагаемого многоволнового метода отметим, что показатели Ангстрема α_f и α_c могут изменяться с интервалом автокорреляции величиной в одни сутки и даже меньше, что диктует необходимость проведения операций коррекции коэффициентов K_1 и K_2 . Для этой цели могут быть использованы данные всемирной сети AERONET, а также других региональных сетей измерения атмосферного аэрозоля.

Выводы

1. Проведен краткий обзор существующих методов определения береговой линии спектральными методами, и указаны их недостатки.
2. Предложена модель оценки сигналов спутниковых спектрометрических радиометров для случая аномального загрязнения атмосферы аэрозолями.
3. На основе предложенной модели разработан многоволновый метод определения береговой линии, позволяющий устранить аэрозольную погрешность известного двухволнового метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alesheikh A. A., Ghorbanali A., Nouri N. Coastline change detection using remote sensing // International J. Science and Technology. 2007. No. 4 (1). P. 61–66.
2. A multisource approach for coastline mapping and identification of shoreline changes / A. Guariglia [et al.] // Annals of Geophysics. 2006. Vol. 49, No. 1. P. 295–304.
3. Winarso G., Budhiman S. The potential application of remote sensing data for coastal study, Proc. 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore // Res. 2001. Vol. 16 (1). P. 111–124. URL: <http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs2001>.
4. Asadov H. H., Isayev A. A. Three waves methods for measurements of total content of ozone. Full Compensation of measurements error // Proc. XX Quadrennial Ozone Symposium (1–8 June 2004 Kos, Greece, 2004). 2004. Vol. 1. P. 477–485.
5. Асадов Х. Г., Исаев А. А. Общая теория трехволновых озонметрических измерений // Измерительная техника. 2005. № 8. С. 66–68.
6. Validation of aerosol estimation in atmospheric correction algorithm ARCOR / B. Pflug [et al.] // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 36th International Symposium on Remote Sensing of Environment, 11–15 May 2015, Berlin, Germany. 2015. Vol. XL-7/W3.

Сведения об авторе

Абдуллаева Латифа Джафарага гызы — ведущий научный сотрудник НИИ Аэрокосмической информатики Национального аэрокосмического агентства, г. Баку, Азербайджанская Республика
E-mail: latifa.abdullayeva@mail.ru

Author Affiliation

Latifa Djafaraga gizi Abdullayeva — Leading Scientific Collaborator of the Research Institute of Aerospace Informatics of National Aerospace Agency, Baku, Azerbaijan Republic
E-mail: latifa.abdullayeva@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Абдуллаева, Л. Дж. Многоволновый метод для дистанционного определения береговой линии в условиях сильного аэрозольного загрязнения атмосферы / *Л. Дж. Абдуллаева* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2019. — № 1 (11). — С. 68–73.

Reference

Abdullayeva Latifa Dj. Multi-wavelength Method for Remote Determination of Coastline in Condition of Heavy Aerosol Pollution of Atmosphere. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2019, vol. 1. (11), pp. 68–73. (In Russ.).

**НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ,
ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ НА 2019 г. ФИЦ «КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН»
И ДРУГИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ**

- Совместная международная конференция ИнтерКарто/ИнтерГИС — 25 «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий» и ГИС для Шелкового пути — 3
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН совместно с Мурманским отделением Русского географического общества, Мурманским арктическим государственным университетом, Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова, г. Мурманск, 30 января — 2 февраля 2019 г.
- Конференция и междисциплинарный полевой курс «Арктические междисциплинарные исследования — ARCTIS 2019» для молодых ученых
Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, февраль 2019 г.
- Школа по морской биологии «Поколение 2019 выбирает исследование Арктики»
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН совместно с Мурманским государственным техническим университетом (МГТУ) и Полярным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича на базе МГТУ, февраль-март 2019 г.
- XIII Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования» (с участием иностранных ученых)
Горный институт КНЦ РАН, Институт горного дела УрО РАН, Институт горного дела ДВО РАН, март 2019 г.
- XLII Ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений»
Полярный геофизический институт, г. Апатиты, март 2019 г.
- XVI Всероссийская (с международным участием) Ферсмановская научная сессия
Геологический институт КНЦ РАН, апрель 2019 г.
- I Всероссийская научно-практическая конференция «Медико-биологические проблемы в Арктике»
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, апрель 2019 г.
- III Всероссийская (с международным участием) научная конференция «Проблемы минерального обмена в организме человека на территориях Арктической зоны»
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, апрель 2019 г.
- II Научно-практическая конференция «Гидробионты и биотехнологии в арктической медицине»
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, апрель 2019 г.
- Ночь музеев «Музей в Арктике, Арктика в музее»
Центр гуманитарных проблем Баренц региона КНЦ РАН, май 2019 г.

