

ISSN 2307-2091 (print)  
ISSN 2500-2414 (online)

**Учредитель**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский государственный горный университет»

# ИЗВЕСТИЯ

Уральского государственного  
горного университета

Научно-технический журнал

**NEWS**  
of the Ural State  
Mining University

Scientific and technical journal

Issue 2(54)

2019

Уральский государственный  
горный университет

Ural State  
Mining University

Известия Уральского государственного  
горного университета  
2019, вып. 2(54)

News of the Ural State  
Mining University  
2019, issue 2(54)



Журнал выходит 4 раза в год

Published 4 times a year

Известия Уральского государственного горного университета – рецензируемый научно-технический журнал, в котором находят отражение актуальные вопросы изучения, оценки и промышленного освоения минерально-сырьевых ресурсов Уральского региона и сопредельных территорий. В их числе проблемы геологии и разведки недр, геофизических исследований, горного дела и горной механики, экономики природопользования.

К публикации принимаются статьи на русском и английском языках.

Полнотекстовая версия журнала размещается в свободном доступе на нашем сайте <https://iuggu.ru>, в системе журналов открытого доступа DOAJ и ROAD, а также на платформе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) НЭБ. Более полная информация и правила оформления статей размещены на сайте журнала.

News of the Ural State Mining University is a peer-reviewed scientific and technical journal, which reflects topical issues of the study, evaluation and commercial development of mineral resources of the Ural region and adjacent territories. These include problems of geology and subsoil exploration, geophysical studies, mining and mining mechanics, environmental economics.

We accept for publication articles in Russian and English languages.

The full-text version of the journal is in the public domain on the website of the journal <https://iuggu.ru>, in DOAJ, ROAD and in the database of the Russian Science Citation Index of the Russian Universal Scientific Electronic Library.

Website of the journal contains a detailed information about the journal, as well as guidelines for authors.

Включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», действующий с 1.12.2015 г.

Подписка на журнал осуществляется по каталогу Агентства «Роспечать»  
«Газеты. Журналы», подписной индекс 25145.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-75290 от 05.04.2019,  
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых  
коммуникаций (Роскомнадзор)

## УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ

### УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

#### Главный редактор

КОСАРЕВ Н. П. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

#### Заместитель главного редактора

ГРЯЗНОВ О. Н. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

#### Ученый секретарь

ПОЛЕНOV Ю. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

## Редакционная коллегия

МАКАРОВ А. Б. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)  
ДАВЫДОВ В. А. – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр., Институт геофизики имени Ю. П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

ДАШКО Р. Э. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия (Науки о Земле)

ДУШИН В. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

ЕРОХИН Ю. В. – канд. геол.-минерал. наук, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварецкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

ИВАНОВ К. С. – д-р геол.-минерал. наук, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварецкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

ИГОЛКИНА Г. В. – д-р геол.-минерал. наук, Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

КОРОТЕЕВ В. А. – академик РАН, д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварецкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

МАЛИЧ К. Н. – канд. геол.-минерал. наук, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварецкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

НАУМОВ В. А. – д-р геол.-минерал. наук, доц., Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия (Науки о Земле)

ПИСЕЦКИЙ В. Б. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

ПУЧКОВ В. Н. – член-корр. РАН, д-р геол.-минерал. наук, Институт геологии Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия (Науки о Земле)

РИХВАНОВ Л. П. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия (Науки о Земле)

СУНГАТУЛЛИН Р. Х. – д-р геол.-минерал. наук, доц., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия (Науки о Земле)

ХОМЕНКО В. П. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия (Науки о Земле)

ЩАПОВ В. А. – д-р геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр., Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург, Россия (Науки о Земле)

ЖАБКО А. В. – канд. техн. наук, доц., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Технические науки; Науки о Земле)

ВАЛИЕВ Н. Г. – д-р техн. наук, проф., первый проректор, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Технические науки; Науки о Земле)

ГОЛИК В. И. – д-р техн. наук, проф., Северо-Кавказский горно-металлургический институт, Владикавказ, Россия (Технические науки)

ГОРДЕЕВ В. А. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Технические науки)

ЗОТОПАВ А. Н. – д-р техн. наук, проф., Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия (Технические науки)

ПОТАПОВ В. Я. – д-р техн. наук, доц., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Технические науки)

ИГНАТЬЕВА М. Н. – д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Экономические науки)

ГЛАЗЫРИНА И. П. – д-р экон. наук, канд. физ.-мат. наук, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия (Экономические науки)

ДОРОШЕНКО Ю. А. – д-р экон. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова, Белгород, Россия (Экономические науки)

ДУШИН А. В. – д-р экон. наук, ректор, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия (Экономические науки)

ЛАРИЧКИН Ф. Д. – д-р экон. наук, гл. науч. сотр., Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина Кольского научного центра РАН, Апатиты, Мурманская обл., Россия (Экономические науки)

НАЗАРОВА З. М. – д-р экон. наук, проф., Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе, Москва, Россия (Экономические науки)

## Члены международной редакции

АБДЕЛЬ ГАВАД А. Е. – Dr, Управление ядерных материалов, Каир, Египет (Науки о Земле)

МЕРКЛЕ Роланд Карл Вилли – Dr, Prof., Университет Претории, Претория, Южная Африка (Науки о Земле)

САДОВЕНКО И. А. – д-р техн. наук, проф., Национальный горный университет, Днепр, Украина (Науки о Земле; Технические науки)

БУЙ С. Н. – Dr.-Ing., ассоц. проф., проректор, Ханойский университет горного дела и геологии, Ханой, Вьетнам (Технические науки)

ВЕКСЛЕР Ю. А. – Dr.-Ing.habil, Prof., Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH, Дахау, Германия (Технические науки)

ДРЕБЕНШТЕДТ К. – Prof., Dr.-Ing., Фрайбергская горная академия, Фрайберг, Германия (Технические науки)

ИЛИАШ Н. – Dr of Technical Science, Prof., Петрошанский университет, Петрошань, Румыния (Технические науки)

МОРКУН В. С. – д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе, Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина (Технические науки)

САКСЕНХОФЕР Р. Ф. – Univ.-Prof., Mag.rer.nat., Dr.mont., Горный университет Леобена, Леобен, Австрия (Технические науки)

ФЕРРЕРО А. М. – PhD, Туринский университет, Турин, Италия (Технические науки)

ВЕРШКОВ А. Ф. – д-р экон. наук, Департамент геологии АО «Волковгеология», Алматы, Казахстан (Науки о Земле; Экономические науки)

СЯО Ф. – PhD, Prof., Хэйлунцзянский университет науки и технологии, Харбин, Китай (Технические науки; Науки о Земле)

ТАМБОВЦЕВА Т. Т. – д-р экон. наук, ассоц. профессор, Рижский технический университет, Рига, Латвия (Экономические науки)

РАДА Е. К. – Dr, Prof., Университет Инсбруки, Варесе, Италия (Экономические науки)

## Founder and publisher

URAL STATE MINING UNIVERSITY

### Editor-in-Chief

N. P. KOSAREV, Dr, Prof. (*Ekaterinburg, Russia*, Ural State Mining University)

### Deputy Editor-in-Chief

O. N. GRYAZNOV, Dr, Prof. (*Ekaterinburg, Russia*, Ural State Mining University)

### Academic Secretary

Yu. A. POLENOV, Dr, Prof. (*Ekaterinburg, Russia*, Ural State Mining University)

## Editorial board

A. B. MAKAROV, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)

V. A. DAVYDOV, PhD, Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)

R. A. DASHKO, Dr, Prof., Saint-Peterburg Mining University, *Saint Petersburg, Russia* (Earth sciences)

V. A. DUSHIN, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)

Yu. V. EROKHIN, PhD, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)

K. S. IVANOV, Dr, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)

G. V. IGOLKINA, Dr, Prof., *Ekaterinburg, Russia*, Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Earth sciences)

V. A. KOROTEEV, Academician of the RAS, Dr, Professor, *Ekaterinburg, Russia*, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Earth sciences)

K. N. MALITCH, PhD, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)

V. A. NAUMOV, Dr, Assoc. Prof., Perm State University, *Perm', Russia* (Earth sciences)

V. B. PISETSKI, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)

V. N. PUCHKOV, Corresponding member of the RAS, Dr, Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, *Ufa, Russia* (Earth sciences)

L. P. RIKHVANOV, Dr, Prof., Tomsk Polytechnic University, *Tomsk, Russia* (Earth sciences)

R. Kh. SUNGATULLIN, Dr, Assoc. Prof., Kazan Federal University, *Kazan', Russia* (Earth sciences)

V. P. KHOMENKO, Dr, Prof., Moscow State University of Civil Engineering, *Moscow, Russia* (Earth sciences)

V. A. SHCHAPOV, Dr, Prof., Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)

A. V. ZHABKO, PhD, Assoc. Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Engineering sciences; Earth sciences)

N. G. VALIEV, Dr, Prof., First Vice-Rector, Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Engineering sciences; Earth sciences)

V. I. GOLIK, Dr, Prof., North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy, State Technological University, *Vladikavkaz, Russia* (Engineering sciences)

V. A. GORDEEV, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Engineering sciences)

V. Ya. POTAPOV, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Engineering sciences)

A. N. ZOTOV, Dr, Prof., Ufa State Petroleum Technological University, *Ufa, Russia* (Engineering sciences)

M. N. IGNAT'eva, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Economic sciences)

I. P. GLAZYRINA, Dr, Prof., Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the RAS, *Chita, Russia* (Economic sciences)

Yu. A. DOROSHENKO, Dr, Prof., Belgorod State Technological University named after B. G. Shukhov, *Belgorod, Russia* (Economic sciences)

A. V. DUSHIN, Dr, Rector, Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Economic sciences)

F. D. LARICHKIN, Dr, Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», *Apatity, Murmansk region, Russia* (Economic sciences)

## International members

A. E. ABDEL GAWAD, Dr, Nuclear Materials Authority, *Cairo, Egypt* (Earth sciences)

R. K. W. MERKLE, Dr, Prof., University of Pretoria, *Pretoria, South Africa* (Earth sciences)

I. A. SADOVENKO, Dr, Prof., National Mining University, *Dnepr, Ukraine* (Earth sciences; Engineering sciences)

X. N. BUI, Dr.-Ing., Assoc Prof., Vice Rector, Hanoi University of Mining and Geology, *Hanoi, Vietnam* (Engineering sciences)

Ju. A. VEKSLER, Dr.-Ing.habil, Prof., Marco Systemanalyse und Entwicklung GlbH, *Dachau, Germany* (Engineering sciences)

C. DREBENSTEDT, Prof., Dr.-Ing., Technical University Bergakademie, *Freiberg, Germany* (Engineering sciences)

N. ILIAS – Dr, Prof., Universitatea din Petrosani, *Petrosani, Romania* (Engineering sciences)

V. S. MORKUN, Dr, Prof., Vice-Rector for scientific work, Kryvyi Rih National University, *Krivoy Rog, Ukraine* (Engineering sciences)

R. F. SACHSENHOFER, Mag.rer.nat., Dr.mont., Univ.-Professor, University of Leoben, *Leoben, Austria* (Engineering sciences)

A.-M. FERRERO, PhD, University of Turin, *Turin, Italy* (Engineering sciences)

A. F. VERSHKOV, Dr, Prof., Geology Department in Uranium Exploration Company «Volkovgeologija», *Almaty, Kazakhstan* (Earth sciences; Economic sciences)

F. XIAO, PhD, Prof., Heilongjiang University of Science and Technology, *Harbin, China* (Engineering sciences; Earth sciences)

T. T. TAMBOVCEVA, Dr, Assoc Prof., Riga Technical University, *Riga, Latvia* (Economic sciences)

E. C. RADA, Dr, Prof., Insubria University, *Varese, Italy* (Economic sciences)

# СОДЕРЖАНИЕ

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<b>Интерпретация данных магниторазведки для определения глубины пород кристаллического фундамента и структурных элементов района Мандиша, оазис Эль-Бахария (Западная пустыня, Египет)</b> В. Р. Гавеиш, Х. Х. Марзук, А. В. Петров, И. А. Мараев (In English)	7	<b>Magnetic data interpretation to determine the depth of basement rocks and structural elements of Mandisha village, El Baharia Oasis, Western Desert, Egypt</b> W. R. Gaweish, H. H. Marzouk, A. V. Petrov, I. A. Maraev (In English)
<b>Минералогия сланцев из фундамента юго-западной части Тазовского полуострова Западно-Сибирского мегабассейна (Лензитская нефтеразведочная площадь, ЯНАО)</b> В. С. Пономарев, К. С. Иванов, В. В. Хиллер (In English)	20	<b>Mineralogy of schists from the basement of the southwestern part of the Tazovsky peninsula of the West Siberian megabasin (Lenzitskaya oil exploration area, YNAD)</b> V. S. Ponomarev, K. S. Ivanov, V. V. Khiller (In English)
<b>Химическая зональность нодулей хромовой шпинели и окситермобарометрия нодулярных хромититов рудопроявления Енгайское-3 массива Рай-Из (Полярный Урал)</b> П. Б. Ширяев, Н. В. Вахрушева (In English)	28	<b>Chemical zoning of chrome-spinel nodules and oxythermobarometry of nodular chromitites of the Engayskoe-3 occurrence in the Rai-Iz massif (Polar Urals)</b> P. B. Shiryayev, N. V. Vakhrusheva (In English)
<b>Эдиакарская фауна в древних толщах Полярного Урала</b> Л. Ф. Шадрин	34	<b>Ediacaran fauna in the ancient strata of the Polar Urals</b> L. F. Shadrin
<b>О генетических типах дунитов в ультрамафитах складчатых областей (на примере Урала)</b> И. С. Чашухин	42	<b>About the genetic types of dunites in folded ultramafites areas (using the Urals as an example)</b> I. S. Chashchukhin
<b>Шабазит-Mg из габброидов Баженовского оphiолитового комплекса (Средний Урал) – первая находка в России</b> Ю. В. Ерохин, А. Г. Шорин, А. В. Захаров, А. Е. Чугаев, Л. В. Леонова, О. Л. Галахова	49	<b>Chabazite-Mg from gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex (Middle Urals) is the first find in Russia</b> Y. V. Erokhin, A. G. Shorin, A. V. Zakharov, A. E. Chugaev, L. V. Leonova, O. L. Galakhova
<b>Металлы в нефти месторождений Оренбургской области</b> Г. А. Пономарева	56	<b>Metals in oil of the deposits of the Orenburg region</b> G. A. Ponomareva
<b>Прогнозирование петрофизических свойств целевого интервала отложений месторождения Газанбулак по атрибутному анализу сейсмических данных 3D в комплексе с ГИС</b> Т. Р. Ахмедов, М. А. Агаева, С. Р. Мамедова	63	<b>Forecasting of the petrophysical rock properties of the target interval of sediments of the Gazanbulak field according to the 3D seismic attribute analysis in combination with GIS</b> T. R. Akhmedov, M. A. Agaeva, S. R. Mamedova
<b>Применение 1D–2D инверсий электромагнитных зондирований при изучении грунтовых плотин</b> В. А. Давыдов, О. И. Федорова, С. В. Байдиков	72	<b>Application of 1D–2D inversion of electromagnetic sounding in the study of ground water dam</b> V. A. Davydov, O. I. Fedorova, S. V. Baidikov
<b>ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>		
<b>Основные тенденции развития железорудной отрасли России</b> В. Д. Кантемиров, Р. С. Титов, А. М. Яковлев, М. В. Козлова (In English)	80	<b>The main trends of development of the iron ore industry in Russia</b> V. D. Kantemirov, R. S. Titov, A. M. Yakovlev, M. V. Kozlova (In English)
<b>Определение рациональных параметров шнековых грузчиков проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»</b> А. Б. Максимов, Д. И. Шишлянников, Н. В. Чекмасов	87	<b>Determination of the rational parameters of screw loaders of the Ural-20R heading-and-winning machines</b> A. B. Maksimov, D. I. Shishlyannikov, N. V. Chekmasov

# CONTENTS

## EARTH SCIENCES

<b>Magnetic data interpretation to determine the depth of basement rocks and structural elements of Mandisha village, El Baharia Oasis, Western Desert, Egypt</b> W. R. Gaweish, H. H. Marzouk, A. V. Petrov, I. A. Maraev (In English)	
<b>Mineralogy of schists from the basement of the southwestern part of the Tazovsky peninsula of the West Siberian megabasin (Lenzitskaya oil exploration area, YNAD)</b> V. S. Ponomarev, K. S. Ivanov, V. V. Khiller (In English)	
<b>Chemical zoning of chrome-spinel nodules and oxythermobarometry of nodular chromitites of the Engayskoe-3 occurrence in the Rai-Iz massif (Polar Urals)</b> P. B. Shiryayev, N. V. Vakhrusheva (In English)	
<b>Ediacaran fauna in the ancient strata of the Polar Urals</b> L. F. Shadrin	
<b>About the genetic types of dunites in folded ultramafites areas (using the Urals as an example)</b> I. S. Chashchukhin	
<b>Chabazite-Mg from gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex (Middle Urals) is the first find in Russia</b> Y. V. Erokhin, A. G. Shorin, A. V. Zakharov, A. E. Chugaev, L. V. Leonova, O. L. Galakhova	
<b>Metals in oil of the deposits of the Orenburg region</b> G. A. Ponomareva	
<b>Forecasting of the petrophysical rock properties of the target interval of sediments of the Gazanbulak field according to the 3D seismic attribute analysis in combination with GIS</b> T. R. Akhmedov, M. A. Agaeva, S. R. Mamedova	
<b>Application of 1D–2D inversion of electromagnetic sounding in the study of ground water dam</b> V. A. Davydov, O. I. Fedorova, S. V. Baidikov	
<b>ENGINEERING SCIENCES</b>	
<b>The main trends of development of the iron ore industry in Russia</b> V. D. Kantemirov, R. S. Titov, A. M. Yakovlev, M. V. Kozlova (In English)	
<b>Determination of the rational parameters of screw loaders of the Ural-20R heading-and-winning machines</b> A. B. Maksimov, D. I. Shishlyannikov, N. V. Chekmasov	

<p><b>Разработка и методика определения параметров вибрационного стендса с консольной просеивающей поверхностью</b> А. В. Юдин, М. К. Абдулкаримов, А. Г. Попов, В. С. Шестаков</p> <p><b>О едином диагностическом критерии для выявления дефектов электрических машин по параметрам механических колебаний</b> П. Б. Герике</p> <p><b>Способы снижения износа колесных пар подвижного состава</b> Д. В. Глазунов</p> <p><b>Разработка автоматизированной системы пожаротушения шахты Третьего Соликамского калийного-рудникового управления</b> Т. Г. Середа</p>	<p>93 <b>Development and methods for determining the parameters of a vibration stand with an open-end deck plate</b> A. V. Yudin, M. K. Abdulkarimov, A. G. Popov, V. S. Shestakov</p> <p>100 <b>About a single diagnostic criterion for detecting defects of electric machines by the parameters of vibrations</b> P. B. Gerike</p> <p>107 <b>Ways to reduce wear of wheelsets of carriage rolling stock</b> D. V. Glazunov</p> <p>115 <b>Development of an automated fire-fighting system for the mine of the Third Solikamsk potash-mine administration</b> T. G. Sereda</p>
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ	
<p><b>Определение ставки дисконтирования для условий предприятий минерально-сырьевого комплекса: дискуссионные вопросы</b> В. Н. Подкорытов, Л. А. Мочалова (In English)</p> <p><b>Природные ресурсы с позиции учета в составе национального богатства</b> О. А. Логвиненко, В. Е. Стровский</p> <p><b>Методика расчета резерва рабочего времени персонала угледобывающего предприятия для его развития</b> В. А. Галкин, А. М. Макаров, С. И. Захаров, М. Н. Полещук</p> <p><b>Нормирование трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия: принципы и методы</b> О. А. Лапаева</p> <p><b>Особенности системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных районах Урала</b> Т. А. Лебедева</p>	<p>121 <b>Determination of the discount rate for the conditions of enterprises of the mineral resources sector: argumentative issues</b> V. N. Podkorytov, L. A. Mochalova (In English)</p> <p>126 <b>Natural resources as part of national wealth</b> O. A. Logvinenko, V. Y. Strovskiy</p> <p>134 <b>Method of calculating the reserve of the working time of the coal producer staff for the purpose of its development</b> V. A. Galkin, A. M. Makarov, S. I. Zakharov, M. N. Poleshchuk</p> <p>146 <b>Performance standards of workers of a mining enterprise: ground rules and methods</b> O. A. Lapaeva</p> <p>159 <b>Features of system monitoring of forested areas in industrial regions of the Urals</b> T. A. Lebedeva</p>
ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА	
<p><b>В. Н. Авдонин (1925–2017) и авдонинит</b> В. И. Ермоленко, Ю. А. Поленов, В. Н. Огородников</p> <p><b>Формирование мусульманских общин в горнозаводских поселениях Урала и Сибири в конце XIX – начале XX в.</b> А. Н. Старостин</p>	<p>166 <b>V. N. Avdonin (1925–2017) and avdoninite</b> V. I. Ermolenko, Y. A. Polenov, V. N. Ogorodnikov</p> <p>173 <b>The formation of Muslim communities in the mining settlements of the Urals and Siberia in the late XIX – early XX century</b> A. V. Starostin</p>
HISTORY OF MINING	

# Науки о Земле

## Earth sciences

УДК 550.389.1

<https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-2-7-19>

## Magnetic data interpretation to determine the depth of basement rocks and structural elements of Mandisha village, El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt

Wael Ragab Gaweish<sup>1,2,\*</sup>,  
Hossam Hassan Marzouk<sup>2</sup>,  
Aleksey Vladimirovich Petrov<sup>1</sup>,  
Igor' Alekseevich Maraev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Cairo, Egypt

**Relevance.** The study area is located at Mandisha village, El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. It is suffering from lack of surface water. So it's important to search for another source of water (as groundwater) that important for everything for live. Based on the literature studies; the main aquifer in the study area is located in the Nubian sandstone aquifer, which located directly on the upper surface of the basement rocks. So the depth of the lower surface of the Nubian sandstone aquifer is equal to the depth of the upper surface of the basement rocks in the study area.

**Objectives of the study.** This study is used the analysis and interpretation of magnetic data to determine the depth of the basement rocks and the structural elements that affected on the basement rocks at Mandisha area in El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt.

**Research methodology.** The Magnetic methods were applied to achieve these goals. One hundred and seventy four magnetic stations were acquired by Overhauser magnetometer instrument (GSM-19 "V7.0"). The magnetic data were processed by using Geosoft Oasis Montaj program. 2D Magnetic Profiles and 3D Magnetic Modeling were established to construct basement relief map in the study area. First Vertical Derivative Technique, Source Edge Detection Method and 3D Euler Deconvolution method were established to determine the locations and directions of faults that affected on the Basement Rocks in the study area.

**Work results.** The most important results of this study: 1. The depth of the basement rocks in the study area ranges from 1200 m to 2000 m. 2. The northeastern, northwestern and western parts of the study area are characterized by shallow depth of the basement rocks, while the southern and eastern parts of the study area are characterized by deep depth of the basement rocks. 3. Deep faults (more than 2000 m) were located at northern part of the study area. 4. The main direction faults in the study area are NE-SW and E-W direction.

**Keywords:** Magnetic Data Interpretation, 3D Euler Deconvolution, 2D Magnetic Profile, 3D Magnetic Modeling, Basement Rocks, faults, Geosoft, El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt.

### Introduction

The study area is located at Mandisha village in El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. It is located between latitudes 28° 16' 22" N–28° 19' 14" N and longitudes 28° 55' 40" E–28° 59' 50" E with an area of 36.13 km<sup>2</sup> (Fig. 1).

The study area is suffering from lack of surface water. So it's important to search for another source of water that important for living and everything for live as groundwater. Based on the literature studies; the main aquifer in the study area is located in the Nubian sandstone aquifer (Cenomanian age), which located directly on the upper surface of the basement rocks [1]. So the depth of the lower surface of the Nubian sandstone aquifer is equal to the depth of the upper surface of the basement rocks in the study area.

The analysis and interpretation of magnetic data were used for mapping the relief of the basement rocks in the study area. So, the main purpose of this study is to analyze and interpret the magnetic data for determining the depth of basement rocks in the study area and the structural elements (Faults and/or cracks) that affected the study area.

Our pattern recognitions criteria are based on the interpretation of magnetic data that applied on the total intensity magnetic map reduced to the pole (RTP Map). The interpretation of magnetic data includes five techniques which applied by Geosoft program: these techniques including First Vertical Derivative Technique, Source Edge Detection Method, 3D Euler Deconvolution, 2D Magnetic Profiling and 3D Magnetic Modeling. After that; the Magnetic interpretations have been compared with each other to determine the location of faults with high resolution.

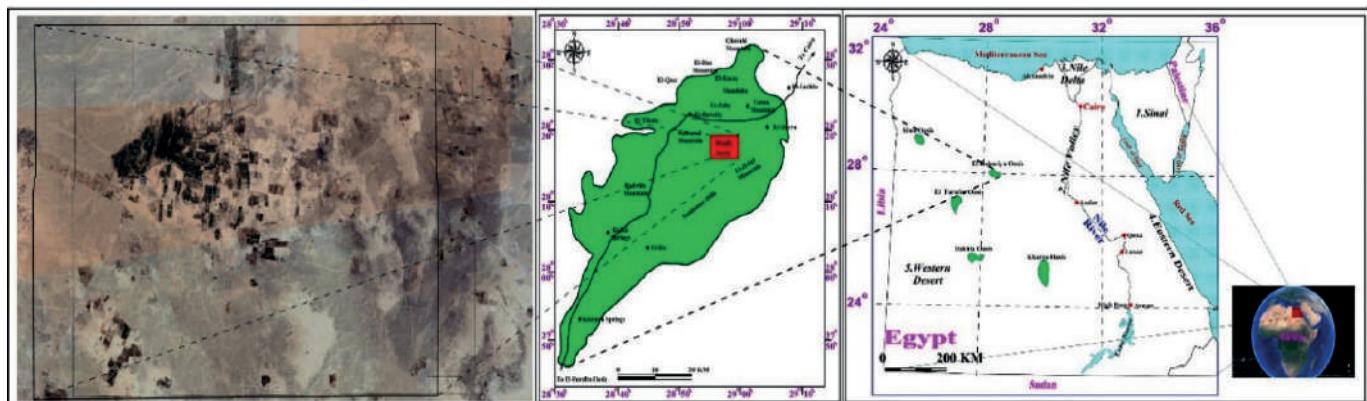
### Geology of the study area

The geology of the study area was described from the geological map of El-Bahariya Oasis and the stratigraphic succession of well No. 1 (Box-1) that located at El-Bahariya Oasis. These geological study includes surface and subsurface geology of the study area.

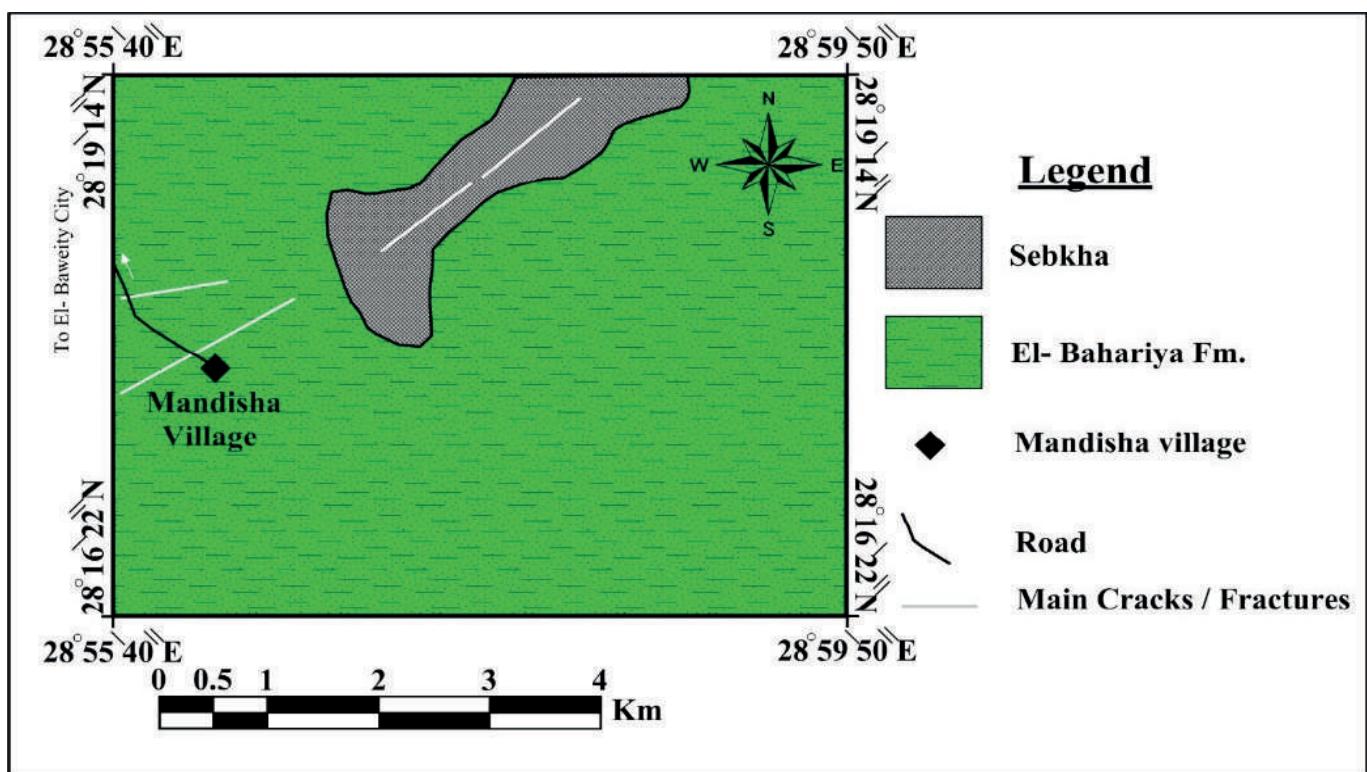
a) **The surface Geology of the study area** has been described from the geological map of Egypt, Sheet No. (NH 35 SE BA-HARIYA) with a scale of 1 : 500 000 [2]. It was built by the Egyptian General petroleum Corporation in 1986 (Fig. 2). Surface Geology of the study area refers to the upper Cretaceous "Cenomanian age" and Quaternary age: 1. Upper Cretaceous deposits were represented by Bahariya Formation (Early Cenomanian age). It has deposited at widespread of the study area. Bahariya Formation consists of fine to coarse Ferruginous Sandstone intercalated with Shale. 2. Quaternary deposits were represented by

\*✉ wael\_ragab2007@yahoo.com

✉ <http://orcid.org/0000-0002-5971-4839>



**Figure 1. Location map of the study area.**  
Рисунок 1. Обзорная карта района работ.



**Figure 2. Geologic map of the study area [2].**  
Рисунок 2. Геологическая карта изучаемого района [2].

Sabkha deposits (which composed of Shale, Clay and Evaporate deposits). Sabkha deposits are concentrated at North Central part of the study area. 3. Structural elements which presented in the study area as cracks and/or fractures. The main direction of these fractures is NE-SW direction.

b) **Subsurface stratigraphy of El-Bahariya Oasis** were collected from well No. 1 (Box-1) that located at El-Bahariya Oasis with latitude  $28^{\circ} 19' 27.5''$  N and longitude  $28^{\circ} 58' 00''$  E with an Elevation 122 M (after [1, 3, 4]). A Brief description of the subsurface stratigraphic section of El-Bahariya Oasis from top to bottom layer is shown in (Table 1 and Fig. 3).

#### Methodology

In this study, the magnetic data were analyzed and interpreted for determining the depth of the basement rocks and the structural elements that affected on the basement rocks of the study area.

#### 1. Magnetic data acquisition

One hundred and seventy four magnetic stations were measured to cover the study area (Fig. 4, a). Magnetic data were carried out using one Overhauser magnetometers for both field survey and base station recordings. The model of Overhauser magnetometer, which used for magnetic acquisition, is ((GSM-19) V7.0), made in Canada (since 1980), with sensitivity 0.022 nT (Fig. 4, b and Fig. 4, c) [5]. Magnetic stations were measured in the study area every 300–500 m. The base station was recorded every 3–5 hours during field measurements. It was located at the Eastern part of the study area with longitude  $28^{\circ} 59' 30.99''$  E and latitude  $28^{\circ} 17' 57.4''$  N with an absolute value of 42592.5γ.

**Table 1. Composite stratigraphic section of El-Bahariya Oasis (after [1, 3, 4]).**

Таблица 1. Стратиграфический разрез оазиса Эль-Бахария (по данным [1, 3, 4]).

Formation name	Age	Lithology	Thickness, m	Note
Olivin Basalt	Early Miocene	The olivine basalt consists of basalt flows and sills	20	Neogene rocks are represented by volcanic rocks "Olivine Basalt"
Radwan Formation	Oligocene	Radwan Formation consists of dark brown Ferruginous Sandstone	35	Olivine Basalt lies on Radwan formation
Hamra Formation	Middle & Late Eocene	Hamra Formation is composed of Limestone intercalated with clastic rocks, forming reef-like structures with dips of 10–40°	60	Radwan Formation lies on Hamra formation
Qazzun Formation	Middle Eocene	Qazzun Formation consists of white Limestone intercalated with hard Dolomitic Limestone	32	Hamra Formation lies on Qazzun Formation
Naqb Formation	Early-Middle Eocene	Naqb Formation consists of chalk intercalated with Dolomitic Limestone <i>Disconformity because the absence of Paleocene Sediments</i>	67	Qazzun Formation lies on Naqb Formation
Khoman Chalk Formation	Maastrichtian	Khoman Chalk Formation consists of Chalk and limestone with hard dolomitic limestone at the top	42	Naqb Formation lies on Khoman Chalk Formation
El-Hefhuf Formation	Turonian-Santonian	El-Hefhuf Formation consists of carbonate rocks intercalated with Dolostone rocks	43	Khoman Chalk Formation lies on El-Hefhuf Formation
El-Heiz Formation	Late Cenomanian	El-Heiz Formation is composed of carbonate rocks intercalated with Dolostone rocks	30	El-Hefhuf Formation lies on El-Heiz Formation
El-Bahariya Formation	Cenomanian	El-Bahariya Formation consists of Sandstone intercalated with Shale. El-Bahariya Formation consists of 4 zones. Zone A = 215 m, Zone B = 92 m, Zone C = 220 m and Zone D = 175 m <i>Disconformity because the absence of Ordovician, Silurian, Devonian, Carboniferous, Permian, Triassic and Jurassic Sediments</i>	702	El-Heiz Formation lies on El-Bahariya Formation
Cambrian rocks	Cambrian	Cambrian rocks, composed of dense granite, with a depth of Basement rocks 1822 m	—	—

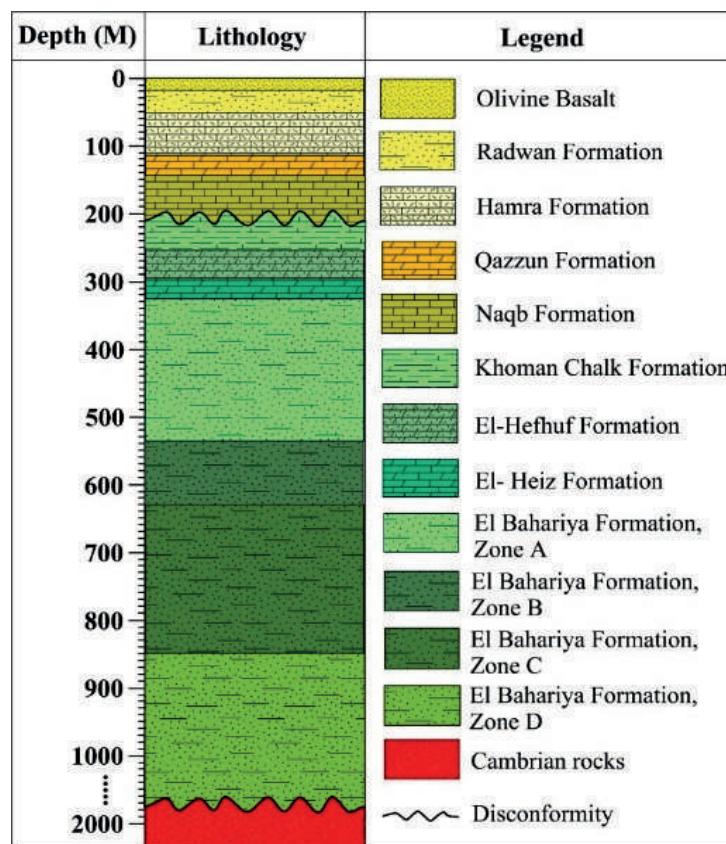
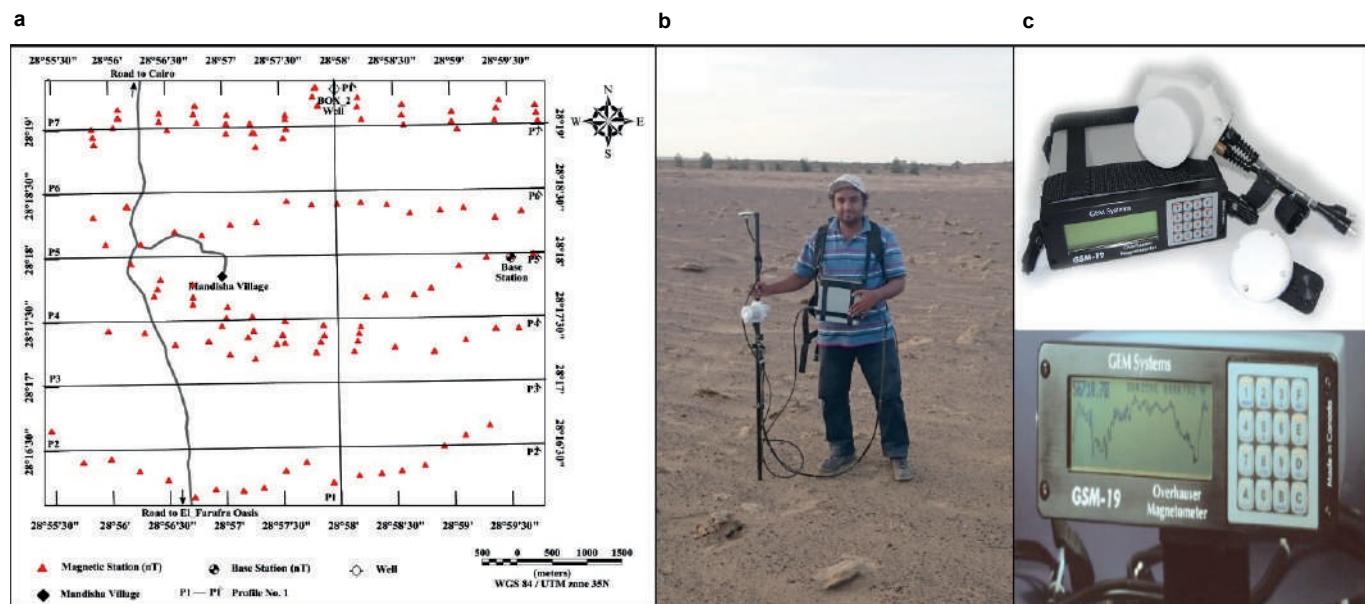
**Figure 3. Composite stratigraphic column of El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt (after [3, 4]).**

Рисунок 3. Стратиграфический разрез оазиса Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет (по данным [3, 4]).



**Figure 4. Magnetic Data Acquisition.** a – location Map of Magnetic Stations, base station and magnetic profiles in the study area; b – when measuring magnetic data in the study area; c – Overhauser magnetometer system (GSM-19 v7.0).

**Рисунок 4. Получение магниторазведочных данных.** а – обзорная карта магнитных пунктов, опорных пунктов и магниторазведочных профилей в районе проведения исследований; б – процесс получения данных магниторазведки в районе проведения исследований; в – магнитометр с датчиком Оверхаузера (GSM-19 v7.0).

**Table 2. Examples of magnetic data that exported from an Overhauser magnetometer to the computer – in file format: XYZ format (linear oriented).**

Таблица 2. Примеры данных магниторазведки, импортированных с магнитометра на компьютер, – в формате XYZ (прямолинейные).

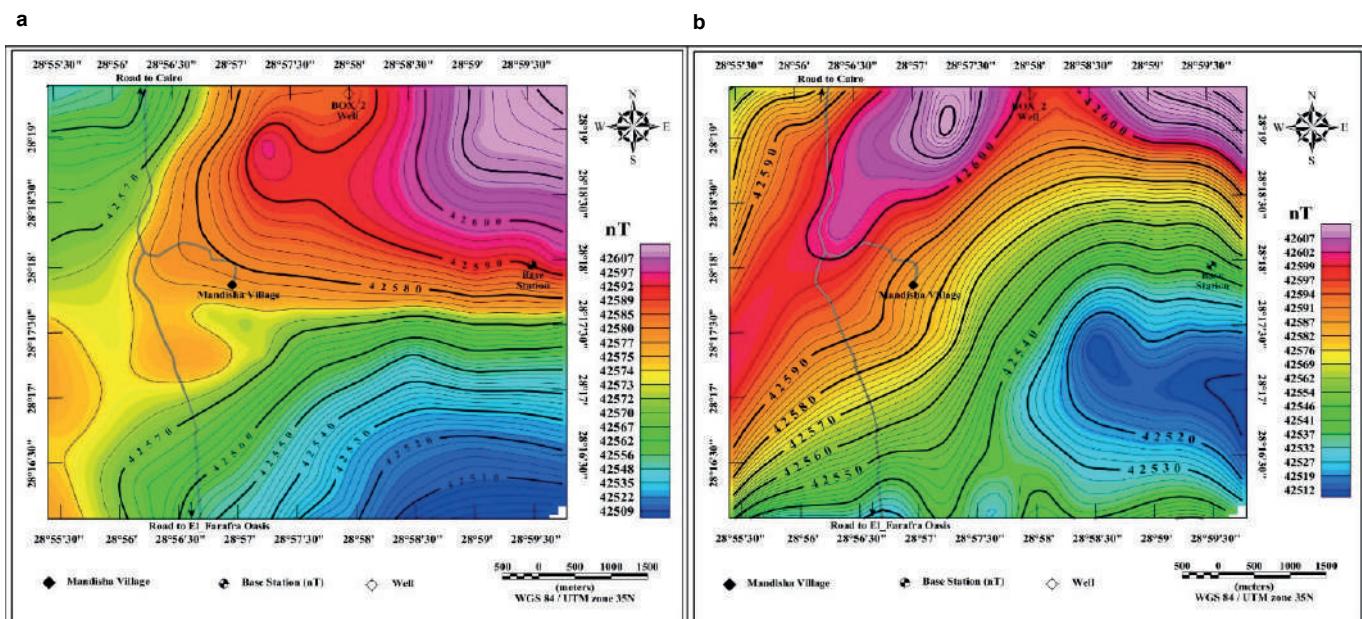
/ Gem Systems GSM-19GW 0103903 v7.0 15 II 2011 M ew5fpl.v7s										
/ ID 0 file 01survey.m 23 II 96										
/	X	Y	Elevation	nT	sq	cor-nT	Sat	Time	Picket-X	Picket-Y
Line 000020										
028.2996220	028.9952480	000150	42594.40	99	000000.00	07	045644.0	0.00	0.00	
028.2996216	028.9952480	000150	42594.39	99	000000.00	07	045650.0	0.00	0.00	
028.2996421	028.9952438	000150	42595.68	99	000000.00	07	045659.0	0.00	0.00	
028.2996416	028.9952438	000150	42595.76	99	000000.00	07	045705.0	0.00	0.00	
028.2996472	028.9952860	000152	42594.48	99	000000.00	07	045717.0	0.00	0.00	
028.2996463	028.9952848	000152	42594.46	99	000000.00	07	045723.0	0.00	0.00	
028.2996054	028.9952498	000152	42594.09	99	000000.00	07	045738.0	0.00	0.00	

Magnetic readings were stored in the memory of Overhauser magnetometer, after that; all data were loaded from Overhauser magnetometer to the computer (Table 2) for preparing magnetic data for necessary corrections and interpretations.

## 2. Magnetic data processing

Magnetic data were corrected for daily variations correction before starting the interpretation. Daily variations in the Earth's magnetic field sometimes had an amplitude more than 10 gammas (which caused by sunspots). Therefore, the base station was used for magnetic correction. The daily variations of the geomagnetic field were subtracted from the Magnetic field data. The corrected magnetic values were contoured by Geosoft program with contour interval 2 nT [6] and represented by the total intensity magnetic map (Fig. 5, a).

**Total Intensity Magnetic Map (TIM Map).** TIM Map is a reflection of lateral changes in the magnetic properties of the Basement Rocks in the study area (Fig. 5, a). Thus, the magnetic expression of various structural features depends on the existence and magnitude of their magnetic contrasts. The qualitative interpretation of the Total Intensity Magnetic Map begins with a visual inspection of the forms and directions of the main magnetic anomalies. TIM Map has magnetic anomaly values between 42 500 nT and 42 620 nT. The high magnetic anomalies indicate that the depth of basement rocks is shallow depth, so the thickness of sedimentary cover is thin. The high magnetic anomalies are represented at Northeastern part of the study area. On the other side, the low magnetic anomalies indicate on a deep basement rocks (thick sedimentary cover). The low magnetic anomalies are located at the Southeastern part of the study area. Generally, the magnetic anomaly increases from Southeastern part to Northeastern part of the study area, which indicate that the depth of basement rocks increase from Northeastern part to Southeastern part of the study area.



**Figure 5. Magnetic Data Processing.** a – Total Intensity Magnetic Map (TIM Map); b – the Total Intensity Magnetic Map Reduced To the Pole (RTP Map).

**Рисунок 5. Обработка данных магниторазведки.** а – магнитная карта суммарной интенсивности (TIMMap); б – магнитная карта суммарной интенсивности, приведенной к полюсу (RTPMap).

**The Total Intensity Magnetic Map Reduced to the Pole (RTP Map).** The total intensity magnetic data were reduced to the magnetic pole (Fig. 5, b) to overcome the distortion in anomaly appearance. This appearance depends on the magnetic latitude of the survey area and depends on the dip angle of the magnetization vector in the body using magnetic parameters such as inclination angle ( $41.2177^\circ$ ), declination angle ( $3.9282^\circ$ ), magnetic field strength (42488.2 nT) and the height of device's sensor from earth surface (1 m). This mathematical procedure was first described by [7–11].

A general outlook to the magnetic map reduced to the magnetic pole (Fig. 5, b) in comparison with the total magnetic intensity map (Fig. 5, a) reflects the northward shift in the positions of the inherited magnetic anomalies due to elimination of inclination of magnetic field at this area. The RTP map exhibits different magnetic anomalies while ranging from 42 512 nT to 42 607 nT. The northeastern and northwestern parts of the study area reveal high magnetic anomalies where the eastern, southern, and southeastern parts exhibit low magnetic anomalies.

### 3. Magnetic data interpretations

Interpretation of magnetic data includes five Techniques which applied by Geosoft program to determine the structural elements (Faults) and the depths of the upper surface of the basement rocks that caused the magnetic anomalies in the study area. These techniques include (First Vertical Derivative Technique, Source Edge Detection Method, 3D Euler Deconvolution, 2D Magnetic Profiles and 3D Magnetic Modeling).

a) **First Vertical Derivative Technique (FVD Technique).** Many authors were calculated First Vertical Derivative of potential data (Gravity and/or Magnetic data) as [12–17 and others].

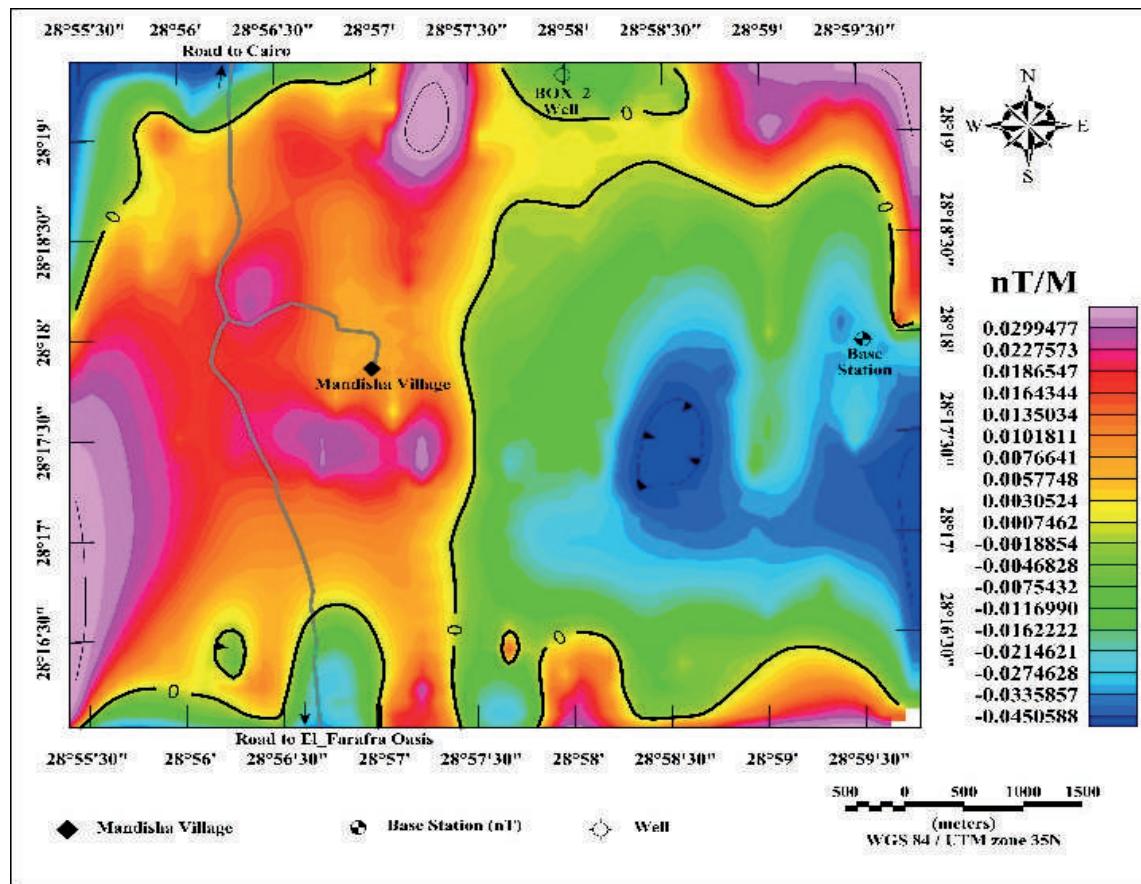
The working equation of Rosenbach [17], equation (1):

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = \frac{1}{24} \left( 96g(0) - 18 \sum_{i=1}^4 gi(s) - 8 \sum_{i=1}^4 gi(s\sqrt{2}) + \sum_{i=1}^8 gi(s\sqrt{5}) \right), \quad (1)$$

where  $\frac{\partial^2 g}{\partial z^2}$  is the first vertical derivative of gravity or magnetic potential field. S is the grid spacing.  $g(0)$  is the gravity or magnetic value at the point of calculation;  $\sum_{i=1}^4 gi(s) - 8$ ,  $\sum_{i=1}^4 gi(s\sqrt{2})$ ,  $\sum_{i=1}^8 gi(s\sqrt{5})$  are summation of gravity or magnetic data values at the 4, 4 and 8 points lying on the three concentric circles of radials,  $(s\sqrt{2})$  and  $(s\sqrt{5})$  respectively.

FVD Technique acts as a filter. FVD Technique emphasizes the expression of local features of magnetic anomalies and eliminates the effect of regional anomalies. The first vertical derivative map was applied on RTP Map. In FVD Map (Fig. 6), zero contour lines show the contact lines between highly polarized sources (which indicate that the depth of basement rocks are shallow) and less polarized sources (which indicate that the depth of basement rocks are deep) at the same level of measurement. These Zero contour lines indicate on the faults that affected on the basement rocks in the study area. The main directions of these faults are N-S, NE-SW and NW-SE directions. Negative magnetic values show deep basement rocks, which located at the Eastern and Northwestern parts of the study area. Where, the positive magnetic values show shallow basement rocks, which located at northeastern and western parts of the study area.

b) **Source Edge Detection Method (SED Method).** The source edge detection (SED) system is used to locate the approximate edges and down-gradient directions of source bodies from magnetic or gravity gridded data sets [18]. Blakely and Simpson were



**Figure 6. First Vertical Derivative Map (FVD Map).**

Рисунок 6. Карта первых производных (FVD Map).

used SED Method to calculate reduction to the pole grid and total horizontal derivative grid from the total magnetic field grid [18]. The Geosoft program was used to calculate RTP Grid and its horizontal gradient. Two maps were created by applying SED Method: First map is horizontal gradient Map of RTP Grid, which containing on oval-shaped magnetic anomalies and their axes indicate on the direction of faults that appeared in the study area (Fig. 7, a). Second Map is geological contacts Map (faults) that detected on RTP Map. This map shows the locations and directions of faults in the study area. The main directions of faults are NE-SW and E-W directions (Fig. 7, b).

c) **3D Euler Deconvolution.** Recently, 3D Euler Deconvolution method has been widely used in the automatic interpretation of Magnetic and Gravity data. It has emerged as a powerful tool for direct determination of depth of the gravity and magnetic bodies. Also, it uses for determination the dykes and contacts with remarkable accuracy [19–24].

Usually the locations and depths of any sources  $(x_0, y_0, z_0)$  can be determined by using the following equation (2):

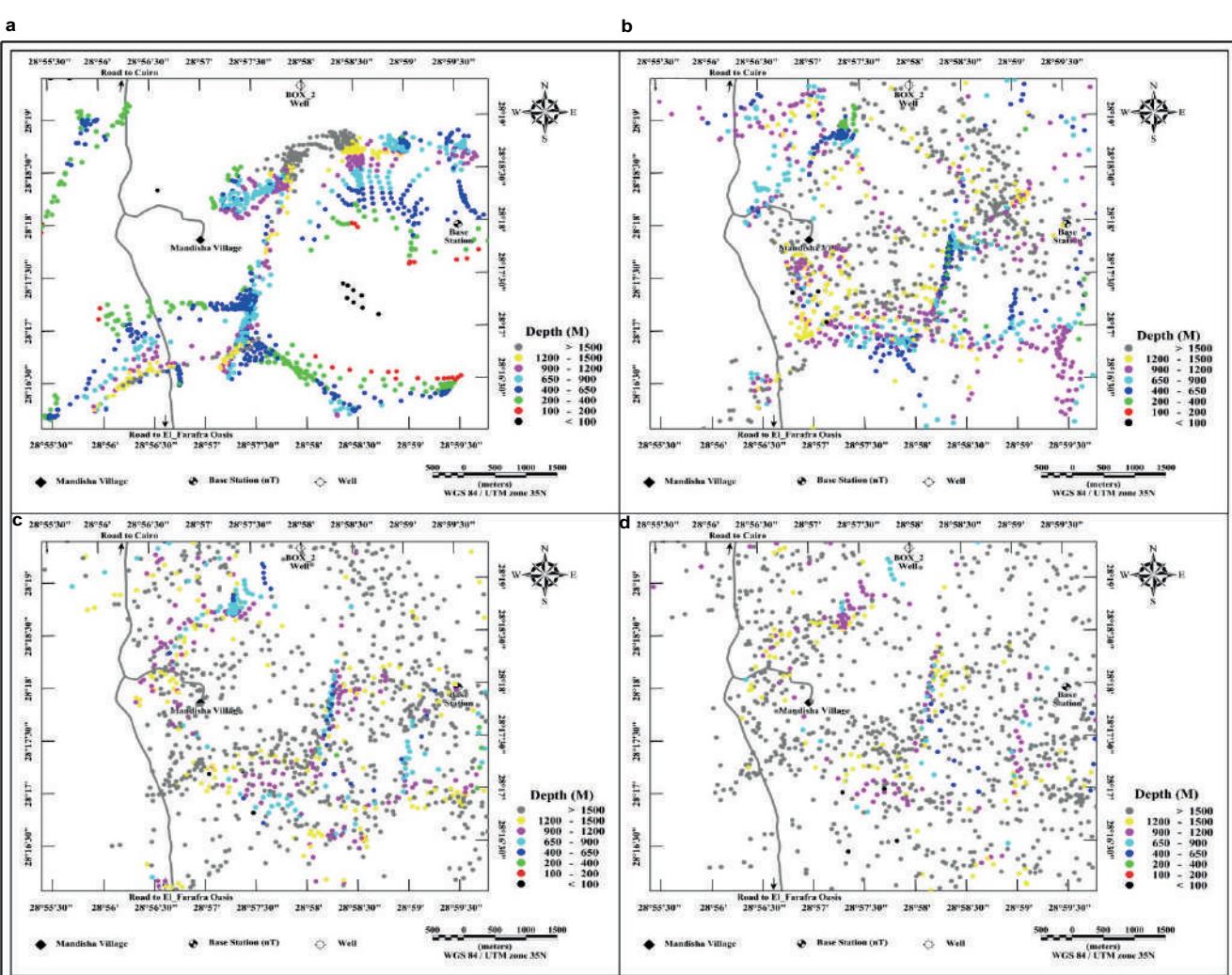
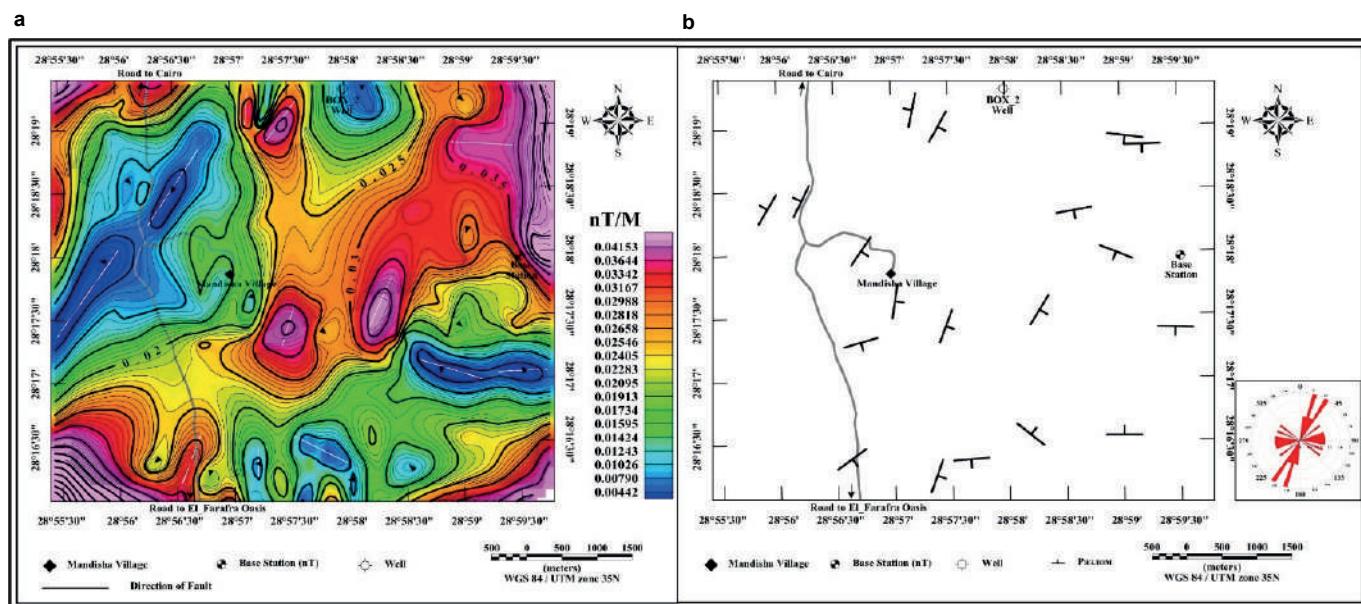
$$\frac{\partial f}{\partial x}(x-x_0) + \frac{\partial f}{\partial y}(y-y_0) + \frac{\partial f}{\partial z}(z-z_0) = SI(B-f), \quad (2)$$

where  $f$  is the observed field at location  $(x, y, z)$  and  $B$  is the base level of the field [regional value at the point  $(x, y, z)$ ] and  $SI$  is the structural index or degree of homogeneity [19]. The equation (2) is solved for the source position by least-squares inversion of a moving window of data points. To obtain an accurate estimation of the source location, the field data used must adequately sample the anomalies present in the data.

In the present study, the 3D Euler Deconvolution technique was applied to determine the locations and depths of the faults in the study area. The obtained solutions of the interpretations of 3D Euler Deconvolution of magnetic data are shown in Fig. 8. Euler solutions were applied on RTP Grid by structural indexes 0, 1, 2, and 3 to select the best solution. Structural index zero "SI = 0" indicates on Contact/Step (Fig. 8, a), structural index one "SI = 1" indicates on Sill/Dyke (Fig. 8, b), structural index two "SI = 2" indicates on Cylinder/Pipe (Fig. 8, c) and structural index three "SI = 3" indicates on Sphere/Barrel/Ordnance (Fig. 8, d) [6]. The structural index  $SI = 0$  gives better solutions than the structural indices 1, 2 and 3, because the data is concentrated in the study area (Fig. 8, a).

d) **2D Magnetic Profiles.** 2D magnetic profiles were applied by GM-SYS program on RTP Map [25]. GM-SYS program provide an easy interface for creating and managing models to fit observed magnetic data.