- Международный научный симпозиум "Calotte Academy" («Академия Калотта») *Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Университет Лапландии (Финляндия), Саамский образовательный центр (Финляндия), Баренц институт (Норвегия), Арктический университет Норвегии (Норвегия), июнь 2019 г.*
- VII Всероссийская научная конференция с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения», посвященная 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук В. В. Никонова *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, июнь 2019 г.*
- XIX Международное совещание по кристаллохимии, рентгенографии и спектроскопии минералов *ФИЦ «Кольский научный центр РАН», июль 2019 г.*
- Региональный научно-практический семинар «Проблемы историко-этнографических и социально-гуманитарных исследований АЗРФ» *Мурманский арктический государственный университет, Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике КНЦ РАН, Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН, Мурманский областной краеведческий музей, Государственный архив Мурманской области в г. Кировске, МАГУ, филиал в г. Апатиты, октябрь 2019 г.*
- XXX Молодежная научная школа-конференция, посвященная памяти члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова «Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии» *Геологический институт КНЦ РАН, октябрь 2019 г.*
- Всероссийская научно-техническая конференция с участием иностранных специалистов «Цифровые технологии в горном деле» *Горный институт КНЦ РАН, октябрь 2019 г.*
- Всероссийская конференция-школа молодых ученых и специалистов «Развитие технологий добычи и обогащения месторождений полезных ископаемых» *Горный институт КНЦ РАН, ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Торгово-промышленная палата Мурманской области, ноябрь 2019 г.*

XIII Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования» (с участием иностранных ученых)

Горный институт КНЦ РАН, Институт горного дела УрО РАН, Институт горного дела ДВО РАН, 26–27 марта 2019 г.

Для междисциплинарного диалога конференция посредством телемоста объединила три площадки:

- Институт горного дела УрО РАН (базовая площадка), г. Екатеринбург;
- Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты;
- Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск.

География участников была представлена городами Екатеринбург, Апатиты, Хабаровск, Санкт-Петербург, Пермь.

Программа конференции включала в себя доклады ведущих ученых институтов, доклады диссертационных работ в рамках школы молодых ученых, работу секций «Геомеханика, разрушение горных пород, геофизика» и «Геотехнология, геоинформатика, геоэкология, геоэкономика». Всего было заслушано 58 докладов, из них 55 представили молодые ученые

и студенты. Лучшими были признаны доклады следующих молодых ученых: Кузнецова Николая Николаевича (ГоИ КНЦ РАН г. Апатиты), Рожкова Артема Андреевича (ИГД УрО РАН г. Екатеринбург), Шаиховой Дарьи Рамильевны (ИГД УрО РАН г. Екатеринбург), Семенова Александра Николаевича (ИГД ДВО РАН г. Хабаровск), Гевало Кирилла Васильевича (ИГД ДВО РАН, г. Хабаровск). Среди студентов лучшими стали доклады Аверина Антона Алексеевича, Асановича Данила Алексеевича, Заболотного Владислава Сергеевича (АФ МАГУ, г. Апатиты), Говорова Алексея Сергеевича (СПбГУ, г. Санкт-Петербург), Ольховатенко Алексея Сергеевича (СПбГУ, г. Санкт-Петербург), Шепель Ксении Викторовны (УГГУ, г. Екатеринбург).

Материалы лучших докладов будут опубликованы в «Известиях высших учебных заведений. Горный журнал» (издание входит в перечень ВАК, индексируется в базах РИНЦ и GeoRef). Остальные доклады рекомендованы для публикации в журнале «Проблемы недропользования» (индексируется в РИНЦ).

XLII Ежегодный Апатитский семинар «Физика авроральных явлений»

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, 11–15 марта 2019 г.

В семинаре активное участие приняли более 100 человек (в том числе 40 — из других городов России, из них около половины — молодые ученые) из 17 научно-исследовательских институтов и университетов. Мероприятие посвящено обсуждению новейших результатов, полученных российскими и иностранными учеными в области исследования геофизических процессов, наиболее интенсивно проявляющихся на широтах авроральной и субавроральной зон. Участники представили 71 устный и 52 стендовых доклада. Среди докладчиков было четыре представителя зарубежных исследовательских институтов (из Китая, Финляндии и Норвегии).

Работа проходила по следующим направлениям:

- 1) бури и суббури;
- 2) поля, токи, частицы в магнитосфере;
- 3) волны, взаимодействие волна — частица;
- 4) солнце, солнечный ветер, космические лучи;
- 5) ионосфера и верхняя атмосфера;
- 6) нижняя атмосфера, озон;
- 7) гелиобиосфера.

В рамках культурной программы 42-го Апатитского семинара «Физика авроральных явлений» состоялся уже ставший традиционным концерт, в котором с большой программой выступил молодежный хор «Виктория» Апатитского ДК им. В. К. Егорова под руководством Виктории Филин. Также были проведены экскурсии в музей г. Кировска, в Снежную деревню и в Таинственный лес.

Финансовую поддержку семинара оказал РФФИ за счет средств гранта № 19-05-20045 — научные мероприятия.