GM-SYS program was used to estimate the depth of the upper surface of the basement rocks using the following parameters: 1. **International Geomagnetic Reference Field (IGRF)** for a point in the study area (which located at longitude 28°57'29.988"E, latitude 28°18'00"N with Elevation 134 M, time of measurement 09.10.2015) to obtain the Total Magnetic Field = 42488.2 nT, Inclination Angle = 41.2177° and Declination Angle = 3.9282°. 2. **The used Parameters for the sedimentary layer** (almost



Гавеиш В. Р. и др. Magnetic data interpretation to determine the depth of basement rocks and structural elements of Mandisha village, El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt // Известия УГГУ. 2019. Вып. 2(54). С. 7-19. DOI 10.21440/2307-2091-2019-2-7-19

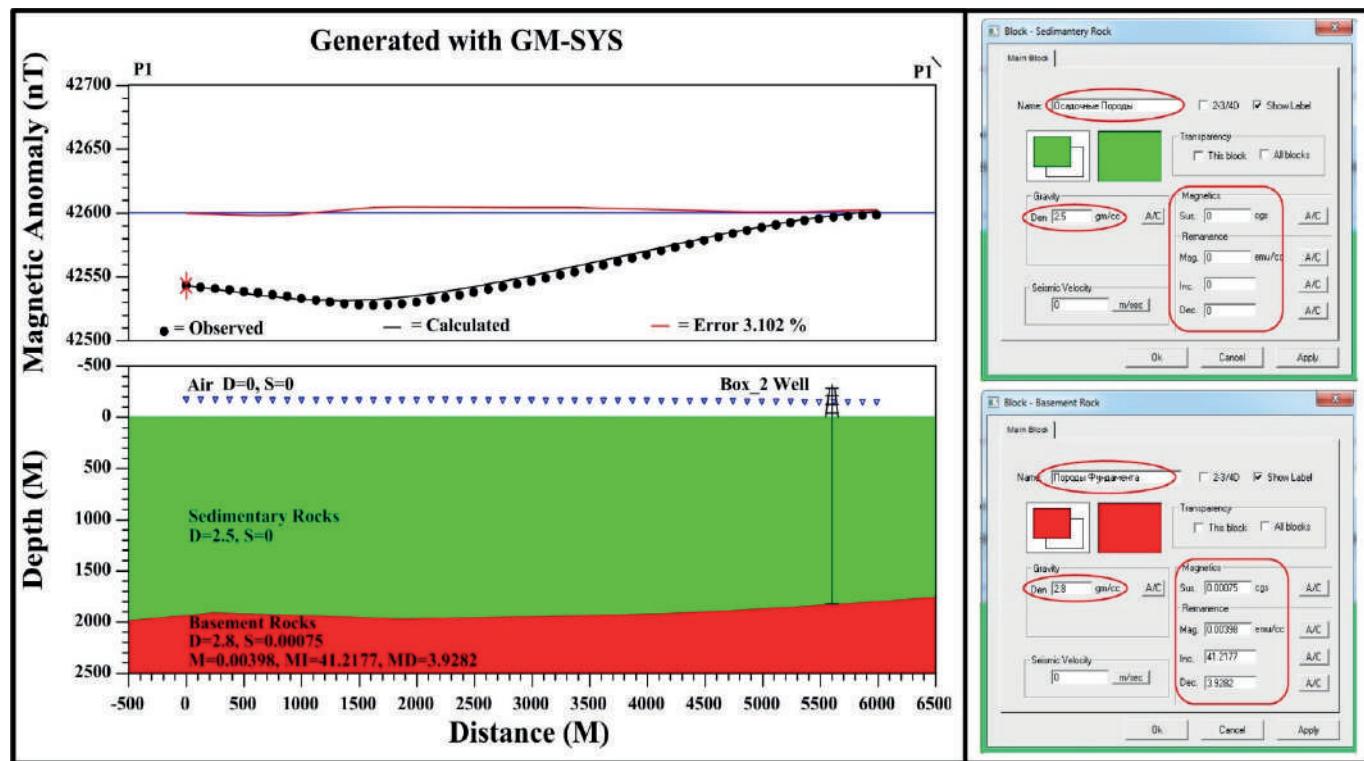


Figure 9. 2D Magnetic profile "P1" and used parameters in GM-SYS program for the sedimentary layer and Basement layer.

Рисунок 9. 2D магниторазведочный профиль Р1 и применяемые параметры в программе GM-SYS для слоя осадочных пород и слоя подстилающих пород.

Sandstone intercalated with Shale, Clay and Limestone): the average Density of the Sedimentary Layer is 2.5 gram/cm<sup>3</sup>, Magnetic Susceptibility = 0 CGS, Remanence Magnetization = 0 emu/cm<sup>3</sup>, Remanence Inclination= 0° and Remanence Declination = 0° (Fig. 9). 3. The used parameters for the Basement layer (almost Granite): the average Density of the Basement layer is 2.8 gram/cm<sup>3</sup>, Magnetic Susceptibility = 0.00075 CGS, Remanence Magnetization = 0.00398 emu/cm<sup>3</sup>, Remanence Inclination = 41.2177° and Remanence Declination = 3.9282° (Fig. 9).

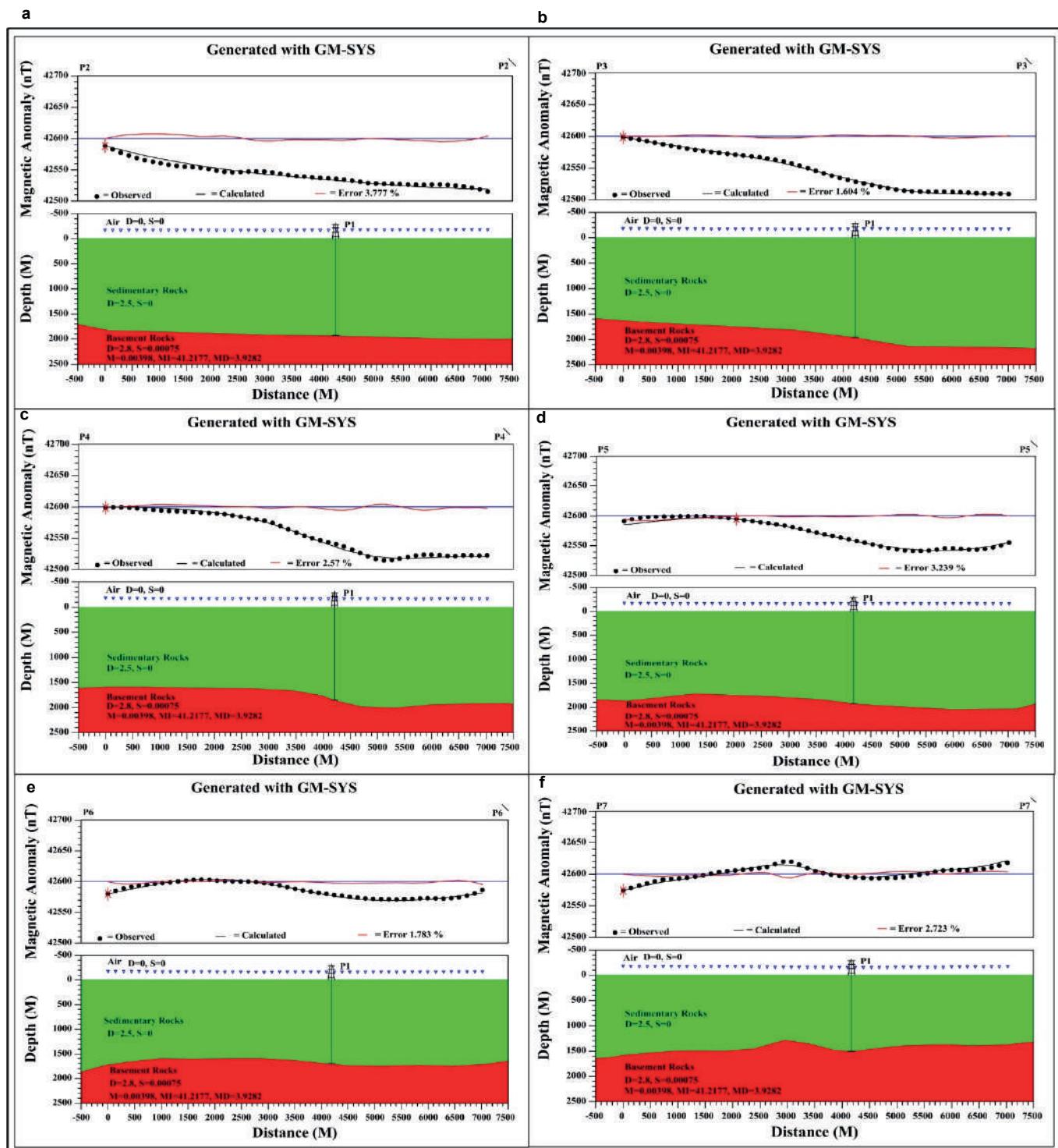
Seven magnetic profiles were applied on RTP Map (Fig. 4, a). The first profile (P1) passes through well (BOX\_2) with direction from South to North and other profiles (P2, P3, P4, P5, P6 and P7) were oriented from West to East. Profile "P1-P1'" is perpendicular on other profiles; it has a direction from South to North with a length of 6130 M. This profile passes through the borehole (Box\_2), which is located at 28° 19' 27.5" N and 28° 58' 00" E with depth of Basement rocks 1822 M. The depth of Basement Rocks along profile P1-P1' varies from 1822 m to 1963 m (Fig. 9).

The other profiles (P2, P3, P4, P5, P6 and P7) were oriented from West to East. The second Profile "P2-P2'" has a length 7187 M. Profile P2 passes through Profile P1 with depth of Basement 1929 M. The depth of Basement Rocks along Profile P2 ranges from 1820 m to 1998 m (Fig. 10, a). The third Profile "P3-P3'" has a length 7161 M. Profile P3 passes through profile P1 with depth of Basement 1960 M. The depth of Basement Rocks along Profile P3 ranges from 1630 m to 2150 m (Fig. 10, b). The fourth Profile "P4-P4'" has a length 7174 M. Profile P4 passes through Profile P1 with depth of Basement 1847 M. The depth of Basement Rocks along Profile P4 ranges from 1580 m to 1996 m (Fig. 10, c). The fifth Profile "P5-P5'" has a length 7161 M. Profile P5 passes through profile P1 with depth of Basement 1957 M. The depth of Basement Rocks along Profile P5 ranges from 1714 m to 2065 m (Fig. 10, d). The sixth Profile "P6-P6'" has a length 7161 M. Profile P6 passes through profile P1 with depth of Basement 1701 M. The depth of Basement Rocks along Profile P6 ranges from 1588 m to 1742 m (Fig. 10, e). The seventh Profile "P7-P7'" has a length 7174 M. Profile P7 passes through profile P1 with depth of Basement 1500 M. The depth of Basement Rocks along Profile P7 ranges from 1274 m to 1564 m (Fig. 10, f).

The results of 2D magnetic profiles were used to construct a depth map of the basement rocks in the study area by Geosoft program with contour interval 20 m (Fig. 11). The depth of the basement rocks in the study area is ranging from 1300 m to 2100 m. The northeastern, northwestern and western parts of the study area are characterized by shallow basement rocks, while the southern and eastern parts of the study area are characterized by deep basement rocks. Thus, the depth of basement rocks is increasing from northeastern, northwestern and western parts toward eastern part of the study area (Fig. 11).

e) 3D Magnetic Modeling. 3D Magnetic modeling was carried out on RTP Grid by GMSYS-3D software. GMSYS-3D is a package for 3D modeling of gravitational and magnetic grids. The model is determined by number of surface layers, with its density, magnetic susceptibility and Remanence magnetization that distributed and defined for each layer [26].

The GMSYS-3D program is used to perform 3D magnetic modeling in order to obtain the relief of the basement rocks and relief of the earth's surface relatively to sea level using the following parameters: 1. The used parameters for Earth's surface layer are: average Density 2.5 gram/cm<sup>3</sup>, Magnetic Susceptibility = 0 CGS, Remanence Magnetization = 0 emu/cm<sup>3</sup>, Remanence Inclination = 0° and Remanence Declination = 0° (Fig. 12, a). 2. The used parameters for Basement Layer are: average density 2.8 gram/cm<sup>3</sup>, Magnetic Susceptibility = 0.00075 CGS, Remanence Magnetization = 0.00398 emu/cm<sup>3</sup>, Remanence Inclination = 41.2177° and Remanence Declination = 3.9282° (Fig. 12, c).



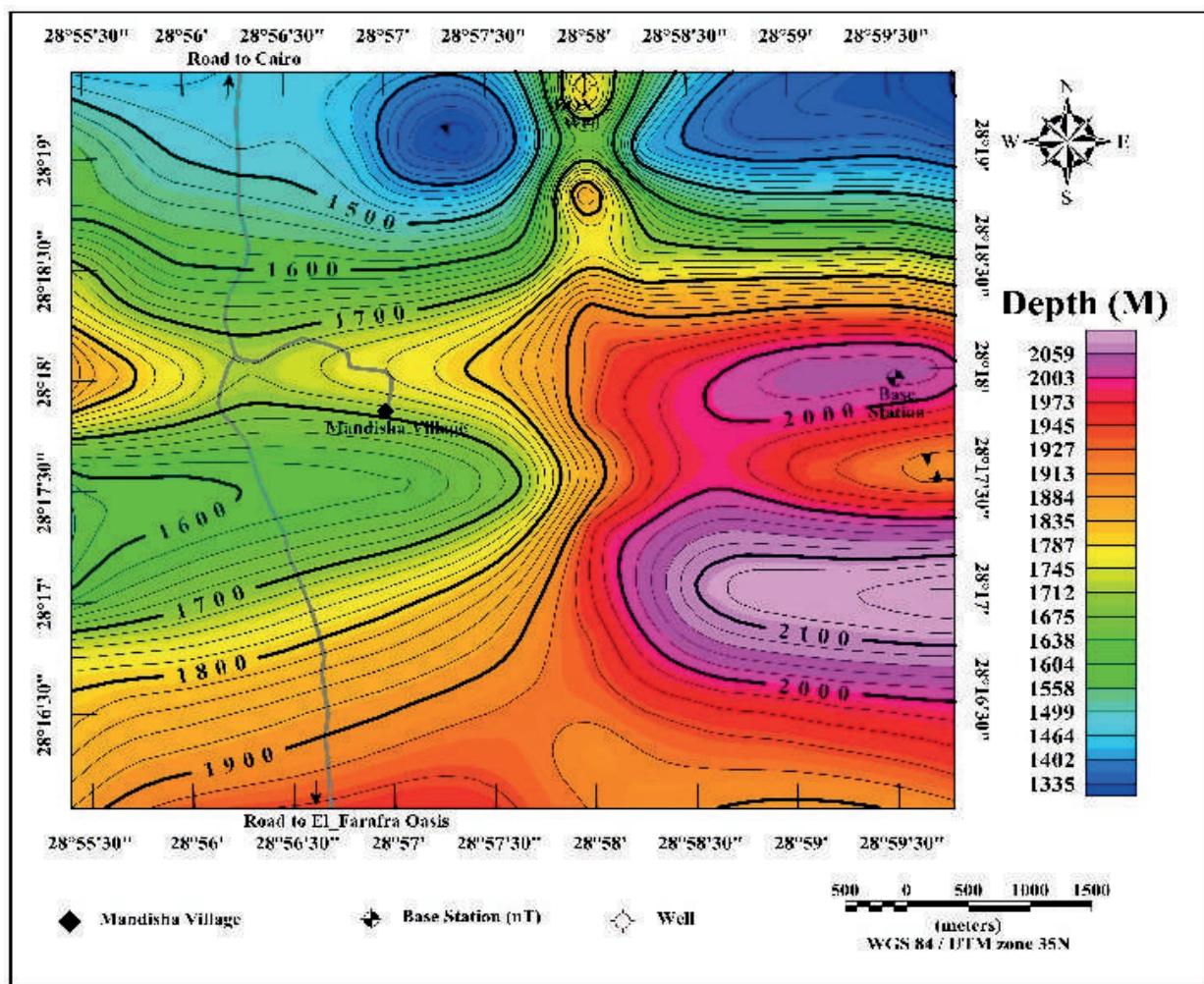
**Figure 10. 2D Magnetic Profiles.** a – 2D Magnetic Profile P2; b – 2D Magnetic Profile P3; c – 2D Magnetic Profile P4; d – 2D Magnetic Profile P5; e – 2D Magnetic Profile P6; f – 2D Magnetic Profile P7.

**Рисунок 10. 2D магниторазведочные профили.** а – 2D магниторазведочный профиль P2; б – 2D магниторазведочный профиль P3; в – 2D магниторазведочный профиль P4; г – 2D магниторазведочный профиль P5; д – 2D магниторазведочный профиль P6; е – 2D магниторазведочный профиль P7.

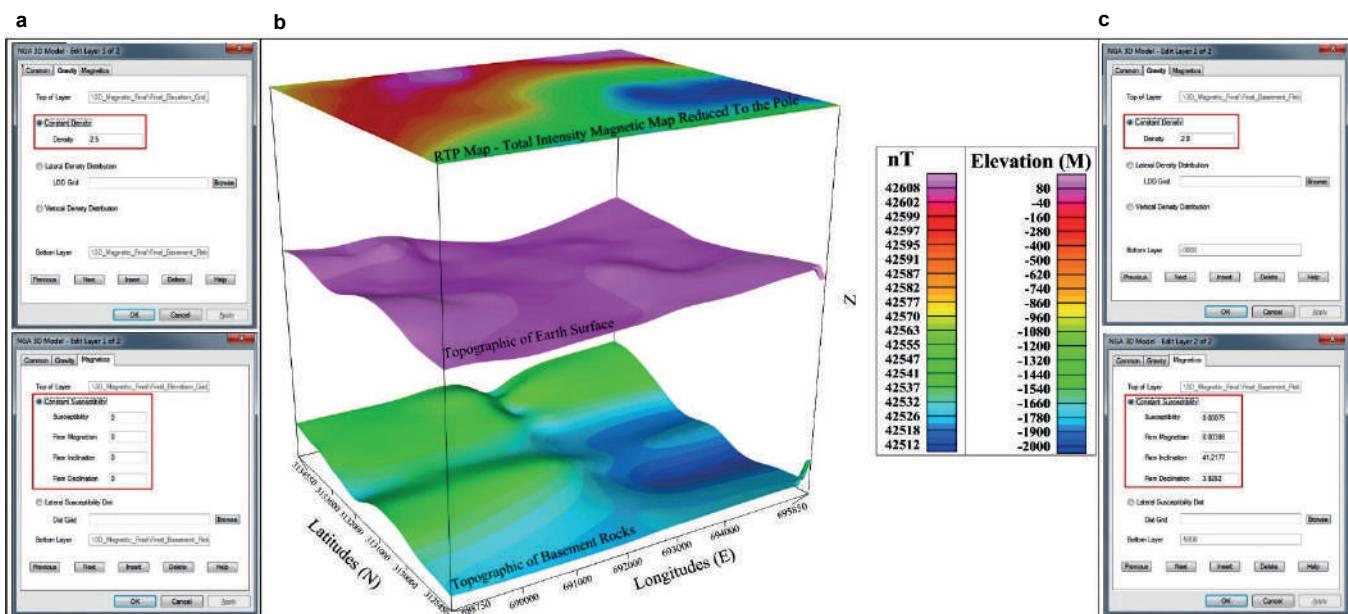
After applying 15 iterations by GMSYS-3D software, the results of 3D Magnetic Modeling shows that the thickness of the sedimentary layer in the study area is ranging from -1200 m to -2000 m. The thin thickness of the sedimentary layer is located at the northeastern, northern and western parts of the study area (the depth of the basement rocks is more than -1450 m). While the thick thickness of the sedimentary layer is located at the eastern part of the study area (the depth of the basement rocks is less than -1700 m) (Fig. 12, b).

#### Discussion

In this study, the depth of the basement rocks determined by 2D magnetic profiles and 3D magnetic modeling. The matching between the Basement Depth Map (Fig. 11) and 3D magnetic modeling (Fig. 12, b) is very high. The Basement Depth Map and

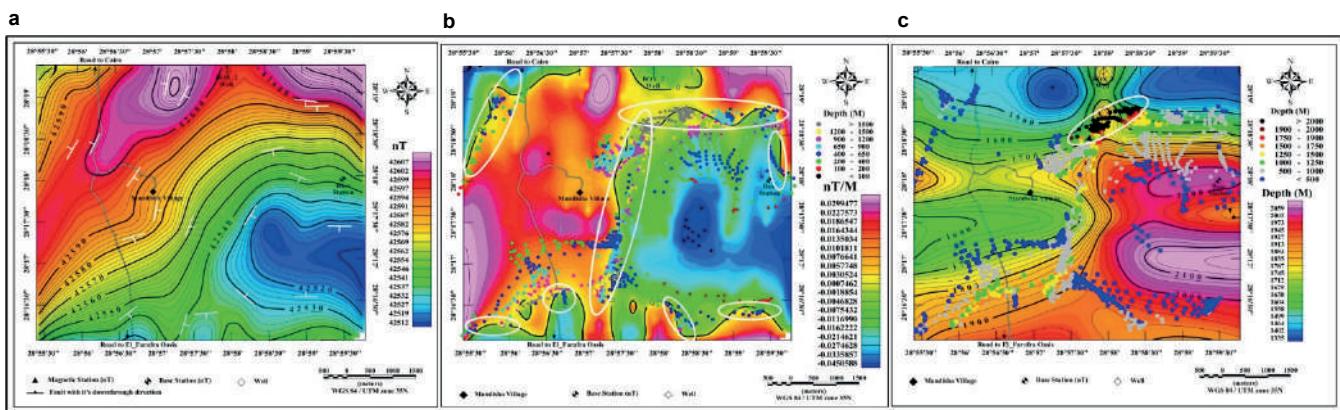


**Figure 11. Basement Depth Map.**  
Рисунок 11. Карта глубины залегания фундамента.



**Figure 12. 3D Magnetic Modeling.** а – used parameters in the GMSYS-3D program for the earth's surface Layer; б – 3D magnetic modeling, including Basement layer, Earth's surface layer and RTP Map; в – used parameters in the GMSYS-3D program for Basement layer.

**Рисунок 12. 3D моделирование магниторазведочных задач.** а – применяемые параметры в программе GMSYS-3D для слоя земной поверхности; б – 3D моделирование магниторазведочных задач, включая слой подстилающих пород, слой земной поверхности и магнитной карты суммарной интенсивности, приведенной к полюсу; в – применяемые параметры в программе GMSYS-3D для слоя подстилающих пород.



**Figure 13. Integrations between the interpretation methods.** a – integration between SED technique and RTP Map; b – integration between FVD method and 3D Euler Deconvolution with a structural index = 0; c – integration between 3D Euler Deconvolution with a structural index = 0 and Basement Depth Map.

**Рисунок 13. Интеграции между методами интерпретации.** а – интеграция между SED методом и магнитной картой RTP; б – интеграция между методом FVD и 3D методом деконволюции Эйлера со структурным индексом = 0; в – интеграция между 3D методом деконволюции Эйлера со структурным индексом = 0 и картой глубины залегания фундамента.

3D magnetic modeling shows that; the deep depth of the basement rocks are located at the eastern part, and many places in the southern part of the study area. But the shallow depth of the basement rocks are located at northeastern, northern and western parts of the study area.

The basement rocks in the study area were affected by many faults that determined by First Vertical Derivative technique (FVD), Source Edge Detection method (SED) and 3D Euler Deconvolution method. The integration between results of SED method and RTP Map shows that; the down-through of faults were directed to low values of magnetic anomalies of RTP map (Fig. 13, a). The Results of FVD method and 3D Euler Deconvolution with structural index (*SI*) = 0 determine the locations of faults in the study area (Fig. 13, b). Zero contour lines at FVD Map are show the contact lines between shallow and deep basement rocks at the same level of measurement. These Zero contour lines indicate on the locations of faults that affected on the basement rocks in the study area. 3D Euler Deconvolution with structural index (*SI*) = 0 also used to determine the locations and depths of these faults in the study area. The results show high matching between two methods. The main direction of these faults in the study area are NE-SW and E-W directions (Fig. 13, b).

The comparing between 3D Euler's Deconvolution with a structural index = 0 and Basement Depth Map is showing that; many faults are deep faults (their depth more than 2000 m) and reaching to the basement rocks. These deep faults were determined at northern part of the study area (Fig. 13, c).

## Results

As mentioned in this research, the most important results of this study: 1. The depth of the basement rocks in the study area ranges from 1200 m to 2000 m. 2. The northeastern, northwestern and western parts of the study area are characterized by shallow depth of the basement rocks, while the southern and eastern parts of the study area are characterized by deep depth of the basement rocks. 3. Many faults are deep (their depth more than 2000 m) and dissect the basement rocks, these faults located at northern part of the study area. 4. The main direction faults in the study area are NE-SW and E-W direction.

## REFERENCES

1. Moustafa A. R., Saoudi A., Moubasher A., Mohamed I., Molokhia H., Schwartz B. 2003, Structural setting and tectonic evolution of the Bahariya Depression, Western Desert, Egypt. *GeoArabia*, vol. 8, no. 1, pp. 91–124.
2. Egyptian Military Survey "EMS" Topographic Map of El-Bahariya Oasis. Scale 1:500000, Sheet No. NH 35 SE BAHARIYA, Western Desert, Egypt. 1986.
3. Diab M. S. 1972, Hydrogeological and Hydrochemical studies of the Nubian Sandstone water-bearing complex in some localities in United Arab Republic. PhD Thesis, Assiut University, Egypt.
4. Said R. 1962, The Geology of Egypt. Amsterdam, Netherlands, Elsevier, 377 p.
5. GEM GSM-19 Cost Effective and High Precision Overhauser Magnetometer. URL: <http://www.gemsys.ca/rugged-overhauser-magnetometer>
6. Geosoft Oasis Montaj Program Geosoft mapping and processing system: version 6.4.2 (HJ). Inc Suit 500, Richmond St. West Toronto, ON Canada N5S1V6, 2007.
7. Baranov V. 1957, A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo-gravimetric anomalies. *Geophysics*, vol. 22, no. 2, pp. 259–383. <https://doi.org/10.1190/1.1438369>
8. Baranov V., Naudy H. 1964, Numerical calculation of the formula of reduction to the magnetic pole. *Geophysics*, vol., no. 29, pp. 67–79. <https://doi.org/10.1190/1.1439334>
9. Baranov V. 1975, Potential fields and their transformation in applied geophysics. *Geo-exploration Monographs*, no. 6. Gebruder, Borntraeger. Berlin–Stuttgart, Series 1–6.
10. Bhattacharyya B. K. 1967, Some general properties of potential field in space and frequency domains. *Geoexploration*, vol. 5(3), pp. 127–143. [https://doi.org/10.1016/0016-7142\(67\)90021-X](https://doi.org/10.1016/0016-7142(67)90021-X)
11. Bhattacharyya B. K. 1965, Two-dimensional harmonic analysis as a tool for magnetic interpretation. *Geophysics*, vol. 30, no. 5, pp. 829–857. <https://doi.org/10.1190/1.1439658>
12. El-Hussaini A., Henain E. F. 1975, On the computation of second derivative from gravity data. Presented in the 9<sup>th</sup> Arab Petroleum Congress, Dubai.
13. Elkins T. A. 1951, The second derivative method of gravity interpretation. *Geophysics*, vol. 16, issue 1, pp. 29–50. <https://doi.org/10.1190/1.1437648>
14. Evjan H. M. 1936, The place of the vertical gradient in gravitational interpretation. *Geophysics*, vol. 1, issue 1, pp. 127–136. <https://doi.org/10.1190/1.1437067>
15. Henderson R. G. 1960, A comprehensive system of automatic computer in magnetic and gravity interpretation. *Geophysics*, vol. 25, issue 3, pp. 569–585. <https://doi.org/10.1190/1.1438736>

16. Henderson R. G., Zietz L. 1949, The computation of second vertical derivative of geomagnetic fields. *Geophysics*, vol. 14, issue 4, pp. 517–534. <https://doi.org/10.1190/1.1437558>
17. Rosenbach O. 1953, A contribution to the computation of second derivative from gravity data. *Geophysics*, vol. 18, issue 4, pp. 894–912. <https://doi.org/10.1190/1.1437943>
18. Blakely R. J., Simpson R. W. 1986, Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, vol. 51, issue 7, pp. 1494–1498. <https://doi.org/10.1190/1.1442197>
19. Reid A. B., Allsop J. M., Granser H., Millett A. J., Somerton I. W. 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, vol. 55, issue 1, pp. 80–91. <https://doi.org/10.1190/1.1442774>
20. Klingele E. E., Marason L., Kahle H. G. 1991, Automatic interpretation of gravity gradiometeric data in two dimensions: vertical gradient. *Geophysical Prospecting*, vol. 39, no. 3, pp. 407–434. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1991.tb00319.x>
21. Harris E., Jessell W., Barr T. 1996, Analysis of the Euler deconvolution techniques for calculating regional depth to basement in area of complex structures. SEG Annual Meeting, 10–15 November, Denver, Colorado.
22. Marson L., Klingele E. E. 1993, Advantage of using the vertical gradient of gravity for 3-D interpretation. *Geophysics*, vol. 58, issue 11, pp. 349–355. <https://doi.org/10.1190/1.1443374>
23. Stavrev P. Y. 1997, Euler deconvolution using differential similarity transforms of gravity or magnetic anomalies. *Geophysical Prospecting*, vol. 45, issue 2, pp. 207–246. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2478.1997.00331.x>
24. Barbosa V., Sliva J., Medeiros W. 1999, Stability analysis and improvement of structural index in Euler deconvolution. *Geophysics*, vol. 64, issue 1, pp. 48–60. <https://doi.org/10.1190/1.1444529>
25. GMSYS Programs Gravity and Magnetic modeling, version 6.4.2 (HJ). Inc Suit 500, Richmond St. West Toronto, ON Canada N5S1V6, 2007.
26. GMSYS-3D Programs Gravity and Magnetic modeling, version 6.4.2 (HJ). Inc Suit 500, Richmond St. West Toronto, ON Canada N5S1V6, 2007.

The article was received on March 2, 2019

# Интерпретация данных магниторазведки для определения глубины пород кристаллического фундамента и структурных элементов района Мандиша, оазис Эль-Бахария (Западная пустыня, Египет)

Ваэль Рагаб ГАВЕИШ<sup>1, 2,\*</sup>,  
Хоссам Хассан МАРЗУК<sup>2</sup>,  
Алексей Владимирович ПЕТРОВ<sup>1</sup>,  
Игорь Алексеевич МАРАЕВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный геологоразведочный университет, Россия, Москва

<sup>2</sup>Национальный научно-исследовательский институт астрономии и геофизики, Египет, Каир

**Актуальность.** Район исследования расположен в деревне Мандиша, оазис Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет. Он страдает от недостатка поверхности вод. Поэтому важно отыскать другой источник воды (например, грунтовые воды), необходимый для жизнедеятельности всего живого. На основании информации из литературы основной водоносный горизонт на исследуемой территории находится в Нубийском песчаниковом водоносном горизонте, который расположен непосредственно на верхней поверхности пород кристаллического фундамента. Таким образом, в районе исследований глубина нижней поверхности водоносного горизонта нубийского песчаника равна глубине верхней поверхности пород кристаллического фундамента.

**Задачи исследования.** В данной работе используются анализ и интерпретация данных магниторазведки для определения глубины пород кристаллического фундамента и структурных элементов, которые воздействовали на породы фундамента в районе Мандиша оазиса Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет.

**Методология исследования.** Для выполнения поставленных задач были применены магнитные методы. Собраны данные со ста семидесяти четырех магнитных станций при помощи магнитометрического прибора Overhauser (GSM-19 «V7.0»). Данные магниторазведки были обработаны с использованием программы Geosoft Oasis Montaj. Показаны 2D магниторазведочный профиль и 3D моделирование магниторазведочных задач для построения рельефной карты фундамента в районе исследования. Деривативный метод, метод определения границ источника, 3D метод деконволюции Эйлера были применены с целью определения местоположений и направлений разломов, которые повлияли на породы кристаллического фундамента в области исследования.

**Результаты работы.** Наиболее важные результаты этого исследования: 1. Глубина пород кристаллического фундамента в районе исследования колеблется от 1200 до 2000 м. 2. Северо-восточная, северо-западная и западная части района исследований характеризуются малой глубиной пород фундамента, а южная и восточная части района исследований – большей глубиной. 3. Глубокие разломы (более 2000 м) были обнаружены в северной части района исследований. 4. Основными направлениями разломов в районе исследования являются северо-западное и восточное.

**Ключевые слова:** интерпретация данных магниторазведки, 3D метод деконволюции Эйлера, 2D магниторазведочный профиль, 3D моделирование магниторазведочных задач, порода кристаллического фундамента, разломы, Geosoft, оазис Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет.

Статья поступила в редакцию 2 марта 2019 г.

\*✉ wael\_ragab2007@yahoo.com

ID <http://orcid.org/0000-0002-5971-4839>

# Mineralogy of schists from the basement of the southwestern part of the Tazovsky peninsula of the West Siberian megabasin (Lenzitskaya oil exploration area, YNAD)

Vladimir Sergeevich PONOMAREV\*,  
Kirill Svaytoslavich IVANOV\*\*,  
Vera Vital'evna KHILLER\*\*\*

Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

**Relevance of the work.** The crystalline basement of Western Siberia is a promising site in the search for oil and gas, but not a sufficiently studied subject. Promising rocks are granitoids and partly their metamorphic margins. Core samples from wells, which uncovered rocks of the basement of Western Siberia, are unique because they are rare and extremely difficult to access, so it is necessary to conduct a comprehensive detailed core study for geodynamic reconstructions and to consider the geological evolution of the region.

**Purpose of the work.** The determination of the material composition of quartz-chlorite-mica schists from the pre-Jurassic basement of the northern (Arctic) part of the West Siberian megabasin uncovered by the Lenzitskaya well No 77 (depth is 3516–3502 m) 265 km east of Salekhard within the Yamalo-Nenets Autonomous District (YNAD).

**Results.** The studied quartz-chlorite-mica schists are fine-grained rocks of a greenish-gray color; they have an interdigititation of thin beds of rock enriched in mica-quartz-carbonate substance (up to 2 mm thick) with a small amount of chlorite, and layers of quartz-chlorite-mica composition (up to 3 mm) with the presence of carbonate boudin. Intimate crumpling is often observed in the rock. In the lower part of the section (depth is 3516 m), the rocks have a medium-grained structure and are composed of calcite (60%), quartz (25%), mica (10%) and chlorite (5%). The quartz-sericitic-chlorite-carbonate rock has a schistous form due to light layers of quartz-calcite composition with a thickness of up to 2 cm and thin layers of a chlorite-mica aggregate with a thickness of up to 2 mm. The following was established using X-ray electron probe microanalyzer CAMECA SX 100: muscovite, aluminoceladonite, quartz, chamosite, calcite, plagioclase, pumpellyite-(Fe<sup>2+</sup>), rutile, fluorapatite, monazite, zircon, pyrite and chalcopyrite. Quartz-sericitic schists similar in composition were found by us in the basement rocks of the Priuralsky part of the West Siberian plate in the Shaimsk-Kuznetskovsk megaanticlinorium.

**Conclusion.** The mineralogy of quartz-chlorite-mica schists from the pre-Jurassic basement of the northern part of the West Siberian megabasin (Lenzitskaya 77 well, depth is 3502–3516 m) was first described. It was established that the formation of quartz-chlorite-mica schists took place under the conditions of the upper prehnite-pumpellyite facie of metamorphism along the sedimentary substance. Later the rocks underwent changes in the process of propitilization.

**Keywords:** quartz-chlorite-mica schists, mineralogy, metamorphism, basement, West Siberian megabasin, YNAD.

## Introduction

The study of the geology, tectonics and material composition of the pre-Jurassic basement of the West Siberian megabasin was carried out by many researchers [1–5 and others]. At the same time, studies of the geology of the Arctic and the Arctic part of Western Siberia are of great importance in connection with possible oil-and-gas content of this vast and still insufficiently studied territory and its possible upcoming division between countries. It is known that the most important criterion here is the results of the study of the basement of the sedimentary basins of the Arctic. The Yamal Peninsula and its nearest margins are the main gas provinces of our country and one of places where the crystalline basement is available for direct study (albeit with great difficulty). The basements of oil and gas provinces are still one of few promising, but insufficiently studied objects. Interestingly, the granitoids of basements (in part, their metamorphic margins) are the most promising in the search for oil and gas [6–8 et al]. Core samples from wells, which uncovered rocks of the basement of Western Siberia, are unique because they are rare and extremely difficult to access, so it is necessary to conduct a comprehensive detailed core study for geodynamic reconstructions and to consider the geological evolution of the region. In this paper, the mineralogy of quartz-chlorite-mica schists from the pre-Jurassic basement of the northern (Arctic) part of the West Siberian megabasin (uncovered by the Lenzitskaya No 77 well at a depth of 3516–3502 m) is examined in detail for the first time.

## Geological setting of the Lenzitskaya area

The Lenzitskaya oil and gas exploration area (on the territory of which the Lenzitskaya oil field was discovered during the drilling of the exploratory well No. 70 in 1985) is located in the south-western part of the Tazovsky peninsula at the southern coast of the Gulf of Ob 265 km east of Salekhard within the Yamalo-Nenets Autonomous District (Fig. 1).

Historical [9], the well of Lenzitskaya No 70 at a depth below 3500 m helped to reveal rocks of the pre-Jurassic basement represented by green schists. The explanatory note to the State Geological Map of the Russian Federation [9] indicates that Upper Proterozoic undivided metamorphic formations are established at the Lenzitskaya area. It is noted that in the Medvezhye oil and gas exploration area located southward, the schists similar in mineral composition were found by wells No 1001 (within the interval of 4458–4605 m), as well as Sosninskaya (well No 16) and Ugutskaya (well No 73) oil and gas exploration areas. The Upper Proterozoic age of metamorphic schists is determined based on their similarity in composition and level of metamorphism with the metamorphites of the lower subsequence of the Sukhopit suite of the Upper Proterozoic of the Yenisei Ridge [10 et al.].

\*✉ p123v@yandex.ru

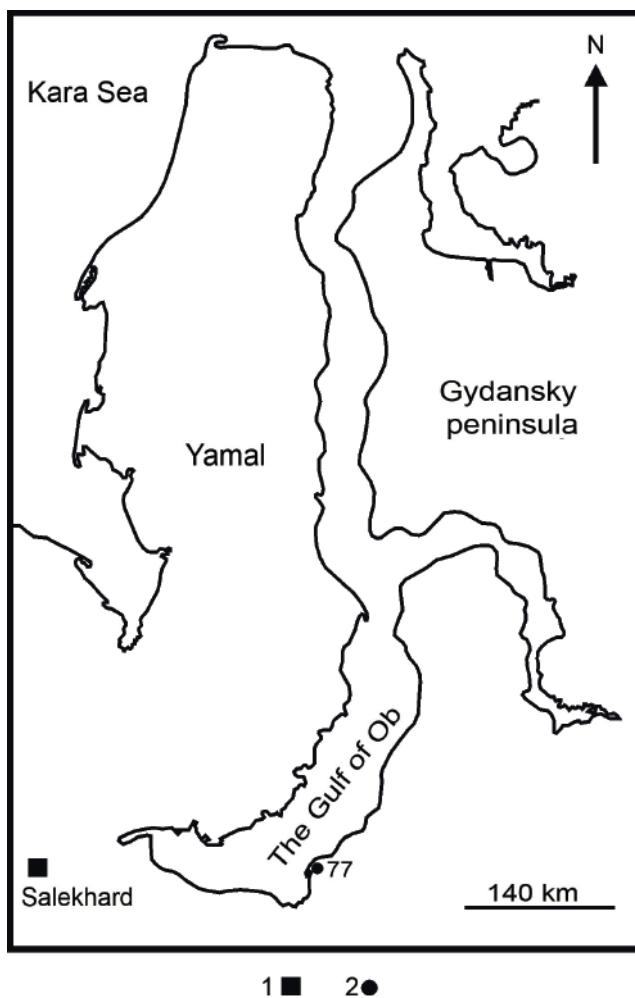
✉ <https://orcid.org/0000-0002-1651-1281>

✉ ivanovks@igg.uran.ru

✉ <https://orcid.org/0000-0002-8292-4658>

✉ hilvert@mail.ru

✉ <https://orcid.org/0000-0001-8491-4958>



**Figure 1. Schematic map of the location of the Lenzitskaya well No 77. 1 – residential area, 2 – well.**  
**Рисунок 1. Схематическая карта расположения скважины Лензитская № 77. 1 – населенный пункт, 2 – скважина.**

### Research results and their discussion

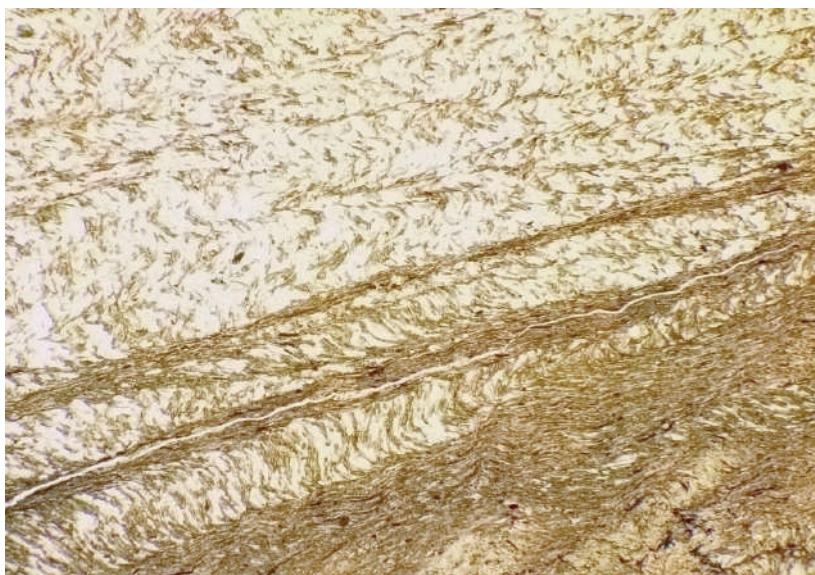
The studied core is represented by fine-grained, highly deformed quartz-chlorite-sericitic shales (samples from a depth of 3502–3509 m, Fig. 2) and quartz-chlorite-sericitic-carbonate rock (depth of 3515–3516 m, Fig. 3). Microscopically, rocks have a grano-lepidoblast and granoblast structure. The mineral assemblage of the rocks is as follows: muscovite, aluminoceladonite, quartz, chamosite, calcite, plagioclase, pumpellyite. Rutile, fluorapatite, monazite, zircon, pyrite and chalcopyrite are found among accessory and ore minerals.

The rocks are fine-grained, greenish-gray in color; they have an interdigititation of thin beds of rock enriched in mica-quartz-carbonate substance (up to 2 mm thick) with a small amount of chlorite, and layers of quartz-chlorite-mica composition (up to 3 mm) with the presence of carbonate boudin. Intimate crumpling is often observed in the rock. In the lower part of the section (depth is 3516 m), the rocks have a medium-grained structure and are composed of calcite (60%), quartz (25%), mica (10%) and chlorite (5%). The quartz-sericitic-chlorite-carbonate rock has a schistous form due to light layers of quartz-calcite composition with a thickness of up to 2 cm and thin layers of a chlorite-mica aggregate with a thickness of up to 2 mm.

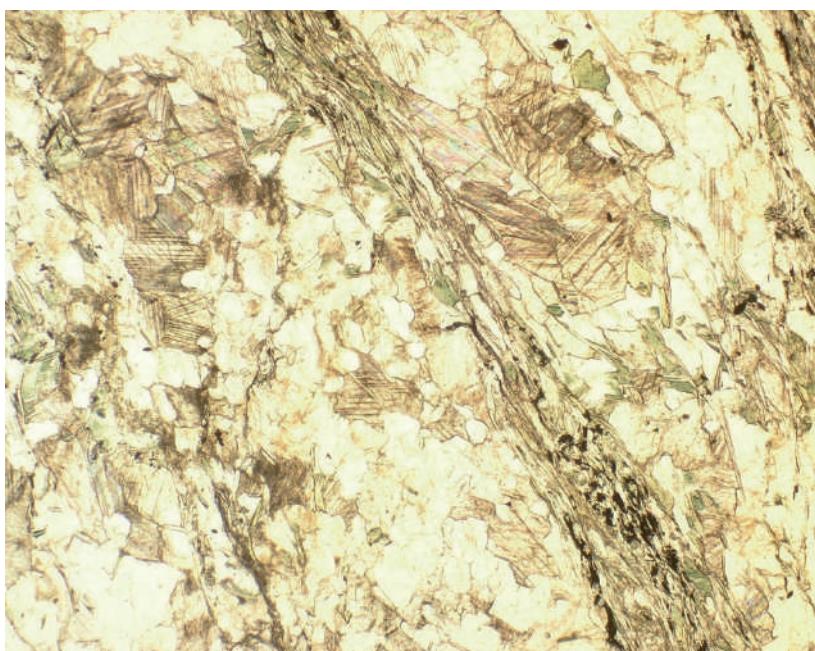
In quartz-chlorite-sericitic schists, quartz is represented by polygonal grains with the inclusion of muscovite and apatite. Some of the grains have an undulatory extinction. Grains size is up to 0.5 mm. Micro-folding is shown in the beds enriched with quartz material (Fig. 4). In the superposed folds of the straticles, grains of quartz, mica and chlorite are perpendicular to stratification in the rock. Quartz contains fine grains of short prismatic apatite and zircon as inclusions.

Mica forms fine-grained banded and crimped aggregates usually deformed and folded; it is often observed together with the laths of chlorite. The size of individuals is up to 0.5 mm. Individuals of accessory minerals such as zircon, monazite, apatite and rutile can be found among the chlorite-mica aggregate. According to the modern classification of micas [11], the obtained compositions correspond to muscovite (Table 1, an. 1, 3, 4) and aluminoceladonite (Table 1, an. 4). The content of  $\text{SiO}_2$  in micas varies from 44.97 to 46.86 wt. %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  from 29.94 to 35.33 wt. %. The content of  $\text{FeO}$  and  $\text{MgO}$  in aluminoceladonite is 5.91 and 2.86 wt. % respectively. The content of  $\text{FeO}$  impurities in muscovite is up to 4.62 wt. %  $\text{MgO}$  to 2.14 wt. %. In the micas, a constant admixture of  $\text{Na}_2\text{O}$  to 0.94 wt. % and  $\text{TiO}_2$  to 0.45 wt. % is observed.

Chlorite in the rock tends to the mica aggregate, where it forms self-contained strips or lenses; the mineral also occurs in the form of elongated curved laths in the interstice of quartz and carbonate. Chlorite flake size does not exceed 0.7 mm. Mineral is pleochroic from yellow-green to bluish-green. In terms of composition, chlorite corresponds to magnesian high-alumina cha-



**Figure 2. Quartz-chlorite-seritic schist. The Lenzitskaya well No 77, depth is 3509 m. Incident light. The size of the field of vision is 3 mm.**  
**Рисунок 2. Кварц-хлорит-серицитовый сланец. Скважина Лензитская № 77, глубина 3509 м. Проходящий свет. Размер поля зрения 3 мм.**

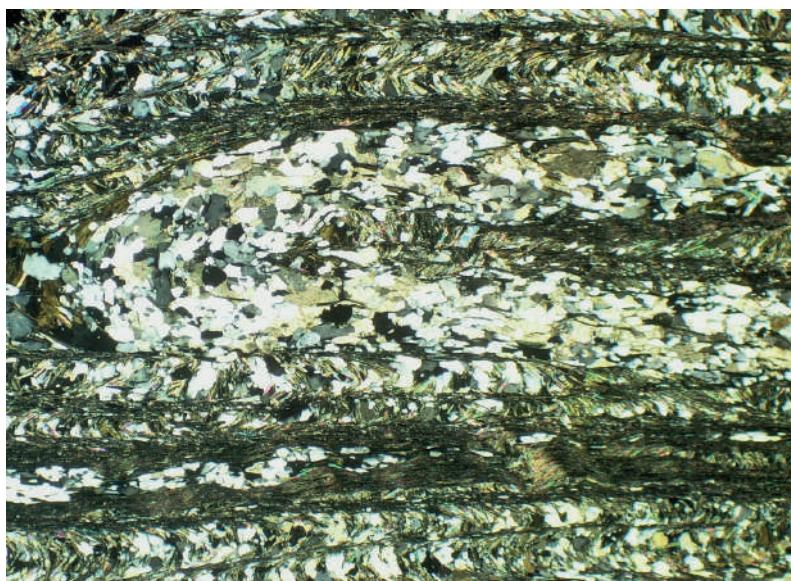


**Figure 3. Quartz-chlorite-seritic-carbonate rock. The Lenzitskaya well No 77, depth is 3516 m. Incident light. The size of the field of vision is 3 mm.**  
**Рисунок 3. Кварц-хлорит-серицит-карбонатная порода. Скважина Лензитская № 77, глубина 3516 м. Проходящий свет. Размер поля зрения 3 мм.**

mosite (Table 1, an. 5–8). MgO content in chamosite is up to 13.99 wt. %. One can note MnO up to 0.31 wt. % and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> to 0.37 wt. % among impurities in the mineral.

The studied rocks contain a large amount of carbonate (5–10%, sometimes up to 60% of the rock volume), which is often confined to areas with fine-grained quartz and forms quartz-carbonate accumulations and veinlets. Carbonate is represented by elongated and isometric, twinned grains up to 1 mm in size. According to microprobe analysis, carbonate corresponds to calcite. Among impurities in the mineral, FeO is noted up to 1.83 wt. %, MnO to 1.22 wt. % and MgO to 0.96 wt. % (Table 1, an. 14–17). There is a small amount of tabular grains of plagioclase with polysynthetic twinning of up to 0.2 mm in size among the quartz-calcite aggregate. By chemical composition, the mineral corresponds to pure albite (An<sub>0.2–0.6</sub>). The content of CaO in albite is up to 0.13 wt. % (Table 1, an. 9–12).

Pumpellyite-(Fe<sup>2+</sup>) was found by us in thin sections in the form of a fine-grained aggregate of green color in association with calcite and chlorite. It has been established by microprobe analysis that the content of FeO in the mineral reaches 9.71 wt. %. It can be confidently identified as pumpellyite-(Fe<sup>2+</sup>) by chemical composition with a high content of the pumpellyite-(Al) mineral up to 34%. The crystallochemical formula of this pumpellyite is as follows: Ca<sub>1.92</sub>(Fe<sup>2+</sup>)<sub>0.65</sub>Al<sub>0.34</sub>Mn<sub>0.02</sub>Ti<sub>0.01</sub>)<sub>1.02</sub>Al<sub>2.00</sub>(Si<sub>1.00</sub>O<sub>4</sub>)(Si<sub>2.06</sub>O<sub>7</sub>)



**Figure 4. Micro-folding in quartz-chlorite-sericitic schists. The Lenzitskaya well No 77, depth is 3505 m. Polarized light. The size of the field of vision is 3 mm.**

Рисунок 4. Микроскладчатость в кварц-хлорит-серицитовых сланцах. Скважина Лензитская № 77, глубина 3505 м. Поляризованный свет. Размер поля зрения 3 мм.

**Table 1. Chemical composition of minerals from metamorphic schists, wt.-%.**

Таблица 1. Химический состав минералов из метаморфических сланцев, мас.-%.

Analysis No	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F	Total
<i>Muscovite</i>												
1	46.86	0.45	32.41	0.04	2.51	0.04	1.25	0.03	0.94	9.73	0.21	94.47
2	44.97	0.28	32.92	0.07	4.62	0.01	2.14	—	0.80	8.68	0.18	94.67
3	46.42	0.28	35.33	0.05	2.42	0.07	0.57	0.02	0.96	9.54	0.13	95.79
<i>Aluminoceladonite</i>												
4	46.19	0.22	29.94	0.08	5.91	0.01	2.86	0.02	0.73	8.29	0.20	94.45
<i>Chamosite</i>												
5	25.04	0.12	21.88	0.17	26.85	0.21	13.37	0.01	0.02	0.01	0.17	87.85
6	25.02	0.14	22.06	0.07	26.84	0.31	13.39	—	0.03	—	0.18	88.04
7	25.17	0.07	21.86	0.05	26.30	0.14	13.99	0.01	—	0.01	0.16	87.76
8	24.73	0.13	22.60	0.37	26.50	0.27	13.20	0.04	—	0.02	0.15	88.01
<i>Albite</i>												
9	68.21	—	19.32	—	0.40	0.02	0.01	0.13	11.77	0.02	—	99.88
10	67.83	—	18.94	—	0.22	—	0.01	0.07	12.08	0.03	—	99.18
11	68.58	—	19.32	—	0.51	—	—	0.07	12.11	0.01	—	100.60
12	68.32	0.06	19.27	—	0.42	—	—	0.05	12.38	0.04	—	100.54
<i>Pumpellyite-(Fe<sup>2+</sup>)</i>												
13	38.10	0.08	24.74	0.04	9.71	0.23	0.01	22.37	0.00	0.01	0.06	95.35
<i>Calcite</i>												
14	—	—	—	—	1.73	0.86	0.83	52.33	—	—	—	55.75
15	—	—	—	—	1.82	0.73	0.73	51.81	—	—	—	55.09
16	—	—	—	—	1.77	1.22	0.84	51.33	—	—	—	55.16
17	—	—	—	—	1.83	0.97	0.96	51.91	—	—	—	55.67

Note: here and in tab. 2 analyzes were performed in the laboratory of the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch (UB) of the Russian Academy of Sciences (RAS) using the CAMECA SX 100 microanalyzer.

$(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (when converted to cationic method). The increased content of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (24.74 wt.%) is observed in the mineral; the content of  $\text{FeO}$  is slightly underestimated and there are almost no impurities (Table 1, an. 13). The presence of pumpellyite-( $\text{Fe}^{2+}$ ) may indicate that the rocks were formed under conditions of prehnite-pumpellyite facie of metamorphism.

Rutile in the rock is the main accessory mineral; it is found both in the form of single individuals up to 0.5 mm in size and in clusters in the chlorite-mica aggregate. Almost all mineral individuals are oriented along schistosity. In thin sections, the mineral forms prismatic and acicular translucent grains of brown color with high relief. The content of  $\text{TiO}_2$  in rutile varies from 98.54 to 99.91 wt. %. The composition of the mineral has an admixture of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  to 0.98 wt. %.

Apatite can be found in the interstice of quartz grains forming isometric and short prismatic grains, the maximum size of which does not exceed 70  $\mu\text{m}$  by elongation. Moreover, the mineral is found in the form of clusters of grains of irregular shape in calcite. The chemical composition of phosphate corresponds to fluorapatite. There are  $\text{FeO}$  up to 0.33 wt. % and  $\text{SiO}_2$  up to 0.40 wt. % among the impurities in the mineral. The fluorine content in the apatite is up to 4.21 wt.%; chlorine is not found.

Monazite in the rock is represented by single grains of irregular shape in the chlorite-mica aggregate. Grain size is up to 20 microns by elongation. According to microprobe analysis, the mineral corresponds to monazite-(Ce) with a  $\text{Ce}_2\text{O}_3$  content of 27.0 wt. % and  $\text{La}_2\text{O}_3$  11.9 wt. %. Zircon forms widely-spaced and small short prismatic grains up to 30 microns in size by elongation.

Sulfide mineralization of the studied rocks is represented by pyrite and chalcopyrite. The dominant among the rocks is pyrite. The mineral forms widely-spaced isometric grains and chains located along the schistosity of the rock (Fig. 5). The size of the individuals of pyrite does not exceed 250 microns. The chemical composition of the mineral contains Co impurities up to 0.79 wt. % and Pb up to 0.29 wt. % (Table 2, an. 1-4).

Chalcopyrite occurs in the form of small elongated, irregularly shaped grains up to 40 microns in size in the interstice of pyrite. A small amount of Pb impurity is present in chalcopyrite (up to 0.18 wt.%, Table 2, an. 5-8).

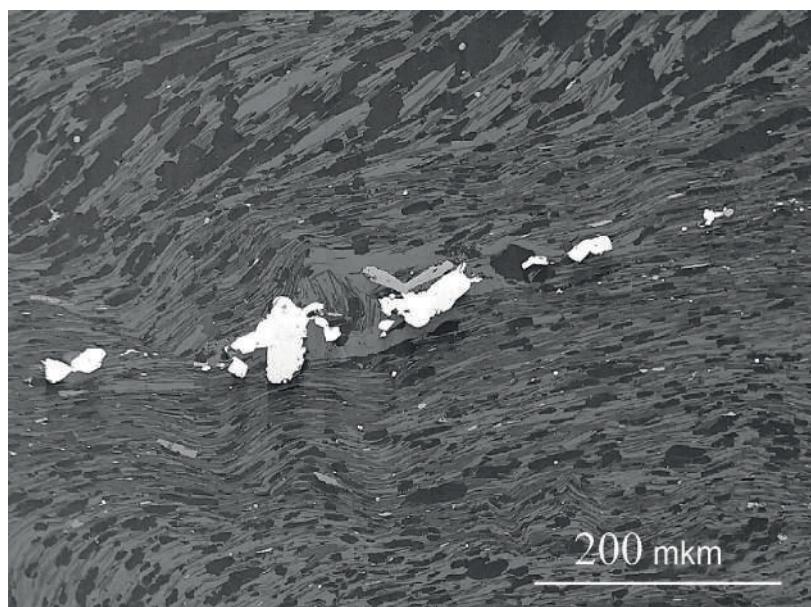


Figure 5. A chain of pyrite individuals (white) in quartz-chlorite-sericitic schist. The Lenzitskaya well No 77, depth is 3509 m. BSE-image, CAMECA SX 100.

Рисунок 5. Цепочка индивидов пирита (белое) в кварц-хлорит-серицитовом сланце. Скважина Лензитская № 77, глубина 3509 м. BSE-изображение, CAMECA SX 100.

Table 2. The chemical composition of sulfides from metamorphic schists, wt. %.

Таблица 2. Химический состав сульфидов из метаморфических сланцев, мас. %.

Analysis No	Fe	Ni	Co	Zn	Cu	Pb	Cd	S	Total
<i>Pyrite</i>									
1	46.45	0.03	0.20	0.02	0.01	0.06	—	53.52	100.29
2	46.54	0.01	0.02	—	0.01	0.24	—	53.12	99.94
3	46.12	—	0.66	0.07	—	0.29	—	53.80	100.94
4	45.80	0.02	0.79	0.02	0.02	—	—	53.69	100.34
<i>Chalcopyrite</i>									
5	30.00	—	—	—	34.83	0.18	0.07	34.69	99.77
6	30.15	0.02	—	—	34.62	0.05	0.03	34.52	99.39
7	29.41	0.02	—	—	34.28	0.08	—	34.46	98.25
8	30.55	—	—	—	34.81	0.08	—	35.42	100.86

The temperature of rock formation in the range of 350–360 °C is calculated using a chlorite thermometer [12]. The obtained estimated data are close to the upper boundary of the prehnite-pumpellyite facie of metamorphism.

The mineralogy of metamorphic schists from the Lenzitskaya well No 77 differs from the previously studied quartz-plagioclase-mica-chlorite schists from the pre-Jurassic basement of the southern part of Yamal (the West-Yarotinskaya well No 300) by the presence of chamosite, calcite, pumpellyite-(Fe<sup>2+</sup>), chalcopyrite and monazite. At the same time aluminous chlorite (donbassite), goyazite, dolomite, sphalerite, galena, cobaltite, native copper and silver were found in the schists from the Zapadno-Yarotinskaya well No. 300 [13]. Sulphide mineralization, as well as a large amount of calcite and rutile in quartz-carbonate-chlorite-mica schists, could have formed after the rocks were worked out by late low-temperature solutions with propylitic alteration along cracks at the boundary of two media, metamorphic rocks of the basement and the superincumbent Jurassic-Cenozoic sedimentary strata [14]. Such metamorphic schists are established in the basement of the Priuralsky part of the West Siberian plate, where they have margins for granite massifs and make up the major Shaimsk-Kuznetsovsk megaanticlinorium [15–17].