Школа по морской биологии «Поколение 2019 выбирает исследование Арктики»

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН (ММБИ КНЦ РАН) совместно с Мурманским государственным техническим университетом (МГТУ) и Полярным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО) на базе МГТУ, 26 февраля — 6 марта 2019 г.

Научная школа — плановое мероприятие НОЦ «Морские экосистемы», созданного на базе МГТУ (кафедра биологии и водных биоресурсов), ММБИ КНЦ РАН и ПИНРО, целью которой является объединение усилий высшей школы, академической и прикладной науки по подготовке молодых кадров по биологии для Мурманской обл. Школа является традиционным мероприятием, в 2019 г. она проводилась в девятый раз, в новом формате. В ее задачи входило: привлечение внимания школьников, студентов, аспирантов региона к проблемам океанологии и морской биологии, к изучению биоресурсов арктических морей и освоению новых современных методик познания окружающего мира, а также поддержка творческого научного потенциала будущих

ученых, подготовка их выпускных квалификационных работ. В этом году школа включала несколько мероприятий: мастер-классы по морской биологии, блицконкурс школьников по морской биологии, лекции и конкурс научно-исследовательских работ молодых ученых, аспирантов, магистрантов. В качестве докладчиков, конкурсантов и слушателей в ней приняли участие 120 молодых ученых, студентов, аспирантов, школьников гимназий г. Мурманска.

Сотрудниками ММБИ для слушателей школы было организовано два мастер-класса «Определение рыб северных морей и их биологический анализ» и «Натурные исследования в гидробиологии». Из лекционного материала студенты почерпнули знания о гидрологических и гидробиологических методах сбора материала в полевых условиях береговых экспедиций и с борта научных судов в открытом море. На практических занятиях участники школы научились определять морских рыб — обитателей Карского моря и измерять их морфометрические характеристики, работать с гидрохимическим оборудованием, составлять протоколы натурных наблюдений. Молодой ученый ММБИ и аспирант МГТУ О. В. Бондарев представил дайджест кратких резюме конкурсных проектов учащихся, созданных по принципу «Опишите научное значение вашей работы простым языком». Также были заслушаны доклады сотрудников ММБИ с критическим разбором научно-исследовательских работ, представленных на конкурс. Обсуждение всех докладов переросло в дискуссию. Всего на конкурс было представлено 13 научных работ.

Конференция и междисциплинарный полевой курс «Арктические междисциплинарные исследования — ARCTIS 2019» для молодых ученых

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, 18–22 февраля 2019 г.

Основная цель мероприятия ARCTIS, в качестве партнеров которого выступили 15 организаций из России и Великобритании, — содействие двустороннему и междисциплинарному сотрудничеству молодых ученых Великобритании и России в области естественных и социальных исследований в Арктике.

Мероприятие охватывало следующие направления исследований: атмосфера, криосфера, наземные и морские экосистемы, социальная и гуманитарная области знаний. В работе приняли участие 41 человек, из них 30 — молодые ученые из России и Великобритании, 6 лекторов из представленных стран и 5 приглашенных экспертов. В качестве лекторов выступали ведущие ученые из Британской антарктической службы, Оксфордского университета, Бристольского университета, Всемирной метеорологической организации, Географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, а также Института экономических проблем им. Г. П. Лузина.

Приглашенные эксперты курса представляли такие организации, как Арктический офис NERC (Великобритания), Международный арктический научный комитет (Исландия), Научная и инновационная сеть Великобритании (UK SIN Russia). В ходе мероприятия участники слушали лекции, работали в лабораториях, принимали участие в полевых выездах. Один день проходил в формате конференции: участники представляли короткие сообщения с целью знакомства и поиска потенциальных взаимодействий, в последний день мероприятия работали в группах, создавали собственные проекты и впоследствии защищали их.

В качестве культурной программы молодые ученые посетили достопримечательности городов Апатиты (Музей ГИ КНЦ РАН, Краеведческий музей), Кировск (Музейно-выставочный центр «Фосагро») и Мурманск (Мурманский областной краеведческий музей, атомный ледокол «Ленин»). Всем участникам предоставлялась полная финансовая поддержка за счет средств гранта Посольства Великобритании в России GBF-T2-02. По итогам мероприятия планируется публикация специального издания по российско-британскому научному сотрудничеству в Арктике в журнале "Polar Record" (издательства Кембриджского университета).

Совместная международная конференция ИнтерКарто/ИнтерГИС — 25 «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий» и ГИС для Шелкового пути — 3

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН совместно с Мурманским отделением Русского географического общества, Мурманским арктическим государственным университетом, Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова, г. Мурманск, 30 января — 2 февраля 2019 г.

В международной конференции приняли участие 120 специалистов, представляющих различные регионы и города России (Москва, Санкт-Петербург, Мурманск, Апатиты, Вологда, Иркутск, Красноярск, Барнаул, Севастополь, Пермь, Краснодар, Пущино), а также зарубежных ученых (Австрия, Бельгия, Италия, Китай, Польша), работающих в области картографии, геоинформационных технологий, создания и применения ГИС в практике междисциплинарных научных исследований. Велась прямая видеотрансляция всех заседаний, за которой ежедневно наблюдали более 100 чел. За четыре насыщенных дня научного форума было заслушано 40 научных докладов, проведено два круглых стола, скайп-сессия, организовано несколько коллективных выездов в знаковые географические точки Мурманской обл.

На заседаниях круглых столов и в дискуссии участники конференции отмечали, что докладчиками были показаны широчайшие возможности современных геоинформационных технологий для решения различных практических задач. В заключительной резолюции конференции научно-техническим экспертным советом администрации Мурманской обл. рекомендовано при подготовке аналитических материалов шире использовать современные геоинформационные технологии, обеспечивающие своевременную актуализацию проблем региона и подготовку взвешенных рекомендаций по их решению с учетом состояния внешней среды. Рекомендации даны с учетом географического расположения области на северо-западной границе РФ, их цели — повышение устойчивого развития Мурманской обл. и постепенный переход к экономике, основанной на знаниях.

В решении конференции также содержались предложения более широко использовать методологии картографических и геоинформационных исследований при разработке конкретных (экологических, изыскательских, исследовательских, прикладных и др.) проектов на региональном и локальном уровнях. В частности, дан совет использовать опыт и методы инвентаризации городских зеленых насаждений на основе разработанной и апробированной технологии наземного лазерного сканирования для решения задач высокоточного (до отдельного дерева) мониторинга и таксации. Было также предложено способствовать более широкому информированию общественности и региональных административных органов о результатах региональных тематических картографических произведений социально-экологической и медико-географической направленности, об анализе состояния Краснодарского водохранилища.

Участники конференции высказались за продолжение данных тематических конференций и предложили развивать теорию и методологию географических информационных систем и геоинформационного картографирования, используя новейшие достижения в области технологических решений, данных дистанционного зондирования, дистанционного обучения и междисциплинарной интеграции знаний.

Концентрированное световое излучение в исследованиях и технологии тугоплавких оксидов: монография / *А. А. Фролов [и др.]*. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — 180 с.: ил.

Изложены результаты оригинальных работ авторов в области использования концентрированных световых потоков (КСП) для создания специально структурированных материалов с особыми свойствами на основе тугоплавких оксидов ниобия и тантала, редкоземельных и редких металлов. Описано применение КСП для получения слоистых керамических материалов, защитных покрытий и изделий с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными характеристиками. Большое внимание уделено разработке технологий получения изделий, конструированию и изготовлению специальной технологической оснастки для наплавления покрытий на опытные образцы и изделия в фокальной зоне оптической печи, методам наплавления покрытий и гранулирования наплавляемого вещества. На базе этих исследований разработаны физико-химические принципы создания слоистых керамических контейнеров и другой оснастки для технологии промышленного производства высокочистых соединений на основе оксидов ниобия и тантала, включающей в себя высокотемпературную термохимическую обработку особо чистых веществ. Изложены физико-химические принципы получения плавящихся гранул из высокочистых порошков ниобата лития, пентаоксида ниобия, тантала, оксидов и сплавов оксидов РЗЭ и редких металлов, использование которых необходимо при создании слоистых материалов, защитных покрытий и новых функциональных материалов.

Содержащаяся в издании информация представляет интерес для инженерно-технических работников, аспирантов, магистрантов, преподавателей, научных сотрудников, которые являются специалистами в области материаловедения конструкционных и функциональных тугоплавких материалов, оксидной тугоплавкой керамики различного назначения или занимаются исследованиями их физико-химических свойств и строения.

Марецкая, А. Ю. Аграрный сектор Мурманской области: история развития, современное состояние: монография / *А. Ю. Марецкая, В. Н. Марецкая*. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — 108 с.: ил.

Представлены результаты исследования проблем аграрного сектора арктического региона на материалах Мурманской обл. Исследованы история развития и современное состояние сельского хозяйства. Особое внимание уделено государственному управлению и проблемам продовольственной безопасности арктического региона. Методический и аналитический материал позволил определить эффективность управления в сфере сельскохозяйственного производства, оценить эффективность использования бюджетных средств в сельском хозяйстве, провести оценку продовольственной безопасности Мурманской обл.

Монография адресована научным работникам, специалистам региональных органов управления, а также широкому кругу читателей, которые интересуются вопросами развития аграрного сектора региона.

Научные основы модернизации промышленности Севера и Арктики России: монография / коллектив авторов; под. науч. ред. *В. А. Цукермана*. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — 221 с.: ил.

В коллективной монографии рассмотрены теоретико-методологические аспекты управления модернизацией, технологическим обновлением промышленности и развитием инновационной деятельности регионов Севера и Арктики. Проведен анализ национальной инновационной системы и ее ресурсного обеспечения. Определены методологические подходы к исследованию инновационного потенциала, а также процесса формирования и развития инновационной экономики. Выполнено ранжирование регионов Севера и Арктики по интегральному показателю

развития инновационной экономики. Определена взаимозависимость между уровнем развития инновационной экономики и основными показателями, характеризующими социально-экономическое развитие северных регионов. Выполнено моделирование управления инновационным развитием промышленности Севера и Арктики. Проведены исследования системного подхода развития малого предпринимательства.