### Conclusions

Thus, we first described in detail the mineralogy of quartz-chlorite-mica schists from the pre-Jurassic basement of the northern part of the West Siberian megabasin (Lenzitskaya well No 77, depth is 3502–3516 m). The mineral assemblage of rocks is represented by muscovite, aluminoceladonite, quartz, chamosite, calcite, albite, pumpellyite-(Fe<sup>2+</sup>), rutile, fluorapatite, monazite-(Ce), zircon, pyrite and chalcopyrite. Quartz-sericitic schists similar in composition were found by us in the basement rocks of the Priuralsky part of the West Siberian plate in the Shaimsk-Kuznetsovsk megaanticlinorium. The formation of rocks occurred under the conditions of the upper prehnite-pumpellyite facie of metamorphism along the sedimentary substance. Later the rocks underwent changes in the process of propitilization.

### Acknowledgements

The studies were conducted with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project No 18-05-70016).

### REFERENCES

1. Kontorovich A. E., Nesterov I. I., Salmanov F. K., Surkov, V. S., Trofimuk A. A. 1975, *Geologiya nefti i gaza Zapadnoy Sibiri* [Geology of oil and gas in Western Siberia]. Moscow, 690 p.
2. Surkov, V. S., Trofimuk A. A. 1986, *Megakompleksy i glubinnaya struktura zemnoy kory Zapadno-Sibirskoy plity* [Megacomplexes and deep structure of the Earth's crust of the West Siberian Plate]. Moscow, 149 p.
3. Saunders D. A., England W. R., Reichow K. M., White V. R. 2005, A mantle plume origin for the Siberian traps: uplift and extensional in the West Siberian basin, Russia. *Lithos*, vol. 79, pp. 407–424. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.010>
4. Reichow M. K., Saunders A. D., White R. V., Al'Mukhamedov A. I., Medvedev A. Y. 2005, Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps, Russia. *Lithos*, vol. 79, no. 3/4, pp. 425–452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.011>
5. Vyssotski A. V., Vyssotski V. N., Nezhdanov A. A. 2006, Evolution of the West Siberian Basin. *Marine and Petroleum Geology*, vol. 23, pp. 93–126. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2005.03.00>
6. Areshev E. G., Gavrilov V. P., Dong H. L., Zao, N., Popov O. K., Pospelov V. V., Shan N. T., Shnip O. A. 1997, *Geologiya i neftegazonosnost' fundamenta Zondskogo shel'fa* [Geology and petroleum potential of the Sunda shield]. Moscow, 288 p.
7. Ivanov K. S., Erokhin Y. V., Ponomarev V. S., Fedorov Y. N., Kormiltsev V. V., Klets A. G., Sazhnova I. A. 2007, *Granitoidnyye kompleksy fundamenta Zapadnoy Sibiri* [Granitoid basement complexes of Western Siberia]. The state, trends and problems of the development of the oil and gas potential of Western Siberia: proceedings of the international conference, Tyumen, pp. 49–56.
8. Fedorov Y. N., Ivanov K. S., Sadykov M. R., Pecherkin M. F., Krinochkin V. G., Zakharov S. G., Krasnobaev A. A., Erokhin Y. V. 2004, *Stroyeniye i perspektivi neftegazonosnosti doyurskogo kompleksa territorii KHMAO: novyye podkhody i metody* [Structure and oil and gas potential of the pre-Jurassic complex of the territory of the KHMD: new approaches and methods], research-to-practice conference. Khanty-Mansiysk, vol. 1, pp. 79–90.
9. Braduchan Y. V., Vasilenko E. P., Voronin A. S., Gorelina T. E., Kovrigina E. K., Lebedeva E. A., Markina T. V., Matyushkov A. D., Rubin L. I., Faybusovich Ya. E., Chuiko M. A. 2015, State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Ser. West Siberian. Sheet Q-43 – New Urengoy. Explanatory note. Saint-Petersburg, 320 p.
10. Likhanov I. I., Reverdatto V. V., Kozlov P. S., Vershinin A. E. 2011, The Teya polymetamorphic complex in the Transangarian Yenisei ridge: an example of metamorphic superimposed zoning of low- and medium-pressure facies series. *Doklady Earth Sciences*, vol. 436, issue 2, pp. 213–218. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11020048>
11. Rieder M., Cavazzini G., D'yakonov Y., Frank-Kamenetskii V. A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P. V., Muller G., Neiva A. M. R., Radoslovich E. W., Robert J.-L., Sassi F. P., Takeda H., Weiss Z., Wones D. R. 1998, Nomenclature of the micas. *Canadian Mineralogist*, vol. 36, pp. 41–48.
12. Cathelineau M., Neiva D. 1985, A chlorite solid solution geothermometer the Los Asufres (Mexico) geothermal system. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 91, pp. 235–244. <https://doi.org/10.1007/BF00413350>
13. Erokhin Y. V., Khiller V. V., Ivanov K. S., Rylkov S. A., Bochkarev V. S. Mineralogy of metamorphic schists from the pre-Jurassic basement of the southern part of the Yamal Peninsula. *Litosfera* [Lithosphere], pp. 136–140. (In Russ.)
14. Ivanov K. S., Pisetsky V. B., Erokhin Y. V., Khiller V. V., Pogromskaya O. E. 2016, Geological structure and fluid dynamics of the basement of Western Siberia (in the east of the Khanty-Mansi Autonomous District). Ekaterinburg, 242 p.
15. Ivanov K. S., Fedorov Y. N., Ponomarev V. S., Koroteev V. A., Erokhin Y. V. 2012, Nature and age of metamorphic rocks from the basement of the West Siberian megabasin (according to U-Pb isotopic dates). *Doklady Earth Sciences*, vol. 443, issue 2, pp. 321–325. <https://doi.org/10.1134/S1028334X12030129>
16. Ivanov K. S., Fedorov Y. N., Erokhin Y. V., Ponomarev V. S. 2016, *Geologicheskoye stroyeniye fundamenta Priural'skoy chasti Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseyna* [Geological structure of the basement of the Priuralsky part of the West Siberian petroleum-bearing megabasin]. Ekaterinburg, 302 p.
17. Ivanov K. S., Koroteev V. A., Ponomarev V. S., Erokhin Y. V. 2018, Precambrian complexes of the West Siberian plate: problem and solution. *Doklady Earth Sciences*, vol. 482, issue 1, pp. 1152–1156. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18090234>

The article was received on February 20, 2019

# Минералогия сланцев из фундамента юго-западной части Тазовского полуострова Западно-Сибирского мегабассейна (Лензитская нефтеразведочная площадь, ЯНАО)

Владимир Сергеевич ПОНОМАРЕВ\*,  
Кирилл Святославич ИВАНОВ\*\*,  
Вера Витальевна ХИЛЛЕР\*\*

Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия, Екатеринбург

**Актуальность работы.** Кристаллический фундамент Западной Сибири является перспективным на поиски нефти и газа, но недостаточно изученным объектом. Перспективными породами являются гранитоиды и отчасти их метаморфическое обрамление. Образцы керна из скважин, вскрывших породы фундамента Западной Сибири, являются уникальными, так как являются редкими и крайне труднодоступными, поэтому необходимо проводить всестороннее детальное исследование керна для геодинамических реконструкций и рассмотрения геологической эволюции региона.

**Цель работы.** Определение вещественного состава кварц-хлорит-слюдистых сланцев из доюрского фундамента северной (арктической) части Западно-Сибирского мегабассейна, вскрытых скважиной Лензитская № 77 на глубине 3516–3502 м, которая расположена в юго-западной части Тазовского полуострова на южном побережье Обской губы, в 265 км к востоку от г. Салехара в пределах Ямalo-Ненецкого автономного округа.

**Результаты.** Исследуемые кварц-хлорит-слюдистые сланцы – тонкозернистые породы зеленовато-серого цвета, в которых наблюдается чередование слойков, обогащенных слюдисто-кварц-карбонатным веществом (мощностью до 2 мм) с небольшим количеством хлорита, и слоев кварц-хлорит-слюдистого состава (мощностью до 3 мм) с наличием будин карбоната. Часто в породе наблюдается микроскладчатость. В нижней части разреза (глубина 3516 м) породы имеют среднезернистую структуру и сложены на 60 % кальцитом, 25 % кварцем, 10 % слюдой и 5 % хлоритом. Кварц-хлорит-серцицит-карбонатная порода имеет сланцеватый облик за счет светлых слоев кварц-кальцитового состава мощностью до 2 см и тонких слоев хлорит-слюдистого агрегата мощностью до 2 мм. С помощью рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализатора CAMECA SX 100 в породах установлены: мусковит, алюминоселадонит, кварц, шамозит, кальцит, плагиоклаз, пумпеллиит-(Fe<sup>2+</sup>), рутил, фторапатит, монацит, циркон, пирит и халькопирит. Близкие по составу кварц-серцицитовые сланцы встречены нами среди пород фундамента Приуральской части Западно-Сибирской плиты в Шаймско-Кузнецовском мегантиклиниории.

**Вывод.** Впервые описана минералогия кварц-хлорит-слюдистых сланцев из доюрского основания северной части Западно-Сибирского мегабассейна (скв. Лензитская 77, гл. 3502–3516 м). Установлено, что образование кварц-хлорит-слюдистых сланцев происходило в условиях верхов пренит-пумпеллиитовой фации метаморфизма по осадочному субстрату, позже породы подверглись изменению в процессе пропилитизации.

Ключевые слова: кварц-хлорит-слюдистые сланцы, минералогия, метаморфизм, фундамент, Западно-Сибирский мегабассейн, ЯНАО.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-70016).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конторович А. Э., Несторов И. И., Салманов Ф. К., Сурков В. С., Трофимук А. А. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 690 с.
2. Сурков В. С., Трофимук А. А. Мегакомплексы и глубинная структура земной коры Западно-Сибирской плиты. М.: Недра, 1986. 149 с.
3. Saunders D. A., England W. R., Reichow K. M., White V. R. A mantle plume origin for the Siberian traps: uplift and extensional in the West Siberian basin, Russia // Lithos. 2005. Vol. 79. P. 407–424. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.010>
4. Reichow M. K., Saunders A. D., White R. V., Al'Mukhamedov A. I., Medvedev A. Ya. Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps, Russia // Lithos. 2005. Vol. 79. № 3/4. P. 425–452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2004.09.011>
5. Vyssotski A. V., Vyssotski V. N., Nezhdanov A. A. Evolution of the West Siberian Basin // Marine and Petroleum Geology. 2006. Vol. 23. P. 93–126. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2005.03.002>
6. Арешев Е. Г., Гаврилов В. П., Донг Ч. Л., Зао Н., Попов О. К., Поспелов В. В., Шан Н. Т., Шнип О. А. Геология и нефтегазоносность фундамента Зондского шельфа. М.: Нефть и газ, 1997. 288 с.
7. Иванов К. С., Ерохин Ю. В., Пономарев В. С., Федоров Ю. Н., Корнильев В. В., Клец А. Г., Сажнова И. А. Гранитоидные комплексы фундамента Западной Сибири // Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Западной Сибири: материалы Междунар. конф. Тюмень: ЗапСибНИИГ, 2007. С. 49–56.
8. Федоров Ю. Н., Иванов К. С., Садыков М. Р., Печеркин М. Ф., Криночкин В. Г., Захаров С. Г., Краснобаев А. А., Ерохин Ю. В. Строение и перспективы нефтегазоносности доюрского комплекса территории ХМАО: новые подходы и методы // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: науч.-практ. конф. Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2004. Т. 1. С. 79–90.
9. Брадучан Ю. В., Василенко Е. П., Воронин А. С., Горелина Т. Е., Ковригина Е. К., Лебедева Е. А., Маркина Т. В., Матюшков А. Д., Рубин Л. И., Файбусович Я. Э., Чуйко М. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Сер. Западно-Сибирская. Лист Q-43 – Новый Уренгой. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 320 с.
10. Likhanov I. I., Reverdatto V. V., Kozlov P. S., Vershinin A. E. The Teya polymetamorphic complex in the Transangarian Yenisei ridge: an example of metamorphic superimposed zoning of low- and medium-pressure facies series // Doklady Earth Sciences, 2011. Vol. 436, issue 2. P. 213–218. <https://doi.org/10.1134/S1028334X11020048>
11. Rieder M., Cavazzini G., D'yakonov Y., Frank-Kamenetskii V.A., Gottardi G., Guggenheim S., Koval P.V., Muller G., Neiva A. M. R., Radoslovich E. W., Robert J.-L., Sassi F. P., Takeda H., Weiss Z., Wones D. R. Nomenclature of the micas // Canadian Mineralogist, 1998. Vol. 36. P. 41–48.
12. Cathelineau M., Neiva D. A chloride solid solution geothermometer the Los Asufres (Mexico) geothermal system // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1985. Vol. 91. P. 235–244. <https://doi.org/10.1007/BF00413350>

\*✉ p123v@yandex.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-1651-1281>

\*\*ivanovks@igg.uran.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-8292-4658>

\*\*\*hilvertit@mail.ru

ID <https://orcid.org/0000-0001-8491-4958>

13. Ерохин Ю. В., Хиллер В. В., Иванов К. С., Рыльков С. А., Бочкарев В. С. Минералогия метаморфических сланцев из доюрского осно-вания южной части полуострова Ямал // Литосфера. 2014. № 5. С. 136–140.
14. Иванов К. С., Писецкий В. Б., Ерохин Ю. В., Хиллер В. В., Погромская О. Э. Геологическое строение и флюидодинамика фундамента Западной Сибири (на востоке ХМАО). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. 242 с.
15. Ivanov K. S., Fedorov Yu. N., Ponomarev V. S., Koroteev V. A., Erokhin Yu. V. Nature and age of metamorphic rocks from the basement of the West Siberian megabasin (according to U-Pb isotopic dates) // Doklady Earth Sciences. 2012. Vol. 443, issue 2. P. 321–325. <https://doi.org/10.1134/S1028334X12030129>
16. Иванов К. С., Федоров Ю. Н., Ерохин Ю. В., Пономарев В. С. Геологическое строение фундамента Приуральской части Западно-Си-бирского нефтегазоносного мегабассейна. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2016. 302 с.
17. Ivanov K. S., Koroteev V. A., Ponomarev V. S., Erokhin Yu. V. Precambrian complexes of the West Siberian plate: problem and solution // Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 482, issue 1. P. 1152–1156. <https://doi.org/10.1134/S1028334X18090234>

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2019 г.

# Chemical zoning of chrome-spinel nodules and oxythermobarometry of nodular chromitites of the Engayskoe-3 occurrence in the Rai-Iz massif (Polar Urals)

Pavel Borisovich SHIRYAEV<sup>1, 2,\*</sup>,  
Nadezhda Vladimirovna VAKHRUSHEVA<sup>1, 2, \*\*</sup>

<sup>1</sup>Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

**Relevance of the work.** Chromitites of nodular texture are found in all chromite-bearing alpine type ultramafite massifs of the world. The question of the geological and thermodynamic conditions of their formation still remains debated. The geology, mineralogy and petrogenesis of the nodular chromitites of the ophiolitic massifs of the Polar Urals, the results of studies of which are presented in this work, are slightly highlighted in Russian and foreign literature.

**Purpose of the work.** To study the chemical zoning of chrome-spinel nodules from the chromitite of the Engayskoe-3 occurrence of the Rai-Iz massif (Polar Urals), to establish the patterns of changes in the content of chemical elements in the core and rims of the nodules, to determine the T-fO<sub>2</sub> parameters for the formation of the studied chromitites.

**Results.** The nodules of chromitites of the Engayskoe-3 occurrence consist of the core composed of interspersed chromite, which is surrounded by a solid rim of chromite. The change in the ratio of trivalent cations in the spinels of a nodule rim (from its inner part towards the edge and core) occurs mainly by replacing Al<sup>3+</sup> ↔ Fe<sup>3+</sup>, as indicated by the inverse proportionality of the number of these cations in the unit cell of the mineral. Similarly, the composition of spinel grains changes forming an impregnation in the space between the nodules. For chrome spinels from the nodule core, the change in the composition of the mineral grain from the center to the edge is due to the isomorphic replacement of Al<sup>3+</sup> ↔ Cr<sup>3+</sup>. The central parts of the spinel grains from the nodule core have the oxygen fugacity values to 0.7 logarithmic units above the FMQ buffer, on average, about FMQ +2 logarithmic units. The edge parts of the grains are much more oxidized: oxygen fugacity (determined for them) is FMQ + 3.1...+ 3.3 logarithmic units. The inner part of the nodule rim is recomposed (fO<sub>2</sub>(FMQ) = +1.2...+1.7 logarithmic units) compared to the marginal (fO<sub>2</sub>(FMQ) = +3.3...+3.6 logarithmic units above FMQ buffer). The temperature of olivine-spinel equilibrium is at the level of 550–600 °C.

**Conclusion.** It was assumed that the core of the studied nodules are fragments of earlier disseminated chromitites. The formation of nodules rims is associated with a stage of metamorphism, in which the paragenesis of chlorite, amphibole, and talc was formed in the silicate part of chromitites; and olivine retained its plasticity.

**Keywords:** nodular chromitites, chemical zoning, the Polar Urals, ophiolites, oxythermobarometry.

## Introduction

Nodular chromitites structure are common in chromite-bearing ophiolite massifs around the world. Despite the fact that chromitites of this type have been studied for more than a century and having a variety of their models [1–8, etc.], their genesis remains debated. One of the first models was proposed by A. P. Karpinsky [1], a well-known Russian geologist, who considered nodular chromitites as pebbles formed during the mechanical movement of ore material at high temperature and in a short period of time. In the 1950s–1960s, most scientists (including a major researcher of chromitites of the Kempirsaysky massif N. V. Pavlov [2]) adhered to the point of view, according to which nodules are formed as a result of the segregation of ore-silicate melt. Nowadays, several possible ways for the formation of nodular chromitites are being considered.

The first of them was proposed by K. Ballhaus [4]. From the point of view of the author, the formation of nodular chromitites occurs by mixing of melts with different SiO<sub>2</sub> content and, as a result, viscosity. More basic and less viscous melt forms droplets in a more acidic and more viscous melt. Chrome spinel crystallizes within these droplets. The mineral grains are filled with drops, which leads to the formation of a nodule.

According to the second concept [6], nodular chromitites are formed under the influence of the fluid phase. Fluid bubbles in the basaltic melt collect chromite microcrystals and lift them to the upper part of the magmatic column. Here, the crystals accumulate in segregation, the density of which is higher than the density of the basalt melt; then they descend to the bottom of the magma chamber forming an ellipsoidal shape in the melt.

The latest study [7] is based on the results of X-ray tomography of the nodular chromitites of the Oman massif and the determination of the orientation of the chrome-spinel grains using the EBSD attachment. The authors found that the nodules studied by them are formed by solid chromitite rims growing on skeletal spinel crystals or segregation of mineral grains. The rounded shape of the nodule is a consequence of their partial dissolution. Formation of chromite rims occurs in a Cr-saturated melt.

The members of the Institute of Geology of Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Ufa) are engaged in the study of nodular chromitites. So, D. E. Saveliev studied one of the deposits of the Kraka massif, within which both nodular and solid chromitites are found [3]. The author concluded that nodular chromitites have a tectonic origin and are formed during a shear flow due to massive ones. Inside the body of massive chromitites, nodular ores trace weakened zones and are associated with the most rheologically weak dunites. The rounded shape of the nodule is formed due to the high total pressure and temperature at which breccia would form under surface conditions.

The nodular chromitites of the Engayskoe-3 occurrence, which are the subject of discussion of this work, were previously studied using electron microscopy by V. Yu. Alimov and L. A. Sherstobitova [9]. According to the results of the study, it was

\*✉ shiryayev@igg.uran.ru

\*\*<https://orcid.org/0000-0002-3090-6001>

✉ vakhrusheva@igg.uran.ru

\*\*<https://orcid.org/0000-0002-2790-8401>



Figure 1. Exposure of nodular chromitites. Ore body no. 11, Engayskoe-3 occurrence, left bank of the Enga-Yu river.  
Рисунок 1. Коренное выходе нодулярных хромититов. Рудное тело № 11, рудопроявление Енгайское-3, левый берег р. Енга-Ю.

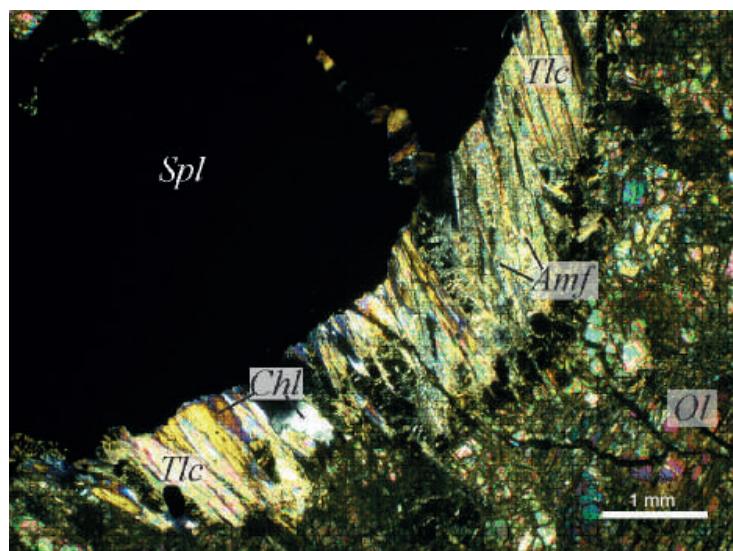


Figure 2. The development of talc *Tlc*, chromic clinochlore *Chl*, serpentine *Srp* and tremolite *Amf* in pressure shadows at the nodule border of chrome-spinel *Spl* with serpentinized olivine *Ol*. Thin section photo in cross-polarized light.  
Рисунок 2. Развитие талька *Tlc*, хромового клинохлора *Chl*, серпентина *Srp* и tremолита *Amf* в тенях давления на границе нодуля хромовой шпинели *Spl* с серпентинизированным оливином *Ol*. Фото шлифа с анализатором.

established that the marginal part of the nodule is composed of a colloform aggregate of chromite. As it approaches its center, nucleation of the octahedron [111] faces, represented by triangular sub-individuals, is observed on the surfaces of the colloform formations. The morphology of the colloform aggregate changes, microspheroidization is observed. Aggregation of small (0.5–1  $\mu\text{m}$  in diameter) globules into larger ones (3–5  $\mu\text{m}$ ) and the presence of a surficial facet is typical of microglobules. With a further approach to the center of the nodule, subindividual fusion occurs, the degree of crystallinity of chrome-spinel increases.

The purpose of this work is to study the chemical zoning of the chrome-spinel nodule from chromitites of the ore body no. 11 of the Engayskoe-3 occurrence.

Chemical compositions of ore-forming chrome-spinels and olivines were determined using electron probe microanalysis (microanalyzer CAMECA SX 100, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, analyst is A. V. Mikheeva).

#### The mineral composition of chromitites

Within the ore body No 11 represented by chromitites of a disseminated-banded texture, podiform separation of nodular chromitites with a visible thickness of 55 cm is exposed (Fig. 1). The lens is oriented submeridionally, in accordance with the banding of slightly disseminated chromitites, and has a subvertical dip.

The body of nodular chromitites lies in the dunite body, in which jets, packs, disseminated-banded, slightly impregnated ores occur fixing fracture zones.

In the cross-section, the nodules have an oval shape with a length to width ratio 3:2, at least 2:1. Nodule sizes range from 6 to 20 mm along the long axis averaging 14–16 mm. Most large nodules have a zonal structure and consist of two zones. The inner zone (core) is represented by a medium or rare impregnation of chrome-spinel crystals, whose dimensions are 0.3–1.0 mm, located among the grains of olivine and chlorite. In the general case, the core configuration corresponds to the nodule form [10].

The outer zone is represented by a single crystal rim of a 3–4 mm chrome-spinel. As you can see in the photograph of the thin section, the rim is not developed along the entire periphery of the studied nodule – it is absent in its upper part (Fig. 3, profile b–b'). The single-crystal structure of the outer zone is traced due to the identical orientation of the individual cracks. Cracks in the rims of the nodule are often filled with serpentinized olivine. In addition to them, there are stepped cracks, which cut the entire nodule (not going beyond its limits) and are made by a parallel-columnar chlorite aggregate.

The nodules are immersed in a silicate matrix, which is represented by serpentinized olivine with separate long-prismatic amphibole grains. At the outer boundary of the nodule, in the pressure shadows, a parallel-columnar aggregate of chrome clinochlore, tremolite and talc is developed (Fig. 2). In the space between the nodules, lenses, and chains of chromium, spinel crystals of 0.1–1.0 mm in size are distinguished.

#### Chemical zoning of nodules. Oxythermobarometry of nodular chromitites

Variation in the composition of chrome-spinel within a nodule were studied in two mutually perpendicular directions – along the long and short axes (Fig. 3). The compositions of chrome-spinel in the core and rim of the nodule are different. The content of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  in the rim gradually decreases to the edge of the nodule and to the contact of the rim with the core; it varies within 61–62 wt. %. The contents of  $\text{MgO}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  change in a similar way. Along the short axis of the nodule (Fig. 3, profile a–a'),  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  content and  $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$  (herein after, Fe#) in the spinel edge is higher than along the long axis (Fig. 3, b–b' profile). Such zoning cannot be explained by the kinetic redistribution of components inside the spinel grains under the action of stress similar to [11, 12] since chromium enrichment would occur in a different way than in the studied nodule: Cr – along the compression axis (short), and Al – along the axis of stretching (long). It is possible that chromium enrichment along the long axis occurs due to the removal of aluminum from the mineral, which was redistributed to chlorite forming a parallel-columnar aggregate (together with talc and tremolite) in pressure shadows along the axis of stretching of the nodule (Fig. 2).

The composition of spinel in the nodule core is noticeably variable. From the center to the edge of the grains of the mineral the content of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  increases from 61–62 wt. % to 62–66 wt. % (it averages about 64 wt. %), at the same time, the content of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  decreases from 6–8 wt. % to 2–5 wt. %. Fe# in the edges of the spinel grains is 3–5% lower than in the central parts.

The chrome-spinels that compose the core of the investigated nodule have a higher Cr-content compared to the ore spinels of the Tsentralnoye deposit (Fig. 4). The spinels that make up the nodule rim, on the contrary, have a similar compositions. The spinel grains forming an impregnation in the space between the nodules are close in composition to the marginal parts of their rim.

The change in the ratio of trivalent cations in the spinels of the nodule rim (from its inner part towards the edge and core) occurs mainly by replacing  $\text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$ , as indicated by the inverse proportionality of the amounts of these cations in the unit cell of the mineral (Fig. 5, a). Grains of spinel forming an impregnation in the space between nodules (one of the studied grains is in direct contact with tremolite grain) have a similarly chemical zoning (one of the studied grains is in direct contact with the tremolite grain). This type of isomorphism may be due to late processes, which spinel has undergone during serpentinization [13].

For chrome-spinels from the nodule core, the change in the composition of the mineral grain from the center to the edge is due to the isomorphic replacement of  $\text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{Cr}^{3+}$  (Fig. 5, b). This type of isomorphism in ore-forming spinels is associated with the development of chlorite during the secondary transformation of mineral [14].

Olivines from the inner part of the nodule have the lowest Fa-content within the studied sample of chromitite ( $Fa = 2\ldots 3\%$ ).  $Fa$  outside the nodule increases slightly with distance from it, reaching values of up to 3.5%.

Using the geothermometer and oxybarometer [15], the temperature of the olivine-spinel equilibrium and oxygen fugacity were calculated. The central parts of the spinel and olivine grains from the nodule core fix the lowest oxygen fugacity values to

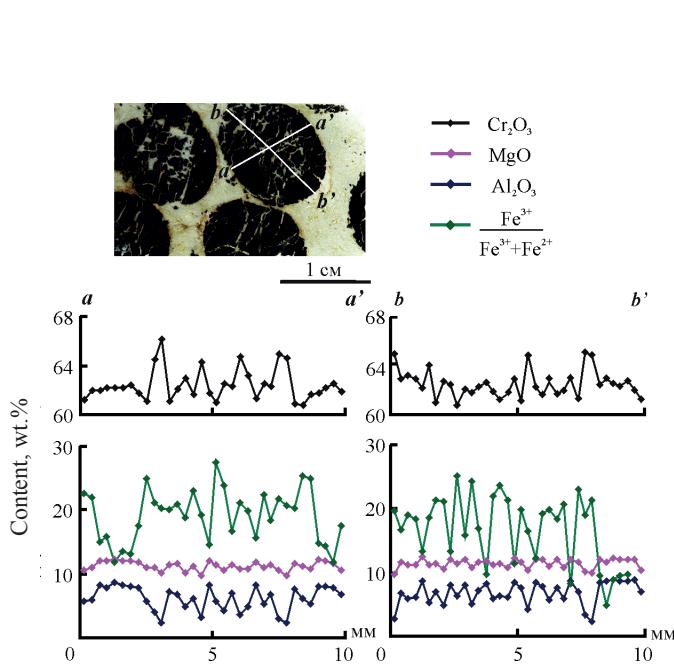


Figure 3. Changes in the chemical composition of chrome-spinel within the nodule from the chromitite of the Engayskoe-3 occurrence.  
Рисунок 3. Изменение химического состава хромовой шпинели в пределах нодуля из хромитита рудопроявления Енгайское-3.

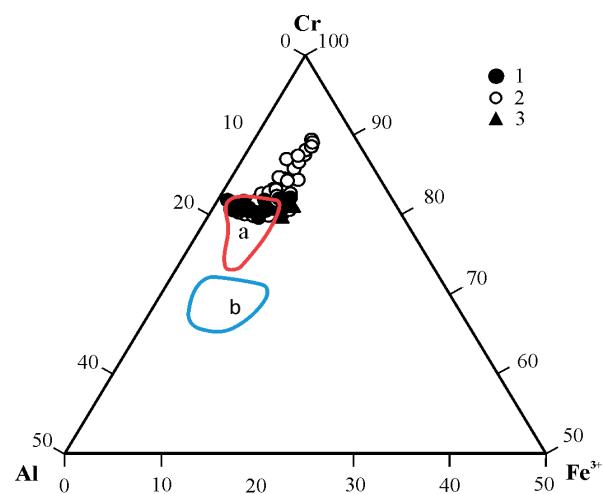
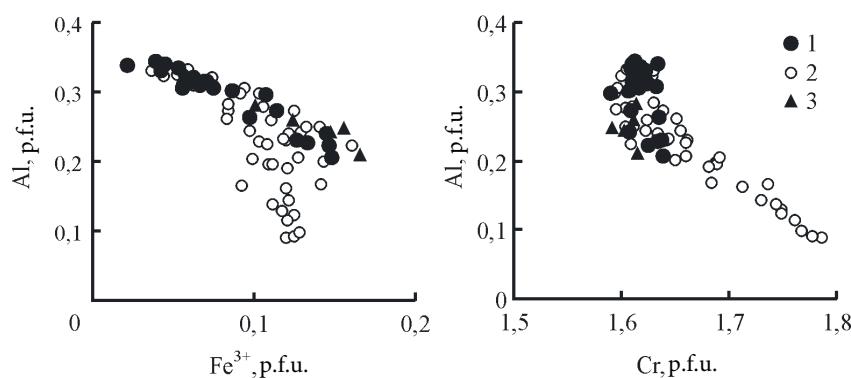


Figure 4. The compositions of ore-forming chrome-spinels from nodular chromite ores of the Engayskoe-3 occurrence. 1 – nodule rim; 2 – nodule core; 3 – chrome-spinel impregnation in the space between the nodules; a, b – fields of ore-forming chrome-spinel compositions according to [10]: a – Tsentralnoye deposit, b – Engayskoe-1 occurrence.

Рисунок 4. Составы рудообразующих хромовых шпинелей из нодулярных хромититов рудопроявления Енгайское-3. 1 – кайма нодуля; 2 – ядро нодуля; 3 – вкрапленность хромовой шпинели в пространстве между нодулями; а, б – поля составов рудообразующих хромовых шпинелей по [10]: а – месторождение Центральное, б – рудопроявление Енгайское-1.



**Figure 5. The ratio of trivalent cations in octahedra of chrome-spinel, which composes the nodule from chromitites of the Engayskoe-3 occurrence. Legend keys – see figure 4.**

**Рисунок 5. Соотношение трехвалентных катионов в октаэдрах хромовой шпинели, слагающей нодуль из хромититов рудопроявления Енгайское-3. Условные обозначения – см. рис. 4.**

0.7 logarithmic units above the FMQ buffer, on average, about  $\text{FMQ} + 2$  logarithmic units. The edge parts of the grains are much more oxidized: oxygen fugacity, defined for them, is 3.1–3.3 logarithmic units above FMQ buffer. The central parts of the nodule rim and olivine grains in contact with the nodule are also more reduced ( $f\text{O}_2 = \text{FMQ} + 1.2...+ 1.7$  logarithmic units) as compared to the marginal ( $f\text{O}_2 3.3\text{--}3.6$  logarithmic units above FMQ buffer). The temperature of olivine-spinel equilibrium is at the level of 550–600 °C.

#### Conclusion

As described above, chrome-spinels from the core and rims of the chromitites nodule of the ore body 11 of the Engayskoe-3 occurrence have different compositional trends, as well as different microstructure. This indicates the different conditions of their formation. The parameters determined in our work correspond to the stage of the crustal (metamorphic) transformations of ultramafites. The core of nodules often have an angular shape; then the rim will have the same shape. The boundary of the core and rim is sharp, without a gradual change in the density of the chrome-spinel impregnation. The thickness of the rim is stable and does not depend on the size of the core. These observations together with the obtained data suggest that the core of the studied nodules (like the nodules from the chromitites of the Oman massif studied in [7]) are fragments (chips) of earlier embedded chromitites. The symmetric zoning of the rim indicates that its composition has not undergone changes due to the superimposed processes, but it is basic one. Its variation from internal parts to external occurred against the backdrop of changes in the fugacity of oxygen and chemical properties of the ore-forming system. The formation of nodules rims is associated with a stage of metamorphism, in which the paragenesis of chlorite, tremolite, and talc was formed in the silicate part of chromitites; and olivine retained its plasticity. In addition, the results obtained in this work show that large-scale redeposition of the ore substance is possible (when the metamorphism of ultramafites) without a significant change in the chemical composition of the ore-forming spinel.

#### Acknowledgements

The studies were conducted with the support of the Russian Foundation for Basic Research (No. 18-05-70016, P. B. Shiryaev) and the Comprehensive program of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (No. 18-5-5-32, N. V. Vakhrusheva).

#### REFERENCES

1. Karpinsky A. P. 1926, About the probable origin of primary deposits of platinum of the Ural type. *Izvestiya Akademii nauk SSSR* [News of the Academy of Sciences of the USSR], vol. 20, issue 1/2, pp. 133–158. (In Russ.)
2. Pavlov N. V., Kravchenko G. G., Chuprynina I. I. 1968, *Khromity Kempirsayskogo plutona* [Chromites of the Kempirsayskiy pluton]. Moscow, 197 p.
3. Savel'ev D. E. 2013, The origin of nodular structures: a case study on chromitite deposits, east of Sredny-Kraka massif, Southern Ural region. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 5, pp. 41–49. (In Russ.)
4. Ballhaus C. 1998, Origin of podiform chromite deposits by magma mingling. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 156, pp. 185–193. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(98\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(98)00005-3)
5. Lago B. L., Rabinowicz M., Nicolas A. 1982, Podiform chromite ore bodies: a genetic model. *Journal of Petrology*, vol. 23, pp. 103–125. <https://doi.org/10.1093/petrology/23.1.103>
6. Matveev S., Ballhaus C. 2002, Role of Water in the Origin of Podiform Chromitite Deposits. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 203, pp. 235–243. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)00860-9](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00860-9)
7. Prichard H. M., Barnes S. J., Godel B., Reddy S. M., Vukmanovic Z., Halfpenny A., Neary C. R., Fisher P. C. 2015, The structure of and origin of nodular chromite from the Troodos ophiolite, Cyprus, revealed using high-resolution X-ray computed tomography and electron backscatter diffraction. *Lithos*, vol. 218–219, pp. 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.01.013>
8. Thayer T. P. 1964, Gravity differentiation and magmatic re-emplacement of podiform chromite deposits. H. D. B. Wilson (Ed.) In.: Magmatic Ore Deposits, vol. 4, pp. 132–146.
9. 1990, *Stroyeniye, evolyutsiya i minerageniya giperbazitovogo massiva Rai-Iz* [Structure, evolution and mineralogy of the Rai-Iz ultrabasite massif], ed. by V. N. Puchkov, D. S. Steinberg. Sverdlovsk, 229 p.
10. Vakhrusheva N. V., Shiryaev P. B., Stepanov A. E., Bogdanova A. 2017, *Petrologiya i khromitonosnost' ul'traosnovnogo massiva Rai-Iz (Polarnyy Ural)* [Petrology and chromite-bearing nature of the ultramafic Rai-Iz massif (Polar Urals)]. Ekaterinburg, 265 p.
11. Odashima N., Morishita T., Ozawa K., Nagahara H., Tsuchiya A., Nagashima R. 2008, Formation and deformation mechanisms of pyroxene-spinel symplectite in an ascending mantle, the Horoman peridotite complex, Japan: An EBSD (electron backscatter diffraction) study. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, vol. 103, pp. 1–15. <https://doi.org/10.2465/jmps.070222b>
12. Ozawa K. 1989, Stress-induced Al–Cr zoning of spinel in deformed peridotites. *Nature*, vol. 338, pp. 141–144. <https://doi.org/10.1038/338141a0>
13. Bliss N. W., MacLean W. H. 1975, The paragenesis of zoned chromite from Central Manitoba. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 39, pp. 973–990. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(75\)90042-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(75)90042-3)

14. Colás V., González-Jiménez J. M., Griffin W. L., Fanlo I., Gerville F., O'Reilly S. Y., Pearson N. J., Kerestedjian Th., Proenza J. A. 2014, Fingerprints of metamorphism in chromite: new insights from minor and trace elements. *Chemical Geology*, vol. 389, pp. 137–152. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.10.001>
15. Ballhaus C., Berry R. F., Green D. H. 1991, High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 107, pp. 27–40. <https://doi.org/10.1007/BF00311183>

The article was received on March 3, 2019

# Химическая зональность нодулей хромовой шпинели и окситермобарометрия нодулярных хромититов рудопроявления Енгайское-3 массива Рай-Из (Полярный Урал)

Павел Борисович ШИРЯЕВ<sup>1, 2, \*</sup>,  
Надежда Владимировна ВАХРУШЕВА<sup>1, 2, \*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

**Актуальность работы.** Хромититы нодулярной текстуры встречаются на всех хромитоносных альпинотипных ультрамафитовых массивах мира. Вопрос о геологических и термодинамических условиях их образования на протяжении столетия занимает исследователей и по-прежнему остается открытым. Геология, минералогия и петрогенезис нодулярных хромититов эталонных офиолитовых массивов Полярного Урала, результаты исследований которых представлены в настоящей работе, слабо освещены в отечественной и зарубежной литературе.

**Цель работы.** Изучить химическую зональность нодулей хромовой шпинели из хромититов рудопроявления Енгайское-3 массива Рай-Из (Полярный Урал), установить закономерности изменения содержания химических элементов в ядрах и каймах нодулей, определить T-fO<sub>2</sub> параметры образования исследованных хромититов.

**Результаты.** Нодули хромититов рудопроявления Енгайское-3 состоят из ядра, сложенного вкрапленным хромитом, которое окружено каймой сплошного. Изменение соотношения трехвалентных катионов в шпинелях каймы нодуля (от ее внутренней части по направлению к краю и ядру) происходит главным образом путем замещения Al<sup>3+</sup>↔ Fe<sup>3+</sup>, на что указывает обратная пропорциональность количества этих катионов в элементарной ячейке минерала. Аналогично изменяются составы зерен шпинели, образующие вкрапленность в пространстве между нодулями. Для хромовых шпинелей из ядра нодуля изменение состава зерна минерала от центра к краю обусловлено изоморфным замещением Al<sup>3+</sup>↔ Cr<sup>3+</sup>. Центральные части зерен шпинелей из ядра нодуля фиксируют значения фугитивности кислорода до 0,7 лог. ед. выше буфера FMQ, в среднем около FMQ +2 лог. ед. Краевые части зерен значительно более окислены: фугитивность кислорода, определенная для них, составляет FMQ +3,1...+3,3 лог. ед. Внутренняя часть каймы нодуля является более восстановленной (fO<sub>2</sub>(FMQ) = +1,2 ... +1,7 лог. ед.) по сравнению с краевой (fO<sub>2</sub>(FMQ) = +3,3 ... +3,6 лог. ед. выше буфера FMQ). Температура оливин-шпинелевого равновесия находится на уровне 550–600 °C.

**Вывод.** Сделано предположение, что ядра изученных нодулей являются фрагментами более ранних вкрапленных хромититов. Образование кайм нодулей сопряжено с этапом метаморфизма, на котором в силикатной части хромититов формировался парагенезис хлорита, амфибола и талька, а оливин сохранял пластичность.

Ключевые слова: нодулярные хромититы, химическая зональность, Полярный Урал, офиолиты, окситермобарометрия.

Исследования проведены при частичной поддержке РФФИ (№ 18-05-70016, П. Б. Ширяев) и Комплексной программы УрО РАН (№ 18-5-5-32, Н. В. Вахрушева).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карпинский А. П. О вероятном происхождении коренных месторождений платины уральского типа // Изв. АН СССР. 1926. Т. 20. Вып. 1/2. С. 133–158.
2. Павлов Н. В., Кравченко Г. Г., Чупрынина И. И. Хромиты Кемпирской плутонии. М.: Наука, 1968. 197 с.
3. Савельев Д. Е. Происхождение нодулярных текстур на примере хромититов массива Средний Крака, Южный Урал // Руды и металлы. 2013. № 5. С. 41–49.
4. Ballhaus C. Origin of podiform chromite deposits by magma mingling // Earth and Planetary Science Letters. 1998. Vol. 156. P. 185–193. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(98\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(98)00005-3)
5. Lago B. L., Rabinowicz M., Nicolas A. Podiform chromite ore bodies: a genetic model // Journal of Petrology. 1982. Vol. 23. P. 103–125. <https://doi.org/10.1093/petrology/23.1.103>
6. Matveev S., Ballhaus C. Role of Water in the Origin of Podiform Chromitite Deposits // Earth and Planetary Science Letters. 2002. Vol. 203. P. 235–243. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)00860-9](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00860-9)
7. Prichard H. M., Barnes S. J., Godel B., Reddy S. M., Vukmanovic Z., Halfpenny A., Neary C. R., Fisher P. C. The structure of and origin of nodular chromite from the Troodos ophiolite, Cyprus, revealed using high-resolution X-ray computed tomography and electron backscatter diffraction // Lithos. 2015. Vol. 218–219. P. 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.01.013>
8. Thayer T. P. Gravity differentiation and magmatic re-emplacement of podiform chromite deposits / H. D. B. Wilson (Ed.) // Magmatic Ore Deposits. 1964. Vol. 4. P. 132–146.
9. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из / ред. В. Н. Пучков, Д. С. Штейнберг. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 229 с.
10. Вахрушева Н. В., Ширяев П. Б., Степанов А. Е., Богданова А. Р. Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
11. Odashima N., Morishita T., Ozawa K., Nagahara H., Tsuchiyama A., Nagashima R. Formation and deformation mechanisms of pyroxene-spinel symplectite in an ascending mantle, the Horoman peridotite complex, Japan: An EBSD (electron backscatter diffraction) study // Journal of Mineralogical and Petrological Sciences. 2008. Vol. 103. P. 1–15. <https://doi.org/10.2465/jmps.070222b>
12. Ozawa K. Stress-induced Al–Cr zoning of spinel in deformed peridotites // Nature. 1989. Vol. 338. P. 141–144. <https://doi.org/10.1038/338141a0>
13. Bliss N. W., MacLean W. H. The paragenesis of zoned chromite from Central Manitoba // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1975. Vol. 39. P. 973–990. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(75\)90042-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(75)90042-3)
14. Colás V., González-Jiménez J. M., Griffin W. L., Fanlo I., Gervilla F., O'Reilly S. Y., Pearson N. J., Kerestedjian Th., Proenza J. A. Fingerprints of metamorphism in chromite: new insights from minor and trace elements // Chemical Geology. 2014. Vol. 389. P. 137–152. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.10.001>
15. Ballhaus C., Berry R. F., Green D. H. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1991. Vol. 107. P. 27–40. <https://doi.org/10.1007/BF00311183>

Статья поступила в редакцию 3 марта 2019 г.

\* [shiryayev@igg.uran.ru](mailto:shiryayev@igg.uran.ru)

\*\* <https://orcid.org/0000-0002-3090-6001>

\*\* [vakhrusheva@igg.uran.ru](mailto:vakhrusheva@igg.uran.ru)

\*\* <https://orcid.org/0000-0002-2790-8401>

# Эдиакарская фауна в древних толщах Полярного Урала

Леонид Федорович ШАДРИН\*

Волжский краеведческий музей, Россия, Волжск

**Актуальность работы.** В подготовленных материалах к Третьему Межведомственному Уральскому стратиграфическому совещанию отмечалось, что расчленение допалеозойских толщ Урала и выделение отдельных подразделений связано с большими трудностями, что объясняется невозможностью использования биостратиграфического метода с такой же достоверностью, как для палеозоя, а также отсутствием других объективных критериев для стратиграфического расчленения и корреляции. И только подразделения верхнего протерозоя (венда) охарактеризованы соответствующими комплексами строматолитов, онколитов, катаграфий, акритарх и микрофитолитов.

**Цель работы.** В процессе геолого-съемочных работ 1960-х гг. на территории Полярного Урала находки ископаемых остатков были весьма редки и стратиграфическое расчленение картируемых толщ часто приводило к определенным ошибкам и недоразумениям при увязке границ и возраста откартированных стратиграфических подразделений на стыке геологических карт, составленных соседними съемочными партиями. Не окончательно был решен вопрос относительно возраста лиловых кварцитопесчаников минисейской и манитанырской свит, казалось бы, лишенных органических остатков.

**Результаты.** Приведенные в статье данные о находке отпечатка древнего ископаемого организма в лиловых кварцитопесчаниках манитанырской свиты, сходного по строению с морскими перьями, жившими в мелководной морской среде в эпоху вендской седиментации, позволяют выполнить повторные сборы палеонтологических остатков в отложениях минисейской и манитанырской свит, считавшихся «немыми». На сегодня минисейские и манитанырские кварцитопесчаники датируются ордовиком, но в отличие от ордовикских отложений имеют более высокую степень метаморфизма и палеонтологически пока не охарактеризованы. Несмотря на высокую степень метаморфизма, вендская фауна, по мнению М. А. Федонкина (журнал «Природа», 1989), сохранилась по причине некоторых факторов, из которых он выделяет в качестве условий гигантские морские отмели, служившие ловушками для живых организмов во время постоянных отливов. Обилие донного населения и высокая подвижность воды способствовали быстрому погребению организмы, особенно во время больших штормов.

**Выводы.** Нахodka отпечатка эдиакарской фауны кварцитопесчаников манитанырской свиты в районе Пайпудынского хребта на Полярном Урале дает надежду на новые находки, что позволит этим древним толщам приобрести истинный геологический возраст и исключить их из состава палеозойских образований.

**Ключевые слова:** стратиграфия, Полярный Урал, докембрий, ордовик, лиловые кварцитопесчаники, минисейская и манитанырская свиты, зеленосланцевые фации, эдиакарская фауна, метаморфизм.

## B ведение

Геологическая карта Урала своим рисунком напоминает лоскутное одеяло, что обусловлено тектоническими движениями в процессе горообразования. Полярный Урал в этом отношении не является исключением [1]. Его блоково-надвиговое строение часто затрудняет стратиграфическое расчленение древних толщ, что приводит к шумным баталиям среди геологов, особенно в отношении «немых» толщ, лишенных органических остатков.

В 1985 г. в Средне-Уральском книжном издательстве вышла книга «Уральский геологический музей» [2]. Автор этой хорошо иллюстрированной книги Л. А. Пронин при характеристике протерозойского этапа развития Урала на стр. 33 сопроводил текст фотографией кварцитов верхнего (позднего) протерозоя с четко выраженными волноприбойными знаками ряби на поверхности наслоения. Образец привезен с Южного Урала. Знаки ряби указывают на осадочное происхождение кварцитов в условиях прибрежных мелководий, а название горной породы говорит о высокой степени метаморфизма осадочных образований. Обоснование возраста этих горных пород и соотношение их с палеозойскими толщами не приведено, но их генезис вполне ясен.

## История проблемы

Так называемые лиловоокрашенные кварцитопесчаники с волноприбойными знаками ряби картируются и на Полярном Урале. Они выделяются в составе свит – минисейской [3] на севере и манитанырской [4, 5] на юге. В середине XX в. на территории Ляпинского Урала были завершены стратиграфические исследования, проводимые К. А. Львовым. Для ордовикских образований этого района им были выделены тельпосская, хыдейская и щугорская свиты, которые впоследствии в виде соответствующих горизонтов были предложены для унифицированной части корреляционных стратиграфических схем Уральского субрегиона [4].

Простота в практическом использовании схемы Б. А. Львова по расчленению ордовикских отложений завоевала особую симпатию у геологов-съемщиков на Полярном и Приполярном Урале. Б. А. Львов считал, что разрез ордовика в целом соответствует полному циклу седиментации от конгломератов и песчаников тельпосской свиты раннего ордовика до карбонатных пород щугорской свиты позднего ордовика. Этой же точки зрения придерживались многие исследователи, изучавшие геологическое строение Полярного Урала [6–9], и она отражена в документах региональных совещаний [10] и на серии опубликованных геологических карт [1].

Минисейская свита впервые выделена Б. Я. Осадчевым в 1949 г. на севере Полярного Урала [3] для толщи терригенных пород, относимых условно к нижнему ордовику на основании сопоставления с тельпосской свитой Приполярного Урала, содержащей комплекс раннеордовикской фауны [5]. Косвенным доказательством ордовикского возраста минисейской свиты для Б. Я. Осадчева послужила также находка брахиопод *Billingsella* sp. в зеленовато-серых известковистых песчаниках, залегающих выше лилово-серых кварцитопесчаников.

В 1965 г. В. П. Еремин, изучая разрезы терригенных толщ бассейнов рек Талота и Сянгур, пришел к выводу, что *Tritoechia lermontovae* (Less.), ранее определенная как *Billingsella* sp., находится за пределами распространения пород

\*✉ mbu\_vkm@mail.ru

✉ https://orcid.org/0000-0002-9750-1500

минисейской свиты в ее строгом литологическом понимании и обоснованием возраста последней служить не может. Кроме того, минисейские кварцитопесчаники отделены от tremadokских слоев с фауной брахиопод базальными полимиктовыми конгломератами с галькой подстилающих горных пород [11, 12].

В процессе съемочных и тематических работ собран значительный материал по разрезам ордовикских отложений, который не подтверждает непрерывность их разреза. Разрез ордовика распадается на две самостоятельные серии с собственными базальными слоями, а лиловогоокрашенные кварцитопесчаники минисейской, манитанырдской и хойдышорской свит с угловым и азимутальным несогласием перекрываются ордовикскими отложениями с фауной tremadokского и аренигского ярусов. Формационный анализ допалеозойских и палеозойских толщ Полярного Урала подтверждает эту точку зрения [12].

### **Место лиловых кварцитопесчаников в формационном ряду байкалия**

За флишеобразованием (орангская и хуутинская свиты) последовал инверсионный цикл байкальского тектогенеза с накоплением моласс, завершающих структурно-формационный ряд, состав которых свидетельствует об устойчивой тенденции к поднятию области и возникновению предгорных прогибов. В пределах этих структур происходило формирование морских (хойдышорская и манитанырдская свиты) и континентальных (байдарацкая и минисейская свиты) моласс. Для первых характерны волноприбойные знаки ряби на поверхностях наслонения, а для вторых – косослоистые серии русловых фаций, карманы размывов и признаки эолового происхождения [3].

Несмотря на кажущуюся монотонность литологического состава, лиловогоокрашенные кварцитопесчаники накапливались в неоднородной среде. В районе горы Константинов Камень Б. Я. Осадчевым описаны кварцитопесчаники минисейской свиты, на поверхностях песчинок которых видны следы царапин, образовавшихся при ветровом движении песков. На западном склоне горы Бол. Хуута в кварцитопесчаниках наблюдаются косослоистые серии русловых фаций и глубокие карманы речной эрозии, рассекающие косослоистые серии отложений. В верховьях ручьев Развильный и Медвежий наблюдаются волноприбойные знаки ряби, а в районе хребтов Сянгур-Хой и Няралдей-Хой обломочный материал лилово-серых кварцитопесчаников сцепментирован известковистым веществом, что указывает на формирование их в условиях морских мелководий. В верховьях р. Няралдей-Яха, пересекающей хребет Сянгур-Хой, в лиловогоокрашенных известковистых кварцитопесчаниках минисейской свиты нами встречены отпечатки пралилий, сходных с кембрийскими [12].

Кварцитопесчаники минисейской свиты на 90 % состоят из кварца. Присутствуют полевые шпаты, представленные альбитом. Наблюдается малое количество мусковита, биотита и лейкоксена. Зерна кварца имеют зубчатые очертания, образующие гранобластовые структуры; часто наблюдаются структуры соприкосновения и крустификационные каемки вокруг зерен кварца. Породы сильно окварцованны, что выражается в проявлении вторичного кварца, слагающего поровый цемент кварцитопесчаников. Их лиловая окраска обусловлена наличием тонкораспыленного гематита [12].

Толщи этих кварцитопесчаников собраны в изоклинальные складки и слагают узковытянутые хребты в субмеридиональном направлении (горы Константинов Камень, Большой и Малый Минисей, хребты Сянгур-Хой, Няргала-Хой и др.) Обычно западные склоны хребтов осложнены тектоническими нарушениями, а восточные представлены лиловыми кварцитопесчаниками, слагающими восточные крылья антиклиналей. К ним примыкают зеленосланцевые фации ордовикских отложений с фауной tremadoka (тритехиевый комплекс; Минисейский хребет) и аренига (ангарелловый комплекс; бассейн р. Пайпудына).

В процессе геологических съемок 1960-х гг. и тематических исследований территории Полярного Урала лиловые кварцитопесчаники картировались в составе ордовикских отложений как минисейская или манитанырдская свита. Однако при изучении стратиграфии ордовикских отложений Полярного Урала в 1977 г. на задернованном участке правобережья руч. Развильный, в 500 м к западу от устья нами встречена глыба лилово-серых кварцитопесчаников манитанырдской (хойдышорской) свиты, на поверхности которой виден довольно четкий отпечаток ископаемого организма (рис. 1), очень похожего на реконструкцию одного из видов морских перьев (Ranidea) венда (рис. 2), фото которого помещено М. А. Федонкиным в журнале «Природа» [13] и А. Ю. Розановым в его монографии [14].

Вероятно, это первая палеонтологическая находка в лиловогоокрашенных кварцитопесчаниках манитанырдской свиты, которая считалась «немой» в отношении ископаемых остатков. Однако есть надежда на новые палеонтологические находки в отложениях минисейской и манитанырдской свит, включая эдиакарскую фауну, описанную австралийскими геологами в местечке Эдиакар. Путем прослеживания фациальных обстановок осадконакоплений красноцветных толщ, начиная с русловых косослоистых серий, к прибрежным фациям с волноприбойным знаками ряби и далее, можно прийти к фациям более спокойного осадконакопления, где обитали морские перья венда.

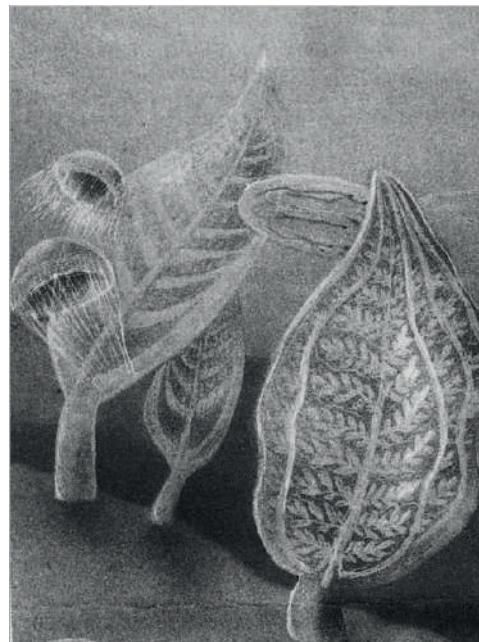
Разнообразие фациальных обстановок в докембре объясняется часто повторяющимися эпохами оледенения и межледниковых стадий [15]. Это отражалось на характере развития биосферных сообществ, что подтверждается сравнительными данными по палеозойским оледенениям [16].

Роль докембрийских оледенений в истории развития биосфера и фациальных обстановок рассматривалась в ряде зарубежных работ [16–18] и в работах наших соотечественников [15, 17]. По мнению Н. М. Чумакова [15], каждый ледниковый эпизод завершался быстрой дегляциацией. В образовавшихся межледниковых осадочных бассейнах накапливались карбонатные толщи, которым на Полярном Урале соответствует немурюганская свита. Вслед за карбонатами обычно отлагались обогащенные углеродом и кремнеземом породы, представленные тонкослоистыми и тонкозернистыми углисто-кремнистыми сланцами [15], которым могут соответствовать на Полярном Урале углисто-кремнистые сланцы нярминской свиты, обогащенные пиритом. Породы этой свиты сильно расклivажированы, что не наблюдается в фаунистически охарактеризованных палеозойских толщах.

Позднекембрийские богатые углеродом и пиритизированные углисто-кремнистые сланцы, нередко обогащенные фосфатом и тяжелыми металлами, что характерно для нярминской свиты, встречаются во многих постледниковых разрезах Полюдова Кряжа, Азиатского континента, на Патомском нагорье, в Западной Африке и в Австралии [15].



**Рисунок 1. Отпечаток ископаемого организма, предположительно вендского морского пера в лиловых кварцитопесчаниках манитанырдской свиты Полярного Урала. Фото автора.**  
**Figure 1. The imprint of a fossil probably of the Vendian marine pen in the lilac quartzite sandstone of the Manitanyrd formation of the Polar Urals. Author's photo.**



**Рисунок 2. Реконструкция эдиакарской фауны венда, так называемых морских перьев (Randea), по М. А. Федонкину, 1989 [13].**  
**Figure 2. Reconstruction of the Edianian fauna of the Vendian, the so-called sea pens (Randea), according to M.A. Fedonkin, 1989 [13].**

В постледниковые периоды во время дегляциации наступал расцвет фитопланктона, что было обусловлено стоком огромной массы биофильных элементов в позднедокембрийские моря [15].

В раннем докембре выделяется так называемая гуронская гляциация, за которой последовала межледниковая пауза. На протяжении этой межледниковой паузы не обнаружено достоверных ледниковых отложений, хотя изредка отмечались диамикриты, которые могли быть образованы в результате оползневых процессов или сезонного ледового разноса [19]. Такие структуры оползания сильно обводненных осадков можно встретить на поверхностях напластования отложений манитанырдской свиты Полярного Урала.

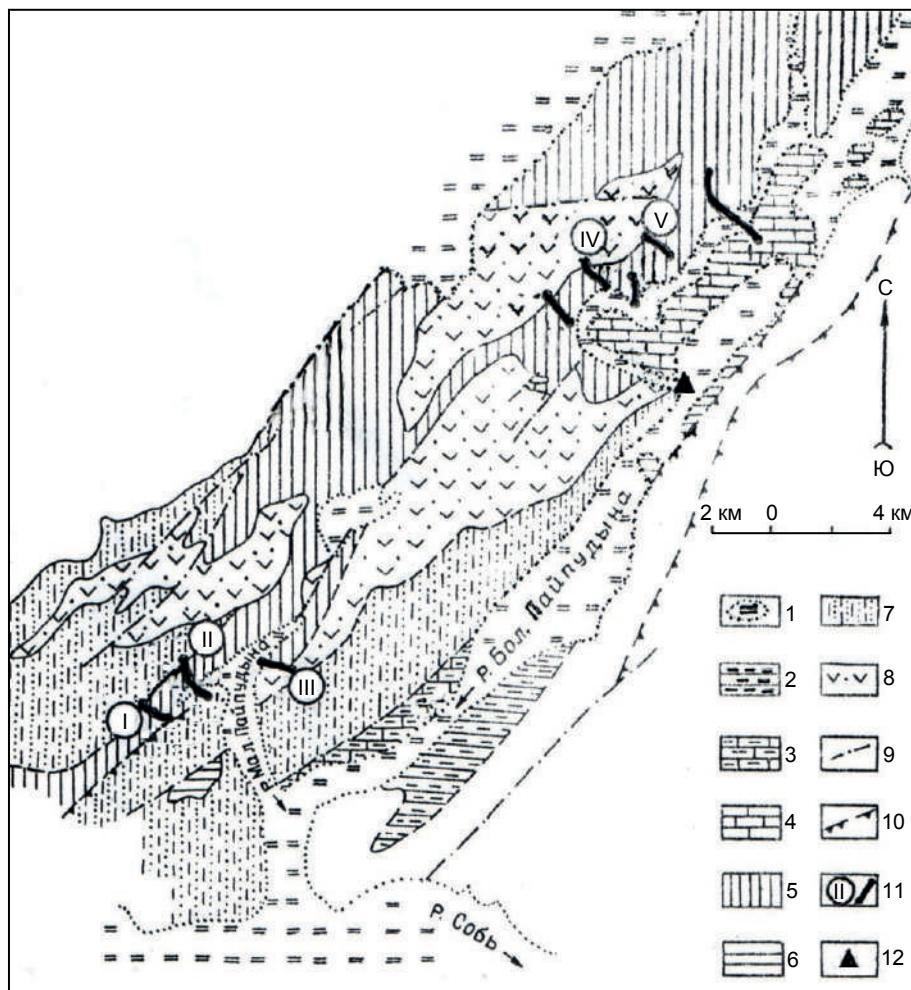
Всплеск развития живых организмов в позднем докембре обуславливался скачкообразным повышением содержания кислорода в атмосфере, что фиксируется разными методами [15]. Резкое повышение содержания кислорода в атмосфере последовало за оледенением Гаскье (около 580 млн лет назад) [20–23 и др.] в межледниковую эпоху, которая ознаменовалась бурным развитием живых организмов, включая венодентид, массовое развитие сабеллитид, первых вендских микроскопических водорослей, эмбрионов многоклеточных животных и эдиакарско-беломорской фауны, отпечаток которой впервые был найден на Полярном Урале. Есть надежда, что эта находка не окажется единственной и возраст лиловоокрашенных кварцитопесчаников минисейской и манитанырдской свит будет установлен на основании палеонтологических данных.