Издание рассчитано на широкий круг специалистов, включая научных работников, преподавателей высших и средних специальных учебных заведений, может использоваться в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов в первую очередь экономических специальностей.

Нерадовский, Ю. Н. Атлас минералов метаморфических пород кейвской серии / Ю. Н. Нерадовский, А. В. Чернявский. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — 159 с.: ил.

В работе представлены материалы по минералогии кианитовых, ставролитовых, гранатовых и силлиманитовых сланцев Больших Кейв (Кольский п-ов). В основу исследований положен онтогенический метод анализа процессов зарождения, роста и изменения минеральных индивидов. Показано, что минералы в метаморфических породах сохранили признаки своего образования в ходе различных геологических процессов. Основное внимание уделено кианиту и ставролиту, на примере которых сделана попытка проследить этапы их образования с позиции онтогении и филогении минералов. В связи с метаморфическим преобразованием пород в кристаллах ставролита описана отчетливая кристаллизационная зональность, а также признаки деформации в виде трансляционного растяжения кристаллов и двойникования под влиянием пластического «течения» субстрата. Установлены признаки изменения состава межзерновой флюидной фазы на разных стадиях формирования кианитовых сланцев, выявлены полиметаллическая и редкоземельно-фосфорная минеральные ассоциации. Показано, что питающей средой для роста метакристаллов является кварц-мусковитовый субстрат. В качестве механизма, обусловившего развитие зональности в кристаллах, предлагается пульсационная кристаллизация минералов.

Ростовые и технологические дефекты кристаллов ниобата лития различного химического состава: атлас / [М. Н. Палатников и др.]. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — 89 с.: ил.

Традиционно кристаллы ниобата лития являются широко востребованными функциональными материалами пьезотехники, акусто- и оптоэлектроники, интегральной, лазерной, нелинейной и акустооптики. Возможности их потенциального приложения постоянно расширяются, что делает актуальной задачей большой научной и практической значимости исследование закономерностей формирования их физических характеристик в зависимости от дефектной структуры реальных кристаллов с целью создания функциональных материалов с заданными свойствами как для традиционных, так и для принципиально новых приложений. Изложены результаты оригинальных исследований авторов в области изучения ростовой и технологической дефектной структуры реальных кристаллов ниобата лития (LiNbO_3) различного химического состава. Показано, что количество и конфигурация дефектов зависят от термодинамических особенностей процесса кристаллизации и, соответственно, от типа исходных компонентов и способа синтеза шихты, тепловых и кинетических условий выращивания, термической предыстории расплава и его химического состава, а в случае легированных кристаллов LiNbO_3 — и от способа легирования. Прослежена эволюция ростовой и технологической дефектной структуры кристаллов LiNbO_3 в результате послеростовой термической и электротермической обработки.

Установлено, что такая обработка сопровождается отжигом или существенной трансформацией ростовой дефектной структуры (точечных и протяженных дефектов, дислокаций, макро- и микродоменов, макро- и микродоменных границ, блочной субструктуры, сегрегации

примесей, включений второй фазы и т. п.) вплоть до полного исчезновения некоторых типов дефектов. При этом могут возникать новые типы структурных (технологических) дефектов, количество и конфигурация которых определяется параметрами процессов термической и электротермической обработки, типом и концентрацией легирующих примесей, а также способом легирования.

Поскольку химический состав кристаллов ниобата лития существеннейшим образом влияет как на конфигурацию ростовой дефектной структуры, так и на технологически оптимальные параметры послеростовой обработки, следовательно, и на технологическую дефектную структуру кристаллов, основное внимание уделено дефектной структуре легированных и сильно легированных кристаллов ниобата лития. Показано, что в связи с возможностью сегрегации примеси в объеме кристалла и заметным увеличением температуры Кюри процессы послеростового термического и электротермического отжига сильно легированных кристаллов ниобата лития и их результат существенно отличаются от таковых для номинально чистых кристаллов LiNbO_3 конгруэнтного состава.

Атлас представляет несомненный интерес для инженерно-технических работников, аспирантов, магистрантов, преподавателей, научных сотрудников, специализирующихся в области выращивания кристаллов и технологии кристаллических материалов, материаловедения и исследования строения оксидных твердотельных материалов электронной техники, оптики различного назначения, лазерной, интегральной и нелинейной оптики.

Социальная устойчивость регионов российского Севера и Арктики: оценка и пути достижения: монография / коллектив авторов; под науч. ред. Л. А. Рябовой. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — 168 с.: ил.

В монографии представлены результаты исследования социальной устойчивости регионов российского Севера и Арктики. Предложена методика, и проведена оценка социальной устойчивости регионов Севера и Арктики РФ за 2013–2016 гг. Составлены рейтинги регионов, и выполнено картирование российского Севера и Арктики по данному критерию. Обоснованы приоритеты достижения социальной устойчивости регионов Севера и Арктики России на среднесрочную перспективу.

Исследованы проблемы реализации социальной ответственности добывающих компаний, ведущих деятельность на Севере и в Арктике РФ, как фактора устойчивого социального развития территорий присутствия. Представлены итоги изучения социальной устойчивости территориального социума Севера и Арктики РФ методами социологии. Разработаны рекомендации для органов государственной власти по формированию и реализации политики устойчивого социального развития регионов российского Севера и Арктики.

Работа адресована научным работникам, государственным и муниципальным служащим, преподавателям и студентам, а также всем читателям, интересующимся проблемами развития Севера и Арктики России.

Вестник Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — № 1 (11). — 88 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. — № 5 (61). — 189 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. — № 6 (62). — 217 с.

Труды Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — № 5 (9). — 216 с. — (Гелиогеофизика, вып. 4).

Труды Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — № 6 (9). — 89 с. — (Химия и материаловедение: прил.: Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: материалы XII Межрегиональной науч.-техн. конф. молодых ученых, специалистов и студентов вузов (Апатиты, 20 апреля 2018 г.)).

Труды Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — № 9 (9). — 194 с. — (Прикладная экология Севера, вып. 6).

Труды Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. — № 10 (9). — 177 с. — (Информационные технологии, вып. 9).

Труды Кольского научного центра РАН. — Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018, № 11 (9). — 166 с. — (Гуманитарные исследования, вып. 15).

**ИВАНОВА Валентина Алексеевна**

к. т. н., ведущий научный сотрудник Горного института КНЦ РАН.

Валентина Алексеевна стояла у истоков создания лаборатории флотационных реагентов, куда она пришла работать в 1962 г. по окончании Московского института тонкой химической технологии и в которой работает по сегодняшний день. С этой лабораторией она прошла длинный профессиональный путь, наполненный интересными научными исследованиями и практическими разработками, от старшего лаборанта до заведующего лабораторией. Любознательный ум, аналитические способности и целеустремленность привели Валентину Алексеевну к защите кандидатской диссертации по специальности «Обогащение полезных ископаемых». После успешной защиты в 1974 г. работы на тему «Исследование флотационного действия алкилполигидроксильных и алкилполиэфирных соединений» ей было присвоено звание кандидата технических наук.

Валентина Алексеевна — авторитетный специалист в области разработки и применения флотационных реагентов для обогащения горно-химического сырья, теории их взаимодействия с поверхностью раздела фаз в сложных дисперсных флотационных системах. Автор более 120 публикаций, в том числе одной коллективной монографии, 20 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Под руководством Валентины Алексеевны и при ее участии разработаны: новый класс комплексообразующего собирателя (эфиры ксилита) для селективной флотации титан- и цирконийсодержащих минералов (перовскит, сфен, лопарит, бадделеит); эффективные реагентные режимы флотации апатитсодержащих руд, основанные на совместном применении традиционного жирнокислотного собирателя и неионогенных ПАВ (моноэтаноламиды и амиды карбоновых кислот, этоксилаты алифатических спиртов и алкилфенолов).

Разработаны новые карбоксилсодержащие реагенты из классов полиалкилбензолсульфокислот, алкенилантарных кислот и их моноэфирных и моноамидных производных для обогащения фосфатных руд и алюмосиликатов, эффективно действующие при флотации на оборотной воде и способные заменить собиратели растительного происхождения. Предложен и успешно использовался на АО «Апатит» собиратель КРЖ (кислоты рыбьего жира).

Разработан способ применения талловых масел смешанных пород древесины как жирнокислотного монособирателя при флотации апатит-нефелиновой руды, позволяющий снизить себестоимость апатитового концентрата, исключить потребление дефицитного хвойного таллового масла и тем самым более рационально использовать в народном хозяйстве талловые масла и продукты их переработки.

Предложен и внедрен на АО «Ковдорский ГОК» способ приготовления растворов и применения труднорастворимых в воде этоксилатов алкилфенолов в виде устойчивых солюбилизованных систем, позволяющий повысить их действие в качестве регулятора селективной флотации апатитсодержащих руд, снизить удельные расходы и сократить при этом энерго- и трудозатраты.

Работы с участием Валентины Алексеевны отмечены наградами ВДНХ: в 1972 и 1980 гг. бронзовыми, в 1983 г. — серебряной медалями. За повышение эффективности апатитового производства на АО «Апатит» путем внедрения нового реагента в 2003 г. ей было присвоено почетное звание «Лауреат Премии ОАО «Апатит»».

Валентина Алексеевна Иванова награждена медалями «За трудовую доблесть», «Ветеран труда», почетными грамотами Президиума РАН, Мурманского областного совета ВОИР, губернатора Мурманской обл., главы администрации г. Апатиты, дипломами и почетными грамотами Президиума КНЦ РАН, имеет нагрудный знак «Изобретатель СССР». В 2013 г. было присвоено почетное звание «Заслуженный химик Российской Федерации».