#### Разрез ордовика

Что же касается отложений ордовикского возраста, то они начинают седиментационный цикл следующего каледонского этапа развития Урала. Они хорошо охарактеризованы ископаемой фауной. Выполненные тематические исследования во второй половине XX в. показали, что седиментационный процесс в ордовикском периоде на Полярном Урале не был единым, как это предполагалось ранее, а разделен на два этапа морской трансгрессии, в результате чего сформировались две серии осадочных толщ, разделенных небольшим стратиграфическим перерывом на границе тремадокского и аренигского ярусов. Ордовикское осадконакопление происходило в двух разновозрастных палеобассейнах, отличавшихся режимами седиментации [11]. Это способствовало формированию двух серий ордовика – нижней с признаками молассоидных формаций и верхней, подобной флишоидным образованиям перми, описанным в обнажениях рек Щугор и Ильч Н. Н. Кузьковой и В. И. Чалышевым, но отличающимся положением в типовом формационном ряду.

Молассоидный характер толщ нижней серии ордовика определен накоплением их в условиях рифтогенной стадии при раскрытии одной из грабенообразных структур, вклинившейся с востока в будущую шельфовую зону палеозоид. Формационный ряд рифтогенных образований начинается с грубообломочной конгломерато-песчаниковой формации, отличающейся полимиктовым составом обломочного материала, который накапливался в условиях расчлененного горного рельефа. Последний явился областью размыва, поставлявшей огромное количество обломочного материала, который захоронялся, не успев подвергнуться механической обработке. Мощность формации достигает 450 м и более. В отложениях груботерригенной формации собрана фауна брахиопод *Tritoechia lermontovae* (Lessn.), *T.sp.*, *Altortis sp.*, *A.kinderlensis* Andr., *Alimbella sp.*, *Medessia sp.*, *M.uralica* Andr., *Aphorhtis sp.*, *Alimbella cf. Armata* Andr. и др., указывающая на раннетремадокский возраст отложений [11].

Над песчаниками залегает толща серых, зеленовато-серых кварцево-серийтовых, кварцево-хлорит-серийтовых сланцев с линзами известковистых образований в верхней части разреза. Мощность сланцевой толщи достигает 400 м.



**Рисунок 3. Схема геологического строения бассейнов рек Бол. и Мал. Пайпудына. Составлена по материалам автора и геолого-съемочных работ. Площадь развития отложений. 1 – четвертичного, 2 – каменноугольного, 3 – среднедевонского, 4 – силурско-ранне-девонского, 5 – аренигского-ашгильского, 6 – tremadокского (?), 7 – байдарской и хойдышорской свит вендско-кембрийского возраста, 8 – бедамельской свиты позднего рифея. Дизъюнктивные нарушения. 9 – разломы, 10 – надвиги (фрагмент Западного глубинного разлома по В. Н. Охотникову, 1968), 11 – литолого-стратиграфические разрезы верхней серии ордовика и их номер. I – по руч. Медвежий, II – по руч. Лосиный Рог, III – по руч. Олений, по руч. Razvilyniy, V – по руч. Diabol'skiy, 12 – место обнаружения глыбы лилово-серых кварцитопесчаников манитанырдской свиты с отпечатком вендского морского пера (?).**

**Figure 3. Scheme of the geological structure of the Bolshoy and Malii Paipudyn river-basins Based on the author's materials and geological survey work.** The area of development of deposits. 1 – Quaternary, 2 – carboniferous, 3 – middle Devonian, 4 – Silurian-early Devonian, 5 – Arenigian – Ashgillian, 6 – Tremadocian (?), 7 – Baidarak and Khoydышor suites of Vendian-Cambrian age, 8 – bedamel Suite of late Riphean. Disjunctive dislocations. 9 – faults, 10 – overlap fold (fragment of the Western deep fault according to V. N. Okhotnikov, 1968), 11 – lithologic-stratigraphic sections of the upper Ordovician series and their number. I – по руч. Medvezhiy, II – по руч. Losiniy Rog, III – по руч. Oleniy, по руч. Razvilyniy, V – по руч. Diabol'skiy, 12 – the place of discovery of a block of purple-gray quartzitic sandstones of the Manitanyrd formation with the imprint of a Vendian sea pen (?).

Выше по разрезу сланцы сменяются светло-серыми комковатыми и серыми кремнистыми известняками с фауной трилобитов *Apatoscephalusspp.*, *Niobe* sp. позднего тремадока. За толщей известняков следует пачка черных и темно-серых тонкорассланцованных углисто-кремнистых и углисто-глинисто-карбонатных сланцев общей мощностью около 200 м.

Угловое несогласие тремадокских отложений с подстилающими толщами наблюдается в разрезах Хора-Мога, Худилага-Пэ и на северо-западном склоне горы Константинов Камень [3]. О тенденции к замыканию тремадокского осадочного бассейна свидетельствуют появившиеся горизонты сланцев, содержащих углистое вещество (северо-восточный склон г. Константинов Камень, р. Осовей-Яха, руч. Минисей-Шор) и наличие своеобразной «петельчатой» текстуры усыхания известняков в районе горы Парисей-Пэ, содержащих фауну тремадокских брахиопод [3].

Следующая морская трансгрессия, охватившая всю миогеосинклинальную область палеозоид, обусловила образование верхней серии ордовика. Базальной частью этой серии служит маломощная фалаховая формация, представленная сероцветными средне- и мелкозернистыми песчаниками с кварцевым составом обломочного материала. Наблюдаются прослои гравелитов и мелкогалечных конгломератов кварцевого состава. Базальный горизонт с угловым и азимутальным несогласием перекрывает отложения нижней серии ордовика и различные допалеозойские образования, включая лиловоокрашенные кварцитопесчаники минисейской и манитанырдской свит, что в ряде случаев затрудняет их разделение при геологическом картировании и вносит путаницу в стратиграфические построения. Несмотря на малую мощность базальных слоев, фалаховая формация присутствует во всех разрезах верхней серии ордовика, начиная с разрезов верхнего седиментационного цикла.

Более полные разрезы отложений верхней серии ордовика изучены в бассейне рек Бол. и Мал. Пайпудына (ручьи Медвежий, Прямой, Лосиный Рог, Развильный, Дьявольский и др., [рис. 3](#)). Мелкогалечные конгломераты основания разреза не выдержаны по простиранию и часто выклиниваются, замещаясь песчаниками с различным гранулометрическим составом. Выше пачки груботерригенных пород следует ритмично построенная песчаниково-алевролито-сланцевая толща. Мощность слойков, образующих чередующиеся ритмы, колеблется от первых сантиметров до 0,6 или 1,0 м и редко достигает 3 м. В верхней части толщи появляются прослои кварцево-известковистых пород, в которых обнаружены ракушки, содержащие раковины беззамковых брахиопод *Angarella cf. Jawarowskii Assat.*, *A. cf. lopatini Assat.*, *A. cf. laevis Koloskov, Lingula (?) sp. indet.* [11].

В. Д. Устиновым (1960) из этих отложений в районах рек Ния-Ю и Есто-Вис была собрана фауна ангарелл и других органических остатков, указывающих на аренигский возраст осадочных образований. Мощность терригенной толщи, включая ангарелловые слои, колеблется от 350 до 450 м.

Характерной особенностью описываемой толщи, развитой в бассейне рек Бол. и Мал. Пайпудына, являются часто встречающиеся знаки ряби, гиероглифы, серии переслаивающихся параллельной и косой слоистости, рельефы вдавливания, указывающие на оплыивание песчаных масс. Редко встречаются маломощные прослои мелкогалечных конгломератов с галькой серого кварца, мелкозернистых песчаников и черных филлитовидных сланцев, что указывает на формирование осадков в условиях колебательных движений земной коры, приводящих к местным размывам. На морской режим осадконакопления указывает присутствие ископаемых беззамковых брахиопод. Однако бассейн был неглубоким, с постоянным составом и объемом поступающего в него в основном песчано-глинистого материала. Это говорит о сглаженности окружающего рельефа. Вся обстановка накопления аренигской толщи обусловила флишоидный характер строения разреза.

Выше по разрезу существенно терригенная толща сменяется пачкой серых и темно-серых известковистых песчаников и песчанистых известняков, в которых собраны остатки трилобитов *Pliomera sp.*, *Goniophysis sp.*, *Pseudosphaerexochus sp. indet.*, конодонтов *Distacodus expansis* (Graveset Ellison), *Scandodus sp. nov.* и др., криноидей *Trigonocyclus sp. indet.*, цистоидей и мшанок, указывающих на позднеаренигско-ланварнинский возраст горных пород. Мощность этих отложений составляет 100–200 м.

Еще выше залегают отложения лландейльского яруса. Они представлены пачкой известняков мощностью 10–20 м, обнажающихся в русле реки Мал. Пайпудына и по ручью Развильный. Известняки легко узнаются в поле по наличию в них оолитовых образований округлой и овальной форм до 2 см в диаметре. Центральные части оолитин состоят из пиритовых (марказитовых) стяжений в форме изогнутых «червячков», обволакивающихся слоями кремнисто-известковистого состава. Вскрытие по ручью Развильный темно-серые оолитовые известняки содержат лландейльский комплекс конодонтов [11].

Отложения карадокского яруса верхней половины ордовика обнажены в разрезе по ручью Орангюган, где 250-метровая толща песчаниково-алевролитовых сланцев включает прослои органогенно-детритовых известняков, содержащих остатки криноидей *Trigonocyclus vajgatschensis Yelt. et stuk.*, цистоидей *Hemicosmites sp.*, встречающихся в разрезах карадокских осадков западного склона Среднего Урала. Эти же отложения обнажены в северном борту озера Хадата-Юган-Лор. Здесь они имеют ритмичное строение, обусловленное чередованием песчаников, алевролитов, глинистых сланцев и известняков. В последних собраны остатки цистоидей и криноидей, среди которых присутствуют *Trigonocyclus vajgatschensis Yelt. et stuk.*, *Apertocrinus cf. Apertus Yelt. et stuk.*.

Завершает разрез ордовикских отложений ашгильский ярус, который в Пайпудынско-Саурейском районе Полярного Урала не имеет широкого распространения. В верховье реки Бол. Пайпудына отложения представлены пачкой переслаивающихся светло-серых, розовато-серых и темно-серых известняков, местами неоднородного сложения, с горизонтом брекчиивидных разностей. В темно-серых известняках присутствуют остатки криноидей *Dentiferocrinus cf. Subdividuus Milicina* (сборы В. С. Митюшевой), характерные для отложений ашгильского яруса западного склона Среднего Урала [11].

Итак, весь разрез ордовикских отложений Полярного Урала достаточно охарактеризован в палеонтологическом отношении для их надежного картирования. Палеонтологически не охарактеризованы лилово-серые молассы, завершающие разрез байкальского структурно-формационного комплекса, хотя их литологическая характеристика с набором фациальных особенностей осадконакоплений и степень метаморфизма позволяют отличать их от палеозойских толщ. Приведенный в статье факт присутствия в лиловоокрашенных кварцитопесчаниках отпечатков органических остатков, очень похожих на некоторые виды вендской эдиакарской фауны – так называемых морских перьев (*Randea*), дает надежду на их повторное обнаружение и дальнейшее изучение с участием специалистов-палеонтологов.

Не исключено, что кварцитопесчаники минисейской и манитанырдской свит Полярного Урала могут соответствовать эдиакарской системе Международной шкалы неопротерозоя [24–26] или эдиакарскому ярусу докембрия, принятому в России.

Судя по опубликованным данным, касающимся эдиакарской фауны, найденный на Полярном Урале отпечаток морского пера в отложениях манитанырдской свиты относится к типу *Proarticulata*. По мнению М. А. Федонкина [13] эти животные представляли слепую ветвь, один из «экспериментов природы», которые часто проводились ею на ранних этапах развития органического мира.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Душин В. А. Общегеологическая эффективность работ – залог их поисковой результативности (на примере Уральского Севера) // Региональная геология и металлогения. 2013. № 56. С. 5–11.
- Пронин Л. А. Уральский геологический музей. Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1985. 288 с.
- Осадчев Б. Я. Геологическое строение района горы Константинов Камень (Полярный Урал). М.; Л.: Изд-во «Главсевморпуть», 1951. 72 с.
- Парханов М. Н. К стратиграфии древних толщ западного склона Полярного Урала // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока Европейской части СССР. 1962. Вып. 2. С. 7–16.

5. Львов К. А. Стратиграфия протерозоя и нижнего палеозоя Приполярного и Полярного Урала // Сборник статей по геологии Арктики: труды научных исследований института геологии Арктики. 1959. Т. 105, вып. 11. С. 51–73.
6. Дембовский Б. Я. Внутреннее строение Лемвинского аллохтона (западный склон Полярного Урала) // Геотектоника. 1981. № 6. С. 48–53.
7. Охотников В. Н. Проблемы каледонид севера Урала / Проблемы геологии Европейского Севера СССР. 1983. С. 76–92.
8. Евдокимов Ю. Б., Варганов В. Г., Анцыгин Н. Я. Ордовикская система / Проблемы стратиграфии Урала. Свердловск: АН СССР, 1977. С. 34–44.
9. Клюжина М. Л. Палеография Урала в ордовикском периоде. М.: Наука, 1985. 190 с.
10. Унифицированные и корреляционные стратиграфические схемы Урала (архей, протерозой, палеозой). Свердловск, 1993. 152 с.
11. Шадрин Л. Ф. Ордовикские отложения северной части Полярного Урала и их корреляция с ордовиком Уральских субрегионов и других областей: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Свердловск: Ин-т геологии и геохимии УФАН СССР, 1979. 24 с.
12. Шадрин Л. Ф. Формационные ряды и минерагения байкалид и ранних палеозоид севера Полярного Урала // Сов. геология. 1985. № 7. С. 102–108.
13. Федонкин М. А. Загадки вендинской фауны // Природа. 1989. № 8. С. 59–72.
14. Розанов А. Ю. Что произошло 600 миллионов лет назад. М.: Наука, 1986. 96 с.
15. Чумаков Н. М. Докембрийские оледенения и сопутствующие им биосферные события // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2010. Т. 18, № 5. С. 3–15.
16. Stanley S. M. Paleozoic mass extinctions: shared patterns suggest global cooling as a common cause // Amer. J. Sci. 1988. Vol. 288. P. 334–352. <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.288.4.334>
17. Хоментовский В. В. Юдомий Сибири, венд и эдиакарская система международной стратиграфической шкалы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2008. Т. 16, № 5. С. 3–21.
18. Kirschvink J. L. Late Proterozoic Low-Latitude Global Glaciation: the Snowball Earth // The Proterozoic Biosphere: a multidisciplinary Study. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. P. 51–52.
19. Hoffman P. F. Pan-glacial – a third state in the climate system // Geology Today. 2009. Vol. 25, issue 3. P. 100–107. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2451.2009.00716.x>
20. Hoffman P. F., Schrag D. P. The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change // Terra Nova. 2002. Vol. 14. P. 129–155. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2002.00408.x>
21. Williams G. E. The Paradox of Proterozoic Glaciomarine deposition, open seas and strong seasonality near the Palaeo-Equator: Global Implications // The Precambrian Earth: Tempos and Events. Amsterdam: Elsevier, 2004. Т. 12. P. 448–459.
22. Halverson G. P., Hoffman P. F., Schrag D. P. et al. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record // Bull. Geol. Soc. Am. 2005. Vol. 117. P. 1181–1207.
23. Fairchild I. J., Kennedy M. J. Neoproterozoic glaciation in the Earth system // Journal of the Geological Society. 2007. Vol. 164. P. 895–921. <https://doi.org/10.1144/0016-76492006-191>
24. Jenkins P. J. F. The concept of an “Ediacaran Period” and its stratigraphic significance in Australia // Trans. R. Soc. South Australia. 1981. Vol. 105. P. 179–194.
25. Knoll A. H., Walter M. R., Narbonne G. M., Christie-Blick N. The Ediacaran Period: a new addition to the geologic time scale // Lethaia. 2006. Vol. 39. P. 13–30. <https://doi.org/10.1080/00241160500409223>
26. Zhang Q. R., Chu X. L., Feng L. J. Discussion on the Neoproterozoic glaciations in the South China Block and their related paleolatitudes // Chinese Sci. Bull. 2009. Vol. 54, № 10. P. 1797–1800. <https://doi.org/10.1007/s11434-009-0139-x>

Статья поступила в редакцию 01 февраля 2019 г.

# Ediacarian fauna in the ancient strata of the Polar Urals

Leonid Fedorovich SHADRIN\*

Volga Museum of Local Lore, Russia, Volzhsk

**The relevance of the work.** The materials for the Third Interdepartmental Ural Stratigraphic Meeting noted that stratification of the pre-Paleozoic strata of the Urals and the separation of individual blocks is difficult due to the impossibility of using the biostratigraphic method with the same reliability as for the Paleozoic, as well as the absence of other objective criteria for stratigraphic stratification and correlation. And only units of the Upper Proterozoic (Vendian) are characterized by the corresponding complexes of stromatolites, oncolites, katographies, acritarch and microphytolites.

**The purpose of the work.** During geological surveys of the 1960s in the Polar Urals, fossil finds were rare, and stratigraphic stratification of mappable strata often led to certain errors and misunderstandings when linking the boundaries and ages of the logged stratigraphic units at the junction of geological maps compiled by neighboring survey units. The question of the age of the purple quartzitic sandstones of the Minisey and Manitanyrd formations (seemingly devoid of organic remains), was not finally resolved.

**Results.** The data presented in the paper about the discovery of an ancient fossil in the lilac quartzite sandstone of the Manitanyrd formation, similar in structure to the sea feathers that lived in the shallow sea environment during the era of the Vendian sedimentation, make it possible to carry out repeated gathering of palaeontological remnants in deposits of the Minisey and Manitanyrd formations. At present, the minisey and manitanyrd quartzitic sandstones date from the Ordovician, but, unlike Ordovician deposits, have a higher degree of metamorphism and are not yet paleontologically characterized. Despite the high degree of metamorphism, the Vendian fauna, according to M. A. Fedonkin (Priroda magazine, 1989), has been preserved due to several factors; he highlights conditions of giant sea shallows, which served as traps for living organisms during constant ebbs. The abundance of the benthic inhabitants and the high mobility of water contributed to the rapid burial of organic matter, especially during large storms.

**Conclusion.** The discovery of the imprint of the Ediacian fauna of the quartzitic sandstones of the Manitanyrd formation in the region of the Paipudyn ridge in the Polar Urals gives hope for new finds, which will allow these ancient strata to acquire true geological age and exclude them from the Paleozoic formations.

**Keywords:** stratigraphy, Polar Urals, Precambrian, Ordovician, lilac quartzitic sandstones, Minisey and Manitanyrd formations, greenschist facies, Ediacarian fauna, metamorphism.

## REFERENCES

1. Dushin V. A. 2013, General geological efficiency of works is the key to their search results (for example, the Ural North). *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny], pp. 5–11. (In Russ.)
2. Pronin L. A. 1985, *Ural'skiy geologicheskiy muzey* [Ural Geological Museum], Sverdlovsk, 288 p.
3. Osadchev B. Ya. 1951, *Geologicheskoye stroyeniye rayona gory Konstantinov Kamen' (Polyarnyy Ural)* [Geological structure of the region of the Konstantinov Kamen mountain (Polar Urals)], Moscow, 72 p.
4. Paranov M. N. 1962, To the stratigraphy of the ancient strata of the western slope of the Polar Urals. *Materialy po geologii i poleznym iskopayemym Severo-Vostoka Yevropeyskoy chasti SSSR* [Materials on geology and minerals of the North-East of the European part of the USSR], issue 2, pp. 7–16. (In Russ.)
5. L'vov K. A. 1959, *Stratigrafiya proterozoika i nizhnego paleozoya Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala* [Stratigraphy of the Proterozoic and Lower Paleozoic of the Subpolar and Polar Urals]. Collection of papers on Arctic geology: scientific works of the Institute of Arctic Geology, vol. 105, issue 11, pp. 51–73.
6. Dembovsky B. Ya. 1981, Internal structure of the Lemvinsky allochthon (western slope of the Polar Urals). *Geotektonika* [Geotectonics], no. 6, pp. 48–53. (In Russ.)
7. Okhotnikov V. N. 1983, *Problemy kaledonid severa Urala* [Caledonides problems in the north of the Urals]. Problems of geology of the European North of the USSR, pp. 76–92.
8. Evdokimov Yu. B., Varganov V. G., Antsygin N. Ya. 1977, *Ordovikskaya sistema* [Ordovician system], Problems of Ural stratigraphy. Sverdlovsk, pp. 34–44.
9. Klyuzhina M. L. 1985, *Paleografiya Urala v ordovikskom periode* [Paleogeography of the Urals in the Ordovician period], Moscow, 190 p.
10. 1993, *Unifitsirovannyye i korrelyatsionnyye stratigraficheskiye skhemy Urala (arkhey, proterozoy, paleozoy)* [Unified and correlation stratigraphic schemes of the Urals (Archean, Proterozoic, Paleozoic)], Sverdlovsk, 152 p.
11. Shadrin L. F. 1979, *Ordovikskie otlozheniya severnoy chasti Polyarnogo Urala i ikh korrelyatsiya s ordovikom Ural'skih subregionov i drugikh oblastey* [Ordovician deposits of the northern part of the Polar Urals and their correlation with the Ordovician of the Ural subregions and other areas], PhD thesis, Sverdlovsk, 24 p.
12. Shadrin L. F. 1985, Formational series and minerageny of baikalids and early Paleozooids of the north of the Polar Urals. *Sovetskaya geologiya* [Soviet geology], no. 7, pp. 102–108. (In Russ.)
13. Fedonkin M. A. 1989, Mysteries of the Vendian fauna. *Priroda* [Nature], no. 8, pp. 59–72. (In Russ.)
14. Rozanov A. Yu. 1986, *Chto proizoshlo 600 millionov let nazad* [What happened 600 million years ago], Moscow, 96 p.
15. Chumakov N. M. 2010, Precambrian glaciations and associated biospheric events. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya* [Stratigraphy. Geological correlation], vol. 18, no. 5, pp. 3–15. (In Russ.)
16. Stanley S. M. 1988, Paleozoic mass extinctions: shared patterns suggest global cooling as a common cause. *Amer. J. Sci.*, vol. 288, pp. 334–352. <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.288.4.334>
17. Khomentovsky V. V. 2008, Yudomian of Siberia, Vendian and Ediacaran systems of the international stratigraphic scale. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya* [Stratigraphy. Geological correlation], vol. 16, no. 5, pp. 3–21. (In Russ.)
18. Kirschvink J. L. 1992, Late Proterozoic Low-Latitude Global Glaciation: the Snowball Earth. The Proterozoic Biosphere: a multidisciplinary Study. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 51–52.
19. Hoffman P. F. 2009, Pan-glacial – a third state in the climate system. *Geology Today*, vol. 25, issue 3. pp. 100–107. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2451.2009.00716.x>

\*✉ mbu\_vkm@mail.ru

✉ <https://orcid.org/0000-0002-9750-1500>

20. Hoffman P. F., Schrag D. P. 2002, The snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova*, vol. 14, pp. 129–155. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2002.00408.x>
21. Williams G. E. 2004, The Paradox of Proterozoic Glaciomarine deposition, open seas and strong seasonality near the Palaeo-Equator: Global Implications. *The Precambrian Earth: Tempos and Events*. Amsterdam: Elsevier, vol. 12, pp. 448–459.
22. Halverson G. P., Hoffman P. F., Schrag D. P. et al. 2005, Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 117, pp. 1181–1207
23. Fairchild I. J., Kennedy M. J. 2007, Neoproterozoic glaciation in the Earth system. *Journal of the Geological Society*, vol. 164, pp. 895–921. <https://doi.org/10.1144/0016-76492006-191>
24. Jenkins P. J. F. 1981, The concept of an “Ediacaran Period” and its stratigraphic significance in Australia. *Trans. R. Soc. South Australia*, vol. 105, pp. 179–194.
25. Knoll A. H., Walter M. R., Narbonne G. M., Christie-Blick N. 2006, The Ediacaran Period: a new addition to the geologic time scale. *Lethaia*, vol. 39, pp. 13–30. <https://doi.org/10.1080/00241160500409223>

*The article was received on February 01, 2019*

# О генетических типах дунитов в ультрамафитах складчатых областей (на примере Урала)

Игорь Степанович ЧАЩУХИН<sup>\*</sup>

Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия, Екатеринбург

**Цель работы:** оценка соотношения магматических и метасоматических процессов при формировании дунитов в массивах складчатых областей. Актуальность работы обусловлена необходимостью корректировки легенды при геологическом картировании и при поисках хромитовых руд.

**Методология** проведенной работы: обобщение многолетнего изучения геологического строения, минералогии, петрохимии и геохимии хромитоносных ультрамафитов Урала с привлечением мировых петрологических и экспериментальных данных.

**Результаты.** Мантийные ультрамафиты представлены двумя основными типами – подконтинентальным и офиолитовым. Дуниты развиты в обоих типах. Дуниты в подконтинентальных ультрамафитах обнажаются в наиболее эродированных частях массивов. Контакты с вышележащими гарцибургитами и лерцолитами постепенные, что предполагает формирование всего разреза в ходе одноактного процесса с образованием единой дунит-гарцибургит-лерцолитовой серии. Процессом, ответственным за ее формирование, было частичное плавление пиролита мантии, о чем свидетельствуют результаты экспериментов, подтвержденные оригинальными и опубликованными в обширной мировой литературе данными изучения состава породообразующих минералов ультрамафитов. Дуниты следует рассматривать как конечный продукт процесса частичного плавления пиролита мантии. Дуниты офиолитов имеют принципиально иную природу; они образуются по реститам – продуктам частичного плавления и входят в состав двух комплексов: вебстерит-дунитового и габбро-клинопироксенит-дунитового. Дуниты первого комплекса образуются в ходе синкинематической метаморфической дифференциации реститов, второго – как продукт реакции габбро с реститами.

**Выводы.** В строении мантийных ультрамафитов складчатых областей принимают участие три генетических типа дунитов: 1) продукты частичного плавления мантийного пиролита, 2) продукты синкинематической метаморфической дифференциации гарцибургитов, 3) продукты реакции габброидов с гарцибургитами. Приуроченность первых к подконтинентальным ультрамафитам, остальных – к офиолитам свидетельствует о разной геодинамической обстановке формирования ультрамафитов и связанных с ними хромитовых концентраций: уникальные месторождения высокочромистых руд залегают в подконтинентальных ультрамафитах, многочисленные мелкиерудопроявления среднехромистых руд – в офиолитах.

**Ключевые слова:** дунит, частичное плавление, пиролит, рестит, подконтинентальные ультрамафиты, офиолит.

## B ведение

Мантийные («альпинотипные» по классификации Ден Текса [1]) ультрамафиты представлены двумя основными типами – подконтинентальным (орогенные ультрамафиты корневых зон) и офиолитовым. Дуниты развиты в обоих типах, но на уровне современного эрозионного среза занимают подчиненное положение относительно других мантийных ультрамафитов – гарцибургитов и лерцолитов.

В настоящее время доминирует мнение, что все разнообразие ультрамафитов континентов и океанов есть результат не столько частичного плавления пиролита мантии [2], сколько последующей реакции тугоплавкого остатка с проникающими снизу по гипотетическим дунитовым каналам расплавами преимущественно базитового состава. При этом состав продуктов этой реакции взаимоисключающий. По мнению части исследователей, в ходе инкогруэнтного плавления или взаимодействия с недосыщенной кремнеземом магмой происходит растворение пироксенов и кристаллизация оливина [3–5], по мнению других, эта реакция сопровождается кристаллизацией пироксенов за счет оливина в ассоциации (в зависимости от давления) с шпинелью, гранатом или плагиоклазом [6–8]. Таким образом, в результате реакционного взаимодействия первого типа происходит дальнейшее истощение ультрамафитов глиноземом, известью и кремнекислотой, в результате второй реакции – обогащение этими элементами. П. Келемен утверждает, что при образовании офиолитовых и подконтинентальных ультрамафитов реакционно-мантийный процесс может быть не только главным, но и единственным [3].

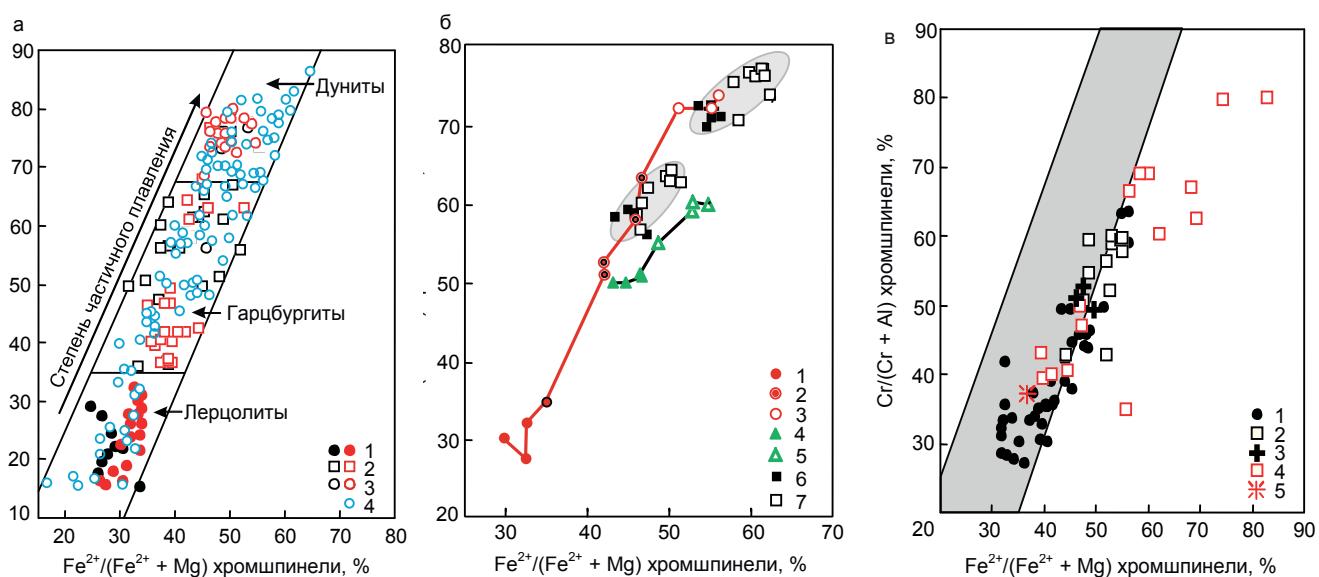
## Результаты

В ненарушенных тектоникой и денудацией массивах подконтинентальных ультрамафитов дуниты слагают наиболее глубинные части разрезов (например, массивы Средний Крака, Нурали и юго-восточный блок Кемпирской массы на Южном Урале [9]; массив Хороман, Япония [10]). В первых двух обнажается, а во вторых вскрыт глубокими скважинами полный разрез сверху вниз: плагиоклазовые лерцолиты-шпинелевые лерцолиты-гарцибургиты-дуниты. В большинстве случаев на поверхности наблюдается средняя часть разреза, сложенная шпинелевыми лерцолитами и гарцибургитами, плагиоклазовые лерцолиты обычно либо полностью отсутствуют (Узянский Крака), либо образуют линзы, встроенные в структуру шпинелевых лерцолитов. Дуниты обнажаются в наиболее эродированных частях массивов: например, в восточной части Нуралинского массива и в юго-западной части Среднего Крака. Контакты между ультрамафитами постепенные, что предполагает формирование разреза в ходе одноактного процесса, итогом которого стало образование единой дунит-гарцибургит-лерцолитовой серии.

Таким процессом, несомненно, было частичное плавление пиролита мантии, о чем свидетельствуют результаты экспериментов [11–13], подтвержденные оригинальными и опубликованными в обширной мировой литературе данными изучения состава породообразующих минералов подконтинентальных ультрамафитов (например, [10, 14–16 и др.]). В ходе частичного плавления пиролита мантии базальтоидные выплавки экстрагируют большую часть легкоплавких компонентов –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ , щелочей и редкоземельных элементов, в тугоплавком остатке накапливаются  $\text{MgO}$ ,  $\text{NiO}$ ,

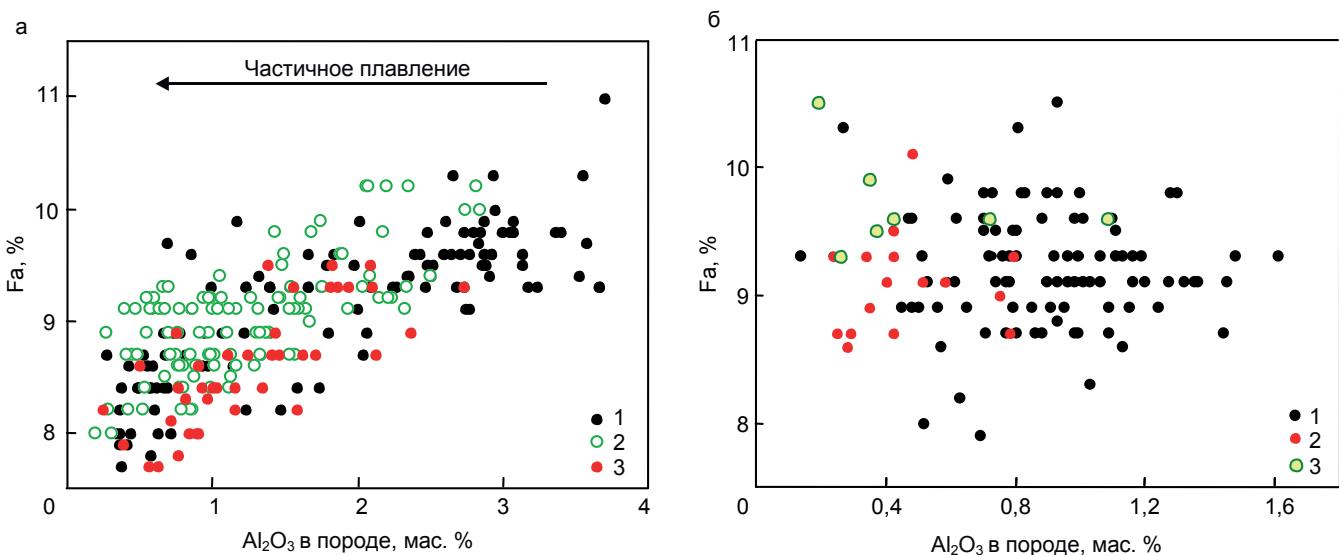
\*✉ chashchukhin@igg.uran.ru

✉ http://orcid.org/0000-0001-8029-0260



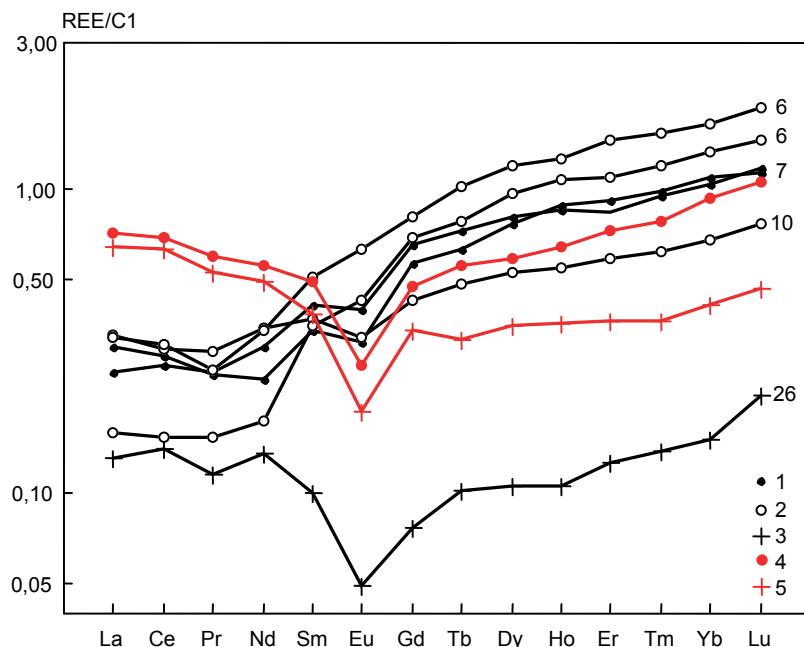
**Рисунок 1. Составы акцессорной хромшпинели в уральских ультрамафитах.** а – 1–3 – подконтинентальная дунит-гарцбургит-перцолитовая серия, массивы Нурали и Средний Крака соответственно: 1 – шпинелевые перцолиты, 2 – гарцбургиты, 3 – дуниты, 4 – дунит-гарцбургит-перцолитовая серия юго-восточного блока Кемпирсайского массива; б – 1–3 – 30-сантиметровый микроразрез через дунит-гарцбургит-перцолитовую серию юго-восточного блока Кемпирсайского массива, месторождение Алмаз-Жемчужина, скв. 245, глубина 1159 м: 1 – перцолиты, 2 – гарцбургиты, 3 – дуниты; 4–5 – 30-сантиметровый микроразрез через контакт жилы метасоматического дунита с гарцбургитом Войкаро-Сынинского массива, долина притока р. Хойлы: 4 – гарцбургит, 5 – дунит; 6–7 – два микроразреза (закрашенные эллипсы) через контакты жил метасоматических дунитов с гарцбургитами Алапаевского массива, Курманово месторождение хромитов: 6 – гарцбургиты, 7 – дуниты; в – в Войкаро-Сынинский массив: 1–3 – внутренняя часть: 1 – гарцбургиты, 2 – апогарцбургитовые дуниты, 3 – хромиты; 4–5 – краевой комплекс: 4 – дуниты, 5 – хромиты. Серое поле – поле составов подконтинентальной дунит-гарцбургит-перцолитовой серии (рис. 1, а).

**Figure 1. Compositions of accessory chromespinel in the Ural ultramafites.** a – 1–3 – subcontinental dunite-harzburgite-lherzolite series, Nurali and Middle Kraka massifs respectively: 1 – spinel lherzolites, 2 – harzburgites, 3 – dunites, 4 – dunite-harzburgite-lherzolite series of the south-eastern block of the Kempirsai massif; b – 1–3 – 30-centimeter micro-section through the dunite-harzburgite-lherzolite series of the southeastern block of the Kempirsai massif, Almaz-Zhemchuzhina deposit, well. 245, depth is 1159 m: 1 – lherzolites, 2 – harzburgites, 3 – dunites; 4–5 – 30-centimeter microsection through the contact of a metasomatic dunite vein with a harzburgite of the Voikar-Syninsky massif, valley of the Hoily river: 4 – harzburgite, 5 – dunite; 6–7 – two microsections (filled ellipses) through the contacts of metasomatic dunites veins with the harzburgites of the Alapayevsky massif, the Kurmanovo chromite deposit: 6 – harzburgites, 7 – dunites; c – Voikar-Syninsky massif: 1–3 – the inner part: 1 – harzburgites, 2 – apoharzburgite dunites, 3 – chromite; 4–5 – marginal complex: 4 – dunites, 5 – chromitites. The gray field is the field of compositions of the subcontinental dunite-harzburgite-lherzolite series (Fig. 1, a).



**Рисунок 2. Соотношения величин железистости оливина Fa и содержаний глинозема в ультрамафитах Урала.** а – дунит-гарцбургит-перцолитовые серии массивов: 1 – Нуралинского, 2 – Южного Крака, 3 – Кемпирсайского, юго-восточный блок; б – Войкаро-Сынинский массив: 1 – гарцбургиты, 2, 3 – дуниты: 2 – сетчатого комплекса, 3 – краевые.

**Figure 2. The ratio of the ferruginosity values of Fa olivine and alumina content in ultramafite rocks of the Urals.** a – dunite-harzburgite-lherzolite series of massifs: 1 – Nuralinsky, 2 – South Kraka, 3 – Kempirsai, southeast block; b – Voikar-Syninsky massif: 1 – harzburgites, 2, 3 – dunites: 2 – reticulated group, 3 – marginal.



**Рисунок 3. Нормированные на хондрит спектры составов редких земель в ультрамафитах Урала.** 1–3 – Нуралинский массив: 1 – шпинелевые перцолиты, 2 – плагиоклазовые перцолиты, 3 – дунит; 4, 5 – Войкаро-Сынинский массив: 4 – несерпентинизированный дунит. Цифры – степень частичного плавления.

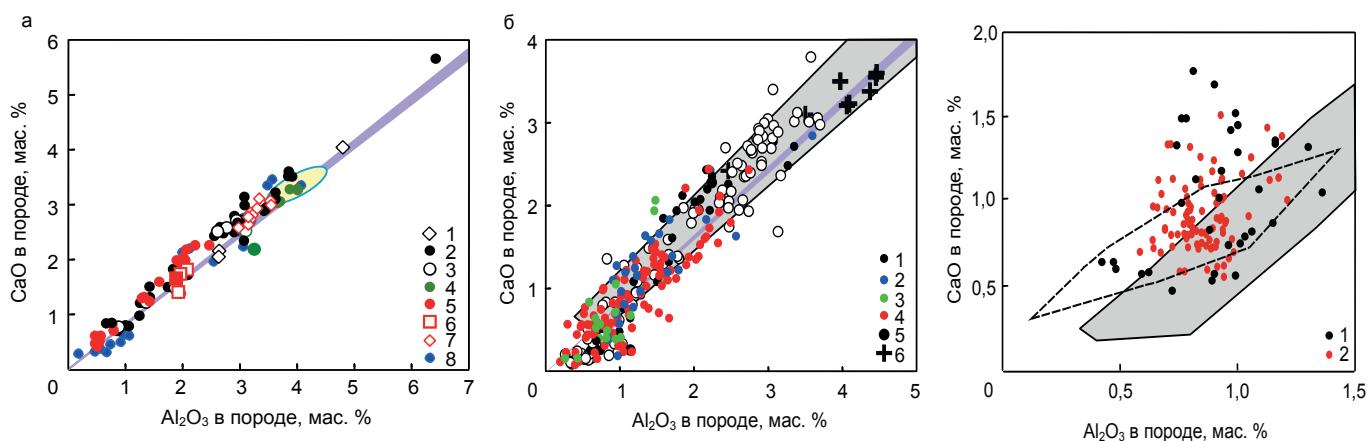
**Figure 3. Spectra of rare-earth compositions in ultramafite rocks of the Urals sized for chondrite.** 1–3 – Nuralinsky massif: 1 – spinel Iherzolites, 2 – plagioclase Iherzolites, 3 – dunite; 4, 5 – Voikar-Syninsky massif: 4 – non-serpentized Iherzolite, 5 – non-serpentized dunite. The numbers are the degree of partial melting.

$\text{Cr}_2\text{O}_3$ . В итоге величина хромистости ( $\text{Cr}/(\text{Cr} + \text{Al})$ ) акцессорной хромшпинели последовательно увеличивается от 15–35 % в перцолитах до 35–65 % в гарцбургитах и далее вплоть до 85 % в дунитах; важно то, что данная закономерность проявляется не только статистически (рис. 1, а), но и пространственно (рис. 1, б). За счет накопления в рестите  $\text{MgO}$  и относительно инертного поведения железа постепенно снижается железистость ( $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ ) главного породообразующего минерала ультрамафитов – оливина, от 9,5–11 % в перцолитах до 7,7–8,5 % в дунитах (рис. 2, а). В ходе процесса концентрации наиболее инертных тугоплавких РЗЭ уменьшаются в 4 раза [16]. Уральские данные подтверждают этот вывод: содержание тяжелых лантаноидов в ряду перцолит–дунит уменьшается на полпорядка (рис. 3).

Непрерывность изменения состава минералов подконтинентальных ультрамафитов в соответствии с экспериментами по частичному плавлению модельного пиролита мантии не согласуется с изложенной ранее реакционно-метасоматической моделью. Внедрение в ультрамафиты относительно «кислого» базитового вещества в ультрамафитовые реститы должно привести к нарушению первичных соотношений петрогенных компонентов, что в действительности не наблюдается; в действительности эти соотношения соответствуют хондрировым [17] и модельным составам исходного пиролита [18–23] (рис. 4). Все изложенное позволяет: 1) исключить участие гипотетических базитовых расплавов в формировании подконтинентальных ультрамафитов; 2) рассматривать дуниты как конечный продукт процесса частичного плавления пиролита мантии.

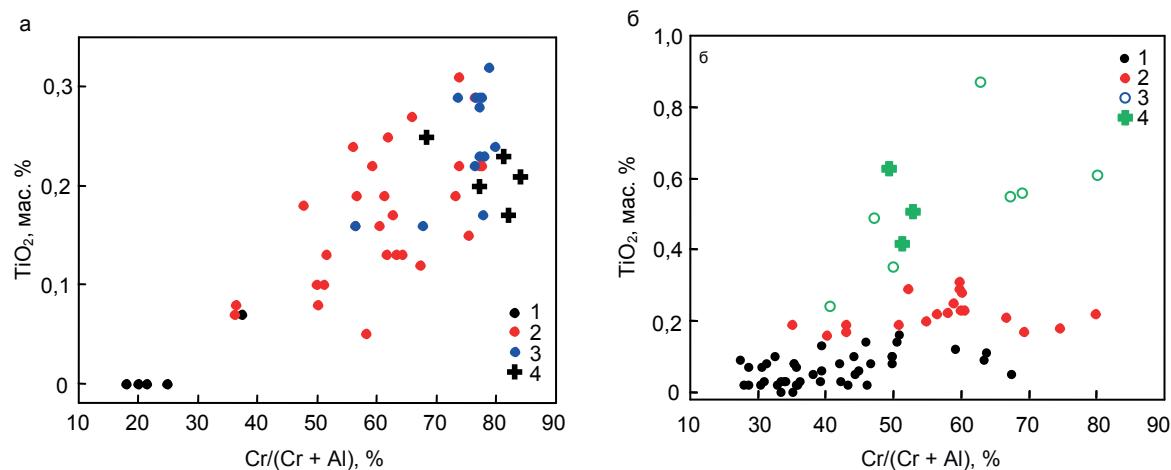
В офиолитовых комплексах продукты частичного плавления представлены слабо дифференцированными гарцбургитами. Лерцолиты, как правило, отсутствуют, а наименее деплетированные ультрамафиты представлены «предельными» гарцбургитами с содержанием первичного клинопироксена не более 5 мас. % – граница между гарцбургитами и лерцолитами [9]. По мере увеличения степени частичного плавления поле составов акцессорной хромшпинели в гарцбургитах относительно подконтинентальных серий смещается в сторону увеличения железистости (рис. 1, в). Это наряду с отклонением от хондриевой величины Al–Ca-отношения (1,22 по [17]) – рис. 4, в – может свидетельствовать о существенно иных условиях процесса.

Дуниты офиолитов входят в состав двух комплексов: вебстерит–дунитового и клинопироксенит–дунитового. Дуниты первого комплекса имеют, несомненно, апогарцбургитовую природу [24]. Они образуют сеть дискордантных относительно директивности и полосчатости вмещающих гарцбургитов жил и протяженных тел, окаймленных жилами и оторочками вебстеритов и ортопироксенитов, реже хромититов. Соотношения размеров дунитовых тел и пироксенитовых оторочек приблизительно соответствуют пропорции оливина и пироксенов в материнских гарцбургитах. Признаки происхождения дунитов как продукта частичного плавления мантийного субстрата отсутствуют. Так, составы акцессорной и рудной хромшпинели в них наследуют состав хромшпинели вмещающего гарцбургита (рис. 1, б, в). Магматические тренды состава оливина (рис. 2, а) не выражены: величина железистости оливина в дунитах аналогична гарцбургитовой (рис. 2, б) – средние величины Fa в гарцбургитах и жильных дунитах одинаковы и равны  $9,1 \pm 0,4$ . Нормированные спектры РЗЭ незатронутых серпентинизацией гарцбургита и дунита подобны и в участке легких РЗЭ дискордантны магматическим трендам (рис. 3).



**Рисунок 4. Соотношение извести и глиноzemа в подконтинентальных ультрамафитах.** а – 1–3 – массив Ронда, Испания [4, 6, 18], фации: 1 – гранатовая, 2 – шпинелевая, 3 – плагиоклазовая, 4 – о. Забаргад, Красное море, шпинелевая фация [25], 5–7 – Хороман, Япония [10], фации: 5 – шпинелевая, 6–7 – плагиоклазовая, тип: 6 – Е, 7 – Н; 8 – шпинелевые ультрамафиты массива Лерц, Германия [8]. Эллипс желтого цвета – поле составов пиролита [2, 18–23], синяя полоса – хондриты [17]; б – подконтинентальные ультрамафиты Урала: 1–4 – массивы Крака: 1 – Северный, 2 – Средний, 3 – Узянский, 4 – Южный, 5 – Нуралинский, 6 – модельные составы пиролита мантии. Серое поле – составы ультрамафитов массива Ронда; в – офиолитовые ультрамафиты Урала: 1 – Войкаро-Сыньинский массив, 2 – западный блок Кемпирской массива. Штриховой линией оконтурено поле составов офиолитов Отриса, Вуриоса, Греция [26] и г. Бурро, США [27].

**Figure 4. The ratio of chalk-stone and alumina in the subcontinental ultramafites.** a – 1–3 – Ronda massif, Spain [4, 6, 18], facies: 1 – garnet, 2 – spinel, 3 – plagioclase, 4 – island Zabargad, Red sea, spinel facies [25], 5–7 – Horoman, Japan [10], facies: 5 – spinel, 6–7 – plagioclase, type: 6 – E, 7 – N; 8 – spinel ultramafites of Lerz massif, Germany [8]. The yellow ellipse is the pyrolite composition field [2, 18–23], the blue bar is chondrite [17]; b – Ural subcontinental ultramafites: 1–4 – Kraka massifs: 1 – North, 2 – Middle, 3 – Usansky, 4 – South, 5 – Nuralinsky, 6 – model compositions of pyrolite mantle. The gray field is the ultramafic composition of the Ronda massif; c – the Ural ophiolitic ultramafites: 1 – Voikar-Syninsky massif, 2 – West block Kempirsai massif. The dashed line outlines the field of the compositions of the ophiolites of Otris, Vurinos, Greece [26] and the city of Burro, USA [27].



**Рисунок 5. Соотношение концентраций  $\text{TiO}_2$  и хромистости хромшпинели в ультрамафитах Нуралинского (а) и Войкаро-Сыньинского (б) массивов.** а – 1 – шпинелевые лерцолиты, 2 – гарцбургиты, 3 – дуниты, 4 – хромититы; б – 1 – гарцбургиты, 2–3 – дуниты: 2 – апогарцбургитового комплекса, 3 – на контакте с клинопироксенит-габбройдовым комплексом, 4 – хромититы из дунитов этого комплекса.

**Figure 5. The ratio of concentrations of  $\text{TiO}_1$ , and chromium spinel in ultramafites of Nuralinsky (a) and Voikar-Syenyinsky (b) massifs.** a – 1 – spinel lherzolites, 2 – harzburgites, 3 – dunites, 4 – chromitites; b – 1 – harzburgites, 2–3 – dunites: 2 – apoharzburgite complex, 3 – in contact with the clinopyroxenite-gabbro complex, 4 – chromitites from dunites of this complex.

Дуниты второго комплекса прослеживаются в хорошо обнаженном Войкаро-Сыньинском массиве (Полярный Урал), окаймляя гарцбургиты с востока и запада в виде прерывистых полос [24]. Тесная пространственная приуроченность дунитов, с одной стороны, к гарцбургитам, с другой – к клинопироксенитам и габброидам может свидетельствовать о реакционно-магматической природе этого типа дунитов. Состав акцессорной хромшпинели в них отличается от остальных дунитов повышенной величиной хромистости и железистости (рис. 1, в), а также существенно большим содержанием титана (рис. 5, б), состав оливина – большей величиной Fa (рис. 2, б).

Цель настоящей публикации – оценить соотношение магматических и метасоматических процессов при формировании дунитов в подконтинентальных и офиолитовых массивах. Решение задачи имеет важное практическое значение при поисках хромитового оруденения.

#### Выводы

В строении мантийных ультрамафитов складчатых областей принимают участие три генетических типа дунитов: 1) продукты частичного плавления мантийного пиролита, 2) продукты синкинематической метаморфической дифферен-

циации гарцбургитов, 3) продукты реакции габброидов с гарцбургитами. Приуроченность первых к подконтинентальным ультрамафитам, остальных – к офиолитам свидетельствует о разной геодинамической обстановке формирования дунитов и связанного с ними хромитового оруденения: уникальные месторождения высокохромистых руд залегают в подконтинентальных ультрамафитах, многочисленные мелкие рудопроявления среднехромистых руд – в офиолитах [9].

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИПГ УрО РАН (гос. регистрация № AAA-A18-118052590026-5).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Den Tex E. Origin of ultramafic rocks, their tectonic setting and history: A contribution to the discussion of the paper «The origin of ultramafic and ultrabasic rocks» by P. J. Wyllie // Tectonophysics. 1969. Vol. 7. P. 457–488. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(69\)90016-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(69)90016-X)
2. Рингвуд А. Е. Состав и петрология мантии Земли. М.: Недра, 1981. 584 с.
3. Kelemen P., Dick H. J. B., Quick J. Formation of harzburgite by pervasive melt/rock reaction on the upper mantle // Nature. 1992. Vol. 358. P. 635–641. <https://doi.org/10.1038/358635a0>
4. Van der Wal D., Bodinier J.-L. Origin of the recrystallization front in the Ronda peridotite by km-scale pervasive porous melt flow // Contrib. Mineral. Petrol. 1996. Vol. 122. P. 387–405. <https://doi.org/10.1007/s004100050135>
5. Barth M. G., Mason P. R. D., Davies G. R., Dijkstra A. H., Drury M. R. Geochemistry of the Othris Ophiolite, Greece: Evidence for Refertilization? // J. Petrol. 2003. Vol. 44, № 10. P. 1759–1785. <https://doi.org/10.1093/petrology/egg058>
6. Lenoir X., Garrido C. J., Bodinier J.-L. et al. The Recrystallization Front of the Ronda Peridotite: Evidence for Melting and Thermal Erosion of Subcontinental Lithospheric Mantle beneath the Alboran Basin // J. Petrol. 2001. Vol. 42, № 1. P. 141–158.
7. Dijkstra A. H., Barth M. G., Drury et al. Diffuse porous melt and melt-rock reaction in the mantle lithosphere at a slow-spreading ridge: A structural petrology and LA-ICP-MS study of the Othris Peridotite Massif (Greece) // Geochemistry, Geophysics, Geosystem. 2003. Vol. 4, issue 24, <https://doi.org/10.1029/2001GC000278>
8. Le Roux V., Bodinier J.-L., Tommasi A., Alard O. et al. The Lherz spinel Iherzolite: Refertilized rather than pristine mantle // Earth Planet. Sci. Lett. 2007. Vol. 259. P. 599–612. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2007.05.026>
9. Чашухин И. С., Вотяков С. Л., Щапова Ю. В. Кристаллохимия хромшпинели и окситермобарометрия ультрамафитов складчатых областей. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2007. 310 с.
10. Takazawa E., Frey F. A., Shimizu N., Obata M. Whole rock compositional variations in an upper mantle peridotite (Horoman, Hokkaido, Japan): Are they consistent with a partial melting process? // Geochim. Cosmochim. Acta. 2000. Vol. 64, № 4. P. 695–716. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00346-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00346-4)
11. Jaques A. L., Green D. H. Anhydrous melting of peridotite at 0–15 kb pressure and genesis of tholeiitic basalts // Contrib. Mineral. Petrol. 1980. Vol. 73, № 3. P. 287–310. <https://doi.org/10.1007/BF00381447>
12. Gaetani G. A., Grove T. L. The influence of water on melting of mantle peridotite // Contrib. Mineral. Petrol. 1998. Vol. 131. P. 323–346. <https://doi.org/10.1007/s004100050396>
13. Niida K., Green D. H. Stability and chemical composition of pargasitic amphibole in MORB pyrolite under upper mantle conditions // Contrib. Mineral. Petrol. 1999. Vol. 135. P. 18–40. <https://doi.org/10.1007/s004100050495>
14. Arai S. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // Chemical Geology. 1994. Vol. 113. P. 191–204. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90066-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90066-3)
15. Downes H. Formation and Modification of the Shallow Sub-continental Lithospheric Mantle: a Review of Geochemical Evidence from Ultramafic Xenolith Suites and Tectonically Emplaced Ultramafic Massifs of Western and Central Europe // J. Petrol. 2001. Vol. 42, № 1. P. 233–250. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.1.233>
16. Niu Y. Bulk-rock Major and Trace Element Compositions of Abyssal Peridotites: Implications for Mantle Melting, Melt Extraction and Post-melting Processes Beneath Mid-Ocean Ridges // J. Petrol. 2004. Vol. 45, № 12. P. 2423–2458. <https://doi.org/10.1093/petrology/egh068>
17. Palme H., Nickel K. G. Ca:Al ratio and composition of the Earth's upper mantle // Geochim. Cosmochim. Acta. 1985. Vol. 49, № 10. P. 2123–2132. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90070-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90070-5)
18. Frey F. A., Suen C. J., Stockman H. W. The Ronda high temperature peridotite: Geochemistry and petrogenesis // Geochim. Cosmochim. Acta. 1985. № 49. P. 2469–2491. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90247-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90247-9)
19. Falloon T. J., Green D. Y. Anhydrous partial melting of MORB pyrolite and other peridotite compositions at 10 kb: implications for the origin of primitive MORB glasses // Mineral. Petrol. 1987. Vol. 37. P. 181–219.
20. Hofmann A. W. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust // Earth Planet. Sci. Lett. 1988. Vol. 90. P. 297–314. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(88\)90132-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90132-X)
21. Ringwood A. E. Phase transformation and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1991. № 55. P. 2083–2110. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90090-R](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(91)90090-R)
22. Allegre C. J., Poirier J. P., Humler E., Hoffman F. W. The chemical composition of the Earth // Earth Planet. Sci. Lett. 1995. Vol. 134. P. 515–526.
23. McDonough W. F., Sun S.-S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. Vol. 120. P. 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
24. Савельев А. А., Савельева Г. Н. Войкаро-Сынъинский массив / Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). Новосибирск: Наука, 1977. С. 60–91.
25. Bonatti E., Ottonello G., Hamlyn P. R. Peridotites from the island of Zabargad (St. John), Red Sea: Petrology and geochemistry // J. Geophys. Res. 1986. Vol. 91. P. 599–631. <https://doi.org/10.1029/JB091iB01p00599>
26. Barth M. G., Mason P. R. D., Davies G. R., Drury M. R. The Othris Ophiolite, Greece: A snapshot of subduction initiation at a mid-ocean ridge // Lithos. 2008. Vol. 100. P. 234–254. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.018>
27. Loney R. A., Himmelberg G. R., Coleman R. G. Structure and petrology of the alpine-type peridotite at Burro Mountain, California, U. S. A. // J. Petrol. 1971. Vol. 12. Part 2. P. 245–309. <https://doi.org/10.1093/petrology/12.2.245>

Статья поступила в редакцию 10 декабря 2018 г.

# About the genetic types of dunites in folded ultramafites areas (using the Urals as an example)

Igor' Stepanovich CHASHCHUKHIN\*

Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

**The purpose of work:** estimation of the ratio of magmatic and metasomatic processes during the formation of dunites in arrays of folded areas. The relevance of the work is due to the need to adjust the legend during geological mapping and when searching for chromite ores.

**Methodology** of the work: generalization of a long-term study of the geological structure, mineralogy, petrochemistry, and geochemistry of chromite-bearing ultramafites of the Urals with the involvement of world petrological and experimental data.

**Results.** The mantle ultramafic rocks are represented by two main types – subcontinental and ophiolitic ones. Dunites are developed in both types. Dunites in the subcontinental ultramafites are exposed in the most eroded parts of massifs. Contacts with overlying harzburgites and lherzolites are gradual, which implies the formation of the entire incision during a nonrecurrent process with the formation of a single dunite-harzburgite-lherzolite series. The process responsible for its formation was the partial melting of pyrolite of the mantle, as evidenced by the results of experiments confirmed by the published data studying the composition of rock-forming ultramafite minerals. Dunites should be considered as the final product of the process of partial melting of pyrolite mantle. Dunites of ophiolites have a fundamentally different nature; they are formed according to restites, products of partial melting, and they are part of two complexes: websterite-dunite and gabbro-clinopyroxenite-dunite. Dunites of the first complex are formed during the synkinematic metamorphic differentiation of restites; dunites of the second complex – as a result of the reaction of gabbro with restites.

**Conclusion.** Three genetic types of dunites take part in the structure of mantle ultramafites of folded areas: 1) products of partial melting of mantle pyrolite, 2) products of synkinematic metamorphic differentiation of harzburgites, 3) products of the reaction of gabbroids with harzburgites. The association of the first type with subcontinental ultramafites and the rest with ophiolites indicates the different geodynamic setting for the formation of ultramafites and the associated chromite concentrations: unique deposits of high-chromous ores occur in subcontinental ultramafites; numerous small ore occurrences of medium-chrome ores – in ophiolites.

Keywords: dunite, partial melting, pyrolyte, restite, subcontinental ultramafites, ophiolite.

*The work was performed within the framework of the state assignment of the Institute of geology and geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration number AAA-A18-118052590026-5).*

## REFERENCES

1. Den Tex E. 1969, Origin of ultramafic rocks, their tectonic setting and history: A contribution to the discussion of the paper «The origin of ultramafic and ultrabasic rocks» by P. J. Wyllie. *Tectonophysics*, vol. 7, pp. 457–488. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(69\)90016-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(69)90016-X)
2. Ringwood A. E. 1981, Composition and petrology of the earth's mantle. Moscow, 584 p.
3. Kelemen P., Dick H. J. B., Quick J. 1992, Formation of harzburgite by pervasive melt/rock reaction on the upper mantle. *Nature*, vol. 358, pp. 635–641. <https://doi.org/10.1038/358635a0>
4. Van der Wal D., Bodinier J.-L. 1996, Origin of the recrystallization front in the Ronda peridotite by km-scale pervasive porous melt flow. *Contrib. Mineral. Petro.*, vol. 122, pp. 387–405. <https://doi.org/10.1007/s004100050135>
5. Barth M. G., Mason P. R. D., Davies G. R., Dijkstra A. H., Drury M. R. 2003, Geochemistry of the Othris Ophiolite, Greece: Evidence for Refertilization? *J. Petrol.*, vol. 44, no. 10, pp. 1759–1785. <https://doi.org/10.1093/petrology/egg058>
6. Lenoir X., Garrido C. J., Bodinier J.-L. et al. 2001, The Recrystallization Front of the Ronda Peridotite: Evidence for Melting and Thermal Erosion of Subcontinental Lithospheric Mantle beneath the Alboran Basin. *J. Petrol.*, vol. 42, no. 1, pp. 141–158.
7. Dijkstra A. H., Barth M. G., Drury et al. 2003, Diffuse porous melt and melt-rock reaction in the mantle lithosphere at a slow-spreading ridge: A structural petrology and LA-ICP-MS study of the Othris Peridotite Massif (Greece). *Geochemistry, Geophysics, Geosystem*, vol. 4, issue 24. <https://doi.org/10.1029/2001GC000278>
8. Le Roux V., Bodinier J.-L., Tommasi A., Alard O. et al. 2007, The Lherz spinel lherzolite: Refertilized rather than pristine mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 259, pp. 599–612. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2007.05.026>
9. Chashchukhin I. S., Votyakov S. L., Shchapova Yu. V. 2007, *Kristallokhimiya khromshpineli i oksitermobarometriya ul'tramafitov skladchatykh oblastey* [Crystal chemistry of spinel and oxytermobarometry of ultramafites of folded regions]. Ekaterinburg, 310 p.
10. Takazawa E., Frey F. A., Shimizu N., Obata M. 2000, Whole rock compositional variations in an upper mantle peridotite (Horoman, Hokkaido, Japan): Are they consistent with a partial melting process? *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 64, no. 4, pp. 695–716. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00346-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00346-4)
11. Jaques A. L., Green D. H. 1980, Anhydrous melting of peridotite at 0–15 kb pressure and genesis of tholeiitic basalts. *Contrib. Mineral. Petro.*, vol. 73, no. 3, pp. 287–310. <https://doi.org/10.1007/BF00381447>
12. Gaetani G. A., Grove T. L. 1998, The influence of water on melting of mantle peridotite. *Contrib. Mineral. Petro.*, vol. 131, pp. 323–346. <https://doi.org/10.1007/s004100050396>
13. Niida K., Green D. H. 1999, Stability and chemical composition of pargasitic amphibole in MORB pyrolite under upper mantle conditions. *Contrib. Mineral. Petro.*, vol. 135, pp. 18–40. <https://doi.org/10.1007/s004100050495>
14. Arai S. 1994, Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation. *Chemical Geology*, vol. 113, pp. 191–204. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)90066-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)90066-3)
15. Downes H. 2001, Formation and Modification of the Shallow Sub-continental Lithospheric Mantle: a Review of Geochemical Evidence from Ultramafic Xenolith Suites and Tectonically Emplaced Ultramafic Massifs of Western and Central Europe. *J. Petrol.*, vol. 42, no. 1, pp. 233–250. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.1.233>
16. Niu Y. 2004, Bulk-rock Major and Trace Element Compositions of Abyssal Peridotites: Implications for Mantle Melting, Melt Extraction and Post-melting Processes Beneath Mid-Ocean Ridges. *J. Petrol.*, vol. 45, no. 12, pp. 2423–2458. <https://doi.org/10.1093/petrology/egh068>

\*✉ chashchukhin@igg.uran.ru

ID <http://orcid.org/0000-0001-8029-0260>

17. Palme H., Nickel K. G. 1985, Ca:Al ratio and composition of the Earth, upper mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 49, no. 10, pp. 2123–2132. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90070-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90070-5)
18. Frey F. A., Suen C. J., Stockman H. W. 1985, The Ronda high temperature peridotite: Geochemistry and petrogenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, no. 49, pp. 2469–2491. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90247-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90247-9)
19. Falloon T. J., Green D. Y. 1987, Anhydrous partial melting of MORB pyrolite and other peridotite compositions at 10 kb: implications for the origin of primitive MORB glasses. *Mineral Petrol.*, vol. 37, pp. 181–219.
20. Hofmann A. W. 1988, Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 90, pp. 297–314. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(88\)90132-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(88)90132-X)
21. Ringwood A. E. 1991, Phase transformation and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, no. 55, pp. 2083–2110. [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(91\)90090-R](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(91)90090-R)
22. Allegre C. J., Poirier J. P., Humler E., Hoffman F. W. 1995, The chemical composition of the Earth. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 134, pp. 515–526.
23. McDonough W. F., Sun S.-S. 1995, The composition of the Earth. *Chem. Geol.*, vol. 120, pp. 223–253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
24. Savelyev A. A., Savel'eva G. N. 1977, *Voykaro-Syn'inskiy massiv / Petrologiya i metamorfizm drevnikh ofiolitov (na primere Polyarnogo Urala i Zapadnogo Sayana)* [Voikar-Syninsky massif. Petrology and metamorphism of ancient ophiolites (using the Polar Urals and the Western Sayan as an example)]. Novosibirsk, pp. 60–91.
25. Bonatti E., Ottolengo G., Hamlyn P. R. 1986, Peridotites from the island of Zabargad (St. John), Red Sea: Petrology and geochemistry. *J. Geophys. Res.*, vol. 91, pp. 599–631. <https://doi.org/10.1029/JB091iB01p00599>
26. Barth M. G., Mason P. R. D., Davies G. R., Drury M. R. 2008, The Othris Ophiolite, Greece: A snapshot of subduction initiation at a mid-ocean ridge. *Lithos.*, vol. 100, pp. 234–254. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.06.018>
27. Loney R. A., Himmelberg G. R., Coleman R. G. 1971, Structure and petrology of the alpine-type peridotite at Burro Mountain, California, U. S. A. *J. Petrol.*, vol. 12, part 2, pp. 245–309. <https://doi.org/10.1093/petrology/12.2.245>

The article was received on December 10, 2018

# Шабазит-Mg из габброидов Баженовского оphiолитового комплекса (Средний Урал) – первая находка в России

Юрий Викторович ЕРОХИН<sup>1,\*</sup>,  
Александр Георгиевич ШОРИН<sup>2,\*\*</sup>,  
Анатолий Владимирович ЗАХАРОВ<sup>1,\*\*\*</sup>,  
Андрей Егорович ЧУГАЕВ<sup>3,\*\*\*\*</sup>,  
Любовь Владимировна ЛЕОНОВА<sup>1</sup>,  
Ольга Львовна ГАЛАХОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия, Екатеринбург

<sup>2</sup>Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

<sup>3</sup>Уральская геолого-съемочная экспедиция, Россия, Екатеринбург

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью изучения большой и разнородной группы цеолитов, в частности крайне редкого ее члена – шабазита-Mg. Данный минерал был открыт в 2010 г. в базальтах Венгрии, и наша находка является второй в мире и первой в России.

**Цель работы:** комплексное исследование шабазита-Mg из габброидов Баженовского оphiолитового комплекса (Средний Урал).

**Методология исследования:** химический состав цеолита установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV фирмы Jeol с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments (ИГТ УрО РАН, г. Екатеринбург). Для анализа выбирались грани кристаллов с ровной и перпендикулярной к анализатору поверхностью. Полученные количественные анализы пересчитаны с учетом теоретического содержания воды в минерале. Рентгеноструктурное изучение цеолита проведено на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 фирмы Shimadzu (ИГТ УрО РАН, г. Екатеринбург). Условия съемки цеолита: медное излучение,  $V = 40$  кВ,  $I = 30$  мА, размер шага – 0,02.

**Результаты.** В поздних трещинах отрыва в ассоциации с кальцитом, пиритом и ломонитом на глинистом материале встречаются водяно-прозрачные кристаллы кубовидной формы размером до 0,2 мм, а также их корковидные скопления размером до 2–3 мм. Кристаллы сложены основным ромбоэдром  $r\{1011\}$ , а также типичными для шабазита двойниками прорастания с двойниковой осью [0001]. Дифрактометрическое изучение отобранных кристаллов показало, что они представлены цеолитом из группы шабазита. Основные отражения цеолита ( $\text{в } \text{\AA}$ ) – 9,29; 6,88; 5,53; 4,96; 4,31; 3,85; 3,55; 3,44; 2,922; 2,868 и т. д. Параметры элементарной ячейки, рассчитанные на основе дифрактограммы и в гексагональной установке, следующие ( $\text{в } \text{\AA}$ ) –  $a_{\text{H}} = 13,73(4)$ ;  $c_{\text{H}} = 14,83(4)$ ;  $V = 2437,45(5)$ . Химический состав минерала достаточно однородный и вполне уверенно пересчитывается на шабазит-Mg. Усредненная кристаллохимическая формула минерала –  $(\text{Mg}_{0,82}\text{Ca}_{0,71}\text{K}_{0,09})_{1,62}[(\text{Al}_{2,99}\text{Fe}_{0,06}\text{Si}_{8,95})_{12,00}\text{O}_{24}] \times 10\text{H}_2\text{O}$  (в пересчете на 24 атома кислорода). В баженовском шабазите-Mg отмечается высокое  $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al})$  отношение в среднем около 0,75, что в целом характерно для данного цеолита (в эталоне – 0,74).

**Выводы.** Нами в габброидах Баженовского оphiолитового комплекса установлен шабазит-Mg. Находка данного минерала связана с более поздними карбонат-сульфидными прожилками, т. е. шабазит-Mg фиксирует заключительную стадию развития цеолитов в габброидах, что расширяет наши познания о цеолитовой минерализации Баженовского оphiолитового комплекса. Примечательно, что найден цеолит не в базальтах, а в оphiолитовых габброидах.

**Ключевые слова:** шабазит-Mg, цеолит, габброиды, Баженовский оphiолитовый комплекс, Средний Урал.

## B ведение

Шабазит является одним из самых распространенных минералов из большой группы цеолитов. Он встречается в различных породах – интрузивных, вулканических, метаморфических и метасоматических и даже в осадочных. Благодаря широкому развитию и своим уникальным свойствам, данный минерал активно используется в технологических производствах по очистке окружающей среды, в сельском хозяйстве и животноводстве.

Группа шабазита на сегодняшний день представлена пятью крайними членами – шабазит-Na и шабазит-Ca [1], шабазит-K [2], шабазит-Sr [3] и шабазит-Mg. Последний цеолит является достаточно редким минералом. Его открыли сравнительно недавно, в 2010 г. в базальтах района Шюмет (южная окраина деревни Бажи, Западный Веспрем, Венгрия) в ассоциации с филлипситом, арагонитом, кальцитом и сапонитом [4]. На данный момент это единственная в мире достоверная находка, хотя известно много упоминаний в литературе об обогащенном магнием шабазите. Так, подобные цеолиты описывались в базальтах Италии, Германии, Франции, Чехии и Австралии [5–7 и др.], но по результатам кристаллохимических пересчетов они всегда оказывались магнийсодержащим шабазитом-Ca [7]. Интересно, что в 1986 г. на островах Ирландии был обнаружен шабазит с преобладанием магния над кальцием и он уже тогда предполагался как новый минеральный вид [8], но, видимо, минерал так и остался неизученным. Нам при исследовании минералогии Баженовского оphiолитового комплекса удалось обнаружить шабазит-Mg, который ранее в России не описывался и, по всей видимости, это вторая находка данного цеолита в мире.

## Геологическое положение объекта исследований

Баженовский оphiолитовый комплекс является самым южным в Асбестовско-Алапаевском поясе ультраосновных массивов и располагается в пределах восточной части Среднего Урала (в 80 км северо-восточнее г. Екатеринбурга). Геологическое строение комплекса описано в работах [9, 10 и др.]. Баженовский габбро-ультрабазитовый массив на западе контактирует с Адуйским гранитным, Малышевским лейкогранитным и Лесозаводским габбро-диоритовым мас-

\* [✉ erokhin-yu@yandex.ru](mailto:erokhin-yu@yandex.ru)

ID <https://orcid.org/0000-0002-0577-5898>

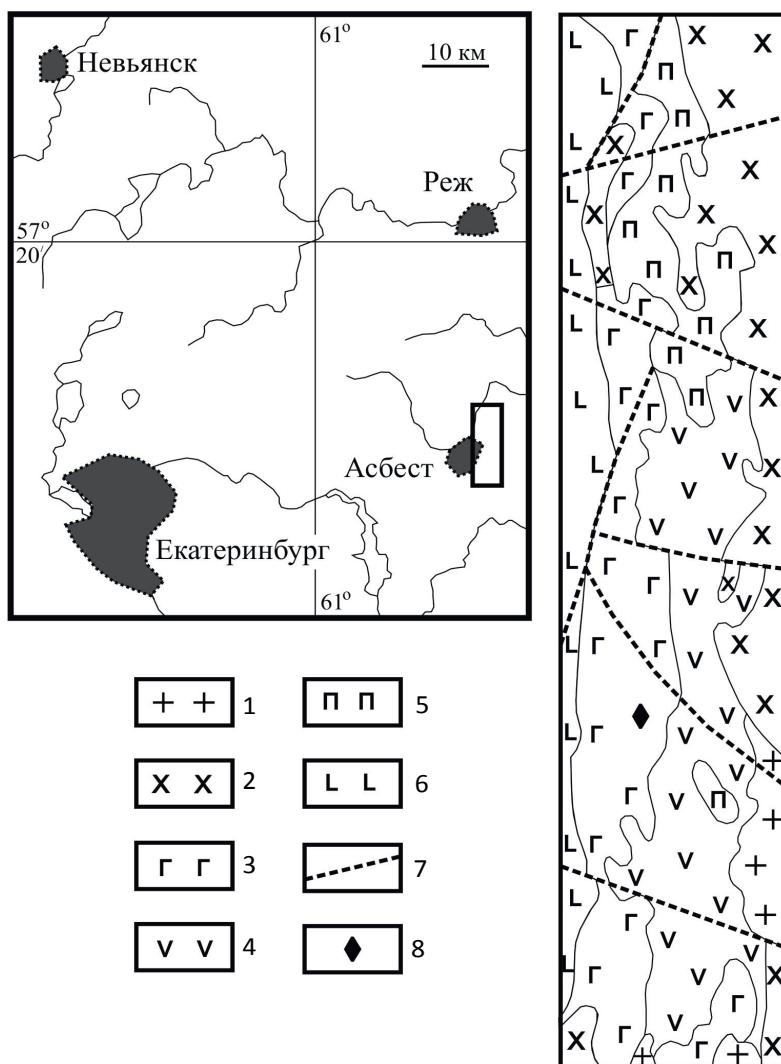
\*\* [✉ sandy\\_blood@mail.ru](mailto:sandy_blood@mail.ru)

ID <https://orcid.org/0000-0003-3288-4958>

\*\*\* [✉ zakharov-zav@yandex.ru](mailto:zakharov-zav@yandex.ru)

ID <https://orcid.org/0000-0001-8790-7892>

\*\*\*\* [✉ chugaev@ugse.ru](mailto:chugaev@ugse.ru)



**Рисунок 1. Расположение и геологическая карта Баженовского оphiолитового комплекса (по [11]).** 1 – гранодиориты, адамеллиты Каменского комплекса ( $C_{1-2}$ ); 2 – тоналиты, габбро-диориты и плагиограниты Рефтинского комплекса ( $S_2-D_1$ ); 3 – габбро-нориты Асбестовского комплекса ( $S_1$ ); 4 – гарцбургиты Баженовского оphiолитового комплекса ( $O_{2-3}$ ); 5 – клинопироксениты, вебстериты и верлиты послеофиолитового комплекса (S); 6 – базальты и кремнисто-базальтовые образования ( $O_3-S_1$ ); 7 – разрывные нарушения; 8 – место находки шабазита-Mg.

**Figure 1. Location and geological map of the Bazhenovskiy ophiolite complex (according to [11]).** 1 – granodiorites, adamellites of the Kamensky complex ( $C_{1-2}$ ); 2 – tonalites, gabbro-diorites and plagiogranites of the Reftinsky complex ( $S_2 - D_1$ ); 3 – gabbro-norites of the Asbestovsky complex ( $S_1$ ); 4 – harzburgites of the Bazhenovskiy ophiolite complex ( $O_{2-3}$ ); 5 – clinopyroxenites, websterites and werlites of the post-ophiolitic complex (S); 6 – basalts and siliceous-basalt formations ( $O_3 - S_1$ ); 7 – faults; 8 – found of chabazite-Mg.

сивами, а также с тектонизированными фрагментами вулканогенно-осадочных толщ ордовика и девона. С юга и юга-запада блок оphiолитов граничит с Каменским гранитным и частично с Рефтинским габбро-плагиогранитным массивами, а с востока – также с Рефтинским и Некрасовским габбро-гранитным массивами. С севера Баженовский оphiолитовый комплекс обрамляется разнообразными вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами каменноугольного и девонского возраста (рис. 1). Возраст оphiолитового комплекса до сих пор достоверно не установлен, но известно, что ультрабазиты прорваны (запечатаны) раннесилурийскими дайками гранитоидов [11], т. е. возраст Баженовского оphiолитового комплекса может быть только древнее раннего силура.

#### Методы исследований

Химический состав цеолита установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6390LV фирмы Jeol с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик Л. В. Леонова). Для анализа выбирались грани кристаллов с ровной и перпендикулярной к анализатору поверхностью. К сожалению, ЭДС-приставка не измеряет воду, поэтому полученные анализы пересчитаны с учетом теоретического содержания воды в минерале.

Рентгеноструктурное изучение цеолита проведено на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 фирмы Shimadzu с поликапиллярной оптикой и высокотемпературной приставкой HTK-1200N фирмы Anton Paar для работы в диапазоне температур 25–1500 °C (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург, аналитик О. Л. Галахова). Условия съемки цеолита: медное излучение,  $V = 40$  kV,  $I = 30$  mA, размер шага – 0,02°.



Рисунок 2. Сдвойниковые кристаллы шабазита-Мg на поверхности габброида. Фото под бинокулярной, размер кристаллов около 0,2 мм.

Figure 2. Twinned crystals of chabazite-Mg on the surface of the gabbroid. Photo under the binocular microscope, the size of the crystals is about 0.2 mm.

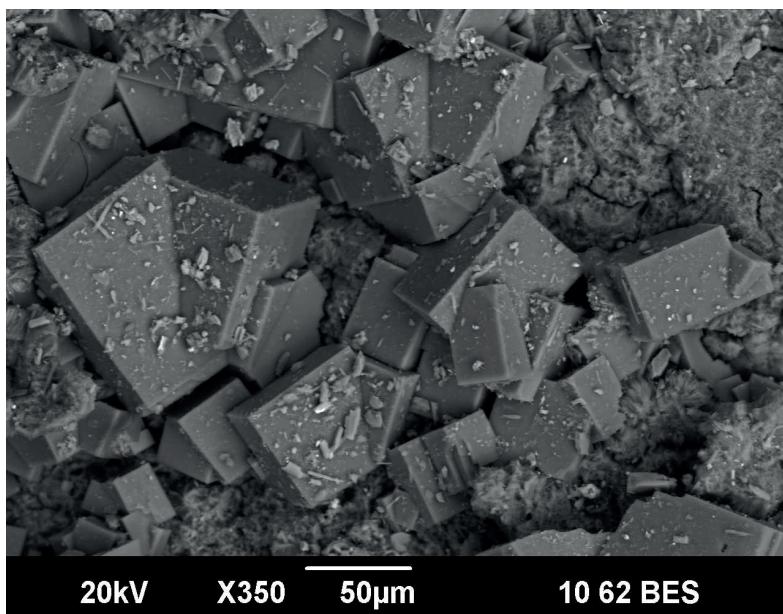


Рисунок 3. Кристаллы шабазита-Мg в корковидных агрегатах на поверхности глинистого минерала. Фото в отраженных электронах, CAMECA SX 100.

Figure 3. Chabazite-Mg crystals in crustaceous aggregates on the surface of a clay mineral. BSE-image, CAMECA SX 100.

#### Полученные результаты и их обсуждение

Осенью 2014 г. для производственных нужд ОАО «Ураласбест» в массиве габброидов была пробурена серия скважин, керн которых нами изучался. Место отбора проб: западный борт Центрального карьера Баженовского месторождения хризотил-асбеста (юго-западная часть карьера, 2-й уступ сверху; координаты с GPS-приемника – 57°01'77,8" с. ш.; 61°48'13,9" в. д.). Габброиды (в пересчете нормативные габбро-нориты) полностью метаморфизованы в соссюрит-амфиболовые породы и содержат различные по мощности прожилки цоизита, кварца, ломонитита и кальцита [12 и др.]. Местами в породе отмечаются трещины отрыва, частично выполненные агрегатами кальцита, пирита и глинистого материала. Эти трещины являются более поздними и секут как крупные (до 1 см толщиной) прожилки цоизита, так и тонкие (толщиной в доли мм) просечки ломонитита. Скопления сульфида частично замещены лимонитом, поэтому поверхность трещин имеет коричневатую окраску. На глинистом материале встречаются водяно-прозрачные кристаллы кубовидной формы размером до 0,2 мм (рис. 2), а также их корковидные скопления размером до 2–3 мм (рис. 3). Кристаллы сложены основным ромбоэдром {1011}, а также типичными для шабазита двойниками прорастания с двойниковой осью [0001].

**Химический состав шабазита-Mg из габброидов Баженовского оphiолитового комплекса, мас. %.**  
**The chemical composition of chabazite-Mg from gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex, wt. %**

Номер анализа	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Сумма
1	56,85	15,96	0,41	3,21	4,29	0,98	18,30*	100,00
2	57,00	16,14	0,42	3,50	4,20	0,42	18,30*	100,00
3	56,89	16,51	0,32	3,29	4,04	0,65	18,30*	100,00
4	57,18	16,04	0,44	3,80	3,81	0,43	18,30*	100,00
5	56,70	16,08	0,36	3,24	4,33	0,99	18,30*	100,00
6	57,37	15,57	—	3,67	4,69	0,40	18,30*	100,00
7	56,00	16,90	0,02	2,85	2,80	2,50	18,30	99,96**

*Формулы цеолита в пересчете на 24 атома кислорода*

1	(Mg <sub>0,75</sub> Ca <sub>0,72</sub> K <sub>0,20</sub> ) <sub>1,67</sub> [(Al <sub>2,97</sub> Fe <sub>0,05</sub> Si <sub>8,96</sub> ) <sub>11,98</sub> O <sub>24</sub> ] · 10 H <sub>2</sub> O
2	(Mg <sub>0,82</sub> Ca <sub>0,71</sub> K <sub>0,09</sub> ) <sub>1,62</sub> [(Al <sub>2,99</sub> Fe <sub>0,06</sub> Si <sub>8,95</sub> ) <sub>12,00</sub> O <sub>24</sub> ] · 10 H <sub>2</sub> O
3	(Mg <sub>0,77</sub> Ca <sub>0,68</sub> K <sub>0,13</sub> ) <sub>1,58</sub> [(Al <sub>3,08</sub> Fe <sub>0,04</sub> Si <sub>8,93</sub> ) <sub>12,03</sub> O <sub>24</sub> ] · 10 H <sub>2</sub> O
4	(Mg <sub>0,89</sub> Ca <sub>0,64</sub> K <sub>0,09</sub> ) <sub>1,62</sub> [(Al <sub>2,96</sub> Fe <sub>0,06</sub> Si <sub>8,96</sub> ) <sub>11,98</sub> O <sub>24</sub> ] · 10 H <sub>2</sub> O
5	(Mg <sub>0,76</sub> Ca <sub>0,73</sub> K <sub>0,20</sub> ) <sub>1,69</sub> [(Al <sub>2,99</sub> Fe <sub>0,05</sub> Si <sub>8,94</sub> ) <sub>11,98</sub> O <sub>24</sub> ] · 10 H <sub>2</sub> O
6	(Mg <sub>0,86</sub> Ca <sub>0,79</sub> K <sub>0,08</sub> ) <sub>1,73</sub> [(Al <sub>2,88</sub> Si <sub>9,00</sub> ) <sub>11,88</sub> O <sub>24</sub> ] · 10 H <sub>2</sub> O
7	(Mg <sub>0,67</sub> K <sub>0,52</sub> Ca <sub>0,48</sub> Na <sub>0,08</sub> Sr <sub>0,03</sub> ) <sub>1,78</sub> [(Al <sub>3,16</sub> Si <sub>8,89</sub> ) <sub>12,05</sub> O <sub>24</sub> ] · 9,68 H <sub>2</sub> O

Примечание: ан. 1–6 – наши данные, ан. 7 дан по [4]; \*количество воды в цеолите дано по [4]; \*\*в данном анализе еще присутствуют SrO – 0,30; Na<sub>2</sub>O – 0,27; BaO – 0,02 (в мас. %).

Дифрактометрическое изучение отобранных кристаллов показало, что они представлены цеолитом из группы шабазита (так как кристаллы мелкие, то при подготовке препарата в пробу попали примесные минералы – кальцит, ломонит, а также амфибол с хлоритом). Основные отражения цеолита (в Å): 9,29; 6,88; 5,53; 4,96; 4,31; 3,85; 3,55; 3,44; 2,922; 2,868 и т. д. Параметры элементарной ячейки, рассчитанные на основе дифрактограммы и в гексагональной установке, следующие (в Å):  $a_h = 13,73(4)$ ;  $c_h = 14,83(4)$ ;  $V = 2437,45(5)$ , что вполне соответствует эталонным данным шабазита-Mg [4], и они достаточно сильно отличаются от значений других цеолитов из группы шабазита. Ранее при исследовании кристаллохимии шабазитов [1] было доказано, что параметр элементарной ячейки  $c$  (в гексагональной установке) увеличивается с ростом содержания алюминия. В соответствии с этим исследованием параметр  $c_h$  и сам объем элементарной ячейки в шабазитах-Mg самый низкий среди других цеолитов этой группы.

Химический состав минерала достаточно однородный и вполне уверенно пересчитывается на шабазит-Mg (таблица). При этом по соотношению компонентов он достаточно сильно отличается от эталонного цеолита, найденного в Венгрии [4], так как содержит больше кремнезема, магния и кальция, но меньше алюминия и калия, что, вероятно, связано с химизмом вмещающих габброидов, которые, к примеру, сильно обеднены калием. В баженовском шабазите отмечается высокое Si/(Si + Al) отношение в среднем около 0,75, что в целом характерно для данного цеолита (в эталоне – 0,74 [4], а в разных магнезиальных шабазитах-Са в пределах 0,65–0,75 [7]).

В целом для габброидов Баженовского оphiолитового комплекса характерно присутствие цеолитовой минерализации, местами в соссюрит-амфиболовых породах отмечается интенсивная ломонитизация (мощностью до 10–15 м) вокруг стильбит-гейланитовых прожилков. При этом вокруг собственных прожилков ломонита никакой цеолитизации не наблюдается. Находка шабазита-Mg связана с наиболее поздними карбонат-сульфидными прожилками, т. е. минерал фиксирует заключительную стадию развития цеолитов в габброидах, что расширяет наши познания о цеолитовой минерализации Баженовского оphiолитового комплекса. К примеру, здесь же в ультрабазитовом массиве широко распространены жильные родингиты (большей частью это метасоматически преобразованные дайки габброидов) с разнообразной и уникальной минералогией. Среди прочего здесь встречаются прекрасные коллекционные образцы с цеолитами – натролитом, сколецитом, мезолитом, гоннардитом, шабазитом-Са, филиппситами и другими минералами [13–15 и др.]. Интересно, что в баженовских родингитах ранее был установлен магнийсодержащий шабазит-Са с содержанием 1,3 вес. % MgO [16], но до недавнего времени к этому анализу относились с недоверием.

#### Выводы

Таким образом, нами в габброидах Баженовского оphiолитового комплекса установлен шабазит-Mg. Находка данного минерала связана с более поздними карбонат-сульфидными прожилками, т. е. шабазит-Mg фиксирует заключительную стадию развития цеолитов в габброидах, что расширяет наши познания о цеолитовой минерализации Баженовского оphiолитового комплекса. Это первая находка минерала в России и, по всей видимости, вторая в мире.

Авторы благодарны руководству комбината ОАО «Ураласбест» за возможность отбора проб, а также канд. геол.-минерал. наук В. С. Пономареву за помощь в подготовке рукописи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-5-5-32).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Passaglia E. The crystal chemistry of chabazite // Amer. Miner. 1970. Vol. 55, July–August. P. 1278–1301.
2. Gennaro M., Franco E. La K-cabasite di alcuni «tufi del Vesuvio» // Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei. 1976. Vol. 60. P. 490–497.
3. Пеков И. В., Турчкова А. Г., Чуканов Н. В., Задов А. Е., Гришин В. Г. Шабазит-Sr ( $\text{Sr, Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – новый цеолит из Ловозерского массива, Кольский полуостров // Записки ВМО. 2000. Т. 129, № 4. С. 54–58.
4. Montagna G., Bigi S., Kónya P., Szakáll S., Vezzalini G. Chabazite-Mg: a new natural zeolite of the chabazite series // Amer. Miner. 2010. Vol. 95. С. 939–945. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3449>
5. Passaglia E., Tagliavini A. Chabazite-offretite epitaxial overgrowths in cornubianite from Passo Forcel Rosso, Adamello, Italy // Europ. Jour. Miner. 1994. Vol. 6. P. 397–405. <https://dx.doi.org/10.1127/ejm/6/3/0397>
6. Pauliš P., Hrůzek L., Janeček O., Sejkora J., Malíková R., Fediuk F. Zeolitová mineralizace z Nového Oldřichova u Kamenického Šenova (Česká republika) // Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha). 2016. Vol. 23, № 1. P. 100–113.
7. Passaglia E., Ferro O. Occurrence and crystal structure of magnesian chabazite // Studies in Surface Science and Catalysis. 2002. Vol. 142. P. 1729–1735. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(02\)80346-9](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(02)80346-9)
8. Ryback G., Nawaz R., Farley E. Seventh supplementary list of British Isles minerals (Irish) // Miner. Magaz. 1988. Vol. 52. P. 267–274. <https://doi.org/10.1180/minmag.1988.052.365.14>
9. Татаринов П. М. Материалы к познанию месторождения хризотил-асбеста Баженовского района на Урале // Труды Геолкома. 1928. Вып. 185. 90 с.
10. Золоев К. К., Чемякин В. И., Шмаина М. Я. И др. Баженовское месторождение хризотил-асбеста. М.: Недра, 1985. 271 с.
11. Ерохин Ю. В., Хиллер В. В., Иванов К. С. Раннесилурский возраст даек плагиогранита из Баженовского оphiолитового комплекса, Средний Урал (по данным Th–U–Pb-датирования монацита) // Вестник Воронежского госуниверситета. Сер. «Геология». 2018. № 3. С. 17–21.
12. Ерохин Ю. В. Алогаббровые клиноцизит-тремолитовые породы Баженовского месторождения хризотил-асбеста // Ежегодник-1997. 1998. С. 76–78.
13. Антонов А. А. Кристалломорфология шабазита из родингитов Баженовского месторождения // Записки ВМО. 1997. № 5. С. 74–78.
14. Антонов А. А. Минералогия родингитов Баженовского гипербазитового массива. СПб.: Наука, 2003. 128 с.
15. Ерохин Ю. В. Минералогия родингитов Баженовского месторождения (Средний Урал) // Минералогический альманах. 2017. Т. 22. Вып. 3. 136 с.
16. Соколова Л. А. Шабазит из Баженовского месторождения хризотил-асбеста // Водные вулканические стекла и поствулканические минералы. М.: Наука, 1967. С. 151–157.

Статья поступила в редакцию 18 февраля 2019 г.

# Chabazite-Mg from gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex (Middle Urals) is the first find in Russia

Yuriy Viktorovich EROKHIN<sup>1,\*</sup>,  
 Aleksandr Georgievich SHORIN<sup>2,\*\*</sup>,  
 Anatoliy Vladimirovich ZAKHAROV<sup>1</sup>,  
 Andrey Egorovich CHUGAEV<sup>3,\*\*\*</sup>,  
 Lyubov' Vladimirovna LEONOVA<sup>1</sup>,  
 Ol'ga L'vovna GALAKHOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>Ural geological survey expedition, Ekaterinburg, Russia

**The relevance of the work** is due to the need to study a large and diverse group of zeolites, chabazite-Mg, in particular, it's an extremely rare member of that group. This mineral was discovered in 2010 in the basalts of Hungary, and our discovery is second in the world and first one in Russia.

**The purpose of the work:** a comprehensive study of chabazite-Mg from gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex (Middle Urals).

**Methodology of research:** The chemical composition of the zeolite is determined using a JSM-6390LV scanning electron microscope by Jeol with the INCA Energy 450 X-Max 80 energy dispersive device by Oxford Instruments (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg). We chose the faces of the crystals with a flat surface and perpendicular to the analyzer. The obtained quantitative analyzes are recalculated taking into account the predicted water content in the mineral. X-ray diffraction study of the zeolite was carried out with an XRD-7000 X-ray diffractometer by Shimadzu (Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg). Conditions for survey of zeolite: copper radiation, V = 40 kV, I = 30 mA, step size – 0.02.

**Results.** In late ruptures in association with calcite, pyrite, and laumontite, clay-like material contains water-transparent cuboid crystals with a size of up to 0.2 mm, as well as their crustaceous segregation with a size of up to 2–3 mm. The crystals are composed of rhombohedron r {1011}, as well as the typical chabazite twins intergrowth with twining axis [0001]. A diffractometric study of the selected crystals showed that they were represented by zeolite from chabazite group. The main reflections of zeolite (in Å) are 9.29; 6.88; 5.53; 4.96; 4.31; 3.85; 3.55; 3.44; 2.922; 2.868, etc. The unit cell dimensions calculated on the basis of the X-ray diffraction pattern in the hexagonal positioning are the following (in Å) –  $a_H = 13.73 (4)$ ;  $c_H = 14.83 (4)$ ;  $V = 2437.45 (5)$ . The chemical assemblage of the mineral is fairly uniform and quite confidently recalculated for chabazite-Mg. The average crystal-chemical formula of the mineral is  $(Mg_{0.82} Ca_{0.71} K_{0.09})_{1.62} [(Al_{2.99} Fe_{0.06} Si_{8.95})_{12.00} O_{24}]_{110} H_2O$  (based on 24 oxygen atoms). In Bazhenovskiy chabazite-Mg, a high Si / (Si + Al) ratio is about 0.75, which is generally characteristic of a given zeolite (0.74 in reference).

**Conclusion.** We have determined chabazite-Mg in the gabbroids of the Bazhenovskiy ophiolite complex. The discovery of this mineral is associated with later carbonate-sulphide veinlets, i.e., chabazite-Mg captures the final stage of development of zeolites in gabbroids. This fact expands our knowledge of the zeolite mineralization of the Bazhenovskiy ophiolite complex. It is noteworthy that zeolite was found not in basalts, but in ophiolite gabbroids.

Keywords: chabazite-Mg, zeolite, gabbroids, Bazhenovskiy ophiolite complex, Middle Urals.

The authors are grateful to the supervisors of OAO Uralasbest plant for samples collection, as well as V. S. Ponomarev, the candidate of geological and mineralogical sciences, for his help in preparing the manuscript.

This work was supported by the Integrated Program of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (project No. 18-5-5-32).

## REFERENCES

- Passaglia E. 1970, The crystal chemistry of chabazite. *Amer. Miner.*, vol. 55, July-August, pp. 1278–1301.
- Gennaro M., Franco E. 1976, La K-cabasite di alcuni «tufi del Vesuvio». *Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei*, vol. 60, pp. 490–497.
- Pekov I. V., Turchkova A. G., Chukanov N. V., Zadov A. E., Grishin V. G. 2000, Chabazite-Sr (Sr, Ca)  $[Al_2Si_4O_{12}] \cdot 6H_2O$  is a new zeolite from the Lovozero massif, Kola Peninsula. *Zapiski RMO* [Proceedings of RMS], vol. 129, no. 4, pp. 54–58. (In Russ.)
- Montagna G., Bigi S., Kónya P., Szakáll S., Vezzalini G. 2010, Chabazite-Mg: a new natural zeolite of the chabazite series. *Amer. Miner.*, vol. 95, pp. 939–945. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3449>
- Passaglia E., Tagliavini A. 1994, Chabazite-offretite epitaxial overgrowths in cornubianite from Passo Forcel Rosso, Adamello, Italy. *Europ. Jour. Miner.*, vol. 6, pp. 397–405. <https://doi.org/10.1127/ejm/6/3/0397>
- Paulíš P., Hružek L., Janeček O., Sejkora J., Malíková R., Fediuk F. 2016, Zeolitová mineralizace z Nového Oldřichova u Kamenického Šenova (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)*, vol. 23, no. 1, pp. 100–113.
- Passaglia E., Ferro O. 2002, Occurrence and crystal structure of magnesian chabazite. *Studies in Surface Science and Catalysis*, vol. 142, pp. 1729–1735. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(02\)80346-9](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(02)80346-9)
- Ryback G., Nawaz R., Farley E. 1988, Seventh supplementary list of British Isles minerals (Irish). *Miner. Magaz.*, vol. 52, pp. 267–274. <https://doi.org/10.1180/minmag.1988.052.365.14>
- Tatarinov P. M. 1928, *Materialy k poznaniyu mestorozhdeniya khrizotil-asbesta Bazhenovskogo rayona na Urale* [Materials to the knowledge of the chrysotile asbestos deposit of the Bazhenovskiy district in the Urals]. RF Geological Survey, issue 185, 90 p. (In Russ.)
- Zoloev K. K., Chemyakin V. I., Shmaina M. Ya. et al. 1985, *Bazhenovskoye mestorozhdenie khrizotil-asbesta* [Bazhenovskiy chrysotile asbestos deposit]. Moscow, 271 p. (In Russ.)
- Erokhin Yu. V., Khiller V. V., Ivanov K. S. 2018, Early Silurian age of dikes of plagiogranite from the Bazhenovskiy ophiolite complex, Middle Urals (according to Th-U-Pb dating of monazite). *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta* [Proceedings of Voronezh State University], Geology Series, no. 3, pp. 17–21. (In Russ.)
- Erokhin Yu. V. 1998, *Apogabbrovyye klinotsoizit-tremolitovyye porody Bazhenovskogo mestorozhdeniya khrizotil-asbesta* [Apogabbroic clinzoisite-tremolite rocks of the Bazhenovskiy chrysotile asbestos field]. Yearbook-1997, pp. 76–78. (In Russ.)

\* erokhin-yu@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0577-5898>

\*\*sandy\_blood@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3288-4958>

\*\*\*chugaev@ugse.ru

13. Antonov A. A. 1997, Crystal morphology of chabazite from rodingites of the Bazhenovskiy deposit. *Zapiski RMO* [Proceedings of RMS], no. 5, pp. 74–78. (*In Russ.*)
14. Antonov A. A. 2003, *Mineralogiya rodingitov Bazhenovskogo giperbazitovogo massiva* [Mineralogy of the rodingites of the Bazhenovskiy hyperbasite massif]. Saint-Petersburg, 128 p. (*In Russ.*)
15. Erokhin Yu. V. 2017, *Mineralogiya rodingitov Bazhenovskogo mestorozhdeniya (Sredniy Ural)* [Mineralogy of the rodingites of the Bazhenovskiy deposit (Middle Urals)]. *Mineralogical Almanac*, vol. 22, issue 3, 136 p. (*In Russ.*)
16. Sokolova L. A. 1967, *Shabazit iz Bazhenovskogo mestorozhdeniya khrizotil-asbesta. Vodnyye vulkanicheskiye stekla i postvulkanicheskiye mineraly* [Chabazite from Bazhenovskiy deposit of chrysotile asbestos. Water volcanic glasses and postvolcanic minerals]. Moscow, p. 151–157. (*In Russ.*)

The article was received on February 18, 2019

# Металлы в нефти месторождений Оренбургской области

Галина Алексеевна ПОНОМАРЕВА\*

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Статья посвящена изучению содержания металлов в нефти оренбургских месторождений.

**Актуальность** многолетних систематических исследований металлогенеза нефтей, ведущихся в лаборатории физических методов исследования Оренбургского государственного университета, связана как с теоретическими аспектами – проблемами миграции элементов, генезиса металлов и самой нефти, – так и с практическими – геолого-геохимическими вопросами оценки перспектив нефтегазоносности территорий, промышленно-сырьевым аспектом и экологическим.

**Целью** настоящей работы является выявление концентраций ряда металлов, в том числе и благородных, закономерностей их распределения и перспектив последующего извлечения в целях комплексного использования органоминерального сырья и для снижения негативного экологического влияния на территории нефтегазоносных районов. Объект исследования – концентрации металлов в нефтях.

**Преамбет** – закономерности распределения металлов и перспективы их извлечения.

**Задачи работы** – определение содержаний металлов в пробах нефти, выявление ассоциаций металлов и особенностей распределения их в лито-лого-стратиграфических уровнях. Образцы углеводородного сырья отбирались испытателем пластов в терригенных и карбонатных коллекторах Бузулукской впадины (Южно-Бузулукского и Мухано-Ероховского нефтегазогеологических районов), в которых сосредоточены крупнейшие месторождения нефти в области. Определение благородных металлов, кобальта и никеля выполнено атомно-абсорбционной спектрометрией (с применением авторского патентованного способа определения благородных металлов в углеродистых породах), остальные металлы определены спектральным эмиссионным анализом.

**Результаты.** Получены дополнительные данные по повышенным содержаниям ряда металлов – титана, ванадия, циркония, что позволяет рассматривать нефть и нефтепродукты как органоминеральное сырье при разработке технологий их извлечения. Выявлено, что повышенное накопление данных металлов в нефти указанных месторождений характерно для залежей верхнего девона и нижнего и среднего карбона. Характер распределения металлов, их близкие содержания и физико-химические свойства нефти в пластах различных месторождений могут свидетельствовать о сходных условиях их формирования и возможности корреляции пластов по микроэлементному составу.

**Ключевые слова:** металлы, нефть, закономерности распределения, экологические последствия, извлечение.

## B ведение

В нефти к настоящему времени обнаружено более 70 различных элементов, в том числе и металлов, концентрации которых изменяются в очень широких пределах – от следов до сотен граммов на тонну нефти, что стало возможным в результате развития аналитических методов. Повышенное содержание микроэлементов, как правило, характерно для высоковязких тяжелых нефтей и природных битумов. Изучение природных концентраций металлов в нефти имеет как теоретическое, так и прикладное значение. Так, в оренбургской нефти заключены значительные количества ванадия, титана и ряда других металлов [1, 2], что может позволить в ближайшем будущем расширить их минерально-сырьевую базу. По-видимому, наиболее заметная роль будет принадлежать ванадию, никелю [3], поскольку в настоящее время уже существуют технологии их извлечения из нефти.

С другой стороны, присутствие этих металлов в нефти, нефтепродуктах, природных битумах, асфальтиках и других продуктах нефтоидного ряда сильно осложняет процессы нефтепереработки. Наличие металлов в углеводородном сырье отрицательно оказывается на операциях очистки из-за того, что они представляют опасность для катализаторов, используемых во многих процессах переработки нефти и нефтепродуктов (катализитическом крекинге, гидрогенизации, гидрообессеривании и др.). Так, ванадий, находящийся в нефтяном топливе, катализирует окисление оксида серы (IV)  $\text{SO}_2$  до оксида серы (VI)  $\text{SO}_3$ , что в конечном итоге ведет к коррозии, приносит большой ущерб нефтеперерабатывающему оборудованию, установкам, снижает срок службы различных двигателей и котельных установок, а также ведет к загрязнению природной окружающей среды. Следует также отметить, что многие формы металлов, содержащихся в нефти, нефтяных отходах и нефтепродуктах, прежде всего ванадия, представляют серьезную экологическую опасность. Соединения металлов токсичны, они могут поражать органы дыхания, пищеварения, кровеносную и нервную системы, а также вызывать воспалительные и аллергические заболевания кожи. Проблемы экологических последствий при разработке нефтегазовых месторождений очевидны [4].

В связи с тем, что благородные металлы (золото, платина, палладий, серебро) являются высоколиквидным сырьем, весьма актуально изучение их содержания в нефтях. Платина и палладий являются уникальными катализаторами во многих процессах переработки нефти, очевидна экономическая целесообразность изучения их концентраций.

Помимо того, что из нефти производят различные виды топлив, смазочных масел, парафина, мазута, гудрона и многих других химических веществ, нефть может быть нетрадиционным источником получения различных металлов. Известно, что серу добывают из нефти, а также медь, ванадий, никель, ртуть и другие металлы [5]. В США две трети производства ванадия связано с его получением из нефти [5, 6]. В Калифорнии эксплуатируются золотоносные нефти [5]. В ряде месторождений нефти Оренбургской области в ней содержится до 150 г/т ванадия, до 100 г/т титана и несколько меньше никеля и других металлов, а также содержатся платина, палладий, золото и серебро [1, 2 и др.]. С теоретической точки зрения металлы в нефти представляют также интерес в связи с изучением металлоносности углеродсодержащих формаций Восточного Оренбуржья и решением вопросов генезиса и природы самой нефти [7–9]. Особое внимание уделяется ванадию, никелю, меди, свинцу, титану, золоту, палладию, платине и другим элементам [10].

Целью работы являлось определение содержаний металлов в нефти, оценка их содержаний, закономерностей распределения и перспектив их последующего извлечения в целях комплексного использования органоминерального сы-

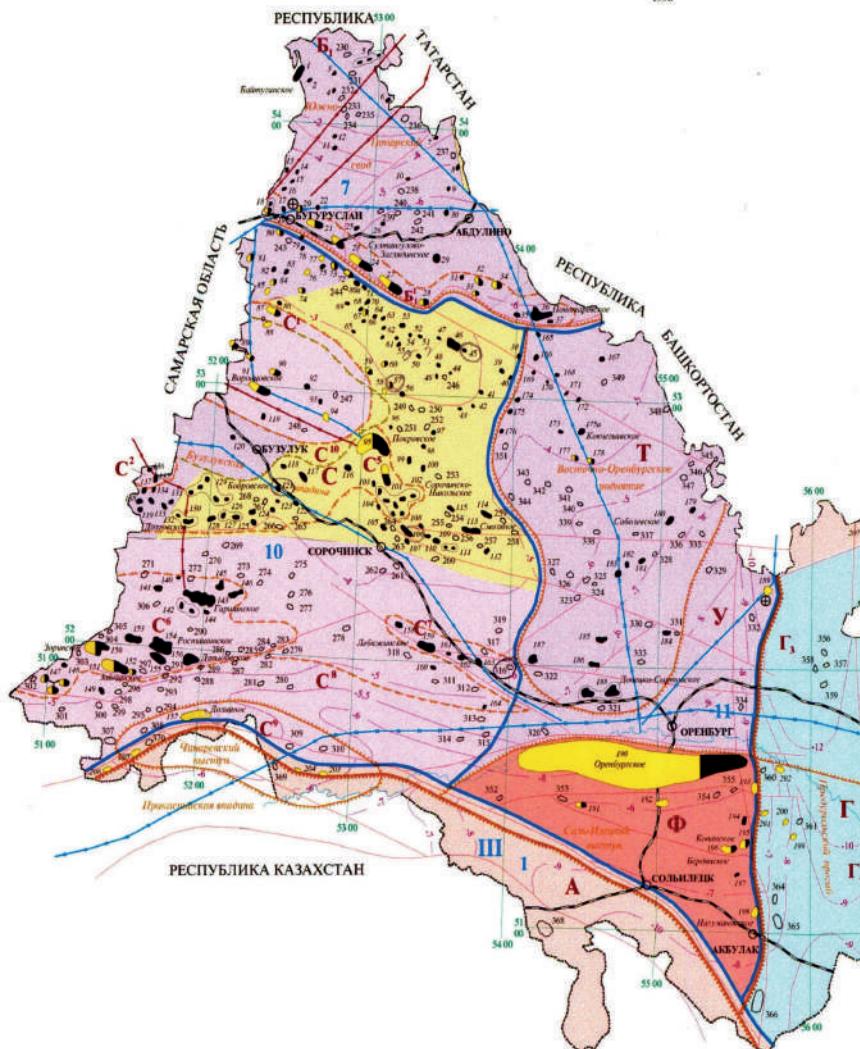
\*✉ galy.ponomareva@mail.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-1167-5594>

## КАРТА НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

Составил: Соловьев Б.А., Подкорытов Н.Г., Рид Е.Б., Коврижкин В.С.

10 0 10 20 30 40 50 км  
1996



**Рисунок 1. Выкопировка из карты нефтегазоносности Оренбургской области (по данным Б. А. Соловьева, Н. Г. Подкорытова, Е. Б. Риде, В. С. Коврижкина).** Тектоническое районирование: Б – Татарский свод, Б<sub>1</sub> – Южно-Татарский свод, Б<sub>11</sub> – Большекинельский вал; Г – южная часть Предуральского прогиба, Г<sub>3</sub> – Мраковская депрессия, Г – Урало-Илекская седловина; С – Бузулукская впадина, С<sub>1</sub> – Кинельско-Самаркинская система валов, С<sub>2</sub> – Кулешовская система валов, С<sub>5</sub> – Бобровско-Покровский вал, С<sub>6</sub> – Камелик-Чаганская зона поднятий, С<sub>7</sub> – Сидоровско-Землянский вал, С<sub>8</sub> – Иргизско-Рубежинский палеопрогиб, С<sub>9</sub> – Чинаревский выступ, С<sub>10</sub> – Мухано-Ероховский наложенный прогиб; Т – Восточно-Оренбургское поднятие; У – Салмышская впадина; Ф – Соль-Илецкий выступ. Нефтегазогеологическое районирование: 7 – Южно-Татарская НГО, 10 – Бузулукская НГО, 11 – Оренбургская НГО, III – Прикаспийская НПП, 1 – Северо-Каспийская НГО.

**Figure 1. Extract from the plan of petroleum potential of the Orenburg region (according to B.A. Solovyov, N. G. Podkorytov, E. B. Ride, V. S. Kovrizhkin).** Tectonic classification plan: B – Tatarian dome fold, B<sub>1</sub> – Yuzhno-Tatarian dome fold, B<sub>11</sub> – Bol'shekinelsky arch; G – the southern part of the Pre-Ural downwarp, G<sub>3</sub> – Mrakovskaya depression, G<sub>4</sub> – Uralo-Ilekskaya structural low; S – Buzulukskaya depression, S<sub>1</sub> – Kinelsko-Samarkinsky arch system, S<sub>2</sub> – Kuleshovsky arch system, S<sub>5</sub> – Bobrovsky-Pokrovsky arch, S<sub>6</sub> – Kamelik-Chaganskaya uplifts, S<sub>7</sub> – Sidorovsko-Zemlyansky arch, S<sub>8</sub> – Irgizsko-Rubezhinsky palaeodepression, S<sub>9</sub> – Chinarevskaya outshot, S<sub>10</sub> – Mukhano-Erokhovskaya superimposed depression; T – Vostochno-Orenburgskoye uplift; U – Salmyshskaya depression; F – Sol'-Iletsky outshot. Geological oil and gas zonation: 7 – Yuzhno-Tatarian petroleum bearing region, 10 – Buzulukskaya petroleum bearing region, 11 – Orenburgskaya petroleum bearing region, III – Caspian oil-and-gas province, 1 – North Caspian petroleum bearing region.

ря и для снижения негативного экологического влияния на территории нефтегазоносных районов. В связи с этим изучались их содержания и распределение металлов в нефти месторождений Бузулукской впадины (Южно-Бузулукский и Мухано-Ероховский нефтегазоносные районы) в Оренбургской области. Следует отметить, что именно здесь сосредоточены крупнейшие месторождения углеводородного сырья области.

### Методы исследования и результаты

В основу анализа особенностей распределения металлов положены данные по месторождениям нефти Оренбургской части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, расположение которых показано на выкопировке из карты нефтегазоносности Оренбургской области (рис. 1).

В региональном плане они приурочены к Бузулукской впадине (структуре первого порядка по поверхности кристаллического фундамента и осадочному чехлу) [11]. Нами исследованы пробы нефти на содержание металлов из следу-

## Содержание металлов в нефти месторождений Оренбургской области, г/т.

The metal content in the oil deposits of the Orenburg region, g/t.

Объект исследования	Содержание тяжелых металлов, г/т									
	Cu	Pb	Ni	Cr	Co, мг/т	V	Ti	Mo	Zr	
Месторождения Бузулукской впадины	1–4* 2	3–4 2	3,7–79,9 13	3–15 3	1–63 12	5–150 43	50–100 76	1,5–5 3	10–30 18	

\*В числителе указан диапазон содержаний металлов, г/т, в знаменателе – среднее значение.

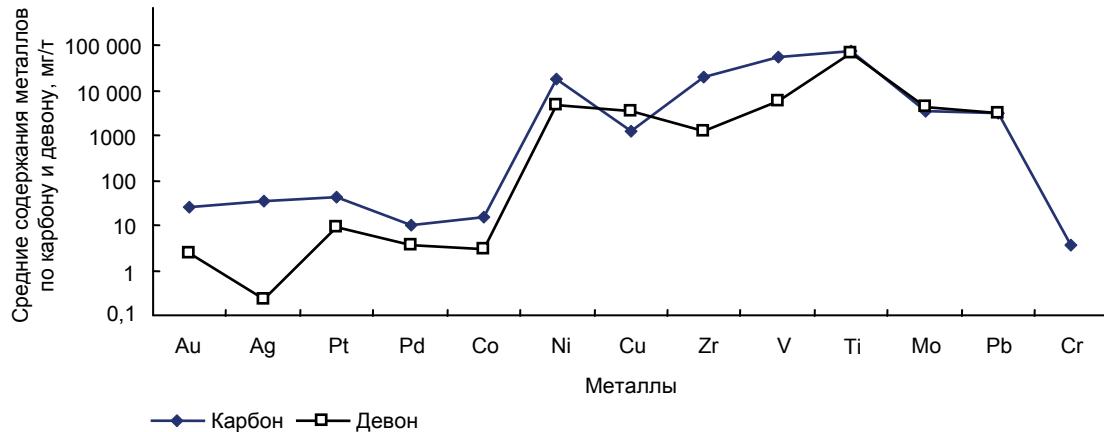


Рисунок 2. Металлы в месторождениях нефти Оренбургской области. Ось ординат – логарифмический масштаб.  
Figure 2. Metals in the oil fields of the Orenburg region. Axis of ordinates – logarithmic scale.

ющих пластов: Бобровское месторождение, пласти  $O_2$  и  $O_3$ , Покровское –  $A_3$ ,  $A_4$  и  $B_2$ , Тананыкское месторождение –  $B_2$ , Долговское месторождение –  $T_1$ , Пронькинское –  $A_4$ , Сахаровское –  $D_4$ , Гаршинское –  $A_4$ ,  $T_1$  и  $T_2$ , Росташинское –  $B_2$ ,  $D_3$ ,  $D_4$ ,  $D_5$  [11].

Средние содержания ряда металлов в нефти месторождений Оренбургской области представлены в таблице. Для определения золота, серебра, палладия, платины, кобальта и никеля в нефти использован метод атомно-абсорбционной спектрометрии (AAC), спектрометр фирмы «Люмэкс» МГА-915 с электротермическим атомизатором. Навеску нефти 20 г обрабатывали кислотами, затем озоляли в муфельной печи. Поскольку определение металлов на спектрометре выполняется из растворов, металлы из зольного остатка переводили в минеральные растворы с помощью кислотного травления. При низких содержаниях благородных металлов применяли концентрирование, позволяющее также снизить влияние матричных элементов. При определении металлов использовалась методика выполнения измерений МВИ М 01-29-2006. Для определения благородных металлов – методика КХА № 430-Х с применением собственного патентованного способа окисления углеродной основы (Патент РФ № 2409810). Содержания остальных металлов определены эмиссионным спектральным полуколичественным анализом (ПКСА). Специально подготовленный сухой остаток нефти анализировали на спектрографе СТЭ-1. Заверка результатов ПКСА по никелю проводилась методом атомной абсорбции и показала хорошую воспроизводимость результатов анализа. Средние значения концентраций металлов в пятнадцати пробах из девонских и каменноугольных отложений составили, мг/т: Pt – 29; Pd – 9,5; Au – 22; Ag – 31; Co – 12; г/т: Ni – 13 (AAC), 4 (ПКСА); Cu – 2; Pb – 2; Cr – 3; V – 43; Ti – 76; Mo – 3; Zr – 18.

### Обсуждение результатов

Согласно полученным данным, нефть обогащена титаном, ванадием, цирконием (76, 43 и 18 г/т соответственно). Содержание меди, свинца, молибдена, хрома составляет около 2–3 г/т. Концентрация кобальта в нефти самая низкая из перечисленных металлов. Хром обнаружен только в 7 пробах нефти. Нефть, как следствие, условно подразделяют на геохимические типы (никелевый, ванадиевый и т. д.), при этом нефти Волго-Уральской нефтегазоносной провинции относятся к ванадиевому типу [3, 5, 12 и др.] что и подтверждается полученными данными.

Содержание благородных металлов в нефти – около  $n \cdot 10$  мг/т, что превосходит средние концентрации их в осадочных породах (в черных сланцах и углях) –  $n \cdot 0,1$  –  $n \cdot 1,0$  мг/т [6].

Характер распределения металлов в нефтях девонских и каменноугольных коллекторов месторождений Оренбургской области представлен на рис. 2–4. На диаграммах отчетливо выделяется ассоциация элементов Ti + V + Zr + Ni в виде их максимума. В отложениях карбона наблюдаются повышенные содержания, как правило, всех металлов по сравнению с девоном (исключение составляют Cu, Mo). Практически во всех коллекторах карбона установлено присутствие Cr, тогда как в отложениях девона он отсутствует. Ассоциация благородных металлов в отложениях карбона (Pt + Ag + Au) отличается от таковой девона (Pt + Au) (рис. 2).

На диаграмме (рис. 3) изображен характер распределения металлов в нефти карбонатных и терригенных отложений каменноугольного возраста, который во многом схож (рис. 3, а), но в терригенных коллекторах наблюдается накопление Ag, Ni, V и Cr, а в карбонатных Au и Pd.

В терригенном девоне содержания большинства металлов в нефти выше, чем в девонских карбонатных фациях. Исключение составляют Ni и Cu (рис. 3, б).