Поздравляем Валентину Алексеевну с юбилеем и желаем здоровья, неугасимой энергии и дальнейших творческих успехов!



НИКОЛАЕВ Анатолий Иванович

член-корреспондент РАН, д. т. н., профессор, заместитель директора по научной работе Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева.

В 1962 г. еще студентом заочного отделения Северо-Западного политехнического института был принят на работу в Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья (ИХТРЭМС) Кольского филиала АН СССР на должность препаратора. По возвращении из армии вернулся на работу в институт и с тех пор ИХТРЭМС — его единственное основное место работы, менялись только должности: от старшего лаборанта до заведующего лабораторией химии и технологии сырья редких тугоплавких металлов (с 1984 г.). С 2004 г. Анатолий Николаевич — заместитель директора по научной работе.

В 1975 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук, в 1994 г. — диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Экстракция ниобия, тантала и титана из сернокислых и фторидных растворов и ее применение в технологии титано-тантало-ниобатов Кольского полуострова». В 2007 г. ему присвоено ученое звание профессора и почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ», в 2008 г. избран членом-корреспондентом РАН.

А. И. Николаев — один из ведущих специалистов страны в области химии и технологии неорганических материалов из комплексного сырья. В 2000 г. в составе авторского коллектива Анатолий Иванович был удостоен Государственной премии РФ в области науки и техники за работу «Теоретические основы комплексной переработки титано-редкометалльного и алюмосиликатного сырья».

Автор более 700 научных работ, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях, в том числе 9 монографий, 66 авторских свидетельств и патентов. Его работы получили международное признание. Результаты его исследований представлялись многократно на международных и всероссийских конференциях. Он не единожды выступал в качестве председателя всероссийских конференций с международным участием, входил в состав оргкомитетов многих международных конференций.

Ведет большую работу по подготовке научных кадров: руководит кафедрой химии и строительного материаловедения в Мурманском государственном техническом университете, как профессор ведет три учебных курса. Под его руководством подготовлено 28 специалистов, защищены 9 кандидатских диссертаций, работают 2 аспиранта.

А. И. Николаев — член редколлегии 8 периодических научных изданий: «Химическая технология», «Цветные металлы», «Титан», «Редкие земли», «Труды КНЦ РАН», «Вестник МГТУ», «Вестник ТГУ», «Комплексное использование минерального сырья», — входит в состав редакционного совета журнала «Вестник КНЦ РАН». Член бюро двух научных советов РАН — по химической технологии, по металлургии и металловедению, член научного совета РАН по неорганической химии, входит в состав координационного совета при Правительстве Мурманской обл. по инновационному развитию региона.

Работая в ИХТРЭМС КНЦ РАН, А. И. Николаев сформировался как крупный специалист-исследователь, признанный научный лидер в области химии и технологии минерального сырья, разработки широкого ассортимента соединений редких элементов, титана и попутной продукции. Владеет современными методами исследований, способен ставить и организовывать исследования по решению актуальных задач народнохозяйственного значения на фундаментальной основе и внедрению научных результатов в сотрудничестве со специалистами предприятий и институтов, является продолжателем научной школы акад. В. Т. Калининкова.

В 2010 г. создал и возглавил в Кольском научном центре РАН Отдел исследований природных и синтетических нано- и микропористых веществ, в котором были разработаны технологии синтеза аналогов редких минералов — микропористых титаносиликатов из доступного сырья — и их использования для переработки жидких радиоактивных отходов с сокращением объема отходов в 100–500 раз. Ученым разработаны научные основы организации производства из техногенных отходов новых продуктов, в том числе сварочных материалов, сорбентов, катализаторов, соединений редких металлов и др.

Обоснованность результатов работ А. И. Николаева подтверждена многочисленными испытаниями предлагаемых им схем на всех стадиях — начиная с лабораторных опытов и заканчивая проверкой или реализацией предложенных вариантов технологии в модельном и опытно-промышленном масштабах. Под его руководством разработан базовый пакет комбинированных схем переработки титано-редкометалльного сырья арктического региона, позволяющий осуществить выбор оптимального варианта, отвечающего заданным критериям отбора (экономической эффективности, экологической безопасности, доступности реагентов, возможности получения продуктов требуемого ассортимента и качества), начато производство в Мурманской обл. компонентов сварочных материалов. Организованное по его инициативе при участии ИХТРЭМС КНЦ РАН и ФИЦ КНЦ РАН ООО «Центр синтеза функциональных материалов» можно рассматривать как основу Кольского химико-технологического кластера.

Имя А. И. Николаева в 1987 г. занесено в Книгу почета Мурманской обл. «За достижение наилучших результатов в социалистическом соревновании, в повышении эффективности производства и качества работы». В 2014 г. он удостоен высшей награды Мурманской обл. — знака отличия «За заслуги перед Мурманской областью» за большой вклад в создание новых технологических процессов получения редких металлов и композиционных материалов на их основе, развитие научного потенциала Мурманской обл., за профессиональную подготовку кадров высшей квалификации и в связи с 70-летием.