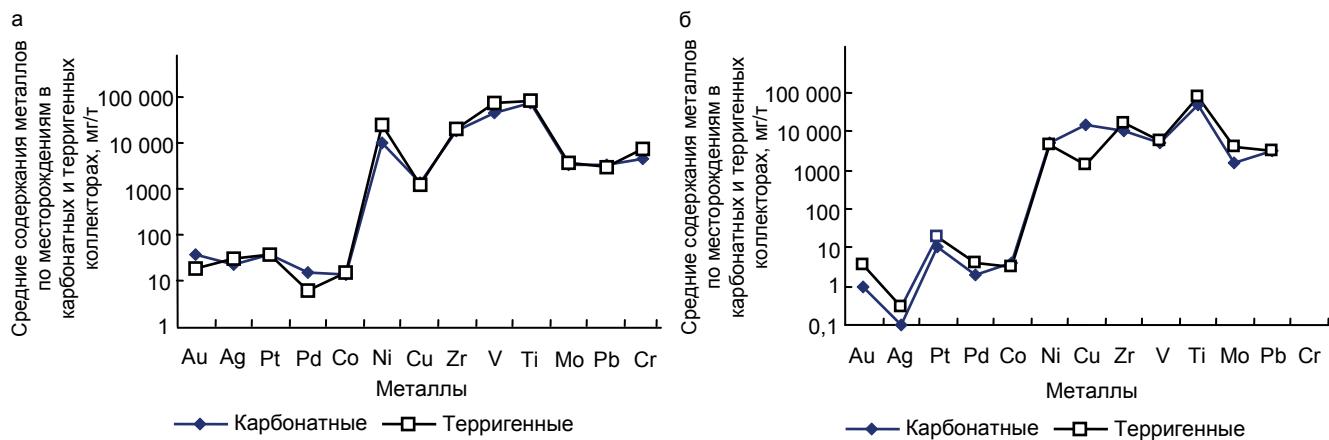


Рисунок 3. Металлы в месторождениях нефти Оренбургской области. а – карбон, б – девон; ось ординат – логарифмический масштаб.  
Figure 3. Metals in the oil fields of the Orenburg region. a – carbon; b – devon; axis of ordinates – logarithmic scale.

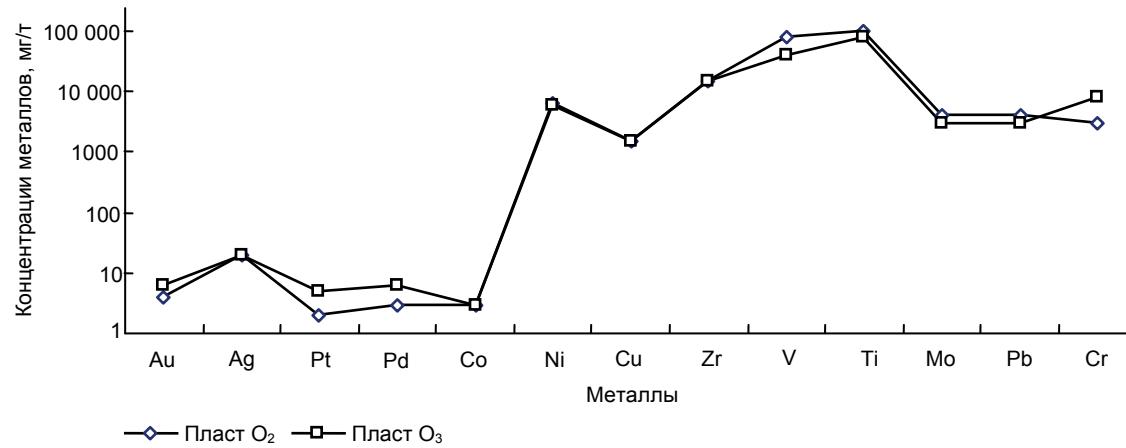


Рисунок 4. Концентрации металлов в пластах  $O_2$  и  $O_3$  Бобровского месторождения Бузулукской впадины. Ось ординат – логарифмический масштаб.  
Figure 4. Concentrations of metals in the  $O_2$  and  $O_3$  strata of the Bobrovsky deposit of the Buzulukskaya depression. Axis of ordinates – logarithmic scale.

Изучение геохимии металлов в литолого-стратиграфических разрезах месторождений позволяет выявить следующее. В Росташинском нефтегазоконденсатном месторождении самые высокие их содержания (Au, Pd, Pt, Ni, Cu, Ti) приурочены к пласту  $D_3$  (терригенные отложения) верхнего девона, а выше по разрезу (терригенные отложения нижнего карбона, пласт  $B_2$ ) они, как правило, снижаются. Содержание никеля практически не меняется от пласта  $D_5$  (карбонатные отложения) к пласту  $B_2$ , хотя неясно выраженный максимум приходится на пласт  $B_2$ . На Покровском месторождении максимальная концентрация металлов приходится на пласт  $A_4$  (карбонатные породы среднего карбона) в сравнении с пластами  $A_3$  и  $B_2$  нижнего и среднего карбона (терригенные отложения). Для нефти пласта  $A_4$  характерно и более высокое содержание никеля.

Для нефти Тананыкского месторождения пласта  $B_2$  характерны повышенные содержания практически всех металлов: никеля, хрома, ванадия, титана, молибдена, меди, циркония и благородных металлов – платины и золота.

Таким образом, накопление указанных металлов на изученных месторождениях происходило в верхнем девоне и нижнем и среднем карбоне.

Сходный характер распределения тяжелых металлов и их близкие содержания и физико-химические свойства нефти в пластах  $O_2$  и  $O_3$  [13] (карбонатные отложения нижнего карбона) Бобровского месторождения могут свидетельствовать о сходных условиях их формирования (рис. 4).

При анализе содержаний металлов в коллекторах девонских и карбоновых осадочных формаций выявляется корреляция концентраций тяжелых металлов по пластам  $D_4$  (терригенные отложения) Сахаровского и Росташинского месторождений (рис. 5), по пластам  $B_2$  (терригенные отложения) Тананыкского и Покровского месторождений (рис. 6). Пласт  $B_2$  Росташинского месторождения коррелирует практически по всем металлам с пластами  $B_2$  Покровского и Тананыкского месторождений.

Следует отметить, что при сжижании нефти и нефтепродуктов происходит концентрирование содержащихся в исходном сырье тяжелых металлов. Зольность нефти составляет от сотых процента, таким образом, зола содержит на порядок и более количества металлов по сравнению с исходным сырьем. При этом получение металлов из нефти и нефтепродуктов не требует вскрытия залежей, взрывных работ, вывоза руды из карьеров, дробления, обогащения руды и других технологических процессов. Поэтому в настоящее время представляется экономически целесообразным поиск технологий получения металлов из нефти и нефтепродуктов.

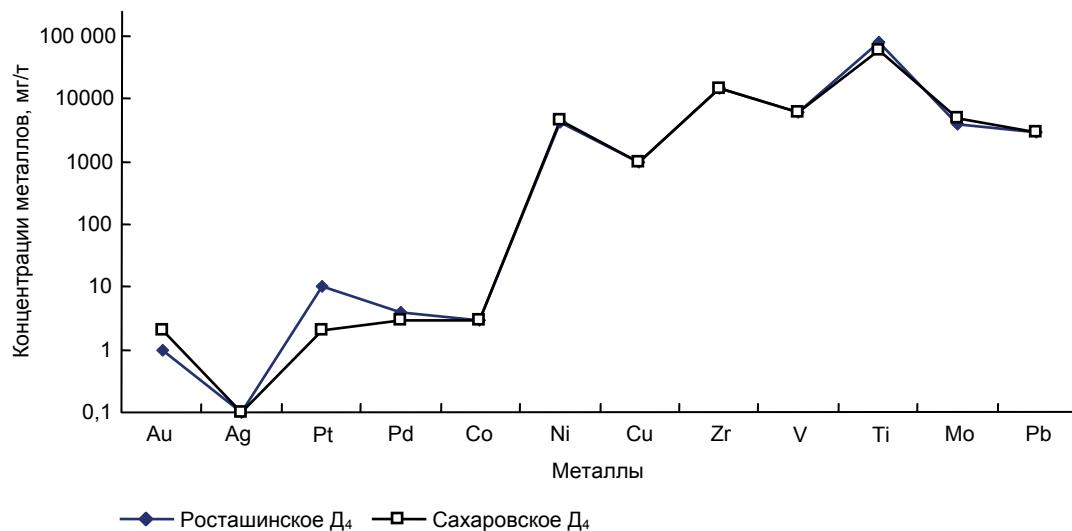


Рисунок 5. Концентрации металлов в пластах  $D_4$  Сахаровского и Росташинского месторождений Бузулукской впадины. Ось ординат – логарифмический масштаб.

Figure 5. Concentrations of metals in the  $D_4$  strata of the Sakharovskoe and Rostashinskoye deposits of the Buzulukskaya depression. Axis of ordinates – logarithmic scale.

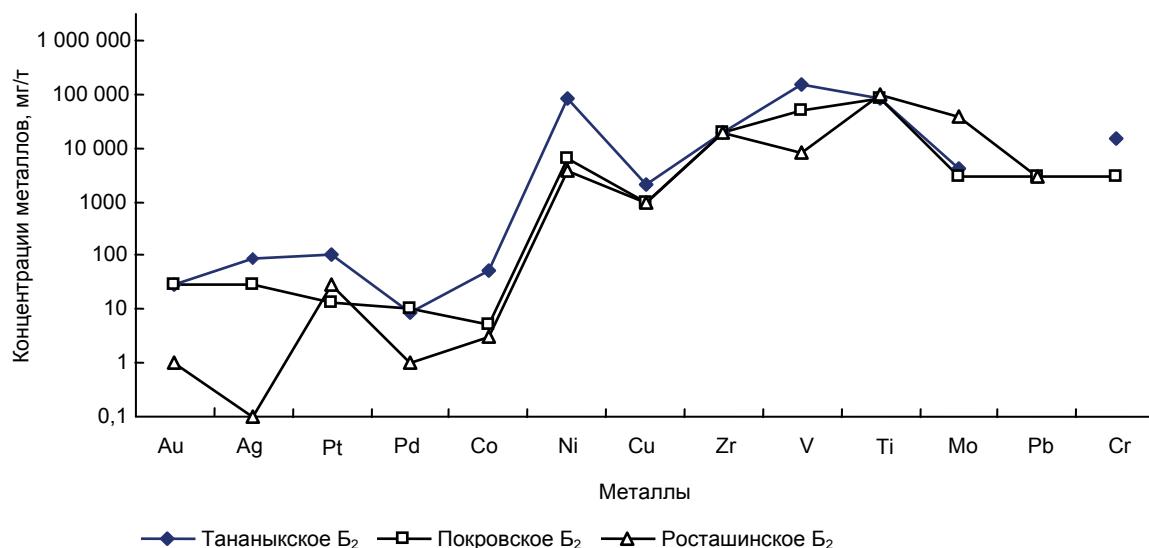


Рисунок 6. Концентрации металлов в пластах  $B_2$  Тананыкского, Росташинского и Покровского месторождений Бузулукской впадины. Ось ординат – логарифмический масштаб.

Figure 6. Metal concentrations in the  $B_2$  formations of the Tananykskoe, Rostashinskoe and Pokrovskoe deposits of the Buzulukskaya depression. Axis of ordinates – logarithmic scale.

Из шламов, получаемых при переработке высоковязких нефтей и битумоносных песков, извлекается около 70 % ванадия в мире. Некоторые страны (Канада, Япония) полностью получают ванадий из тяжелых нефтей. Поэтому повышенные концентрации металлов в оренбургских нефтяных месторождениях также представляют интерес как попутные компоненты. В нашей стране также ведутся работы по поиску технологий извлечения металлов из нефти и нефтепродуктов, но пока эффективных способов не найдено [14].

#### Заключение

В результате проведенных исследований получены дополнительные данные по содержанию ряда металлов (медь, свинец, хром, титан, молибден, цирконий, ванадий, никель, кобальт – биогенные, согласно [15], а также золота, серебра, палладия и платины) в нефтях месторождений Бузулукской впадины Оренбургской части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Анализ содержаний металлов в этих месторождениях позволяет сделать выводы о распределении изученных элементов:

- нефти оренбургских месторождений обогащены рядом металлов, таких как титан, ванадий, цирконий.
- наиболее высокие содержания металлов приходятся на Тананыкское, Покровское, Пронькинское и Бобровское нефтегазовые месторождения;
- разновозрастные уровни отличаются характером накопления и распределения изученных металлов; сравнительно высокие концентрации в нефти металлов обнаружены в отложениях нижнего и среднего карбона.

Полученные результаты позволяют рассматривать нефть и нефтепродукты платформенного Оренбуржья как ценное органоминеральное сырье.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарева Г. А., Панкратьев П. В., Хальзов А. А. Микроэлементный состав нефти Оренбургских месторождений // Вестник ОГУ. 2012. № 1. С. 125–131.
2. Пономарева Г. А. Металлогеническая специализация нефтегазовых месторождений Оренбургской части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции и возможность извлечения металлов из углеводородного сырья // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: сб. статей всерос. науч.-метод. конф. Оренбург: ООО ИПК, 2018. С. 1081–1084.
3. Punanova S. A. Supergene transformed naphthides: peculiarities of trace-elements composition // Geochemistry International. 2014. Т. 52, № 1. Р. 64–75. <https://doi.org/10.1134/S0016702913110086>
4. Punanova S. A., Vinogradova T. L. Geochemical features of mature hydrocarbon systems and indicators of their recognition // Geochemistry International. 2016. Т. 54, № 9. Р. 852–859. <https://doi.org/10.1134/S0016702916080103>
5. Маракушев А. А., Панеях Н. А., Русинов В. Л., Зотов И. А. Парагенезисы рудных металлов углеводородной специфики // Изв. вузов. Геология и разведка. 2007. № 6. С. 33–40.
6. Лазаренков В. Г., Таловина И. В. Геохимия металлов платиновой группы. СПб.: Галарт, 2001. 266 с.
7. Иванов К. С. О возможной максимальной глубине нахождения месторождений нефти // Изв. УГГУ. 2018. Вып. 4(52). С. 41–49. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-4-41-49>
8. Sverjensky D. A., Stagno V., Fang Huang. Important role for organic carbon in subduction-zone fluids in the deep carbon cycle // Nature Geoscience. 2014. Vol. 7. P. 909–913. <https://doi.org/10.1038/ngeo2291>
9. Rodkin M. V., Rundkvist V. B., Punanova S. A. The relative role of lower and upper crustal processes in the formation of trace elements compositions of oil // Geochemistry International. 2016. Т. 54, № 11. Р. 989–995. <https://doi.org/10.1134/S0016702916090068>
10. Шпирт М. Я., Пунанова С. А. Нефти и сланцы как источник промышленного получения потенциально ценных элементов // Нефтяное хозяйство. 2017. № 4. С. 58–62. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-4-58-62>
11. Баранов В. К., Галимов А. Г., Денцкевич И. А. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность Оренбургской области. Оренбург: Оренбург. кн. изд-во, 1997. 272 с.
12. Punanova S. Geochemical Peculiarities of the Distribution of Trace Elements in Caustobioliths // Geophysical Research Abstracts: EGU General Assembly. Goettingen, 2016. Vol. 18. Р. 6.
13. Шарапова И. И., Коломенская Е. А., Коломенская А. В. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации / под ред. В. Г. Рубан. Вып. 60. Нефть. Т. V. Уральский регион. Комитет РФ по геологии и использованию недр. Российский федеральный геологический фонд. М., 1996. С. 3–34, 412–600.
14. Нуранбаева Б. М., Ахмеджанов Т. К., Исмагилова Л. Т. Способ и технологические схемы извлечения ванадия и других металлов из нефти и нефтепродуктов при их подготовке // Современные научно-исследовательские технологии. 2013. № 4. С. 49–52.
15. Bowen H. J. M. Trace Elements in Biochemistry. London: Academic Press, 1966. 241 p.

Статья поступила в редакцию 12 февраля 2019 г.

# Metals in oil of the deposits of the Orenburg region

Galina Alekseevna PONOMAREVA\*

Orenburg State University, Orenburg, Russia

This paper is devoted to the study of the content of metals in oil of the Orenburg fields.

**The relevance** of continuous research on the metallogeny of petroleum conducted in the laboratory of physical research methods at the Orenburg State University is connected both with theoretical aspects (problems of element migration, the genesis of metals and the oil itself) and practical aspects (geological and geochemical issues of estimating oil and gas potential of territories, industrial raw material aspect and environmental issues).

**The purpose** of this work is to identify the concentrations of a number of metals, including noble ones, the patterns of their distribution and prospects for subsequent extraction in order to comprehensively use organic raw materials and to reduce the negative environmental impact on the territory of oil and gas regions. The object of study is the concentration of metals in oil.

**The subject** is the patterns of distribution of metals and the prospects for their extraction.

**The tasks of the work** are to determine the content of metals in oil samples, to identify associations of metals and their distribution in lithologic and stratigraphic levels. Samples of hydrocarbons were selected by a reservoir tester in terrigenous and carbonate reservoirs of the Buzulukskaya depression (Yuzhno-Buzuluksky and Mukhano-Erokhovsky oil, gas, and geological regions), which contain the largest oil fields in the region. The determination of noble metals, cobalt, and nickel was carried out by atomic absorption spectrometry (using the author's patented method of determining noble metals in carbonaceous rocks); the other metals were determined by spectral emission analysis.

**Results.** Additional data were obtained on the elevated concentrations of a number of metals – titanium, vanadium, and zirconium, which makes it possible to consider oil and oil products as organic minerals when developing technologies for their extraction. It was revealed that the increased accumulation of these metals in the oil of these deposits is typical for the deposits of the Upper Devonian and the Lower and Middle Carboniferous. The way of the distribution of metals, their close contents and the physical and chemical profile of oil in reservoirs of various fields may indicate similar conditions of their formation and the possibility of reservoir correlation with the mineral assemblage.

**Keywords:** metals, oil, patterns of distribution, environmental consequences, extraction.

## REFERENCES

1. Ponomareva G. A., Pankratiev P. V., Halzov A. A. 2012, The mineral assemblage of oil from the Orenburg fields. *Vestnik OGU* [Vestnik of the Orenburg State University], no. 1, pp. 125–131. (In Russ.)
2. Ponomareva G. A. 2018, *Metallogenicheskaya spetsializatsiya neftegazovykh mestorozhdeniy Orenburgskoy chasti Volgo-Ural'skoy neftegazonosnoy provintsii i vozmozhnost' izvlecheniya metallov iz uglevodordnogo syr'ya* [Metallogenic specialization of oil and gas fields of the Orenburg part of the Volga-Ural oil and gas province and the ability to extract metals from hydrocarbons]. University complex as a regional center of education, science, and culture: collection of papers of all-Russian science conference. Orenburg, pp. 1081–1084.
3. Punanova S. A. 2014, Supergene transformed naphthides: peculiarities of trace-elements composition. *Geochemistry International*, vol. 52, no. 1, pp. 64–75. <https://doi.org/10.1134/S0016702913110086>
4. Punanova S. A., Vinogradova T. L. 2016, Geochemical features of mature hydrocarbon systems and indicators of their recognition. *Geochemistry International*, vol. 54, no. 9, pp. 852–859. <https://doi.org/10.1134/S0016702916080103>
5. Marakushev A. A., Paneyah N. A., Rusinov V. L., Zotov I. A. 2007, Paragenesis ores of hydrocarbon specificity. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Geologiya i Razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], no. 6, pp. 33–40. (In Russ.)
6. Lazarenkov V. G., Talovina I. V. 2001, *Geokhimiya metallov platinovoy gruppy* [Geochemistry of platinum group metals]. Saint-Petersburg, 266 p.
7. Ivanov K. S. 2018, About the possible maximum depth of oil deposits. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (52), pp. 41–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-4-41-49>
8. Sverjensky D. A., Stagno V., Fang Huang. 2014, Important role for organic carbon in subduction-zone fluids in the deep carbon cycle. *Nature Geoscience*, vol. 7, pp. 909–913. <https://doi.org/10.1038/ngeo2291>
9. Rodkin M. V., Rundkvist V. B., Punanova S. A. 2016, The relative role of lower and upper crustal processes in the formation of trace elements compositions of oil. *Geochemistry International*, vol. 54, no. 11. P. 989–995. <https://doi.org/10.1134/S0016702916090068>
10. Shpir M. Ya., Punanova S. A. 2017, Oil and schists as a source of industrial production of potentially valuable elements. *Neftyanoye khozyaystvo* [Oil industry], no. 4, pp. 58–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2017-4-58-62>
11. Baranov V. K., Galimov A. G., Dontskevich I. A. et al. 1997, *Geologicheskoye stroyeniye i neftegazonost' Orenburgskoy oblasti* [Geological structure and oil and gas potential of the Orenburg region]. Orenburg, 272 p.
12. Punanova S. 2016, Geochemical Peculiarities of the Distribution of Trace Elements in Caustoboliths. *Geophysical Research Abstracts: EGU General Assembly*. Goettingen, vol. 18, p. 6.
13. Sharapova I. I., Kolomenskaya E. A., Kolomenskaya A. V. 1996, *Gosudarstvennyy balans zapasov poleznykh iskopayemykh Rossiyiskoy Federatsii* [State Register of Mineral Reserves of the Russian Federation]. Ed. by V. G. Ruban, issue 60. Oil, vol. V. Ural region. RF Committee on Geology and Subsoil Use. Russian Federal Geological Fund. Moscow, pp. 3–34, 412–600.
14. Nuranaeva B. M., Akhmedzhanov T. K., Ismagilova L. 2013, Method and technological schemes for the extraction of vanadium and other metals from petroleum and petroleum products during their preparation. *Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii* [Modern high technologies], no. 4, pp. 49–52. (In Russ.)
15. Bowen H. J. M. 1966, *Trace Elements in Biochemistry*. London: Academic Press, 241 p.

The article was received on February 12, 2019

\*✉ galy.ponomareva@mail.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-1167-5594>

# Прогнозирование петрофизических свойств целевого интервала отложений месторождения Газанбулак по атрибутному анализу сейсмических данных 3D в комплексе с ГИС

Тофик Рашид оглы АХМЕДОВ<sup>1,\*</sup>,  
Малейка Агали кызы АГАЕВА<sup>1,\*\*</sup>,  
Севиндж Рахим кызы МАМЕДОВА<sup>2,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Азербайджан, Баку

<sup>2</sup>Управление геологии и геофизики SOCAR, Азербайджан, Баку

**Актуальность работы.** Статья посвящена актуальным вопросам выделения перспективных интервалов, благоприятных по петрофизическим свойствам для скоплений углеводородов, с использованием данных сейсморазведки 3D.

**Целью** настоящих исследований является установление эффективных атрибутов сейсмического волнового поля для определения петрофизических свойств майкопских отложений, имеющих целью восстановление добычи нефти и газа на площади Газанбулак.

**Предметами исследований** являются керновые материалы, данные геофизических исследований скважин и сейсмические атрибуты, а также зависимости, построенные между керновыми данными и математическими преобразованиями данных ПС. Кривые ПС трансформированы в значения пористости отложений целевого интервала и для площади исследований получено регрессионное уравнение, устанавливающее связь между коэффициентом пористости и  $a_{pc}$ .

**Объектом исследований** является месторождение Газанбулак. В статье приведена краткая геолого-геофизическая характеристика, стратиграфическое и литологическое описание пород, слагающих разрез данного месторождения. Несмотря на то, что данное месторождение неоднократно изучалось различными геолого-геофизическими методами, многие особенности его строения остаются не до конца выясненными, и 2014 г. здесь была проведена сейсморазведка 3D.

**Результаты исследований.** Приведены основные результаты исследований по изучению петрофизических свойств газанбулакского горизонта II майкопской свиты с использованием данных сейсморазведки 3D и ГИС. Составлены кубы и карты коллекторов и пористости, по которым выясняено, что в целевом интервале процентное содержание песков высоко и достигает 62 %, средние значения кажущегося удельного сопротивления изменяются в пределах 3,0–8,4 Ом · м. Показано, что рассчитанные значения  $a_{pc}$  по площади увеличиваются в южной и восточной частях площади Зияхан, а прогнозные данные пористости наблюдаются в центральной части площади Зияхан, в северной и центральной частях площади Газанбулак. Рассчитанные для интервала исследований значения коэффициента пористости составляют примерно 10–22 %. Приведены результаты прогноза пористости по сейсмическому амплитудному атрибуту RMS Amplitude. Сравнение построенных разными способами карт (ГИС и анализ амплитуд RMS) показывает, что данные, полученные разными способами вычислений, сходны и достаточно хорошо совпадают и могут быть применены при определении места заложения очередной эксплуатационной скважины.

**Вывод.** Сейсмический амплитудный атрибут RMS Amplitude может с успехом применяться для определения петрофизических свойств отдельных комплексов отложений месторождений, имеющих подобные сейсмогеологические условия.

**Ключевые слова:** верхний мел, палеоцен, эоцен, майкопская свита, петрофизические исследования, кажущееся сопротивление (КС), потенциал скважины (ПС), кубы и карты пористости отложений, сейсмические атрибуты.

## Введение

В результате проведенных ранее геолого-геофизических исследований выявленное в горизонте III фораминиферовых слоев (эоцен) месторождение Газанбулак отнесено к залежам нефти и газа в ловушках эрозионных выступов и стратиграфических экранов (рис. 1) [1, 2].

Месторождение расположено к востоку от г. Гянджа и к северо-западу от курорта Нафталан, на плато, осложненном небольшими холмами и балками. В 1945–1947 гг. здесь осуществлялась промышленная разведка, в результате которой были выявлены залежи нефти в двух песчаных горизонтах нижнего майкопа (I и II газанбулакские горизонты). После передачи площади в разработку была установлена промышленная нефтепосыпость одной песчаной пачки в разрезе фораминиферовых слоев (III газанбулакский горизонт). Проведенные геолого-поисковые работы выявили, что в сводном геологическом разрезе площади принимают участие еще меловые и палеогеновые отложения [1, 3]. Они представлены пелитоморфными трещиноватыми известняками с маломощными прослоями глин и мергелей, известняками, мергелями, известковистыми песчаниками, мергелями и глинами, крупнозернистыми песками и песчаниками. Апшеронский ярус и антропоген сложены континентальными породами.

В 1993–1994 гг. на СВ крыле Газанбулакской складки были пробурены две поисково-разведочные скважины – 201 и 202, но промышленные притоки нефти не получены. В 1994 г. на северо-восточной, равнинной части площади проведены сейсморазведочные работы МОГТ, в результате которых картированы отложения верхнего мела–палеогена.

В структурном отношении площадь Газанбулак представляет собой асимметричную антиклинальную складку северо-западного профиля с пологим (до 10°) северо-восточным и относительно крутым (15°–16°) юго-западным крыльями. По слоям нижнего майкопа складка состоит из двух небольших поднятий: Шадылинского и Газанбулакского. По данным структурно-картировочных скважин, Газанбулакская складка осложнена четырьмя поперечными разрывами, приведшими к образованию отдельных тектонических полей.

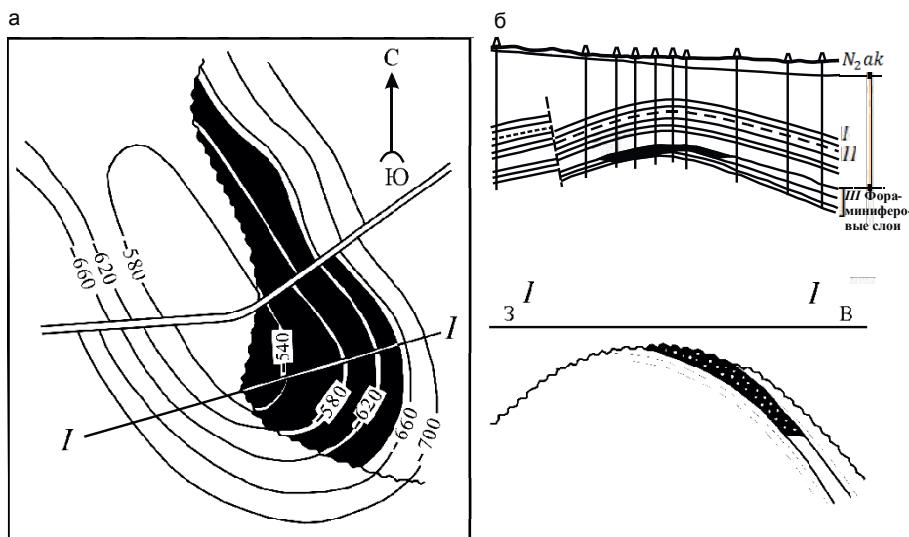
На Газанбулакском месторождении основными объектами для поисков так же, как и на других площадях Среднеуральской нефтегазоносной области, служат верхнемеловые карбонатные породы и песчано-алевритовые породы палеогена. Всего на площади Газанбулак в мезокайнозое выявлены 7 промышленно-нефтеносных объектов.

\*✉ akhmedov.tofik@bk.ru

\*\* <https://orcid.org/0000-0003-0634-5600>

\*\*\*m.a.agayeva@mail.ru

\*\*\*\*sevamamedova@yahoo.com



**Рисунок 1. Месторождение Газанбулак.** а – структурная карта по кровле нижнего эоценена (нижние фораминиферовые слои); б – геологический профиль.

**Figure 1. The Gazanbulak field.** a – structural map of the roof of the lower Eocene (lower foraminifera layers); b – geological profile.

Несмотря на неоднократное изучение и достаточно длительную эксплуатацию месторождения Газанбулак, многие особенности его строения до сих пор остаются не до конца выясненными, поэтому в 2014 г. по заказу ПО «Азнефть» сейсмической экспедицией Управления разведочной геофизики (УРГ) были выполнены трехмерные (3D) сейсмические работы на площади Газанбулак–Зиядхан с целью изучения геологического строения верхнемеловых–палеогеновых отложений [3, 4].

#### Методология исследований

Исходными для петрофизических исследований послужили данные трехмерных сейсмических наблюдений (т. е. сейсморазведки 3D) и данные ГИС пробуренных здесь многочисленных скважин [5, 6]. Добыча в этом месторождении коммерческой нефти из газанбулакских горизонтов I и II майкопской свиты, а также отбор кернов пород из целевых интервалов послужили базой проведения петрофизических исследований с использованием метода «керн-ГИС». Для обеспечения достаточно высокой точности результатов вычислений материалы, полученные из скважин, находящихся в контуре площади исследований, обработаны, анализированы отдельно, в пробуренных на площади скважинах проведены измерения кажущегося удельного сопротивления (КС) и потенциала скважины (ПС).

Основная цель данных исследований заключалась в определении петрофизических свойств газанбулакского горизонта II майкопской свиты и в изучении распределения их по площади с использованием данных ГИС и сейсморазведки 3D [7, 8].

Петрофизическими исследованиями охвачен интервал между сейсмическими горизонтами ГБ-II<sub>a</sub> и ГБ-II<sub>b</sub> газанбулакского горизонта II майкопской свиты, прослеженными сейсморазведкой 3D. К исследованиям привлечены регрессионные зависимости, построенные между керновыми данными и математическими преобразованиями данных ПС [8], полученных в пробуренных на площади скважинах (рис. 2). Мощность изучаемого интервала на юго-западе составляет 30 м, а на северо-востоке 230 м [3].

Петрофизические исследования здесь проведены на основе математических преобразований данных КС и ПС (расчетной кривой  $\alpha_{\text{ПС}}$ ) и данных кернов пород. Исследования проведены в следующей последовательности [9]:

– кривые ПС трансформированы в значения пористости (рис. 3); с этой целью кривые ПС нормированы с использованием выражения  $\alpha_{\text{ПС}} = (\text{ПС}_{\max} - \text{ПС}) / (\text{ПС}_{\max} - \text{ПС}_{\min})$  и на основе кросссплита, связывающего  $\alpha_{\text{ПС}}$  с керновыми данными, для площади исследований получено следующее регрессионное уравнение [6, 10]:

$$K_{\text{пор}} = 13,429 \alpha_{\text{ПС}} + 9,0845.$$

Следует отметить, что с целью обеспечения достаточно высокой точности выполненных расчетов при построении графика зависимости из керновых данных отобраны только коэффициенты пористости для изучаемого интервала;

– рассчитаны кривые песчано-глинистости на основе кривых  $\alpha_{\text{ПС}}$ ; при расчетах в кривых  $\alpha_{\text{ПС}}$  интервал с численными значениями, превышающими 0,5, принят за интервал коллекторов, а меньше 0,5 – неколлекторов [5, 8].

#### Результаты исследований

По результатам петрофизических исследований составлены кубы и карты пористости коллекторов (рис. 4, 5). При построении моделей и для определения пространственного положения использованы стохастические алгоритмы (метод интерполяции при моделировании кубов литологии и пористости). Значения литологического куба показывают (рис. 4), что в этом интервале процентное содержание песков высоко и достигает 62 %.

Ареал распространения песчаных масс для этого интервала характеризуется незначительными численными изменениями и повторяет форму залегания находящейся здесь структуры.

Средние значения КС по изучаемому интервалу варьируют в пределах 3,0–8,4 Ом · м (рис. 5). Анализ измеренных значений кажущихся удельных сопротивлений в скважинах показывает, что исследуемый интервал представлен чере-

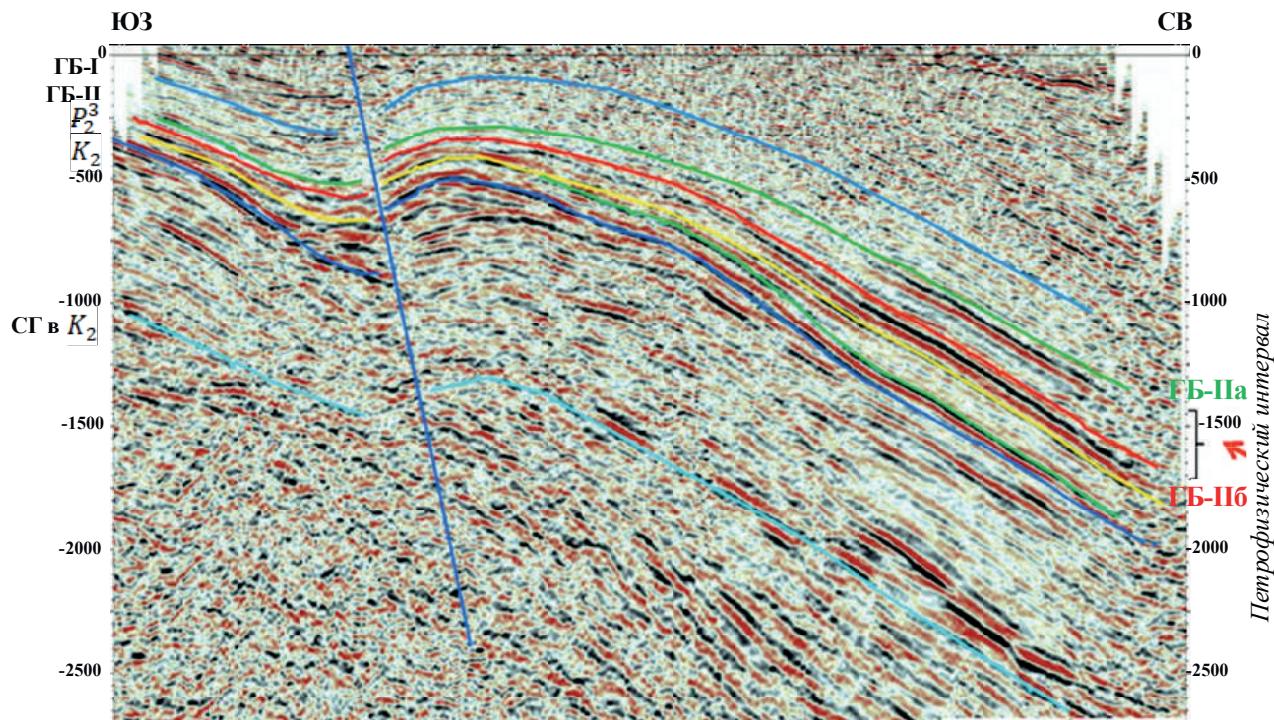


Рисунок 2. Вертикальный срез куба 3D площади Газанбулак со стратиграфическим интервалом петрофизических исследований.  
Figure 2. Vertical section of the cube of 3D Gazanbulak area with a stratigraphic interval of petrophysical studies.

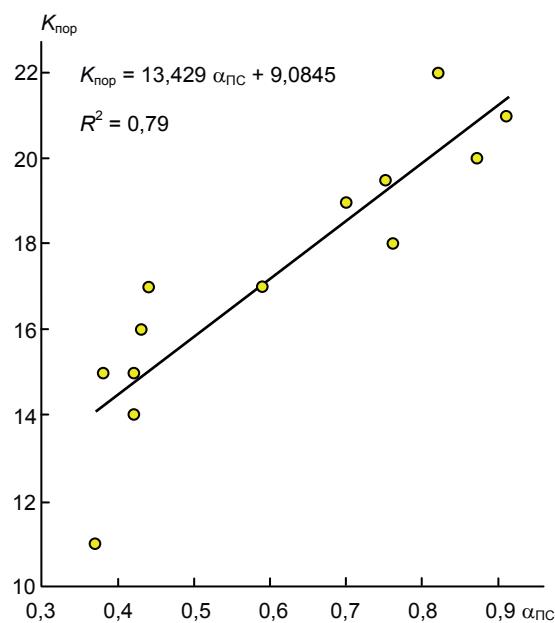


Рисунок 3. Линейная зависимость между коэффициентами пористости по керну и рассчитанными значениями  $\alpha_{pc}$ .  
Figure 3. Linear function between the porosity coefficients for the core and the calculated values of  $\alpha_{pc}$ .

дованиеем песков и глин. Как видно из куба (рис. 5) кажущихся удельных сопротивлений в центральной части Газанбулакской площади, а также в центральной, южной и юго-западной частях Зияханской площади, КС представлено относительно высокими численными значениями.

Определенные прогнозные данные показывают, что относительно высокие значения пористости наблюдаются в центральной части площади Зияхан, в северной и центральной частях площади Газанбулак, а также в синклинали, разделяющей структуру Зияхан от Чайлинской антиклинали. На западе площади Газанбулак отмечается относительное уменьшение данного параметра (рис. 6). Полученные результаты наиболее наглядно и ясно демонстрирует карта, характеризующая средние значения пористости. Рассчитанные для интервала исследований значения коэффициента пористости составляют примерно 10–22 % (рис. 7).

Естественно, что скопления углеводородов тесно связаны также с условиями осадконакопления [6, 11]. Отметим, что в процессе накопления майкопского комплекса отложений происходило быстрое погружение бассейна и поэтому глинистость этих отложений увеличивается, что сказывается на их нефтегазонасыщенности, которая ухудшается с уве-

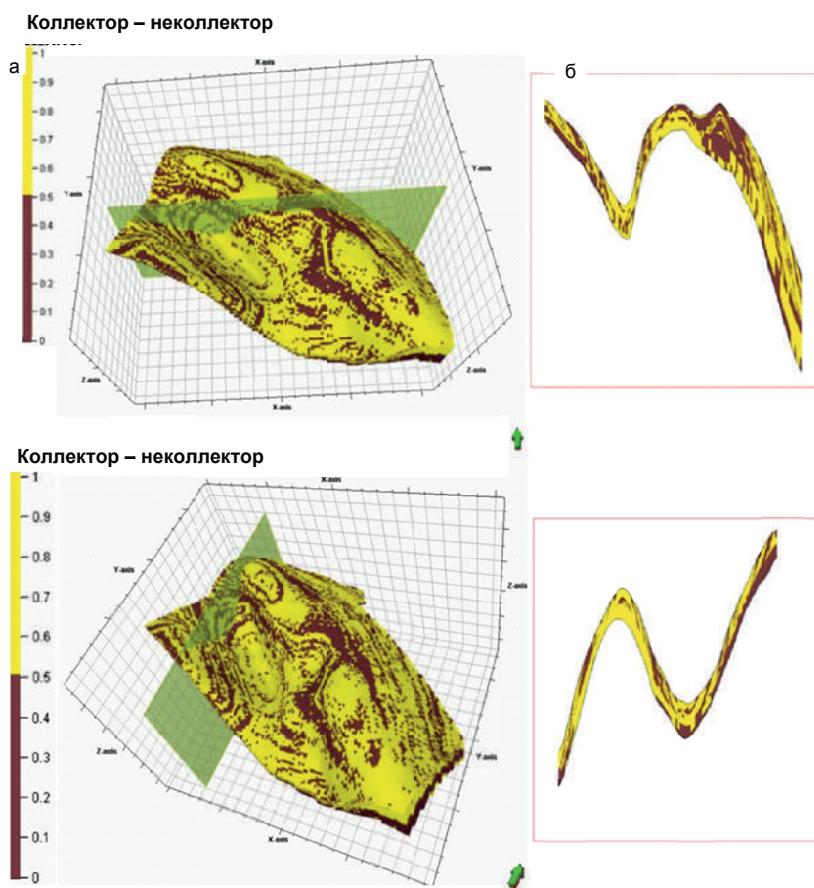


Рисунок 4. Куб коллекторских свойств площади – а и его продольный и поперечный разрезы – б.  
Figure 4. The cube of reservoir characteristics of the area – a and its longitudinal and transversal sections – b.

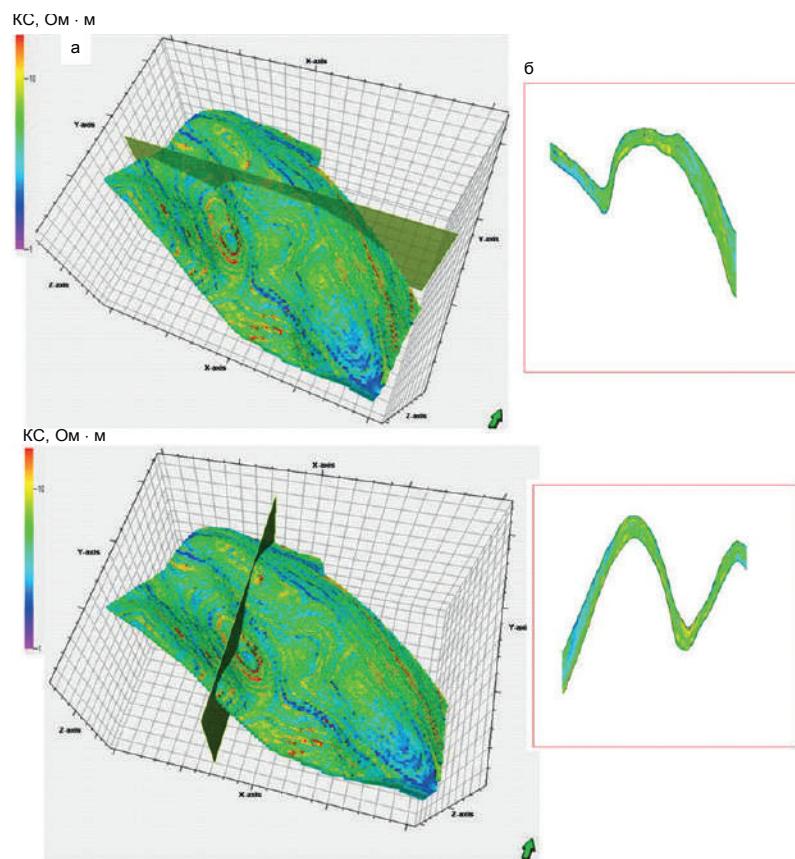
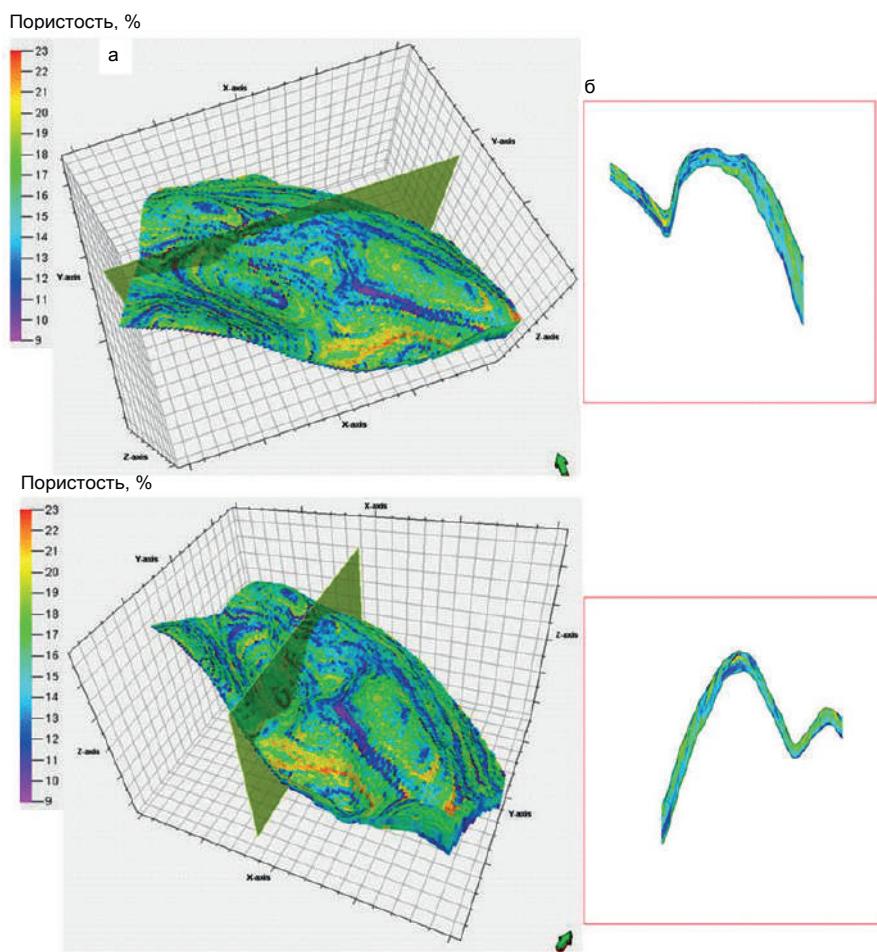


Рисунок 5. Куб прогнозных значений КС – а и его продольные и поперечные разрезы – б.  
Figure 5. Cube of predicted values of reservoir characteristics – a and its longitudinal and transversal sections – b.



**Рисунок 6. Куб пористости площади – а и его продольное и поперечное сечения – б.**  
**Figure 6. The cube of porosity of the area – a and its longitudinal and transversal section – b.**

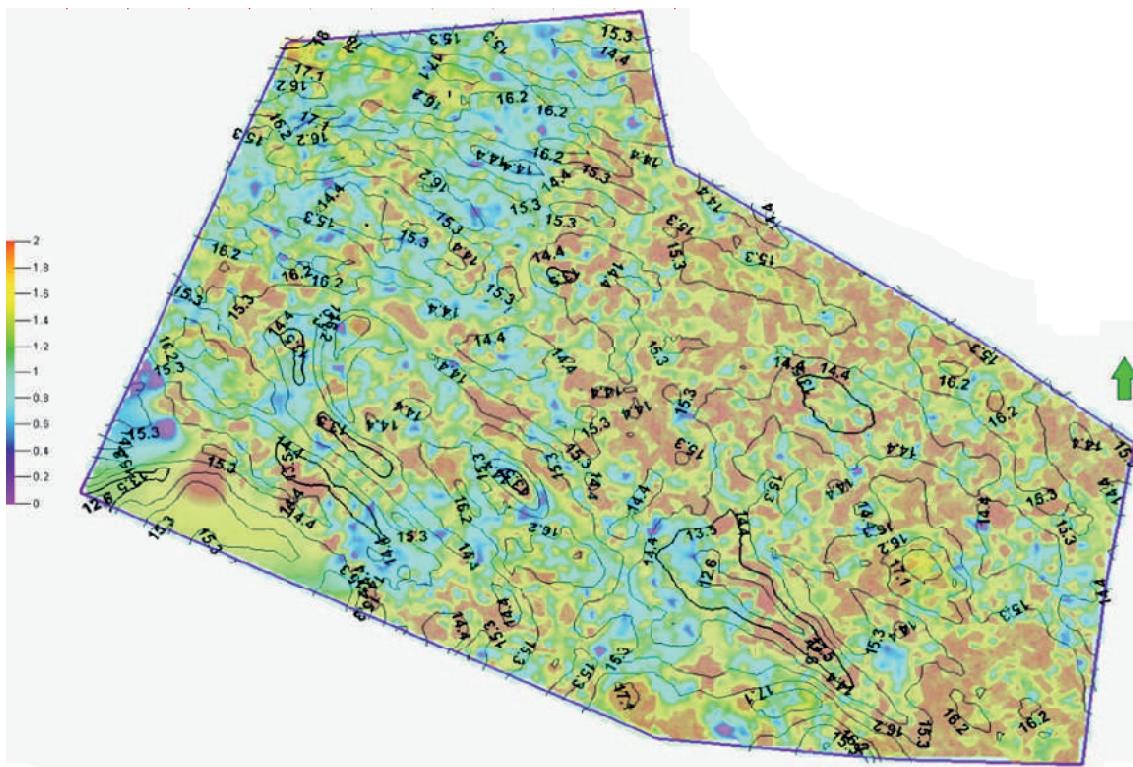
личением глинистости. Известно, что влияние скоплений углеводородов на сейсмическое волновое поле происходит на уровне морфологии, синтаксиса сейсмической записи [12–14], что невозможно обнаружить непосредственно визуально и идентифицировать при интерпретации сейсмических данных [1, 15]. В последние годы широкое применение получил атрибутный анализ с применением программного комплекса Петрел [12, 16, 17]. Исследования последних лет показали, что среди 46 поверхностных атрибутов самым чувствительным к изменениям петрофизических свойств геологической среды, в частности к вариациям отношения песок/глина, является один из амплитудных атрибутов RMS Amplitude, рассчитанный по данным поля отраженных волн. Этот атрибут можно напрямую использовать для поисков УВ и изолированных геологических тел, проявляющихся в волновом поле [18, 19]. Опыт применения атрибутного анализа показывает, что высокие значения амплитуд RMS соответствуют обогащенным песками фациям и, наоборот, к глинистым фациям приурочены слабые амплитуды RMS [17]. В сейсмическом кубе площади исследований в интервале, соответствующем целевым горизонтам, наряду с яркой аномалией наблюдаются интерференционные зоны и зоны слабых амплитуд. Атрибутный анализ проводился именно для выяснения природы этих аномалий. Сравнение построенных разными способами (ГИС и анализ амплитуд RMS) карт показывает, что данные, полученные разными вычислениями, сходны между собой и достаточно хорошо совпадают (рис. 7).

#### Выводы

По результатам проведенных исследований получены ценные сведения о прогнозных значениях по площади петрофизических свойств отложений, слагающих целевой интервал майкопской свиты по данным сейсморазведки 3D и ГИС.

1. Коллекторские свойства отложений исследуемого интервала II газанбулакского горизонта майкопа часто меняются по площади. По результатам исследований можно констатировать, что слабость нефтеотдачи пласта вызвана не только степенью нефтенасыщения коллектора, но и его петрофизическими свойствами и литологическим составом. Ареал распространения нефти в месторождении регулируется наряду со структурными особенностями площади еще и наличием в разрезе карбонатных отложений.

2. Известно, что глинисто-песчаные пропластки, состоящие из песков и конгломератов, обладают хорошими коллекторскими свойствами [11, 20]. По литофациальному составу отложения майкопской свиты здесь представлены пропластками чередующихся песков и глин (чередование пород, состоящих из песков, глин и алевролитов). В целом существование в разрезе таких пропластков свидетельствует о том, что в интервале исследований осадконакопление в майкопский период происходило в условиях мелководья. Накопление здесь горизонтов песков можно связывать с участием в этом процессе многочисленных палеорек. Известно, что в период накопления отложений майкопской свиты трансгрессия моря достигла своего максимума, что в свою очередь создало здесь восстановительные биохимические условия.



**Рисунок 7. Сопоставление карт amplitudes RMS и средних значений пористости.**  
**Figure 7. Comparison of maps of RMS amplitudes and average porosity.**

По кубу коллектор–неколлектор, полученному для площади Газанбулак в интервале исследования, песчанистость отложений достигает 62 %, тогда как глинистость составляет 38 %. Расчетные прогнозные значения пористости варьируют в пределах примерно 10–22 %.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики – Qrant № EIF-KETL-2-2015-1(25)-56/33/2.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ализаде А. А., Ахмедов Г. А., Ахмедов А. М. и др. Геология нефтяных и газовых месторождений Азербайджана. М.: Недра, 1966. 384 с.
2. Ахмедов Т. Р. О геологической эффективности сейсморазведки при изучении неантклинальных ловушек Азербайджана разного типа // Изв. УГГУ. 2016. Вып. 3 (43). С. 41–45.
3. Урупов А. К. Основы трехмерной сейсморазведки. М.: Нефть и газ РГУНГ, 2004. 584 с.
4. Balz O., Pivot F., Veeken P. Reservoir characterisation using neural networks controlled by petrophysical and seismic modelling // Extended Abstracts: 61<sup>th</sup> EAGE annual meeting. 1999. S015. Р. 1–4. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201407673>
5. Логинов Д. В., Лаврик С. А. Некоторые методы определения информативного набора сейсмических атрибутов для прогнозирования свойств коллекторов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5, № 1. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/3/3\\_2010.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/3_2010.pdf)
6. Рахманов Р.Р. Закономерности формирования и размещения залежей нефти и газа в мезокайнозойских отложениях Евлах-Агджабединского прогиба. Баку: Текнур, 2007. 191 с.
7. Ампилов Ю. П. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. М.: Геоинформмарк, 2008. 429 с.
8. Кирилов А. С., Закревский К. Е. Практикум по сейсмической интерпретации в PETREL. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014. 288 с.
9. Ахмедов Т. Р., Ахундулу А. А., Гиясов Н. Ш. Некоторые результаты наземной и скважинной сейсморазведки Говсанинского месторождения углеводородов // Каротажник. 2012. № 6 (216). С. 3–16.
10. Методические указания по комплексированию и этапности выполнения геофизических, гидродинамических и геохимических исследований нефтяных и нефтегазовых месторождений: РД 153-39.0-109-01: утв. Приказом Минэнерго России от 05.02.2002 г. Введ. 2002-03-01. № 30. М., 2002. 73 с.
11. Marroquin I. D., Brault J., Hart B. S. A visual data-mining methodology for seismic facies analysis: Part 1. Testing and comparison with other unsupervised clustering methods // Geophysics. 2009. Vol. 74, № 1. Р. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1190/1.3046455>
12. Ахмедов Т. Р. Динамический анализ данных сейсморазведки 3D площади Говсан с целью выделения перспективных участков на нефть и газ // Геоинформатика. 2017. № 4. С. 13–19.
13. Yusof M. A., Gbadamosi A., Junin R., Abbas A. Uncertainly analysis of hydrocarbon in place calculation using 3D seismic and well data during appraisal stage – Case study of Goldie Field, offshore Sarawak // Journal of natural gas science and engineering. 2018. Vol. 57. Р. 238–265. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2018.06.038>
14. Fozao K. F., Fotso L., Djieto-Lordon A., Mbeleg M. Hydrocarbon inventory of the eastern part of the Rio Del Rey Basin using seismic attributes // Journal of petroleum exploration and production technology. 2018. Vol. 8, issue 3. Р. 655–665.
15. Ампилов Ю. П. Сейсмическая интерпретация: опыт и проблемы. М.: Геоинформмарк, 2005. 286 с.
16. Латышова М. Г., Вендельштейн Б. Ю., Тузов В. П. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1990. 305 с.
17. Tyler M. N. Applications of 3D seismic attribute analysis workflows: a case study from NESS country KANSAS, USA. B.S APPL 3D SEISMIC ATTR. Manhattan: Kansas State University, 2013. Р. 1–30.
18. Chopra S., Marfurt K. J. Seismic attributes – a historical perspective // Geophysics. 2005 vol. 70, issue 5, pp. 3–28. <http://dx.doi.org/10.1190/1.2098670>
19. Hart B. S. Definition of subsurface stratigraphy, structure and rock properties from 3-D seismic data // Earth-science reviews. 1999. Vol. 47, issue 3-4. Р. 189–218. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00029-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00029-X)

20. Neff D. B., Runnestrand S. A., Butler E. L. Multi-attribute seismic waveform classification. USA, Phillips Petroleum Company, USA Patent 6223126, 2001.

Статья поступила в редакцию 25 октября 2018 г.

# Forecasting of the petrophysical rock properties of the target interval of sediments of the Gazanbulak field according to the 3D seismic attribute analysis in combination with GIS

Tofik Rashid oglı AKHMEDOV<sup>1,\*</sup>,  
 Maleika Agali kyzı AGAEVA<sup>1,\*\*</sup>,  
 Sevindzə Rakhim kyzı MAMEDOVA<sup>2,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup>Socar Geology and Geophysics department, Baku, Azerbaijan

**The relevance of the work.** This paper is devoted to **topical issues** of identifying promising intervals favorable for petrophysical properties for hydrocarbon accumulations using 3D seismic data.

**The purpose** of these studies is to establish the effective attributes of the seismic-wave motion to determine the petrophysical properties of Maikop sediments aimed at restoring oil and gas production in the Gazanbulak area.

**The subjects of research** are core materials, well geophysical survey data and seismic attributes, as well as relationships between core data and mathematical transformations of petrophysical properties data. The PP curves were transformed into the porosity values of the sediments of the target interval, and a regression equation was obtained for the research area, which establishes a relationship between the porosity coefficient and  $\Omega_{pp}$ .

**The object of research** is the Gazanbulak field. The paper gives a brief geological and geophysical characteristic, stratigraphic and lithological description of the rocks composing the section of this field. Despite the fact that this field has been repeatedly studied by various geological and geophysical methods, many features of its structure are not fully clarified; in 2014, 3D seismic surveys were carried out.

**Result of the studies.** The main results of studies on the petrophysical properties of the Gazanbulak horizon II of the Maikop suite using 3D seismic and GIS seismic data are presented. The cubes, reservoir maps, and porosity maps were constructed according to which it was found that the percentage of sands is high and reaches 62% in the target interval; the average values of apparent resistivity vary from 3.0–8.4 ohm m. It is shown that the calculated  $\Omega_{pp}$  values by area increase in the southern and eastern parts of the Ziyadkhan area, and the predicted porosity data are observed in the central part of the Ziyadkhan area, in the northern and central parts of the Gazanbulak area. The values of the porosity coefficient calculated for the research interval are approximately 10–22%. The results of the forecast of porosity using the seismic attribute RMS Amplitude are given. Comparison of maps constructed by different methods (GIS and RMS amplitude analysis) shows that the data obtained by different computation methods are similar and coincide quite well and can be used in determining the location of the next production well.

**Conclusion.** RMS Amplitude can be successfully used to determine the petrophysical properties of individual sediments of deposits with similar seismic and geological conditions.

**Keywords:** Upper Cretaceous, Paleocene, Eocene, Maikopskaya suite, petrophysical studies, apparent resistivity (AR), production potential of the well (PP), cubes and porosity maps, seismic attributes.

*This work was carried out with the financial support of the Foundation for the Development of Science under the President of the Republic of Azerbaijan – Qrant No. EIF-KETL-2-2015-1 (25) -56/33/2.*

## REFERENCES

1. Alizade A. A., Akhmedov G. A., Akhmedov A. M. et al. 1966, *Geologiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy Azerbaydzhana* [Geology of oil and gas fields in Azerbaijan]. Moscow, 384 p.
2. Akhmedov T. R. 2016, About the geological effectiveness of seismic prospecting in the study of different types of non-anticlinal traps in Azerbaijan. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 3 (43), pp. 41–45. (In Russ.)
3. Urupov A. K. 2004, *Osnovy trekhmernoy seismorazvedki* [The basics of three-dimensional seismic]. Moscow, 584 p.
4. Balz O., Pivot F., Veeken P. 1999, Reservoir characterisation using neural networks controlled by petrophysical and seismic modelling. Extended Abstracts: 61<sup>th</sup> EAGE annual meeting. S015, pp. 1–4. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201407673>
5. Loginov D. V., Lavrik S. A. 2010, Some methods for determining the informative set of seismic attributes for predicting reservoir properties. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika* [Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies], vol. 5, no. 1. [http://www.ngtp.ru/rub/3/3\\_2010.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/3_2010.pdf)
6. Rakhmanov R. R. 2007, *Zakonomernosti formirovaniya i razmeshcheniya zalezhey nefti i gaza v mezokaynozoyskikh otlozhennyakh Yevlakh-Agdzhabedinskogo progibka* [Patterns of formation and placement of oil and gas deposits in the Meso-Cenozoic sediments of the Yevlakh-Ajdabiedinskiy downfold]. Baku, 191 p.
7. Ampilov Yu. P. 2008, *Ot seismicheskoy interpretatsii k modelirovaniyu i otsenke mestorozhdeniy nefti i gaza* [From seismic interpretation to modeling and evaluation of oil and gas fields]. Moscow, 429 p.
8. Kirilov A. S., Zakrevsky K. E. 2014, *Praktikum po seismicheskoy interpretatsii v PETREL* [Practical course on seismic interpretation in PETREL]. Moscow, 288 p.
9. Akhmedov T. R., Akhundlu A. A., Giyasov N. Sh. 2012, Some results of surface and borehole seismic exploration of the Govsaninskoe hydrocarbon field. *Karotazhnik* [Well Logger], no. 6 (216), pp. 3–16. (In Russ.)
10. 2002, *Metodicheskiye ukazaniya po kompleksirovaniyu i etapnosti vypolneniya geofizicheskikh, gidrodinamicheskikh i geokhimicheskikh issledovanii neftyanykh i neftegazovykh mestorozhdeniy* [Guidelines for the integration and staging of the implementation of geophysical, hydrodynamic and geochemical studies of oil and gas fields]: RD 153-39.0-109-01: approved By the Minenergo of Russia order, 05.02.2002 Entered 2002-03-01, no. 30. Moscow, 73 p.
11. Marroquin I. D., Brault J., Hart B. S. 2009, A visual data-mining methodology for seismic facies analysis: Part 1. Testing and comparison with other unsupervised clustering methods. *Geophysics*, vol. 74, no. 1, pp. 1–11. <http://dx.doi.org/10.1190/1.3046455>
12. Akhmedov T. R. 2017, Dynamic analysis of seismic data of 3D Govsan area in order to identify promising areas for oil and gas. *Geoinformatika* [Geoinformatics], no. 4, pp. 13–19. (In Russ.)

\*✉ akhmedov.tofik@bk.ru

✉  <https://orcid.org/0000-0003-0634-5600>

\*\*[m.a.agayeva@mail.ru](mailto:m.a.agayeva@mail.ru)

\*\*\*[sevamamedova@yahoo.com](mailto:sevamamedova@yahoo.com)

13. Yusof M. A., Gbadamosi A., Junin R., Abbas A. 2018, Uncertainly analysis of hydrocarbon in place calculation using 3D seismic and well data during appraisal stage – Case study of Goldie Field, offshore Sarawak. *Journal of natural gas science and engineering*, vol. 57, pp. 238–265. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2018.06.038>
14. Fozao K. F., Foto L., Djieto-Lordon A., Mbeleg M. 2018, Hydrocarbon inventory of the eastern part of the Rio Del Rey Basin using seismic attributes. *Journal of petroleum exploration and production technology*, vol. 8, issue 3, pp. 655–665.
15. Ampilov Yu. P. 2005, *Seismicheskaya interpretatsiya: opyt i problemy* [Seismic interpretation: experience and problems]. Moscow, 286 p.
16. Latysheva M. G., Wendelstein B. Yu, Tuzov V. P. 1990, *Obrabotka i interpretatsiya materialov geofizicheskikh issledovanii skvazhin* [Processing and interpretation of well log data]. Moscow, 305 p.
17. Tyler M. N. 2013, Applications of 3D seismic attribute analysis workflows: a case study from NESS country KANSAS, USA, B.S APPL 3D SEISMIC ATTR. Manhattan, pp. 1–30.
18. Chopra S., Marfurt K. J. 2005, Seismic attributes – a historical perspective. *Geophysics*, vol. 70, issue 5, pp. 3–28. <http://dx.doi.org/10.1190/1.2098670>
19. Hart B. S. 1999, Definition of subsurface stratigraphy, structure and rock properties from 3-D seismic data. *Earth-science reviews*, vol. 47, issue 3-4, pp. 189–218. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00029-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00029-X)
20. Neff D. B., Runnestrand S. A., Butler E. L. 2001, Multi-attribute seismic waveform classification. USA, Phillips Petroleum Company, USA Patent 6223126.

The article was received on October 25, 2018

# Применение 1D–2D-инверсий электромагнитных зондирований при изучении грунтовых плотин

Вадим Анатольевич ДАВЫДОВ\*,  
Ольга Ивановна ФЕДОРОВА\*\*,  
Сергей Владимирович БАЙДИКОВ\*\*

Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН, Россия, Екатеринбург

**Актуальность** работы обусловлена возрастающим интересом к использованию геофизических технологий для неразрушающего контроля гидroteхнических сооружений.

**Основная цель работ** заключалась в определении возможностей бесконтактных методов электромагнитных зондирований, при обследовании грунтовых плотин. Зондирования проводились индукционными установками с вертикальными магнитными диполями и частично с помощью электрических установок с емкостными стекающимися линиями. В качестве сравнительного арбитражного метода использовались вертикальные электрические зондирования. К задачам исследований относились выделение основных структурных элементов плотин и идентификация аномальных зон по характеру геоэлектрических разрезов, полученных различными методами электромагнитных зондирований. Количественная обработка электроразведочных данных осуществлялась в форме одно- и двухмерных (1D–2D) инверсий с применением программного обеспечения разных производителей. При тестиировании алгоритмов решения обратных задач был определен наиболее оптимальный по быстродействию и качеству интерпретации метод двухмерной инверсии, реализованной в программе RES2DINV. С помощью данного программного обеспечения впервые выполнена обработка дистанционных индукционных зондирований с получением электротомографических разрезов грунтовых плотин. В статье приведен сравнительный анализ 1D- и 2D- инверсий электромагнитных зондирований, полученных на трех грунтовых плотинах Свердловской области. Сравнение результатов электрических и индукционных зондирований показало хорошую сопоставимость электрофизических свойств, хотя в ряде случаев наблюдается отличие величин удельных электрических сопротивлений (УЭС) на постоянном и переменном токе из-за разного характера проводимости изучаемых объектов. Обработка результатов с применением 1D–2D-инверсий позволяет определять по УЭС форму и структуру аномальных зон, участки повышенной водонасыщенности и возможные места утечек. Проведенные исследования подтверждают высокую эффективность электромагнитных методов при обследовании гидротехнических сооружений.

**Методология** проведения работы: использовались электромагнитные методы дистанционных зондирований индукционными установками с вертикальными магнитными диполями и с помощью электрических установок с емкостными стекающимися линиями. В качестве сравнительного арбитражного метода использовались вертикальные электрические зондирования. Количественная обработка электроразведочных данных осуществлялась в форме одно- и двухмерных (1D–2D) инверсий с применением программного обеспечения разных производителей.

**Результаты.** Научно-исследовательские работы, проведенные на трех грунтовых плотинах Свердловской области, показали, что все полученные на постоянном и переменном токе геоэлектрические разрезы схожи по морфологии. Достаточно четко выделяются основные элементы плотин: насыпная часть, основание, водослив, а также инженерные конструкции (колодцы и т. д.). Одномерные (1D) и двухмерные (2D) геоэлектрические разрезы, построенные с помощью разных методов зондирований, оказались похожими друг на друга, но со своими характерными особенностями. В ряде случаев наблюдается отличие величин удельных электрических сопротивлений на постоянном и переменном токе из-за разного характера проводимости изучаемых объектов, однако общие черты структурного строения плотины уверенно видны на всех разрезах. При тестиировании алгоритмов решения обратных задач был определен наиболее оптимальный по быстродействию и качеству интерпретации метод двухмерной инверсии. С его помощью впервые выполнена обработка дистанционных индукционных зондирований с получением электротомографических разрезов грунтовых плотин.

**Выводы.** Отмечается хорошая сопоставимость геоэлектрических разрезов для всех методов электромагнитных зондирований. Обработка результатов с применением 1D- и 2D- инверсий позволяет определять строение плотин по удельному электрическому сопротивлению, в том числе форму и структуру аномальных зон, участки повышенной водонасыщенности и возможные места утечек. Проведенные исследования подтверждают высокую эффективность геофизических методов при обследовании гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** грунтовая плотина, электрические зондирования, дистанционные индукционные зондирования, инверсия, удельное электрическое сопротивление, геоэлектрический разрез, геотомография.

## B ведение

Геофизические технологии довольно успешно используются для изучения состояния грунтовых плотин. Предпочтение отдается геоэлектрическим методикам, позволяющим по электрофизическим характеристикам грунта обнаруживать обводненные участки и места повышенной фильтрации воды [1]. Применяются как кондуктивные методы зондирований, так и индуктивные. К наиболее используемым контактным методам относятся вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ). По гребню плотины часто обустраивают дороги, отсыпаные щебенкой или заасфальтированные. В связи с этим возникают трудности с заземлением электродов при гальваническом возбуждении тока. В этом случае целесообразно применение альтернативных методов, таких как бесконтактные электрические зондирования (БЭЗ) с емкостными линиями [2] и дистанционные индукционные зондирования (ДИЗ) [3].

Результаты зондирований, как правило, представляются в виде разрезов кажущихся сопротивлений  $r_k$  для всех видов методик. Оценка электросопротивления грунтового материала на некоторой эффективной глубине дает качественное представление об изменении состояния полотна плотины, в первую очередь от повышения влажности грунта. Это позволяет определять местоположение аномальных участков в насыпи и локализовать потенциально опасные участки плотины, в том числе зоны сосредоточенной фильтрации [4]. Однако характер грунта и степень его увлажнения по кажущемуся сопротивлению оценить трудно. Необходимо получить количественные показатели выявленных аномалий:

\*✉ davyde@yandex.ru

\*\*  <https://orcid.org/0000-0003-2483-2154>

\*\*\*  [fougeo@mail.ru](mailto:fougeo@mail.ru)

\*\*\*\*  [badikek@mail.ru](mailto:badikek@mail.ru)

\*\*\*\*  <https://orcid.org/0000-0003-2881-9854>

удельное электрическое сопротивление (УЭС) грунта и линейные размеры (вертикальную, горизонтальную мощности) аномальной области в рамках эквивалентности решения обратной задачи для восстановления геоэлектрического разреза. Качественная интерпретация проводится чаще всего по программам одномерной (1D) инверсии, однако с распространением томографических технологий появилась возможность двухмерной (2D) обработки полевых зондирований, в том числе бесконтактных методов электроразведки.

Основная цель работ заключалась в определении возможностей бесконтактных методов электромагнитных зондирований при обследованиях грунтовых плотин. В первую очередь рассматриваются результаты количественной обработки дистанционных индукционных зондирований в плане достоверности получаемых геоэлектрических разрезов. К задачам исследований относилось выделение основных структурных элементов плотин и аномальных зон кондуктивными и индуктивными методами зондирований. В статье приведены сравнительные результаты 1D- и 2D-инверсии основных типов геометрических электромагнитных зондирований, полученных на различных грунтовых плотинах Свердловской области.

### Методы исследований

Электрометрические исследования плотин проводились комплексными зондированиями на постоянном и переменном токе с использованием электрических и магнитных полей. Работы методом вертикальных электрических зондирований выполняли комплектом аппаратуры ЭРА-МАКС (НПП «ЭРА», г. Санкт-Петербург) симметричной установкой Шлюмберже по стандартной методике. Длина приемной линии  $MN$  равнялась 2 м, питающие электроды разносились на расстояние  $AB/2$  до 100 м. Измерения проводились на частоте 4,88 Гц при стабилизированном токе в питающей линии от 10 до 50 мА. На каждом разносе рассчитывалось кажущееся удельное электрическое сопротивление по стандартной формуле. Результаты заносились в журнал и отстраивались на биолографическом бланке. Погрешность полевых измерений составила около 3 %.

Бесконтактные электрические зондирования проводились комплектом аппаратуры «Электротест ЕИС-Змк» (НТК «ДИОГЕН», г. Москва) на частоте 16,5 кГц. Использована дипольно-осевая установка с емкостными электрическими антеннами длиной 10 м. В излучающем диполе поддерживался стабилизированный ток 3 мА, что позволило добиться максимального разноса между центрами установок в 50 м. Все показания прибора вместе со служебной информацией запоминались в энергонезависимой памяти приемного блока в виде файла данных. Кажущееся сопротивление рассчитывалось по формуле, аналогичной ВЭЗ, со своими геометрическими коэффициентами, которые определялись в соответствии с [5].

Для дистанционных индукционных зондирований использовалась высокочастотная аппаратура МЧЗ-8, разработанная в Институте геофизики УрО РАН [6]. Генераторная и приемная части аппаратуры работают под управлением микропроцессоров и связаны по радиоканалу, поэтому многие операции производятся в автоматическом режиме. Генератор имеет 8 рабочих частот (от 1,25 до 160 кГц), возбуждающее электромагнитное поле генерируется с помощью вертикального магнитного диполя. Наблюдения обычно велись на 2–3 частотах, измерялась амплитуда двух ортогональных составляющих переменного магнитного поля – вертикальная  $H_z$  и горизонтальная  $H_r$ . Точки зондирования располагались по профилю через 10–20 м, при этом приемник оставался на месте, а генератор последовательно относился на расстояние  $r$  от 5 до 80 м по линии профиля с переменным шагом. Кажущееся сопротивление рассчитывалось по рекомендуемой формуле с учетом волнового параметра поля [7]. Все данные полевых измерений вместе со служебной информацией записывались во внутреннюю флэш-память приемника.

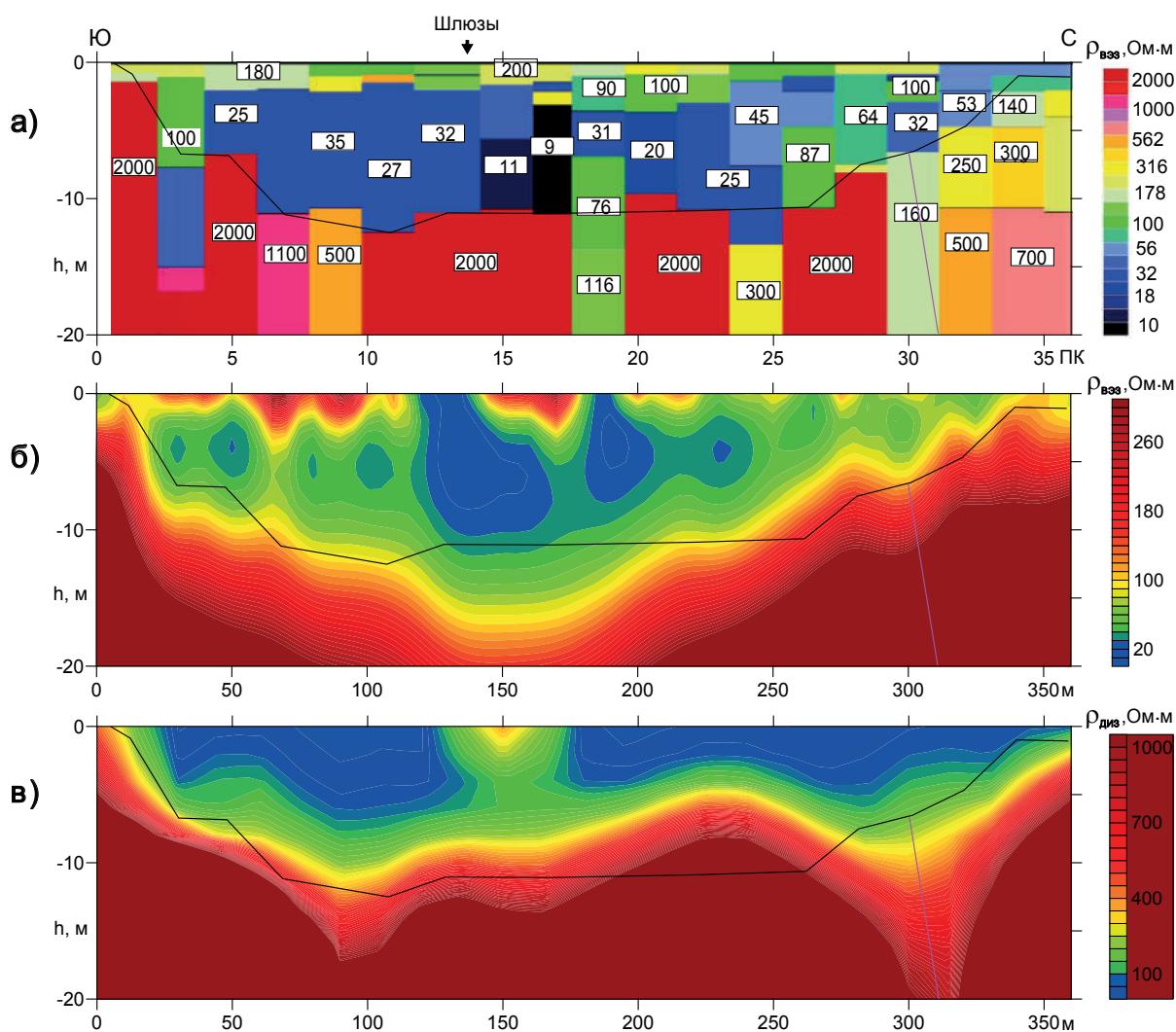
Одномерную количественную интерпретацию ВЭЗ проводили с помощью программы IPI2Win, разработанной в Московском государственном университете [8]. Для двухмерной инверсии применяли программу Каминского ZondRes2D [9] и распространенное программное обеспечение для геомагнитной инверсии RES2DINV (Geotomo Software, Малайзия) [10]. Для оптимизации процесса обработки проведено тестирование функциональных возможностей используемых программ на предмет быстроты расчетов и достоверности результатов. Основной задачей программ инверсии является восстановление параметров геоэлектрического разреза по полученным данным полевых наблюдений. Существует несколько вариантов решения обратной задачи, важнейшими из которых являются слаживающая и фокусирующая инверсия – для получения гладкого и кусочно-гладкого распределения геоэлектрических параметров с глубиной. Наиболее подходящим по быстродействию и качеству интерпретации был признан метод наименьших квадратов с квази-Ньютоновской оптимизацией [11], на котором базируется программа RES2DINV. Перспективы дальнейшего развития геомагнитной инверсии в бесконтактных методах электрометрии также связаны с этим популярным программным обеспечением [12–15]. На основе имеющихся алгоритмов был реализован способ преобразования полученных данных в формат программы RES2DINV, а также разработана и опробована методика двухмерной интерпретации дистанционных индукционных зондирований. Это позволило впервые провести 2D-инверсию ДИЗ на грунтовых плотинах с получением количественных геомагнитных разрезов.

### Результаты работ

Научно-исследовательские работы выполнялись на трех грунтовых плотинах Свердловской области, расположенных на реках Сысерть, Ельчевка и Арамилка.

Плотина Верхнесысертского пруда была возведена в 1849 г. Общая длина дамбы составляет около 350 м, ширина по гребню более 15 м, высота достигает 10 м в центральной части. Ядро плотины состоит из утрамбованной глины, основанием служат скальные грунты метаморфических пород палеозойского возраста. По гребню плотины выполнены вертикальные электрические и дипольные индукционные зондирования. Результаты ВЭЗ обработаны программами 1D–2D инверсии, ДИЗ – 2D-инверсии. Геоэлектрические разрезы по данным зондирований имеют схожую структуру (рис. 1).

По результатам одномерной инверсии ВЭЗ среднее удельное электрическое сопротивление глинистого материала составляет 25–30 Ом·м. Двухмерная инверсия ВЭЗ и ДИЗ показывает более высокие значения: 30–50 Ом·м и 60–100 Ом·м соответственно. Эти

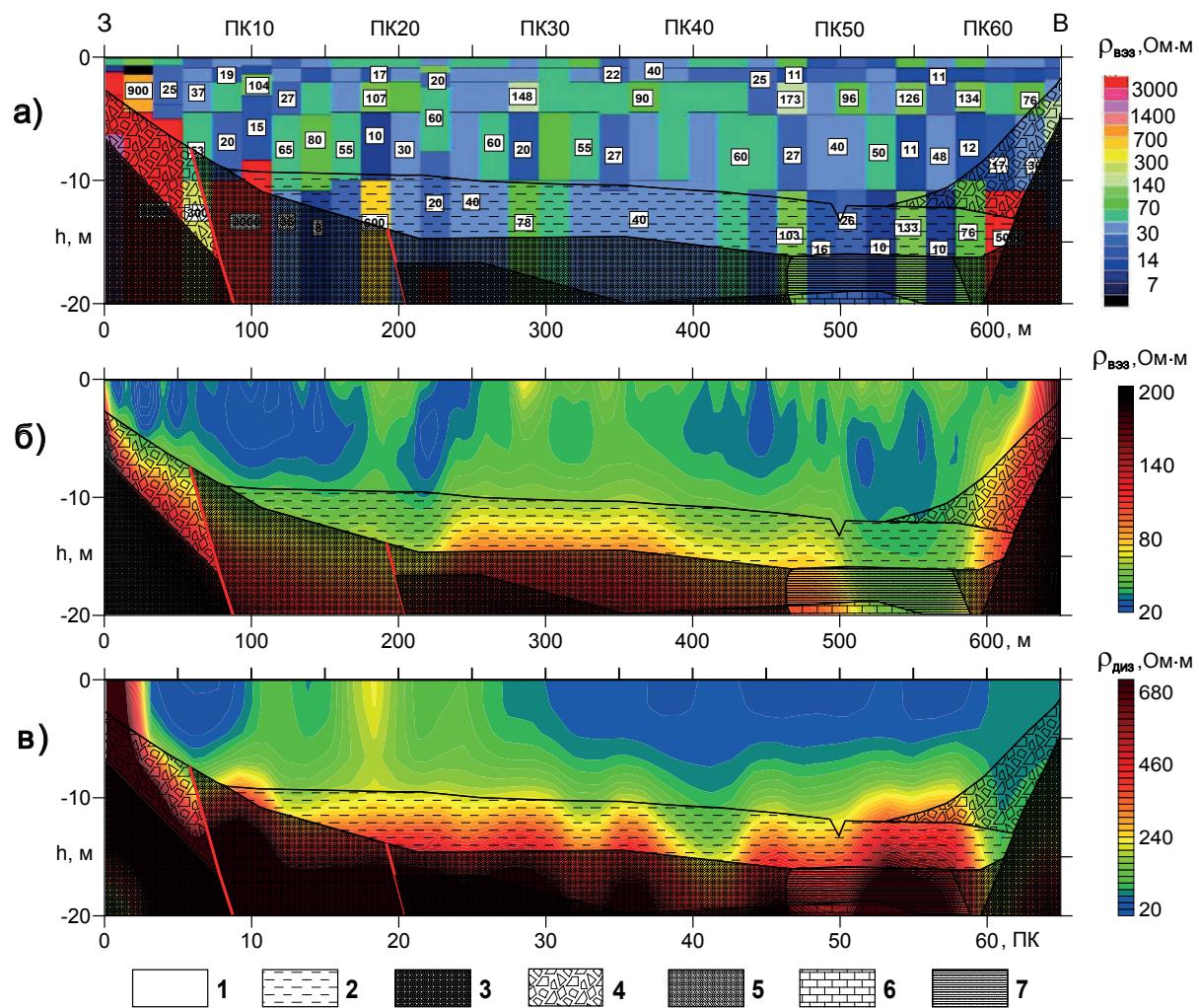


**Рисунок 1. Геоэлектрические разрезы Верхнесысерской плотины.** а – одномерный (1D) разрез ВЭС (цифрами на разрезе отмечены значения УЭС в указанном месте); б – двухмерный (2D) разрез ВЭС; в – 2D-разрез ДИЗ на частоте 2,5 кГц. Черной линией показана граница основания плотины по данным одномерной интерпретации ВЭС. Красной линией выделен предполагаемый контакт пород разного состава.

**Figure 1. Geoelectric sections of the Verkhnesyertskskaya dam.** a) one-dimensional (1D) VES section (numbers on the section indicate the specific electrical resistance values at the specified location); b) two-dimensional (2D) VES section; c) 2D-section of DIZ at a frequency of 2.5 kHz. The black line shows the dam base boundary according to one-dimensional interpretation of VES. The red line indicates the intended contact of rocks of different composition.

показатели являются нормальными и указывают на хорошее состояние плотины, за исключением аномальных областей ( $\rho = 9-11 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ), в которых происходит повышенная фильтрация воды из водохранилища. Выделяются две основные аномальные области в районе шлюзов (ПК12–16) и на пикетах 18–20, которые имеют пониженные сопротивления по сравнению с грунтами остальной части плотины. Электросопротивление среды, вычисленное по данным ДИЗ, имеет более высокие значения в силу индуктивной природы возбуждения электромагнитного поля в среде. Насыпные грунты верхней части плотины характеризуются широким разбросом УЭС от 50 до 340  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ . Основание плотины, сложенное кристаллическими сланцами, отличается высокими значениями сопротивлений ( $\rho = 300-2000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ). В районе ПК30 предположительно находится контакт пород разного состава, заметно выделяющийся на геоэлектрических разрезах пониженными сопротивлениями (рис. 1, а, в). Следует отметить, что детализация 1D-инверсии ВЭЗ более высокая, чем на полученных 2D-разрезах. Это, по-видимому, связано с избыточным слаживанием в алгоритмах двумерной инверсии. Однако в целом полученные геоэлектрические разрезы довольно хорошо сопоставимы между собой и соответствуют реальной физико-геологической обстановке.

Аналогичные работы были проведены на Ельчевской плотине. Ельчевский пруд является отстойником-накопителем донных отложений, образующихся в результате нейтрализации кислых вод, изливающихся из затопленных шахт Дегтярского рудника. Плотина на реке Ельчевке введена в эксплуатацию в 1954 г. и реконструирована в 1979 г. Она сложена преимущественно суглинком с примесью щебня и имеет протяженность около 700 м. Максимальная

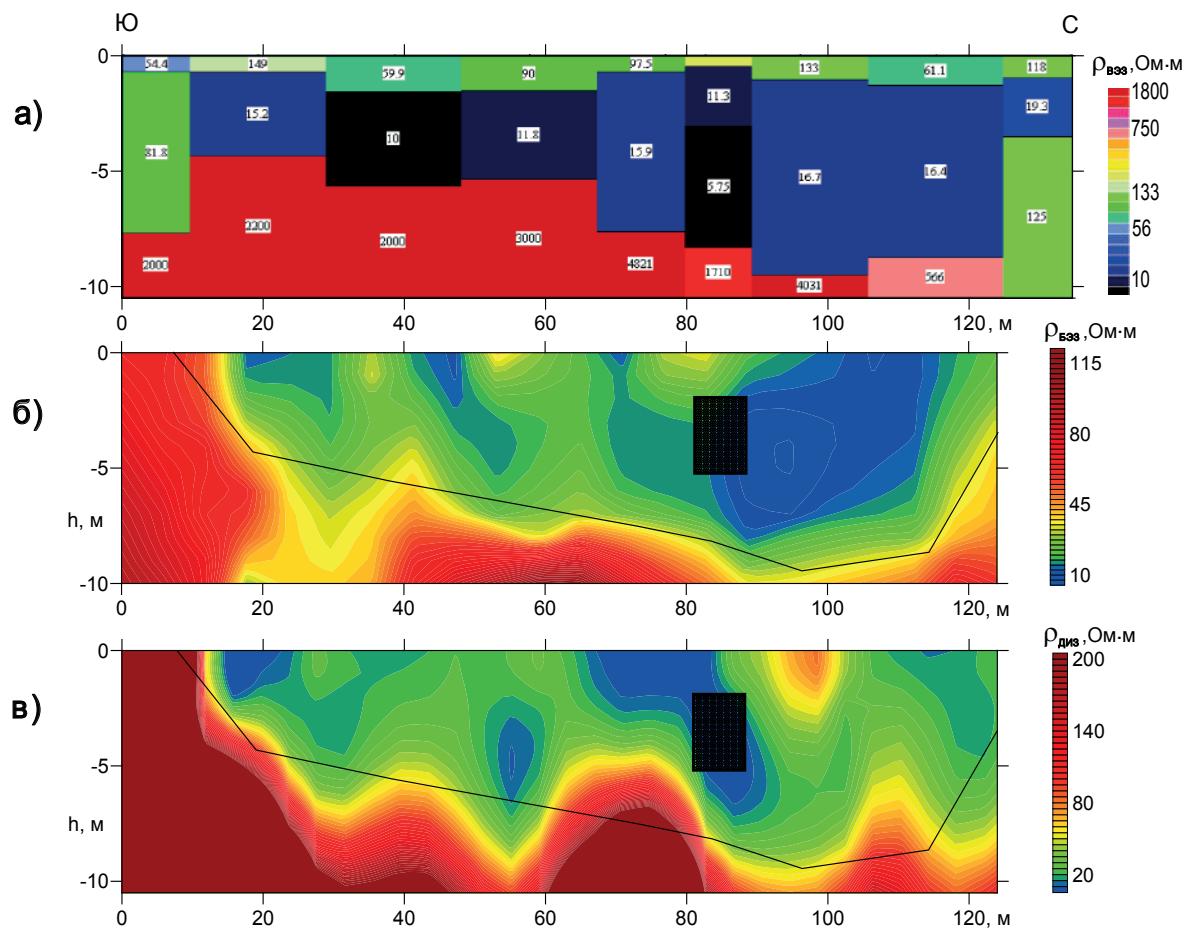


**Рисунок 2. Геоэлектрические разрезы Ельчевской плотины на геологической основе.** а – 1D-разрез ВЭЗ (цифрами отмечены значения УЭС); б – 2D-разрез ВЭЗ; в – 2D-разрез ДИЗ на частоте 10 кГц; 1 – тело плотины; 2 – аллювиальные отложения; 3 – базальты; 4 – делювиальные суглиники с щебнем; 5 – элювиальные супеси; 6 – известняки; 7 – глины.

**Figure 2. Geoelectric sections of the Elchevsk dam on a geological basis.** a – 1D – VES section (figures indicate the values of resistivity); b – 2D – VES section; c – DIZ 2D-section at a frequency of 10 kHz. 1 – dam body; 2 – alluvial deposits; 3 – basalts; 4 – deluvial loam with rubble; 5 – eluvial sandy loam; 6 – limestone; 7 – clay.

высота насыпи составляет 13 м. Геологический разрез в районе плотины представлен тремя типами коренных пород субвертикального залегания: базальтами, туфами и известняками. Широко развита трещиноватость скальных пород, а контакты туфов с базальтами осложнены тектоническими нарушениями. Осадочные образования состоят из элювиальных и делювиальных отложений коры выветривания коренных пород, торфа и аллювия долины р. Ельчевки. Ельчевская плотина на протяжении нескольких лет служила хорошим полигоном для детальных исследований различными геофизическими методами [16]. При комплексной обработке электромагнитных зондирований (ВЭЗ, ДИЗ) в рамках двухмерной модели (2D-инверсия) приближенная начальная модель была выбрана исходя из известной геологической информации.

Все полученные геоэлектрические разрезы схожи по морфологии (рис. 2). Достаточно четко выделяется основание плотины, осадочные и коренные породы. Это особенно заметно при наложении на геоэлектрический разрез контура геологической ситуации с нанесенными основными границами разделов. Геоэлектрические аномалии на разрезе ВЭЗ выделяются более локальными областями, нежели на разрезе ДИЗ. Средние значения УЭС насыпного грунта при двухмерной инверсии составляют 40–60 Ом · м по ВЭЗ и 60–120 Ом · м по ДИЗ. На геоэлектрическом 1D-разрезе ВЭЗ (рис. 2, а) полотно плотины представляется более детально, но менее контрастно. Верхний 1,5–2-метровый слой соответствует зоне аэрации, далее выделяется слой средних сопротивлений (80–150 Ом · м) до глубины 5 м (уровень воды в водоеме). Мощность слоя водонасыщенных грунтов плотины составляет 5–6 м, средние значения УЭС: 40–60 Ом · м. Значения электрических сопротивлений в аномальных зонах снижаются до 10–15 Ом · м. Граница на глубине приблизительно в 9–11 м отвечает подошве насыпных грунтов. Сравнивая 1D- и 2D-разрезы, можно заметить, что основные аномальные проводящие области (западная и восточная) в теле плотины совпадают, но отличаются по детальности и по значениям удельных сопротивлений, указывая на области реально существующих утечек. Нижняя часть разреза (по 2D-инверсии) более достоверно и наглядно отражает геологические и структурные особенности среды.



**Рисунок 3. Геоэлектрические разрезы плотины на р. Арамилке. а – разрез ВЭЗ (1D-инверсия); б – 2D-разрез БЭЗ на частоте 16,5 кГц; в – 2D-разрез ДИЗ на частоте 20 кГц. Черной линией показана граница основания плотины по данным одномерной интерпретации ВЭЗ. Заштрихованным прямоугольником выделен водослив плотины.**

**Figure 3. Geoelectric sections of the dam on the Aramilka river. a – VES section(1D inversion); b – 2D – BEZ section at a frequency of 16.5 kHz; c – DIZ 2D-section at a frequency of 20 kHz. The black line shows the dam base boundary according to one-dimensional interpretation of VES. The shaded rectangle highlights the dam spillway.**

Следующий объект исследований – маловысотная грунтовая плотина на реке Арамилке. Длина плотины небольшого сельского пруда чуть больше 120 м, высота в среднем 5–7 м. В основании залегают серпентинизированные породы ультраосновного состава. Кроме методов ВЭЗ и ДИЗ, ее обследовали с помощью бесконтактных электрических зондирований (БЭЗ). Причем рабочая частота индукционных зондирований (20 кГц) была выбрана максимально близко к рабочей частоте электрических зондирований (16,5 кГц). Это было сделано для проверки подобия получаемых величин УЭС при возбуждении и приеме переменного электрического поля (БЭЗ) к соответствующим результатам наблюдений в переменных магнитных полях (ДИЗ). В идеальном случае геоэлектрические разрезы БЭЗ и ДИЗ должны совпадать, на практике они оказались похожими друг на друга, но со своими особенностями и различием в значениях электрических сопротивлений (рис. 3).

Основное отличие заключается в более высоком уровне УЭС при индукционных зондированиях. Небольшая разница в рабочих частотах станций не дает такого эффекта. Возможной причиной может служить разница в условиях приема полезного сигнала, на который оказывают влияние анизотропные свойства среды в продольном и поперечном направлении плотины. На всех геоэлектрических разрезах низкими значениями сопротивлений довольно хорошо выделяется водослив плотины. Некоторое отклонение аномалии БЭЗ от центра водослива можно объяснить смещением точки записи за счет близкого влияния металлических конструкций шлюзов. Удельное электрическое сопротивление материала плотины составляет, по данным ВЭЗ, 15–20 Ом · м; по данным БЭЗ и ДИЗ, 20–30 Ом · м. Это указывает на глинистый состав насыпного материала и его высокую влагонасыщенность. Значения электросопротивлений залегающих в основании серпентинитов сильно отличаются при измерениях разными методами. По данным ВЭЗ, коренные породы имеют очень высокие УЭС (до 4000 Ом · м), однако, по результатам БЭЗ и ДИЗ, сопротивления не превышают 200–300 Ом · м. Это объясняется акцессорной вкрапленностью магнетита в серпентинитах, не образующего проводящих цепочек на постоянном токе (ВЭЗ), но являющегося слабым проводником в переменном электромагнитном поле. Несмотря на существующие отличия, общие черты структурного строения плотины видны на всех геоэлектрических разрезах.

#### Выводы

Сравнение результатов различных электромагнитных зондирований показало хорошую сопоставимость 1D–2D-геоэлектрических разрезов. В то же время в ряде случаев наблюдается отличие величин УЭС из-за разного характера проводимости изучаемых объектов на постоянном и переменном токе. Обработка результатов с применением 1D- и

2D-инверсий позволяет определять строение плотин по удельному электрическому сопротивлению, в том числе форму и структуру аномальных зон, участки повышенной водонасыщенности и возможные места утечек. Проведенные исследования подтверждают высокую эффективность геофизических методов при обследовании гидротехнических сооружений.

*Авторы выражают признательность своим коллегам из Института геофизики УрО РАН В. Ю. Горшкову и А. В. Маликову за участие в совместных полевых работах.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Улитин Р. В., Гаврилова И. Э., Петухова Ю. Б., Федорова О. И., Харус Р. Л. Геоэлектрика при решении геоэкологических и инженерно-геологических задач // Теория и практика геоэлектрических исследований: сб. науч. трудов. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. Вып. 2. С. 84–98.
2. Kuras O., Beamish D., Meldrum Ph. I., Ogilvy R. D. Fundamentals of the capacitive resistivity technique // Geophysics. 2006. Vol. 71(3). G135–G152. <https://doi.org/10.1190/1.2194892>
3. Титлинов В. С., Журавлева Р. Б. Технология дистанционных индуктивных зондирований. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1995. 58 с.
4. Davydov V. A., Baidikov S. V., Gorshkov V. Y., Malikov A. V. Geophysics Methods in Electrometric Assessment of Dams // Power Technology and Engineering. 2016. Vol. 50, issue 2. P. 168–175. <https://doi.org/10.1007/s10749-016-0678-7>
5. Lee S. K., Cho S. J., Song Y., Chung S. H. Capacitively-coupled Resistivity Method-Applicability and Limitation // Geophysics and Geophysical Exploration. 2002. Vol. 5 (1). P. 23–32.
6. Байдиков С. В., Человечков А. И. Аппаратура для высокочастотных индукционных зондирований МЧЗ-8 // Уральский геофизический вестник. 2011. № 1. С. 4–8.
7. Вешев А. В., Ивочкин В. Г., Игнатьев Г. Ф. Электромагнитное профилирование. Л.: Недра, 1971. 216 с.
8. Бобачев А. А., Модин И. Н., Шевнин В. А. Программа IPI2Win: руководство пользователя. М.: МГУ, 2003. 25 с.
9. Каминский А. Е. Программа двумерной интерпретации данных метода сопротивлений и вызванной поляризации (наземный, скважинный и акваторный варианты) / ZondRes2D. СПб.: Zond Software, 2014. 139 с.
10. Loke M. H. RES2DINV. Rapid 2D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Penang, Malaysia: Geotomo Software. Manual. 2017. 137 p.
11. Loke M. H., Barker R. D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method // Geophysical Prospecting. 1996. Vol. 44. P. 131–152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142.x>
12. Neukirch M., Klitzsch N. Inverting capacitive resistivity (line electrode) measurements with direct current inversion programs // Vadose Zone Journal. 2010. Vol. 9 (4). P. 882–892. <https://doi.org/10.2136/vzj2009.0164>
13. Oldenborger G. A., LeBlanc A. M. Capacitive resistivity inversion using effective dipole lengths for line antennas // Journal of Applied Geophysics. 2013. Vol. 98. P. 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.09.003>
14. Kuras O., Swift R., Uhlemann S., Wilkinson P., Inauen C., Meldrum P. Geoelectrical Imaging of Concealed Objects with Capacitive Sensor Arrays. In 24<sup>th</sup> European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 2018, September. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201802649>
15. Niu Q., Wang Y. H. Inversion of capacitively coupled resistivity (line-antenna) measurements // Geophysics. 2014. Vol. 79, № 3. P. E125–E135. <https://doi.org/10.1190/geo2013-0282.1>
16. Федорова О. И., Давыдов В. А. Диагностика грунтовых гидротехнических сооружений электрическими и сейсмическими методами на примере Ельчевской плотины // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 6. С. 44–55.

Статья поступила в редакцию 26 февраля 2019 г.

# Application of 1D–2D inversion of electromagnetic sounding in the study of ground water dam

Vadim Anatol'evich DAVYDOV\*,  
 Ol'ga Ivanovna FEDOROVA\*\*,  
 Sergey Vladimirovich BAIDIKOV\*\*\*

Bulashhevich Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

The results of the use of geophysical technologies for the study of hydraulic structures are considered. The main purpose of the work was to determine the possibilities of noncontact methods of electromagnetic sounding during surveys of ground water dams. Soundings were carried out by induction installations with vertical magnetic dipoles and, in part, using electrical installations with capacitive parallel lines. VES surveys were used as a comparative reference method. The objectives of the research included identifying the main structural elements of dams and identifying anomalous zones by geoelectrical sections obtained by various methods of electromagnetic soundings. Quantitative processing of electrical data was carried out in the form of one- and two-dimensional (1D – 2D) inversions using software from different manufacturers. When testing algorithms for solving inverse problems, the method of two-dimensional inversion implemented in the RES2DINV program was found to be the best in terms of speed and quality of interpretation. With the help of this software, for the first time, the processing of remote induction soundings was performed with obtaining electro-tomographic sections of ground water dams. The paper gives a comparative analysis of 1D and 2D inversion of electromagnetic soundings obtained at three ground water dams of the Sverdlovsk region. Comparison of the results of electrical and induction soundings showed good comparability of electrical properties, although in some cases there is a difference in the values of specific electrical resistances (CER) for direct and alternating currents due to the different nature of the conductivity of the objects under study. Processing the results with the use of 1D – 2D inversions allows us to determine the shape and structure of anomalous zones, areas of high water saturation and possible leak points according to specific electrical resistance. Studies have confirmed the high efficiency of electromagnetic methods in the inspection of hydraulic structures.

**The relevance** of the work is due to the increasing interest in the use of geophysical technologies for non-destructive testing of hydraulic structures.

**The purpose of the work:** to find out the possibilities of using non-contact methods of electromagnetic sounding during surveys of ground water dams.

**Methodology** of work: electromagnetic methods of geometrical soundings were used out by induction installations with vertical magnetic dipoles as well as using electrical installations with capacitive parallel lines. VES surveys were used as a comparative reference method. Quantitative processing of electrical data was carried out in the form of one- and two-dimensional (1D – 2D) inversions using software from different manufacturers.

**Results.** The research conducted at three ground water dams in the Sverdlovsk region showed that all the geoelectrical sections obtained on direct and alternating currents are similar in morphology. The main elements of the dams are clearly distinguished: embankment, base, spillway, as well as engineering structures (wells, etc.). One-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) geoelectrical sections constructed using different sounding methods, turned out to be similar to each other, but with their characteristic features. In some cases, there is a difference in the values of specific electrical resistances for direct and alternating currents due to the different nature of the conductivity of the objects under study; however, the general features of the structural architecture of the dam are clearly visible on all sections. When testing algorithms for solving inverse problems, the method of two-dimensional inversion was found to be the most optimal in terms of speed and quality of interpretation. For the first time, remote induction soundings were processed to produce electro-tomographic sections of ground water dams with the help of that method.

**Conclusion.** There is good comparability of geoelectrical sections for all methods of electromagnetic sounding. Processing the results with the use of 1D and 2D inversions allows determining the structure of dams by their specific electrical resistance, including the shape and structure of anomalous zones, areas of high water saturation and possible leak points. The conducted studies confirm the high efficiency of geophysical methods while the survey of hydraulic structures.

**Keywords:** ground water dam, electrical sounding, remote induction sounding, inversion, electrical resistivity, geoelectrical section, geomagnetometry.

*The authors express their gratitude to their colleagues from the Institute of Geophysics, UB RAS V. Yu. Gorshkov and A. V. Malikov for their participation in joint field works.*

## REFERENCES

1. Ulitin R. V., Gavrilova I. E., Petukhova Yu. B., Fedorova O. I., Kharus R. L. 2000, *Geoelektrika pri reshenii geoekologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh zadach* [Geological electrical engineering when solving geo-ecological and engineering-geological problems. Theory and practice of geological electrical engineering research], collection of research papers, issue 2. Ekaterinburg, pp. 84–98.
2. Kuras O., Beamish D., Meldrum Ph.I., Ogilvy R.D. 2006, Fundamentals of the capacitive resistivity technique. *Geophysics*, vol. 71(3), G135–G152. <https://doi.org/10.1190/1.2194892>
3. Titlinov V. S., Zhuravleva R. B. 1995, Technology of remote inductive sounding. Ekaterinburg, 58 p.
4. Davydov V. A., Baidikov S. V., Gorshkov V. Y., Malikov A. V. 2016, Geophysics Methods in Electrometric Assessment of Dams. *Power Technology and Engineering*, vol. 50, issue 2, pp. 168–175. <https://doi.org/10.1007/s10749-016-0678-7>
5. Lee S. K., Cho S. J., Song Y., Chung S. H. 2002, Capacitively-coupled Resistivity Method-Applicability and Limitation. *Geophysics and Geophysical Exploration*, vol. 5 (1), pp. 23–32.
6. Baidikov S. V., Chelovechkov A. I. 2011, Equipment for high-frequency induction soundings MChZ-8. *Ural'skiy Geofizicheskiy Vestnik* [Ural Geophysical Bulletin], no. 1, pp. 4–8. (*In Russ.*)
7. Veshev A. V., Ivochkin V. G., Ignatyev G. F. 1971, *Elektromagnitnoye profilirovaniye* [Electromagnetic profiling operations], 216 p.
8. Bobachev A. A., Modin I. N., Shevni V. A. 2003, IPI2Win program, user manual. Moscow, 25 p.
9. Kaminskiy A. E. 2014, The program of two-dimensional data interpretation of the method of resistance and induced polarization (land, borehole and territorial variants). Saint-Petersburg, 139 p.

\* [davyde@yandex.ru](mailto:davyde@yandex.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-2483-2154>

\*\* [fougeo@mail.ru](mailto:fougeo@mail.ru)

\*\*\* [badikek@mail.ru](mailto:badikek@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-2881-9854>

10. Loke M. H. RES2DINV. 2017, Rapid 2D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Penang, Malaysia, Geotomo Software. Manual, 137 p.
11. Loke M. H., Barker R. D. 1996, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, vol. 44, pp. 131–152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142.x>
12. Neukirch M., Klitzsch N. 2010, Inverting capacitive resistivity (line electrode) measurements with direct current inversion programs. *Vadose Zone Journal*, vol. 9 (4), pp. 882–892. <https://doi.org/10.2136/vzj2009.0164>.
13. Oldenborger G. A., LeBlanc A. M. 2013, Capacitive resistivity inversion using effective dipole lengths for line antennas. *Journal of Applied Geophysics*, vol. 98, pp. 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.09.003>
14. Kuras O., Swift R., Uhlemann S., Wilkinson P., Inauen C., Meldrum P. 2018, Geoelectrical Imaging of Concealed Objects with Capacitive Sensor Arrays. In *24th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics*.
15. Niu Q., Wang Y. H. 2014, Inversion of capacitively coupled resistivity (line-antenna) measurements. *Geophysics*, vol. 79, no. 3, pp. E125–E135. <https://doi.org/10.1190/geo2013-0282.1>
16. Fedorova O. I., Davydov V. A. 2014, Diagnostics of soil hydraulic structures by electrical and seismic methods using the Elchevsk dam as an example. *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye* [Water sector of Russia: problems, technology, management], no. 6, pp. 44–55. (In Russ.)

The article was received on February, 26, 2019

# Технические науки Engineering sciences

УДК 622.013.3:658.012.2(03)

<https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-2-80-86>

## The main trends of development of the iron ore industry in Russia

Valeriy Daniilovich KANTEMIROV\*,  
Roman Sergeevich TITOV\*\*,  
Andrey Mikhailovich YAKOVLEV\*\*\*,  
Mariya Vladimirovna KOZLOVA\*\*\*\*

Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

**Introduction.** Today, the Russian Federation leads the world in its proven reserves of iron ore, and ranks 5th in the world in production of marketable iron ore (enriched in iron). However, currently, there is an imbalance in location of metallurgical complexes and their raw material base that leads to negative economic consequences. At mining enterprises, the trend of permanent deterioration of the geological and mining technical conditions of the development of deposits is maintained. Thus, the trend analysis of iron ore extraction and availability of reserves of mining enterprises to estimate the level of production and consumption of iron ore is an important task in modern economic conditions.

**Results.** Based on the trend analysis for mining, production and consumption of iron ore in Russia for the period 1990–2016 taking into account the contribution of regions to the extraction of raw ore and the production of marketable products, the dynamics of a decrease in the yield of marketable ore was determined due to deterioration of the quality characteristics of raw iron ore. Some patterns and supply behavior of iron ore within the regions of Russia and in foreign countries were analyzed. The structure of iron ore supplies for export has been determined. The distances of iron ore transportation between the regions of Russia are specified. Evaluation and the projected growth of the iron ore industry for the coming years are given. It was shown that over the past 5–7 years, there has been a stabilization of the supply of iron ore raw materials to metallurgical enterprises and for export at the level of 101–107 million tons/year; the growth in raw ore production (up to 2–7% annually) is primarily due to reducing its quality and reducing the yield of marketable ore with existing technologies of beneficiation.

**Conclusions.** It was established that the supply of iron ore raw materials for export reaches 30% of the volume of its production in Russia and amounts to 20–30 million tons/year. Estimated performance of mining enterprises indicate a stable position of the industry in 2010–2016 and for the short-term; there is an increase in raw ore production, maintenance a high level of output of marketable ore, improvement financial performance, and a strong position in the markets to the product.

**Keywords:** iron ore, raw ore, ore mining and dressing plant, headings, steel pellets, supply structure, production output, raw materials supply.

### Introduction

The extraction of raw iron ore and the production of iron ore raw materials (IORM) for iron and steel industry (headings, agglomerates, steel pellets, etc.) are concentrated in the North-Western, Central, Ural and Siberian federal districts of Russia. Iron ore reserves are unevenly distributed within regions: Central region ~ 59% of all-Russian balance reserves; respectively, the Urals ~ 15%; North-West region ~ 4%; the Siberian region has ~ 13% of balance reserves; other regions ~ 9% of balance reserves of ore [1, 2].

Mining enterprises of the Central Federal District that develop deposits of the Kursk Magnetic Anomaly provide more than half of the output of marketable ore for pelletization and agglomeration (56.6% in 2016) and a significant part of raw ore production (47.5%). In the North-West region, 20.7% of marketable ore was produced (with crude extraction at 22.8%), in the Urals – 15.3% of marketable ore (23.5% of raw ore), in the Siberian region – 8.3% of marketable ore (6.2% raw ore).

### Results

The dynamics of raw ore mining and commodity production, as well as the production of iron in Russia is shown in Fig. 1.

The given data testify to the stabilization of the output of marketable ore in Russia at the level of 101–107 million tons/year. At the same time, there is a negative trend of a decrease in the yield of marketable products in the iron ore sub-sector due to the deterioration of the quality of the mined raw ore. Having existing beneficiation technologies for maintaining a stable production of marketable ore this leads to an increase in production outputs and, consequently, unit costs. Compared to 1990, an increase in raw ore production was ~ 13%, while marketable ore production fell by 1.2% (Fig. 2).

Iron ore is mined mainly with the help of open-cut mining (~ 93% of the total output) by ore mining and dressing plant (OMDPs), which are part of the world's leading metallurgical holdings, such as EvrazGroup, OAO Mechel, OAO Metalloinvest Holding Company, OAO Severstal, etc. Among these enterprises, there are 8 largest mining companies producing over 85% of Russia's iron ore. The Table shows the main indicators of production and being provided with technological equipment for open-cast mining within the group of the largest mining companies of Russia.

\*✉ ukrkant@mail.ru

\*\*✉ <https://orcid.org/0000-0001-6486-2740>

\*\*\*✉ ukrigd15@mail.ru

\*\*\*\*✉ <https://orcid.org/0000-0002-3569-2743>

\*\*\*\*\*✉ quality@igdur.ru

\*\*\*\*\*✉ <https://orcid.org/0000-0001-8285-6387>

\*\*\*\*\*✉ quality@igdur.ru

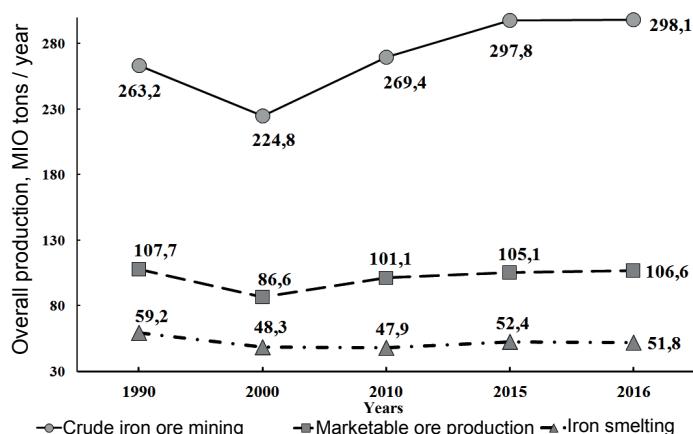
\*\*\*\*\*✉ <https://orcid.org/0000-0002-8293-5912>

**Main indicators of production and technological equipment for opencast mining at the leading mining companies of Russia in 2015.**  
**Основные показатели добычи и оснащенность технологическим оборудованием для ведения открытых горных работ на ведущих ГОКах России в 2015 г.**

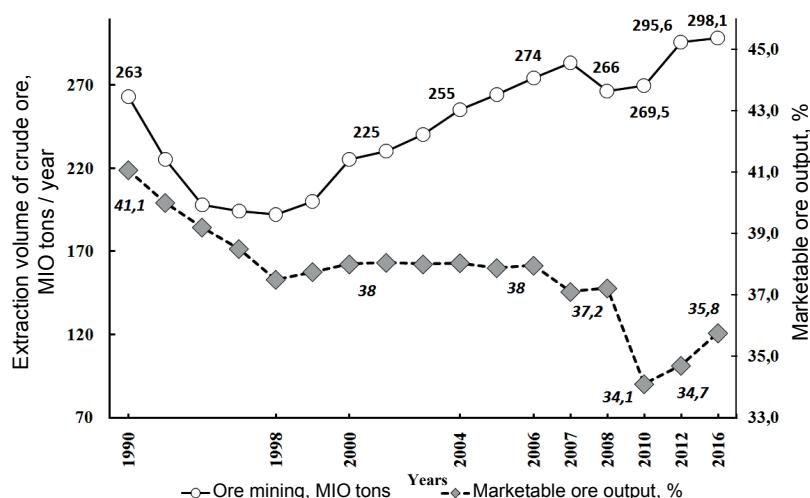
Ore mining and dressing plant	Production output, million tons		Number of equipment, units (average)				Average weighted distance of transportation, km		
	rock mass	including ores	rock drilling machines	navy excavators	dump trucks	locomotives	motor vehicles	railway transport	
Mikhailovsky	123.6	49.8	16.1	73.6	56.8	81.2	2.3	14.6	
Stoilensky	86.0	33.5	9.0	40.0	38.0	45.6	3.0	10.8	
Lebedinsky	101.5	50.5	17.6	46.3	32.7	50.2	2.7	15.2	
Kostomukshsky	141.7	34.7	20.0	44.0	55.3	18.0	3.1	14.3	
Olenegorsky*	49.2	13.9(12.1)	10.0	18.0	26.8	9.0	2.7	11.6	
Kovdorsky	28.8	19.6	7.7	14.0	58.0	0.0	3.8	0.0	
Kachkanarsky	74.0	59.4	15.6	37.0	28.0	36.4	1.3	11.1	
Korshunovsky	44.8	9.2	6.8	21.1	50.2	14.0	3.0	8.6	
Total**	649.5	270.6(268.8)	102.8	294.0	345.9	254.4	2.7	10.8	

\*Ore mining: total (including open-pit mining);

\*\*Ore production: total (including open-pit mining).



**Figure 1. Dynamics of production of raw iron ore, production of marketable ore and iron smelting in Russia for the period 1990–2016.**  
**Рисунок 1. Динамика добычи сырой железной руды, производства товарной руды и выплавки чугуна в России за период 1990–2016 гг.**



**Figure 2. Dynamics of production of raw iron ore and the yield of marketable ore in percentage terms for the Russian Federation for the period 1990–2016.**  
**Рисунок 2. Динамика добычи сырой железной руды и выхода товарной руды в процентах по Российской Федерации за период 1990–2016 гг.**

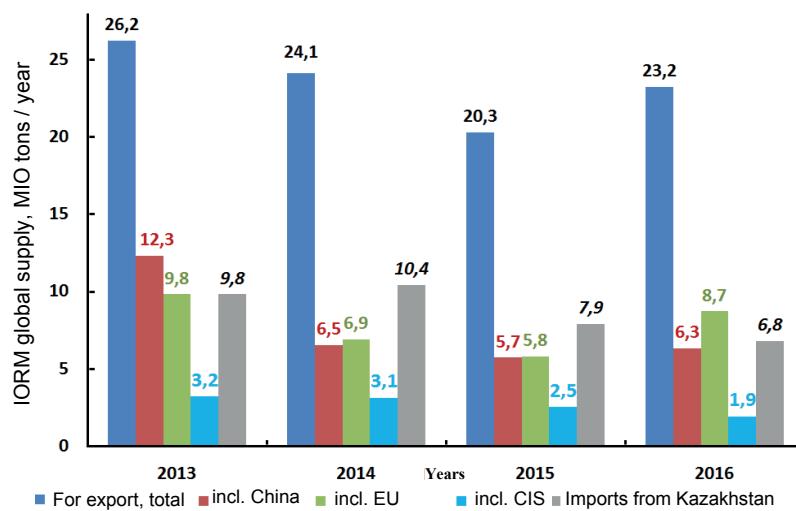


Figure 3. International supplies output of iron ore in 2013–2016.

Рисунок 3. Объемы международных поставок железорудного сырья в 2013–2016 гг.

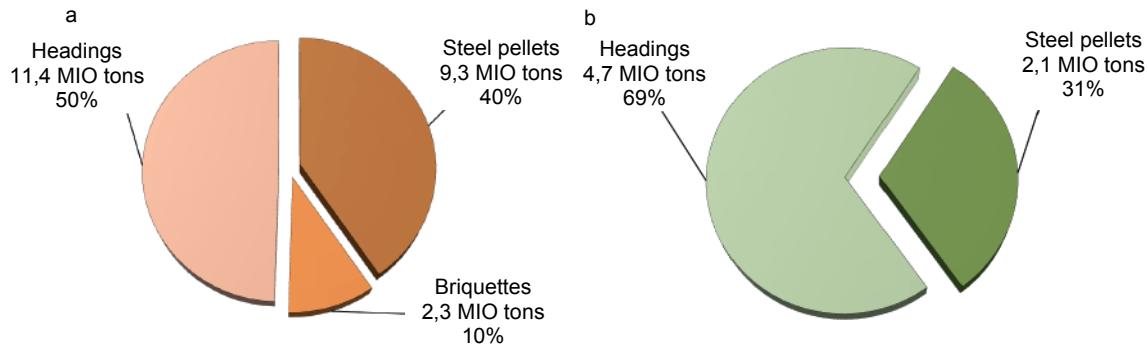


Figure 4. Structure of international supplies of iron ore in 2016. a – export, b – import (Kazakhstan).

Рисунок 4. Структура международных поставок железорудного сырья в 2016 г. а – экспорт, б – импорт (Казахстан).

For this group of enterprises, the capacity of a bucket of the average excavator is  $9.4 \text{ m}^3$ , the average loading capacity of the dump truck is 125.8 tons. In many respects, it is these enterprises that shape the future of the Russian mining industry in the field of open-cut mining and beneficiation of ore raw materials [3–7].

Sales geography of iron ore by ore mining and dressing plants is quite wide and covers both Russian consumers in all regions of Russia and foreign ones in the CIS countries, the European Union and Asia. Fig. 3 shows the dynamics of international export-import supplies of marketable iron ore in Russia for the period from 2013 to 2016.

Headings amount about 50% in supplies structure of iron ore for export, (Fig. 4), steel pellets are up to 40% and metallurgical briquettes are ~ 10%. The leader in exports and the only supplier of briquettes is Lebedinsky ore mining and dressing plant (8.2 million tons in 2016, more than 35% of the total output). Sales geography of iron ore to Lebedinsky ore mining and dressing plant is shown in Fig. 5 as an example of wide connections of industry leaders with consumers.

The given data show some growth in the supply of iron ore for export, which has reached a level of 20–26 million tons/year over the past years; it is up to 25% of the production of iron ore in Russia. The main consumers of iron ore from Russia are metallurgical enterprises of China, they account for up to 30% of the total output of exports; a significant amount of iron ore (6–10 million tons/year) is supplied to EU countries (mainly to Central and Eastern Europe); the CIS make export supplies to Ukraine in the amount of more than 2 million tons/year (1.7 million tons in 2016); Turkey (1–2 million tons/year), Japan (0.2–1 million tons/year) and other countries are regular customers [8–13].

Import of iron ore to Russia is made only from Kazakhstan up to 10 million tons/year (6.8 million tons in 2016), which amounts to 10% of the production output of marketable ore in Russia. Deliveries from Kazakhstan go to the metallurgical enterprises of the Southern Urals.

Fig. 6 shows the scheme of iron ore supply between the regions of Russia.

The main volumes of produced iron ore are sold within the territory of its production (Fig. 6). Thus, in the Central Region, iron ore in the amount of 28.6 million tons/year is supplied mainly to Novolipetsk and Orsk-Khalilovsky metallurgical plants within 300 km. In the Ural region, the distance for transportation of steel pellets and agglomerates from Kachkanarsky ore mining and dressing plant (11.5 million tons) to Nizhny Tagil Iron and Steel Works slightly exceeds 100 km. Considerable distances for transportation of the main iron ore volumes within the region in the North-West are ~ 1.3 ths km; in Siberia – more than 1.8 ths km. The weighted average transportation distance of 1 ton of iron ore at Russia is ~ 670 km.