От всей души поздравляем Анатолия Николаевича с замечательным юбилеем и желаем ему крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов!

**МАРТЫНОВ Евгений Васильевич**

к. г.-м. н., старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН. В Кольском научном центре работает с 1976 г.

В 1976 г. окончил Ленинградский государственный университет по специальности «Математика» и поступил на работу в вычислительный центр КФАН СССР. В 1978 г. перешел в Геологический институт. В 1998 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Методы математического

моделирования при геохимических исследованиях метаморфизованных супракристаллических комплексов Кольского полуострова».

Главные направления исследований — разработка методов математического моделирования и их применение при реконструкции условий формирования и эволюции докембрийских геосистем, создание автоматизированных технологий обработки геохимических данных. На этом пути Е. В. Мартынов достиг высоких результатов. Основные научные результаты получены им при исследовании особенностей вещественного состава породных комплексов докембрия и фанерозоя. Среди них можно выделить определение характера изменчивости химического состава однотипных породных ассоциаций в ходе эволюции Земли и разработку автоматизированных диалоговых методов реконструкции первичной природы метаморфизованных горных пород. Важным этапом решения этих задач являлось создание базы данных по петрохимической характеристике докембрия Мурманской обл.

В настоящее время ведет исследования по изучению особенностей петрохимических свойств архейских комплексов Кольского региона.

Кроме того, Е. В. Мартынов занимается преподавательской деятельностью — читает лекции по ряду математических дисциплин в Апатитском филиале Мурманского государственного технического университета.

Коллектив Геологического института поздравляет Евгения Васильевича с круглой датой и желает крепкого здоровья и творческих успехов!



ЧЕРНОУС Сергей Александрович

26 января 1944 г. — 2 марта 2019 г.

2 марта 2019 г. после тяжелой продолжительной болезни ушел из жизни один из старейших сотрудников Полярного геофизического института — Сергей Александрович Черноус. Он был крупным специалистом, проработавшим в институте более 45 лет и посвятившим свою трудовую деятельность исследованиям полярных сияний и физических процессов в атмосфере Арктики.

После окончания Ленинградского государственного университета (кафедра физики атмосферы) в 1966 г. Сергей Александрович работал на острове Хейса (Земля Франца-Иосифа), где занимался измерениями авроральных и геомагнитных пульсаций и принимал участие в ракетных экспериментах прикладного характера. В Полярном геофизическом институте работал с 1969 г., пройдя путь от младшего научного сотрудника до помощника директора. В последнее время занимал должность старшего научного сотрудника в секторе оптических методов.

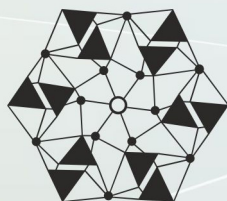
За плечами Сергея Александровича 12 лет арктических экспедиций. В период работы в ПГИ под его руководством и при его личном участии была создана фотометрическая сеть в Арктике и Антарктике, разработано несколько поколений высокочувствительной оптической аппаратуры для наблюдений полярных сияний и слабосветящихся объектов. Он автор фундаментальных и прикладных работ по исследованию плазмообразующих, плазмогасящих и нейтральных смесей, инжектируемых с борта ракет во время активных экспериментов на ракетных полигонах Капустин Яр, Кируна, о. Хейса, Плесецк, НИС в Северной Атлантике и др. Сергей Александрович также является автором более 150 научных работ, посвященных исследованию полярных сияний и динамики атмосферы Арктики, изучению авроральных и геомагнитных пульсаций, распространения радиоволн и высыпаний заряженных частиц, и соавтором двух монографий. В 2017 г. вышла его научно-популярная книга-альбом «Полярные сияния».

Научная и организаторская деятельность Сергея Александровича неизменно носила оригинальный, новаторский характер. Творческий подход, недюжинный дар научно-технического прогноза всегда придавали неизгладимые, узнаваемые черты его решениям. Неоднократно в истории ПГИ он оказывался у истоков революционных изменений в технике и методике эксперимента. Множество его идей и предложений еще ждут своей реализации.

Сергей Александрович проделал большую научно-техническую и организационную работу по обеспечению ПГИ современной цифровой аппаратурой для регистрации слабых свечений в атмосфере. Он являлся академиком Международной академии наук экологии и безопасности человека и природы (МАНЭБ), действительным членом Оптического общества имени Д. С. Рождественского, входил в состав комиссии Президиума РАН по аномальным атмосферным явлениям.

Будучи преподавателем Кольского филиала Петрозаводского государственного университета, Сергей Александрович подготовил немало молодых специалистов, руководил курсовыми и дипломными работами студентов, очень много времени уделял работе со школьниками.

Мы сохраним благодарную память о нашем друге, товарище и коллеге Сергее Александровиче Черноусе на долгие годы.



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