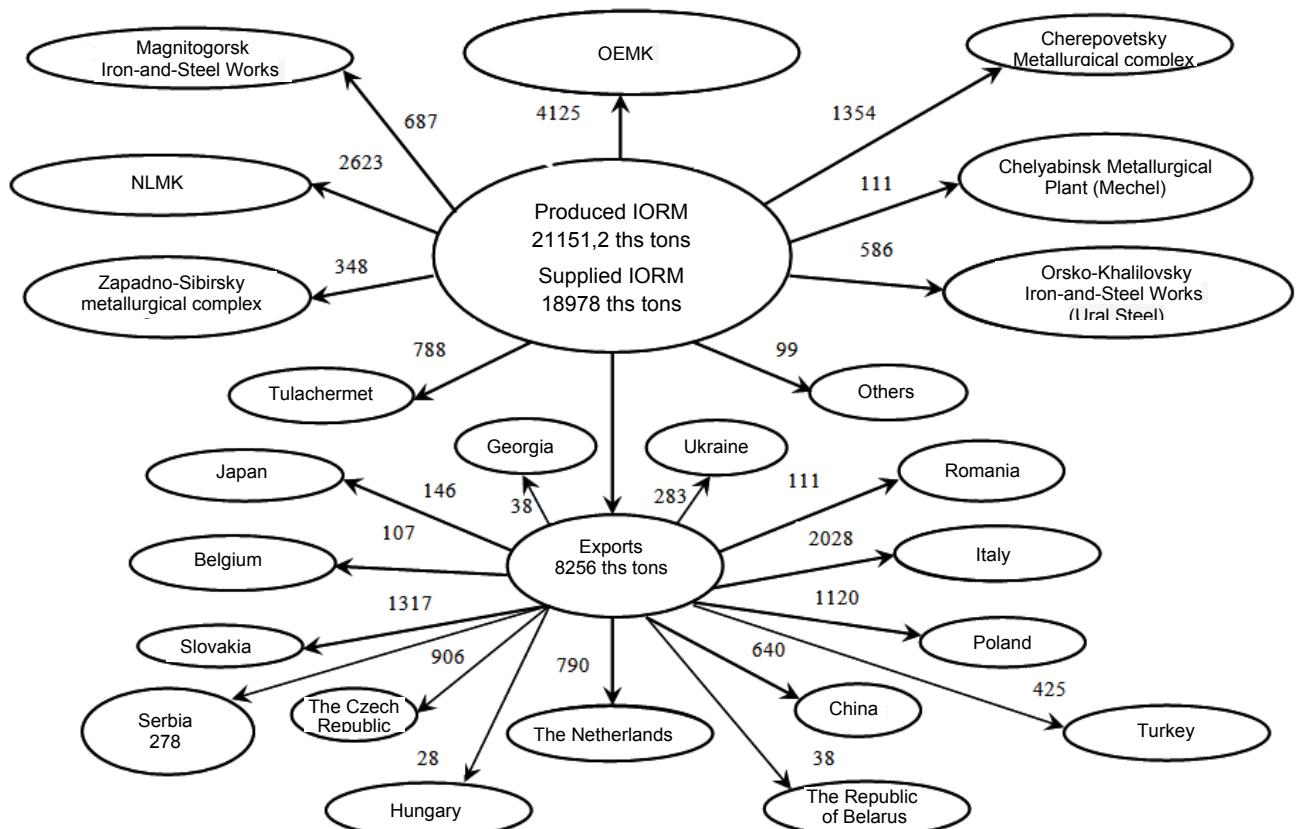


Figure 5. Production and supply of iron ore by Lebedinsky ore mining and dressing plant in 2016.  
Рисунок 5. Производство и поставка железорудного сырья Лебединским ГОКом в 2016 г.

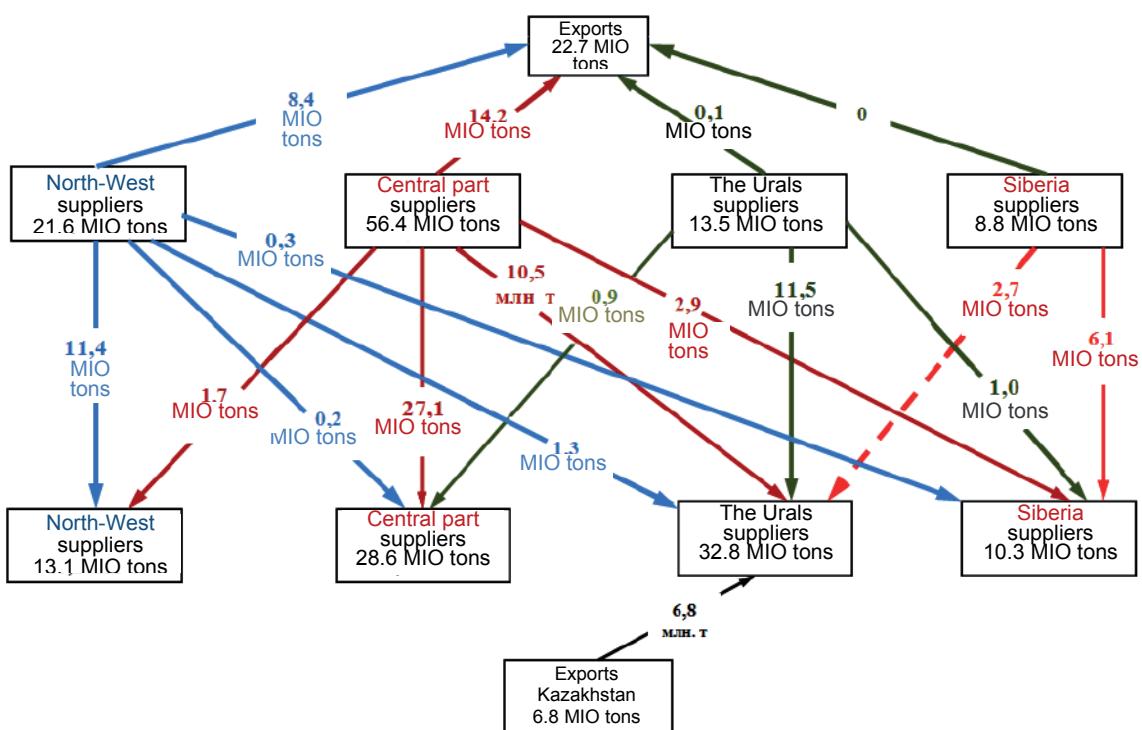


Figure 6. Iron ore supplies between the regions of Russia in 2016.  
Рисунок 6. Поставки железорудного сырья между регионами России в 2016 г.

### Conclusion

1. Over the past 5–7 years, there has been a stabilization of the amount of delivery of iron ore to metallurgical enterprises and for export at the level of 101–107 million tons/year. The production volumes of commercial ore in 2016 reached the level of 106.6 million tons (an increase of 1.5 million tons compared to 2015).

2. The growth in raw ore production (up to 2–7% annually) is primarily due to a decrease in its quality and a decrease in the yield of marketable ore using existing technologies of beneficiation. This negative trend is seen for a considerable time and leads to an increase in unit costs for the production of iron ore. In recent years, there has been a slight increase in the yield of marketable ore to 35.8% of the volume of produced raw materials by introducing innovative technologies for mining and processing.

3. The main production of iron ore is concentrated in the Central and North-West federal districts of Russia (~75% of the total Russian production). The remaining iron ore ~25% is produced in the Ural and Siberian Federal District. About 23% of Russia's crude iron ore with an average iron content of 15.7% is mined in the Urals region due to the development of the unique Gusevogorsk titanomagnetite deposit (Kachkanarsky ore mining and dressing plant), which is also the raw material base for extracting vanadium from smelter slags.

4. Iron ore is sold mainly within the region where it was produced. The distance for transportation from places of manufacture to consumers ranges from 100–300 km to 1.3–3.5 thousand km with a weighted average transportation distance of 1 ton of marketable ore in Russia ~670 km.

There is a rather high level of iron ore consumption by metallurgical enterprises in the Ural region – 32.8 million tons/year (up to 35% of the total demand), which are covered only 40% by production within the region.

5. Supplies of iron ore for export measure up 30% of the volume of its production in Russia and amount to 20–30 million tons/year. The main consumers of iron ore are Chinese metallurgical enterprises; they account for 7–12 million tons/year of raw materials (30–50% of export supplies), as well as EU countries consuming raw materials up to 10 million tons/year (up to 40% of export).

Imports of iron ore are produced from Kazakhstan in volumes of 6–10 million tons/year, which is up to 10% of Russian production. Iron ore from Kazakhstan is supplied to metallurgical enterprises of the Southern Urals that do not have their own raw material base, – OAO MMK plant (Magnitogorsk) in volumes up to 8 million tons/year and Chelyabinsk Metallurgical Plant – 2 million tons/year. In recent years, there has been a decrease in the supply of iron ore from Kazakhstan (a decrease of 1.1 million tons to the level of 2015 with Sokolov-Sarbai Mining Production Association) due to their replacement by supplies from the center of Russia (Lebedinsky and Mikhailovsky ore mining and dressing plants).

One of the options for replacing imports of iron ore is the development of new promising raw materials areas, including the Subpolar Urals, where the estimated resources of magnetite iron ore are estimated at level of 1.5–3 billion tons. Production of 8–10 million tons/year of iron ore in the Subpolar Urals can be carried out by open-pit mining to a depth of up to 250–300 m by a group of quarries with an ore productivity of 1–3 million tons/year with preliminary beneficiation in place by the method of dry magnetic separation and transportation of middlings to metallurgical enterprises of the Southern Urals<sup>1</sup>[1, 14].

6. Effective quality management of iron ore at ore mining and processing plants can be based on the following principles:

- continuous data validation on the quality characteristics of mineral resources based on the results of mining exploration, magnetic well logging, chemical analysis of raw materials at all stages of its processing, etc.;

- continuous data validation in GIS with updated data on mineral resources; use of GIS in mining planning (on annual, monthly, weekly, and daily basis);

- control the order of blasting of the drilled blocks of mineral resources; GPS positioning of excavation (the trajectory of a bucket and the position of an excavator in the mine face) and transportation navigation (taking into account the quality of raw materials in vehicles);

- implementation of automated control systems for the automated management of cargo flows in a quarry, taking into account the quality of raw materials;

- the use of pre-beneficiation in the quarry space on the basis of dry magnetic separation, and other innovations for cutting off substandard raw materials.

7. To smooth the negative impact on the efficiency of the iron ore industry, reserves reduction and deterioration the quality of iron ore in areas of traditional raw materials bases (especially in the Urals and Siberia), as well as to expand export opportunities, the organization of a new iron and steel industry in the east of the country is of great importance. The raw material basis for its creation can be deposits of easily beneficiated magnetite iron ores of the Aldansky iron-ore province of Yakutia with reserves approved by National Reserves Committee of the Federal Subsoil Management Agency: "Tarynnakhskoe" with reserves of categories B + C<sub>1</sub> - 1.1 billion tons, "Gorkitskoe" C<sub>1</sub> + C<sub>2</sub> - 1.9 billion tons, "Tayozhnoye" B + C<sub>1</sub> + C<sub>2</sub> - 1.25 billion tons, and deposits of high-quality metallurgical coal as well (Neryungrinskoe, Elginskoe).

8. In general, the performance indicators of mining enterprises indicate a stable position in the industry in 2010–2016. In the short term, there is an increase in raw ore production, maintenance a high level of the output of marketable ore, improvement financial performance having a strong position in the markets to the product. Also worthy of mention is the insufficiently active work on the modernization of fixed assets and increasing the productivity of mining equipment in quarries [5–16].

### Acknowledgments

This paper was prepared based on the survey conducted under the government contract No 007-00293-18-00. Topic No 0405-2018-0001. Project No 18-5-5-10. Justification of the methods and stages of adaptation of mining and technological systems to the changing conditions for the development of complex structural deep deposits.

<sup>1</sup>2000, *Metodicheskiye rekomendatsii pri otsenke effektivnosti investitsionnykh proyektor* [Guidelines for evaluating the effectiveness of investment projects] (second edition). Moscow, 422 p.

## REFERENCES

1. Kantemirov V. D. 2014, Technological features of the development of new resource bases. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 6, pp. 369–373. (*In Russ.*)
2. Kornilkov S. V., Kantemirov V. D. 2015, Iron ore deposits of Nether-Polar Urals as a promising resource base for the Urals metallurgy. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 8, pp. 22–28. (*In Russ.*)
3. Shubina S. V. 2016, Economic and statistical analysis of the dynamics of mining in the Russian Federation for 2015–2016. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and entrepreneurship], no. 7 (72), pp. 886–890. (*In Russ.*)
4. Alikberov V. M., Tigunov L. P. 2018, Natural alloyed iron ores of Russia: state and prospects of use of the alloyed iron and steel in metallurgy, *Chernaya metallurgiya* [Ferrous metallurgy], no. 5 (1421), pp. 3–13. (*In Russ.*)
5. Yushina T. I., Petrov I. M., Avdeev G. I. et al. 2015, Prospect of using natural and man-made iron ore raw materials in the Russian Federation. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 2, pp. 416–423. (*In Russ.*)
6. Yushina T. I., Petrov I. M., Avdeev G. I. et al. 2015, Analysis of the current state of mining and processing of iron ore and iron ore raw materials in the Russian Federation. *Gorniy Zhurnal* [Mining Journal], no. 1, pp. 41–47. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.01.08>
7. Kabirov V. R., Reyshakhrit E. I. 2014, Effectiveness of an integrated approach to the development of metal ore deposits in groups. *Zapiski Leningradskogo gornogo instituta* [Proceedings of Leningrad mining institute], vol. 208, pp. 23–26. (*In Russ.*)
8. Meltzer M. L., Moroz O. N., Nityago I. V. 2017, Quantitative assessment of the level of clustering of the "extraction of mineral resources" industry in the regions. *Vestnik Belgorodskogo Universiteta kooperatsii, ekonomiki i prava* [Herald of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law], no. 6 (67), pp. 46–59. (*In Russ.*)
9. Dubinski J. 2013, Sustainable development of mining mineral resources. *Journal of Sustainable Mining*, vol. 12, no. 1, pp. 1–6.
10. Dadykin V. C. 2017, Analysis and forecast of mineral and raw materials for industrial enterprises of the central federal district. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova* [Vestnik of North-Eastern Federal University], Series Economics. Sociology. Culturology, no. 4 (08), pp. 30–36. (*In Russ.*)
11. Yakubov N. M. 2014, Prospects for the global steel market. *Marketing v Rossii i za rubezhom* [Journal of Marketing in Russia and Abroad], no. 6, pp. 123–130. (*In Russ.*)
12. Dadykin V. S. 2017, Analysis and forecast of the main types of mineral resources of the Central Federal District according to the geological and economic monitoring. *Otkhody i resursy* [Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling], vol. 4, no. 4. (*In Russ.*) 01RRO417. <http://dx.doi.org/10.15862/01RRO417>
13. Dadykin V. S. 2018, Analysis, modeling and forecast of optimal reserves for sustainable development of mining enterprises. *Nedropol'zovaniye XXI vek* [Natural resources management, XXI century], no. 2 (71), pp. 162–169. (*In Russ.*)
14. Mossakovskiy Ya. V. 2015, *Ekonomika gornoj promyshlennosti* [Mining economics]. Moscow, 525 p.
15. Arkhipov G. I. 2017, Problems and priorities of the use of iron ore raw materials base of the Far Eastern region. *Gorniy Zhurnal* [Mining Journal], no. 3, pp. 15–19. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.03.03>
16. Pluzhnikov I. F., Dunay E. I., Nemenyonok V. T. 2014, Contribution of the Belgorod iron ore expedition to the formation and development of the mineral and raw material base of the KMA Region. *Gorniy Zhurnal* [Mining Journal], no. 8, pp. 41–44. (*In Russ.*)

The article was received on November 29, 2018

# Основные тенденции развития железорудной отрасли России

**Валерий Даниилович КАНТЕМИРОВ<sup>\*</sup>,**  
**Роман Сергеевич ТИТОВ<sup>\*\*</sup>,**  
**Андрей Михайлович ЯКОВЛЕВ<sup>\*\*\*</sup>,**  
**Мария Владимировна КОЗЛОВА<sup>\*\*\*\*</sup>**

Институт горного дела УрО РАН, Россия, Екатеринбург

**Введение.** Сегодня РФ по подтвержденным балансовым запасам железных руд является мировым лидером, а по объемам производства товарной железной руды (обогащенной и богатой по железу) занимает пятое место в мире. Однако в настоящее время имеется и в ближайшей перспективе сохраняется диспропорция в размещении металлургических комбинатов и их сырьевой базы, что приводит к негативным экономическим последствиям. На горнорудных предприятиях сохраняется тенденция постоянного ухудшения геологических и горнотехнических условий разработки месторождений. Таким образом, анализ динамики добычи железорудного сырья и обеспеченности запасами горнорудных предприятий для оценки уровня производства и объемов потребления железорудного сырья является важной задачей в современных экономических условиях.

**Результаты.** На основании анализа основных показателей добычи железной руды, производства и потребления железорудного сырья в России за период 1990–2016 гг., вклада регионов в добычу сырой руды и производство товарной продукции установлена динамика снижения выхода товарной руды вследствие ухудшения качественных характеристик добываемой сырой железной руды. Проанализированы схемы и динамика поставок железорудного сырья по регионам России и в зарубежные страны. Установлена структура поставок железорудного сырья на экспорт. Определены расстояния транспортирования железорудного сырья между регионами России. Даны оценка и прогноз развития железорудной отрасли на ближайшие годы. Показано, что на протяжении последних 5–7 лет отмечается стабилизация объемов поставок железорудного сырья на металлургические предприятия и на экспорт на уровне 101–107 млн т/год, а рост объемов добычи сырой руды (до 2–7 % ежегодно) в первую очередь обусловлен снижением ее качества и сокращением выхода товарной руды при существующих технологиях обогащения

**Выводы.** Установлено, что в настоящее время поставки железорудного сырья на экспорт достигают 30 % от объемов его производства в России и составляют 20–30 млн т/год. Оцененные показатели работы горнодобывающих предприятий свидетельствуют о стабильном положении отрасли в 2010–2016 гг. и на ближайшую перспективу, отмечается рост объемов добычи сырой руды, поддержание на высоком уровне объемов выпуска товарной руды, улучшение финансовых показателей, уверенное положение на рынках сбыта продукции.

**Ключевые слова:** железорудное сырье, сырья руда, горно-обогатительный комбинат, концентрат, окатыши, структура поставок, объемы добычи, поставки сырья.

Статья подготовлена по материалам исследований, выполненных в рамках Государственного задания 007-00293-18-00. Тема № 0405-2018-0001. Проект № 18-5-5-10. Обоснование методов и этапов адаптации горнотехнологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кантемиров В. Д. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз // ГИАБ. 2014. № 6. С. 369–373.
2. Корнилов С. В., Кантемиров В. Д. Железорудные месторождения Приполярного Урала как перспективная сырьевая база уральской металлургии // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 8. С. 22–28.
3. Шубина С. В. Экономико-статистический анализ динамики добычи полезных ископаемых РФ за 2015–2016 гг. // Экономика и предпринимательство. 2016. № 7 (72). С. 886–890.
4. Алиkerов В. М., Тигунов Л. П. Природно-легированные железные руды России: состояние и перспективы использования в металлургии легированных чугунов и сталей // Черная металлургия. 2018. № 5 (1421). С. 3–13.
5. Юшина Т. И., Петров И. М., Авдеев Г. И. и др. Перспектива использования природного и техногенного железорудного сырья в Российской Федерации // ГИАБ. 2015. № 2. С. 416–423.
6. Юшина Т. И., Петров И. М., Авдеев Г. И. и др. Анализ современного состояния добычи и переработки железных руд и железорудного сырья в Российской Федерации // Горный журнал. 2015. № 1. С. 41–47. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.01.08>
7. Кабиров В. Р., Рейшахрит Е. И. Эффективность комплексного подхода к разработке месторождений металлических руд в группах // Записки Горного института. 2014. Т. 208. С. 23–26.
8. Мельцер М. Л., Мороз О. Н., Нитяго И. В. Количественная оценка уровня кластеризации отрасли «добыча полезных ископаемых» в регионах // Вестник БУКЭП. 2017. № 6 (67). С. 46–59.
9. Dubihski J. Sustainable development of mining mineral resources // J. Sustain. Min. 2013. Vol. 12, № 1. P. 1–6.
10. Дадыкин В. С. Анализ и прогнозирование обеспеченности минерально-сырьевой продукцией промышленных предприятий Центрального федерального округа // Вестник СВФУ им. М. К. Аммосова. Сер. «Экономика. Социология. Культурология». 2017. № 4 (08). С. 30–36.
11. Якубов Н. М. Перспективы мирового рынка стали // Маркетинг в России и за рубежом. 2014. № 6. С. 123–130.
12. Дадыкин В. С. Анализ и прогнозирование основных видов минерально-сырьевых ресурсов Центрального федерального округа по данным геолого-экономического мониторинга // Отходы и ресурсы. 2017. Т. 4, № 4. 01RRO417. <http://dx.doi.org/10.15862/01RRO417>
13. Дадыкин В. С. Анализ, моделирование и прогноз оптимальных объемов запасов для устойчивого развития горнодобывающих предприятий // Недропользование XXI век. 2018. № 2 (71). С. 162–169.
14. Моссаковский Я. В. Экономика горной промышленности. М.: Горная книга, 2015. 525 с.
15. Архипов Г. И. Проблемы и приоритеты использования железорудной сырьевой базы Дальневосточного региона // Горный журнал. 2017. № 3. С. 15–19. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.03.03>
16. Плужников И. Ф., Дунай Е. И., Неменёнок В. Т. Вклад Белгородской железорудной экспедиции в формирование и развитие минерально-сырьевой базы региона КМА // Горный журнал. 2014. № 8. С. 41–44.

Статья поступила в редакцию 29 ноября 2018 г.

\*✉ ukrkant@mail.ru

✉  <https://orcid.org/0000-0001-6486-2740>

\*\*✉ ukrigd15@mail.ru

✉  <https://orcid.org/0000-0002-3569-2743>

\*\*\*✉ quality@igdurran.ru

✉  <https://orcid.org/0000-0001-8285-6387>

\*\*\*\*✉ quality@igdurran.ru

✉  <https://orcid.org/0000-0002-8293-5912>

# Определение рациональных параметров шнековых грузчиков проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»

Алексей Борисович МАКСИМОВ\*,  
Дмитрий Игоревич ШИШЛЯННИКОВ\*\*,  
Николай Васильевич ЧЕКМАСОВ\*\*\*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, Пермь

**Введение.** Для предприятий, осуществляющих добычу калийных солей с использованием проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р», актуальной является задача снижения количества пылевидных необогатимых классов в калийной руде. Решение данной задачи возможно посредством совершенствования конструкции шнековых погрузочных органов комбайнов.

**Методика определения рациональных параметров работы шнекового грузчика комбайна «Урал-20Р».** Выполнен анализ факторов, оказывающих влияние на интенсивность процесса измельчения калийной руды при погрузке шнековым органом. Указанны основные критерии выбора рациональных параметров шнековых грузчиков проходческо-очистных комбайнов. Приведены математические зависимости, разработана расчетная схема определения рационального значения коэффициента заполнения поперечного сечения шнека, при котором обеспечивается минимальная циркуляция руды в спиральных каналах шнека. Доказано, что работа шнековых грузчиков при номинальной производительности комбайнов «Урал-20Р-11/12» сопровождается повышенной степенью заполнения межлопастного пространства и циркуляцией руды, что обуславливает увеличение количества пылевидных необогатимых классов в продуктах отбойки.

**Определение рациональных параметров шнеков комбайнов «Урал-20Р».** Определение рациональных конструктивных параметров шнеков комбайнов «Урал-20Р» выполнено исходя из условия обеспечения номинальной производительности выемочных машин при наименьшей циркуляции руды в спиральных каналах шнековых грузчиков. Установлена и проанализирована зависимость изменения рационального коэффициента заполнения и производительности шнекового органа по погрузке. Расчетным путем определена рациональная величина диаметра ступицы шнекового грузчика комбайна «Урал-20Р-11/12», при которой обеспечиваются минимальная циркуляция и переизмельчение руды в спиральных каналах шнека. Предложены технические решения по совершенствованию конструкции шнеков.

**Заключение.** Сделан вывод о том, что конструктивные параметры шнековых грузчиков следует рассчитывать из условия обеспечения минимальной циркуляции руды в призабойном пространстве и спиральных каналах шнеков. Снижение измельчения руды может быть обеспечено путем уменьшения диаметра ступицы шнека с 0,4 м до 0,35–0,37 м.

**Ключевые слова:** проходческо-очистной комбайн, рациональные параметры шнеков выемочных машин, циркуляция руды в призабойном пространстве, гранулометрический состав калийной руды, пылеобразование при работе проходческо-очистного комбайна.

## B ведение

Добыча калийной руды подземным способом на предприятиях России и стран СНГ осуществляется с использованием проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» производства АО «Копейский машиностроительный завод». Данные комбайны оснащены комбинированными исполнительными органами бурового типа и гусеничным ходовым оборудованием [1].

Исполнительные органы комбайнов «Урал-20Р» совмещают в своей работе процессы отделения руды от массива с ее погрузкой с почвы выработки на скребковый конвейер-перегружатель, который осуществляет удаление отбитой горной массы из призабойной зоны и дальнейшую выгрузку в аккумулирующие емкости либо средства участкового транспорта. В качестве погрузочно-транспортирующего оборудования в комбайнах «Урал-20Р» используются шнеки, обеспечивающие разрушение массива (зачистку почвы выработки) и перемещение горной массы к загрузочному окну скребкового конвейера.

Работа современных модификаций комбайнов «Урал-20Р-11/12» при номинальной технической производительности  $Q = 8 \text{ т/мин}$  характеризуется повышенной степенью заполнения шнековых грузчиков калийной рудой. В процессе транспортирования и погрузки часть руды перебрасывается через ступицу шнека, не перемещаясь в осевом направлении [2]. Циркуляция горной массы в спиральных каналах шнека и призабойном пространстве обуславливает дробление частиц руды, что сопровождается увеличением количества мелких необогатимых классов руды  $-0,25 \text{ мм}$  (размер частиц менее  $0,25 \text{ мм}$ ) в продуктах отбойки. Классы руды  $-0,25 \text{ мм}$  практически полностью попадают в отвалы. Высокое содержание пылевидных частиц делает необходимым применение усложненных схем переработки сырья для получения обеспыленного хлорида калия, что повышает издержки горнодобывающего предприятия [3–5].

Актуальной научно-практической задачей является снижение степени циркуляции руды при перемещении и отгрузке из призабойного пространства шнеками проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р». Снижение степени измельчения руды позволит уменьшить издержки горнодобывающих предприятий и минимизировать количество отходов обогатительных фабрик.

## Методика определения рациональных параметров работы шнекового грузчика комбайна «Урал-20Р»

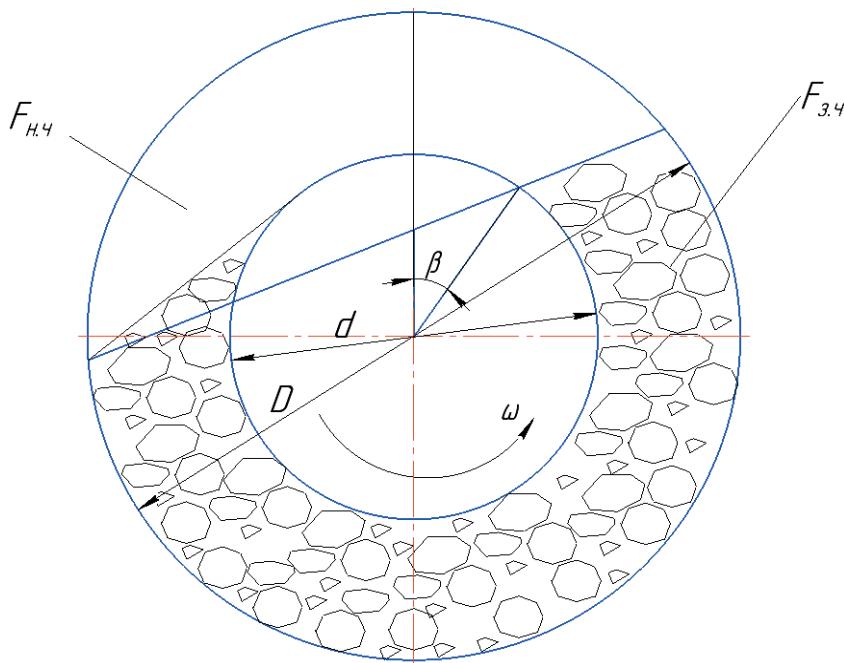
Перемещение горной массы шнеками комбайна «Урал-20Р» является сложным многофакторным процессом, который характеризуется существенной изменчивостью значений параметров, влияющих на его эффективность. Снижение измельчения калийной руды при погрузке выполняется при условии, что производительность породоразрушающих исполнительных органов комбайнов не ограничивается производительностью шнековых грузчиков. В противном случае имеет место существенное возрастание степени заполнения и циркуляции руды между лопастями шнеков [6, 7].

\*✉ [maksimov.aleksey.98589575@gmail.com](mailto:maksimov.aleksey.98589575@gmail.com)

\*\* <https://orcid.org/0000-0001-8819-4089>

\*\*\*[4varjag@mail.ru](mailto:4varjag@mail.ru)

\*\*\*\*[mec@pstu.ru](mailto:mec@pstu.ru)



**Рисунок 1. Расчетная схема поперечного сечения шнека, принятая для определения рационального коэффициента заполнения  $K_{z, \text{rat}}$ .**  
**Figure 1. The design diagram of the cross-section screw for determination the rational coefficient of fullness  $K_{z, \text{rat}}$ .**

Производительность шнекового погрузочного органа определяется выражением [8, 9]:

$$Q_{\text{шн}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{шн}}^2 - d_{\text{шн}}^2) \gamma m_{\text{шн}} n_{\text{шн}} K_3 K_{\text{ц}} \left( t_{\text{шн}} - \frac{\delta N_3}{\cos \psi} \right), \quad (1)$$

где  $Q_{\text{шн}}$  – техническая производительность шнека по погрузке, т/мин;  $D_{\text{шн}}$  – диаметр шнека по лопасти, м;  $d_{\text{шн}}$  – диаметр ступицы шнека, м;  $\psi_{\text{шн}}$  – угол подъема винтовой линии шнека, град.;  $t_{\text{шн}}$  – шаг лопасти шнека, м;  $\delta$  – толщина лопасти шнека, м;  $N_3$  – число заходов лопастей шнека, шт.;  $m_{\text{шн}}$  – количество шнеков, шт.;  $n_{\text{шн}}$  – частота вращения шнека, об/мин;  $\gamma$  – насыпная плотность калийной руды, т/м<sup>3</sup>;  $K_3$  – коэффициент заполнения поперечного сечения шнека;  $K_{\text{ц}}$  – коэффициент циркуляции руды в шнеке.

Определение рациональной величины коэффициента заполнения  $K_{z, \text{rat}}$  шнека выполняется в соответствии с расчетной схемой поперечного сечения шнека, представленной на рис. 1. Коэффициент заполнения шнека может быть определен как доля площади заполненной части сечения шнека от полной площади поперечного сечения межлопастного пространства шнека и рассчитан по формуле [8, 9]:

$$K_{z, \text{рат}} = \frac{F_{z,4}}{F_{h,4} + F_{z,4}}, \quad (2)$$

где  $F_{z,4}$  – площадь заполненной части сечения шнека, м<sup>2</sup>;  $F_{h,4}$  – площадь незаполненной части сечения шнека, м<sup>2</sup>.

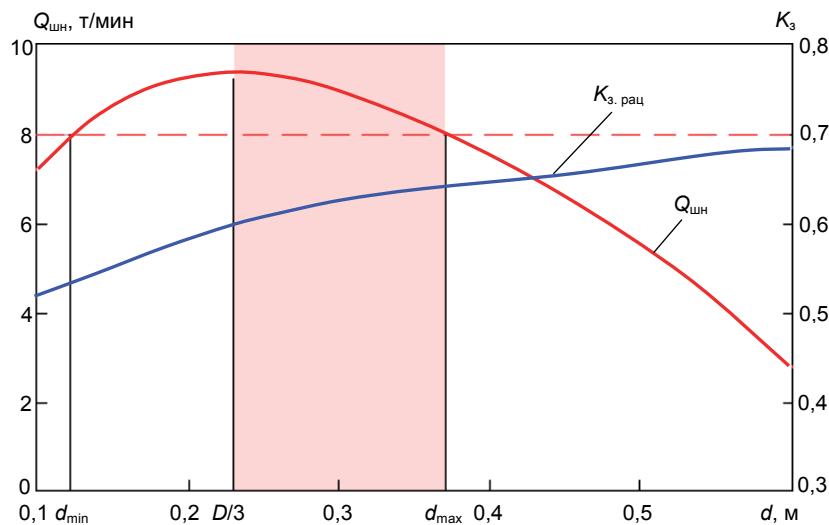
Площадь заполненной части шнека  $F_{z,4}$  определяется с учетом угла  $\beta$ , представленного на расчетной схеме. Угол  $\beta$  определяет границу, выше которой руда поступает на выположенную поверхность ступицы шнека и не перемещается в осевом направлении, а перебрасывается через ступицу.

Угол  $\beta$  зависит от геометрических и кинематических параметров шнекового грузчика, коэффициента трения руды о поверхности шнека и определяется следующим выражением [10]:

$$\frac{g \sin \lambda + f R_{\text{шн}} \left( \frac{n_{\text{шн}}}{60} \right)^2}{g \cos \lambda} = \frac{2\pi R_{\text{шн}}}{t_{\text{шн}}} \left( 1 - f \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \gamma_{\text{шн}} + \left( \frac{t_{\text{шн}}}{2\pi R_{\text{шн}}} \right)^2} + 1 + f \operatorname{ctg} \gamma_{\text{шн}} \right) \sin \beta - f \cos \beta, \quad (3)$$

где  $\beta$  – предельный угол вовлечения ступицей шнека калийной руды в тангенциальное движение, град.;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\lambda$  – угол наклона оси шнека к горизонтальной плоскости, град.;  $f$  – коэффициент трения калийной руды по металлу;  $R_{\text{шн}}$  – радиус шнека по лопасти, м;  $\gamma_{\text{шн}}$  – угол наклона образующей лопасти шнека относительно оси вращения шнека, град.

Рациональному значению коэффициента заполнения шнека  $K_{z, \text{rat}}$ , определяемому при решении уравнений (2) и (3), соответствует минимальное значение коэффициента циркуляции руды в спиральных каналах шнека  $K_{\text{ц}}$ . Возрастание коэффициента заполнения шнека выше области рациональных значений ( $K_3 > K_{z, \text{rat}}$ ) обуславливает увеличение степени циркуляции руды в нем [11–13].



**Рисунок 2. Зависимости производительности шнека  $Q_{\text{шн}}$  и рационального коэффициента заполнения шнека  $K_{z, \text{рац}}$  от диаметра ступицы  $d$ .**

**Figure 2. Dependences of the screw performance  $Q_{\text{shn}}$  and the rational coefficient of fullness of the screw  $K_{z, \text{rat}}$  on hub diameter  $d$ .**

Производительность шнекового грузчика комбайна «Урал-20Р-11/12», определенная выражениями (1)–(3) и соответствующая минимальному значению циркуляции руды между лопастями, составляет  $Q = 7,5 \text{ т/мин}$ . При номинальной производительности комбайна «Урал-20Р-11/12»  $Q = 8 \text{ т/мин}$  имеет место повышение степени заполнения межлопастного пространства шнеков и циркуляция руды в спиральных каналах шнекового грузчика, что обуславливает увеличение количества пылевидных классов  $-0,25 \text{ мм}$  в продуктах отбойки.

Из выражения (1) следует, что при постоянном значении наружных размеров шнека комбайна «Урал-20Р» (диаметр лопасти  $D_{\text{шн}} = 0,68 \text{ м}$ ) наибольшее влияние на его производительность по погрузке  $Q_{\text{шн}}$  оказывает величина диаметра ступицы  $d_{\text{шн}}$ , рациональное значение которой необходимо определить.

#### Определение рациональных параметров шнеков комбайнов «Урал-20Р»

Определение рациональных конструктивных параметров шнеков комбайнов «Урал-20Р» выполнено исходя из условия обеспечения номинальной производительности проходческо-очистных комбайнов при наименьшей циркуляции и измельчении руды между лопастями шнеков.

С целью определения рациональных параметров работы шнека, соответствующих наименьшему измельчению перемещаемой руды, коэффициент циркуляции руды в шнеке принимаем минимально возможным, т. е.  $K_u = 1$ .

Значение угла  $\beta$  для транспортирования калийной руды шнеками комбайна «Урал-20Р-11/12» при расчетной схеме заполнения поперечного сечения шнека (рис. 1) определено из выражения (3) и составляет  $\beta = 35^\circ$ . При  $\beta < 35^\circ$  руда перебрасывается через ступицу шнека, что обуславливает повышение интенсивности циркуляции и измельчения перемещаемых частиц руды.

Авторами данной работы расчетным путем получены значения рациональной величины коэффициента заполнения  $K_{z, \text{рац}}$  при принятой расчетной схеме и определенном угле  $\beta$  ( $D_{\text{шн}} = \text{const}$ ) в диапазоне значений диаметра ступицы шнека  $d_{\text{шн}} \in [0,1 \text{ м}; 0,6 \text{ м}]$ . Методом полиномиальной аппроксимации получена зависимость изменения рациональной величины коэффициента заполнения  $K_{z, \text{рац}}$  от диаметра ступицы  $d_{\text{шн}}$  шнека:

$$K_{z, \text{рац}} = -31,5 d_{\text{шн}}^5 + 56,11 d_{\text{шн}}^4 - 36,13 d_{\text{шн}}^3 + 9,57 d_{\text{шн}}^2 - 0,46 d_{\text{шн}} + 0,5. \quad (4)$$

Подставив коэффициент заполнения  $K_{z, \text{рац}}$ , определяемый зависимостью (4), в выражение (1), получаем зависимость производительности шнекового органа  $Q_{\text{шн}}$  от диаметра ступицы шнека  $d_{\text{шн}}$ , представленную на рис. 2.

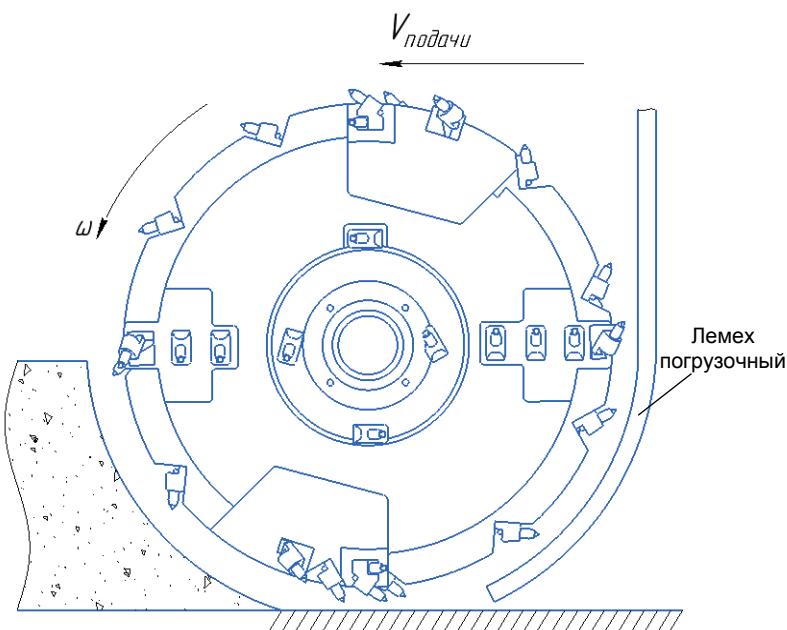
Исходя из условия, что производительность шнека не должна ограничивать производительность комбайна, для определения рациональных значений диаметра ступицы принимаем  $Q_{\text{шн}} \geq 8 \text{ т/мин}$ . Таким образом, необходимо, чтобы величина диаметра ступицы принадлежала диапазону значений  $d \in [d_{\text{min}}; d_{\text{max}}]$  (рис. 2).

При величине  $d = D/3$  наблюдается экстремум функции  $Q_{\text{шн}} = f(d)$ , соответствующий наибольшему значению производительности шнека  $Q_{\text{шн}} = 9,41 \text{ т/мин}$ .

Уменьшение диаметра ступицы шнека менее  $d < D/3$  влечет снижение производительности шнека  $Q_{\text{шн}}$ , соответствующей рациональным заполнениям коэффициента заполнения шнека  $K_{z, \text{рац}}$ . В диапазоне значений диаметра ступицы шнека  $d \in [d_{\text{min}}; D/3]$  не обеспечиваются заданные прочностные характеристики шнеков комбайна «Урал-20Р-11/12».

Рациональная величина диаметра ступицы шнека  $d$ , обеспечивающая наименьшее переизмельчение руды при транспортировании, для проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р-11/12» находится в диапазоне значений  $d \in [D/3; d_{\text{max}}]$ , что соответствует величинам  $0,23\text{--}0,37 \text{ м}$  (диаметр ступицы шнека серийного комбайна «Урал-20Р-11/12»  $d = 0,4 \text{ м}$ ).

Работа шнеков комбайнов «Урал-20Р» характеризуется отсутствием замкнутых пространств в окружном направлении. Зазоры между лопастями шнеков, забоем и щитом ограждения значительны, что является причиной циркуляции и утечек руды из зоны действия погрузочных лопастей, формирования слоя просыпи на почве выработки [14, 15].



**Рисунок 3. Вариант установки погрузочного лемеха.**  
**Figure 3. Version to install the loading share.**

С целью устранения указанного недостатка предлагается замена щита, устанавливаемого за шнековым погрузочным органом комбайна, на погрузочный лемех закругленной формы (рис. 3), что позволит уменьшить объем руды, перемещаемой за пределами контура лопастей шнека.

Одним из способов уменьшения интенсивности измельчения калийной руды при работе комбайнов «Урал-20Р» является изменение расположения резцодержателей на шнеках. Рациональным является размещение кулаков с резцами на нерабочей стороне лопасти шнека таким образом, чтобы они не выступали за пределы диаметра лопасти. Следует учесть, что при таком расположении резцодержателей необходимо использовать резцы с повышенным радиальным вылетом.

#### Заключение

Погрузочное оборудование проходческо-очистных комбайнов необходимо проектировать таким образом, чтобы техническая производительность грузчиков превышала общую производительность породоразрушающих исполнительных органов выемочных машин. Конструктивные параметры погрузочных органов следует рассчитывать из условия обеспечения минимальной циркуляции руды в призабойном пространстве.

Шнеки серийного комбайна «Урал-20Р-11/12» характеризуются высоким коэффициентом заполнения при работе комбайна с名义альной производительностью 8 т/мин, что обуславливает циркуляцию и переизмельчение руды при погрузке. Снижение измельчения руды может быть обеспечено путем уменьшения диаметра ступицы шнека с 0,4 м до 0,35–0,37 м. Расчетным путем доказано, что максимальная производительность шнека по погрузочной способности 9,41 т/мин при заданном диаметре лопасти 0,68 м обеспечивается при диаметре ступицы 0,23 м.

Повышение эффективности погрузки и уменьшение переизмельчения калийной руды шнеками комбайнов «Урал-20Р» может быть обеспечено посредством установки резцодержателей на нерабочей стороне лопасти шнека таким образом, чтобы они не выступали за пределы диаметра лопасти.

Замена щита, устанавливаемого за шнековым погрузочным органом комбайна «Урал», на погрузочный лемех закругленной формы, позволит уменьшить объем руды, перемещаемой за пределами контура лопастей шнека, снизить циркуляцию и измельчение руды при погрузке.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Старков Л. И., Земсков А. Н., Кондрашев П. И. Развитие механизированной разработки калийных руд. Пермь: ПГТУ, 2007. 522 с.
- Докукин А. В. Фролов А. Г., Позин Е. З. Выбор параметров выемочных машин. Научно-методические основы. М.: Наука, 1976. 144 с.
- Харламова Н. А. Исследование механизма разрушения соляных горных пород резцовым инструментом: дис. ... канд. техн. наук. Пермь: ПГТУ, 1998. 173 с.
- Титков С. Н., Мамедов А. И., Соловьев Е. И. Обогащение калийных руд. М.: Недра, 1982. 216 с.
- Тетерина Н. Н., Сабиров Р. Х., Сквирский Л. Я., Кириченко Л. Н. Технология флотационного обогащения калийных руд / под ред. Н. Н. Тетериной. Пермь: Соликамская типография, 2002. 484 с.
- Сидякин Д. А. Обоснование параметров и конструкции шнекового грузчика проходческо-очистного комбайна // Записки Горного института. 2009. Т. 181. С. 138–140.
- Li X., Wang S., Ge S., Malekian R., Li Z., Li Y. A study on drum cutting properties with full-scale experiments and numerical simulations // Measurement. 2018. Vol. 114. P. 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.006>
- Солод В. И., Гетопанов В. Н., Рачек В. М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. М.: Недра, 1982. 350 с.
- Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of «URAL-20R» heading-and-winning machine // Earth and Environmental Science: IOP Conference Series. 2017. Vol. 87. 022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/2/022025>
- Вернер В. Н. Исследование и обоснование рациональных параметров шнековых погрузочно-транспортирующих органов выемочных машин: дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 1999. 318 с.

11. Миничев В. И. Угледобывающие комбайны. Конструирование и расчет. М.: Машиностроение, 1976. 248 с.
12. Габов В. В., Нгуен К. Л., Нгуен В. С., Ле Т. Б., Задков Д. А. Обоснование геометрических и режимных параметров шнековых исполнительных органов, обеспечивающих эффективность погрузки угля на забойный конвейер // Уголь. 2018. С. 32–35. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-2-32-35>
13. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines // Materials science and engineering: IOP conference series. 2018. Vol. 327. 042132. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042132>
14. Ayhan M., Eyyuboglu E. M. Comparison of globoid and cylindrical shearer drums' loading performance // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2006. Vol. 106, № 1. P. 51–56.
15. Gao K., Du C., Liu S., Fu L. Model test of helical angle effect on coal loading performance of shear drum // International Journal of Mining Science and Technology. 2012. Vol. 22, issue 2. P. 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2011.08.005>

Статья поступила в редакцию 21 января 2019 г.

# Determination of the rational parameters of screw loaders of the Ural-20R heading-and-winning machines

Aleksey Borisovich MAKSIMOV\*,  
Dmitriy Igorevich SHISHLYANNIKOV\*,  
Nikolay Vasil'evich CHEKMASOV\*\*

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

**Introduction.** The urgent task for enterprises engaged in the extraction of potash salts using the Ural-20R heading-and-winning machines is to reduce the amount of pulverized rough classes in potash ore. The solution to this problem is possible through the improvement of the design of screw loading bodies of combines.

**The method for determining the rational parameters of the screw loader of the Ural-20R combine.** The analysis of factors affecting the intensity of the process of grinding potash ore when loading with an auger worm. The main criteria for the selection of rational parameters of screw loaders of heading-and-winning machines are indicated. Mathematical dependences are given; the computational scheme has been developed for determining the rational value of the coefficient of fullness of the screw cross section, which ensures minimum ore circulation in the spiral canals of the screw. It is proved that the work of screw loaders with nominal productivity of combines "Ural-20R-11/12" is accompanied by a high degree of filling of the interlobe space and ore circulation, which causes an increase in the number of dust-like rough classes in the breakage products.

**Determination of rational parameters of screws of the Ural-20R combines.** Determination the rational design parameters of the screws of the Ural-20R combines is made on the basis of the condition of ensuring the nominal capacity of the excavation machines with the least ore circulation in the spiral canals of the screw loaders. The dependence of the change in the coefficient of fullness and the productivity of the auger worm on loading is established and analyzed. The rational size of the hub diameter of the screw loader of the Ural-20R-11/12 combined machine was determined by calculation, which ensures minimum circulation and over-grinding of the ore in the spiral canals of the screw. Some technical solutions to improve the design of the screws are offered.

**Conclusion.** It is concluded that the design parameters of screw loaders should be calculated from the condition of ensuring minimum ore circulation in the face space and spiral canals of the screws. The reduction of ore grinding can be achieved by reducing the screw hub diameter from 0.4 m to 0.35–0.37 m.

**Keywords:** heading-and-winning machine, rational parameters of augers of excavation machines, ore circulation in the face space, granulometric size composition of potash ore, dust formation during the work of a heading-and-winning machine.

## REFERENCES

1. Starkov L. I., Zemskov A. N., Kondrashev P. I. 2007, *Razvitiye mekhanizirovannoy razrabotki kaliynykh rud* [Development of artificial extraction of potash ores]. Perm, 522 p.
2. Dokukin A. V. Frolov A. G., Pozin E. Z. 1976, *Vybor parametrov vyyemochnykh mashin. Nauchno-metodicheskiye osnovy* [The choice of parameters of extracting machines. Research and methodological foundations]. Moscow, 144 p.
3. Kharlamova N. A. 1998, *Issledovaniye mekhanizma razrusheniya solyanykh gornykh porod reztsovym instrumentom* [The study of the fracture behavior of salt rocks with a cutting tool], PhD thesis. Perm, 173 p.
4. Titkov S. N., Mamedov A. I., Solov'ev E. I. 1982, *Obogashcheniye kaliynykh rud* [Potash ore enrichment], 216 p.
5. Teterina N. N., Sabirov R. Kh., Skvirsky L. Ya., Kirichenko L. N. 2002, *Tekhnologiya flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud* [Potash ore flotation technology]. Perm, 484 p.
6. Sidyakin D. A. 2009, Substantiation of the parameters and design of the screw loader of heading-and-winning machines. *Zapiski Gornogo Instituta* [Journal of Mining Institute], vol. 181, pp. 138–140. (In Russ.)
7. Li X., Wang S., Ge S., Malekian R., Li Z., Li Y. 2018, A study on drum cutting properties with full-scale experiments and numerical simulations. *Measurement*, vol. 114, pp. 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.006>
8. Solod V. I., Getopanov V. N., Rachek V. M. 1982, *Proyektirovaniye i konstruirovaniye gornykh mashin i kompleksov* [Design and construction of mining machines and units]. Moscow, 350 p.
9. Zvonarev I. E., Shishlyannikov D. I. 2017, Efficiency improvement of loading of potassium ore by means of "URAL-20R" heading-and-winning machine. *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*. 2017, vol. 87. 022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/2/022025>
10. Verner V. N. 1999, *Issledovaniye i obosnovaniye ratsional'nykh parametrov shnekovykh pogruzochno-transportiruyushchikh organov vyyemochnykh mashin* [Research and substantiation of rational parameters of screw loading and transporting bodies of extracting machines], PhD thesis, 318 p.
11. Minichev V. I. 1976, *Ugledobyvayushchiye kombayny. Konstruirovaniye i raschet* [Coal-mining combines. Design and calculation]. Moscow, 248 p.
12. Gabov V. V., Nguyen K. L., Nguyen V. S., Le T. B., Zadkov D. A. 2018, Justification of the geometric and regime parameters of screw actuating devices ensuring the efficiency of coal loading for the face conveyor. *Ugol'* [Coal], pp. 32–35 (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-2-32-35>
13. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. 2018, Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines. *Materials science and engineering: IOP conference series*, vol. 327. 042132. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042132>
14. Ayhan M., Eyyuboglu E. M. 2006, Comparison of globoid and cylindrical shearer drums' loading performance. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 106, no. 1, pp. 51–56.
15. Gao K., Du C., Liu S., Fu L. 2012, Model test of helical angle effect on coal loading performance of shear drum. *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 22, issue 2, pp. 165–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2011.08.005>

The article was received on January 21, 2019

\*✉ maksimov.aleksey.98589575@gmail.com

✉ <https://orcid.org/0000-0001-8819-4089>

\*\*4varjag@mail.ru

\*\*\*mec@pstu.ru

# Разработка и методика определения параметров вибрационного стенда с консольной просеивающей поверхностью

Аркадий Васильевич ЮДИН,  
Магомед Казбекович АБДУЛКАРИМОВ,  
Анатолий Григорьевич ПОПОВ,  
Виктор Степанович ШЕСТАКОВ\*

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

**Актуальность** работы обусловлена потребностью горной, строительной отрасли в качественной подготовке сырья, повышении выхода кондиционных фракций, снижении потерь полезных ископаемых при разработке карбонатных карьеров. Проблемой, с которой сталкиваются на сортировочных фабриках, является сложность разделения горной массы, содержащей глинистые включения. Серийные инерционные грохоты с колосниковой просеивающей поверхностью часто забиваются глиной и снижают свою эффективность.

**Цель работы:** совершенствование просеивающих поверхностей грохотов, повышающих эффективность грохочения, снижающих степень забиваемости глинистыми включениями при разделении трудногрохотимой горной массы; разработка вибрационного стенда для проверки теоретических положений по совершенствованию просеивающих поверхностей в экспериментальных условиях.

**Методология исследования:** разработка методики расчета параметров стенда на базе одномассной и двухмассной колебательной системы, выполнение проектного решения и подготовка методики измерения колебаний рабочего органа и просеивающей поверхности.

**Результаты.** Разработан вибрационный стенд с усовершенствованной просеивающей поверхностью. Стенд включает: рабочий орган, виброзвукоделители направленных колебаний, пружинные опоры, опорную раму, упругую лепестковую муфту, электропривод постоянного тока, пульт управления, измерительную аппаратуру привода, систему датчиков для измерения колебаний и регистрирующую аппаратуру. Особенностью стенда является то, что между бортовинами рабочего органа закреплены четыре опорных блока, на которых установлены консольные колосники с изменяющимися параметрами. Колосники образуют четырехкаскадную просеивающую поверхность.

**Выводы.** Разработана схема экспериментального стенда вибрационного грохота с усовершенствованной просеивающей поверхностью. Высказана гипотеза, что грохот с консольной просеивающей поверхностью правомерно рассматривать как двухмассную колебательную систему. Изложена методика расчета параметров такой системы. Для оценки методики разработана программа и выполнен анализ результатов. В качестве результата работы приведены характеристика стенда и основные расчетные параметры.

**Ключевые слова:** вибрационный стенд, грохот, бортовина, просеивающая поверхность, колосник, балка, шарнир, упругая опора, вибратор, модель, амплитуда, частота колебаний.

## Bведение

На кафедре горных машин и комплексов УГГУ проводятся исследования по совершенствованию конструкций грохотов и определению их параметров для условий эксплуатации с трудногрохотимым материалом. Теоретические исследования опубликованы в [1–5], а для проведения экспериментальных исследований на кафедре разработан вибрационный стенд. Исследования по повышению эффективности грохочения проводятся и другими научными и производственными коллективами [6–14].

### Решение задач исследования

Предлагаемая нами методика исследований на разработанном стенде предусматривает два этапа. На первом этапе стенд обеспечивает исследования колебания одномассной системы с инерционным приводом и направленными колебаниями рабочего органа. На втором этапе – исследования двухмассной колебательной системы. Первая масса – колебание рабочего органа на основных упругих связях. Вторая масса – колебание консольных колосников за счет упругих свойств материала колосников.

Стенд предназначен для экспериментальных исследований вибрационного грохота с каскадной просеивающей поверхностью (ПП), колосники которой закреплены консольно. Назначение грохота – разделение трудногрохотимой горной массы (ГМ), например, содержащей глинистые включения, на фракции  $\pm 0,04$  м с наибольшим размером загружаемого куска 0,1 м. На кафедре разрабатывается усовершенствованная конструкция на базе серийного грохота ГИТ-51, эффективность грохочения и будет исследована на стенде. Общий вид стенда показан на рис. 1.

Рабочий орган (РО) стенд включает две бортовины, связанные балками, посредством кронштейнов опирается на упругие пружинные опоры, установленные на опорной раме грохота.

Направленные колебания РО осуществляются двумя самобалансными вибраторами, связанными упругими муфтами общим валом. Вибраторы установлены на общей балке и закреплены с обеих сторон РО и приводятся во вращение электродвигателем П-42 постоянного тока с регулируемой частотой. Двигатель и РО связаны через упругую лепестковую муфту. Вибраторы имеют два дебалансных вала, установленных на сферических подшипниках в сварном корпусе, на концах расположены дебалансы. Валы смешены относительно друг друга при помощи зубчатой передачи с передаточным отношением, равным 1, что обеспечивает вращение их в противоположном направлении. Упругая система включает четыре опоры, в которых находятся восемь винтовых пружин. Стенд включает пульт управления, измерительную аппаратуру для пуска и регулирования частоты колебаний РО. Просеивающая поверхность закреплена внутри бортовин и представляет собой каскадную колосниковую решетку.

Движение РО на первом этапе исследований рассматривается как направленные колебания одномассной системы с зарезонансным режимом работы и с углом вибрации  $30^\circ$ . Параметры РО подобраны так, что коэффициент режима

\*✉ shestakov.v.s@mail.ru  
ID <https://orcid.org/0000-0001-9468-6696>

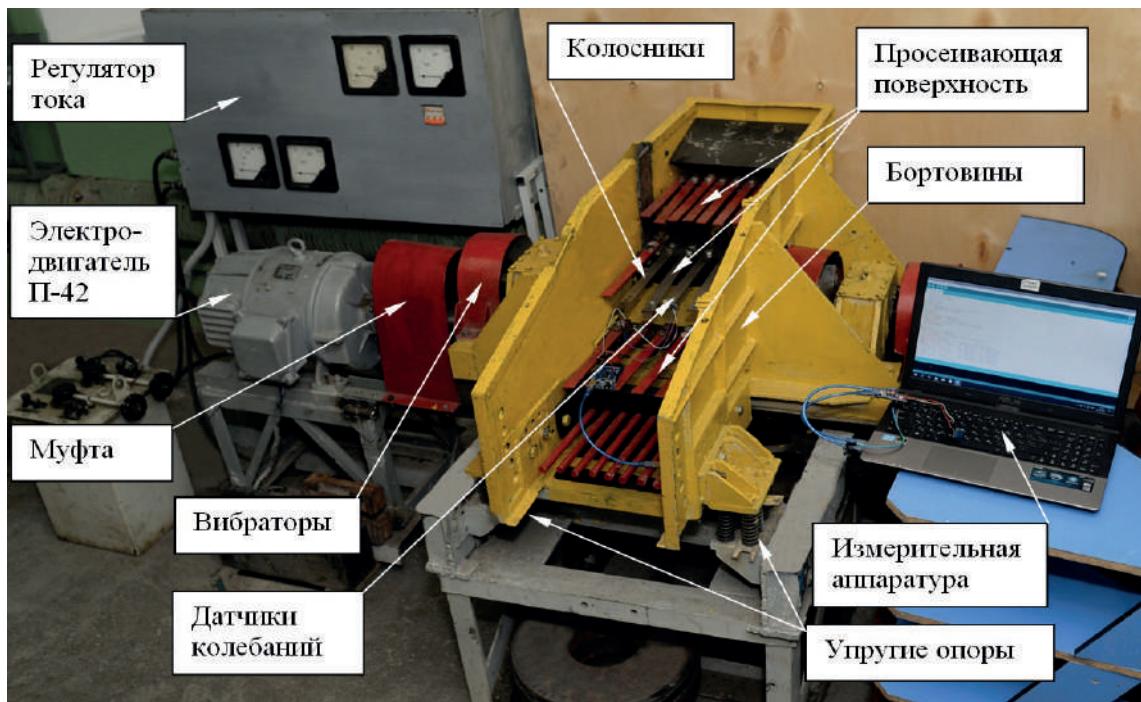


Рисунок 1. Общий вид стенда грохота.  
Figure 1. General view of the screen stand.

Г соответствует движению ГМ по ПП подбрасыванием. Частица ГМ будет иметь контакт с поверхностью до тех пор, пока составляющая силы инерции частицы, нормальная к поверхности, не превысит нормальную составляющую силы тяжести

$$MA_M \omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t \geq G_q \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $M$  – масса РО;  $G_q$  – сила тяжести частицы ГМ;  $A_M \omega^2$  – амплитуда ускорения РО;  $\beta$  – угол вибрации;  $\alpha$  – угол наклона РО к горизонту;  $\omega$  – круговая частота вынужденных колебаний.

Поскольку в условии (1) левая часть уравнения имеет максимальное значение при  $\omega t = \pi/2$ , то отрыв частицы наступит тогда, когда коэффициент режима Г будет больше 1:

$$\Gamma = \frac{A_M \omega^2}{g} \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \alpha} > 1. \quad (2)$$

Из опыта работы грохотов известно, что необходимое по интенсивности встряхивание ГМ происходит, если угол вибрации  $\beta$  принят не менее  $30^\circ$ , а коэффициент режима Г в диапазоне 2,7–3,0. По выбранным параметрам  $A_M$ ,  $\Gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  и равенству (2), решенному относительно  $\omega$ , определяется требуемая частота круговых колебаний РО:

$$\omega = \sqrt{\frac{\Gamma g \cos \alpha}{A_M \sin \beta}}.$$

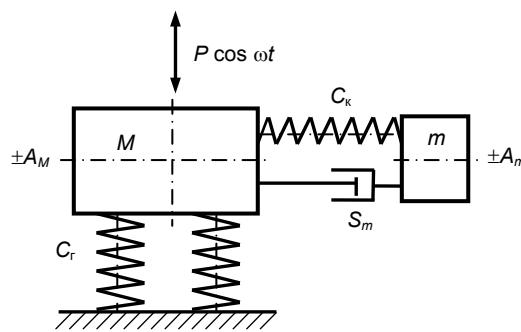
Движение одномассной колебательной системы с инерционным приводом описывается приведенным дифференциальным уравнением

$$\ddot{y} + \frac{\mu C_r}{M + m_o} \dot{y} + \frac{C_r}{M + m_o} y = \frac{m_o r \omega^2 \sin \omega t}{M + m_o}, \quad (3)$$

где  $\ddot{y}$ ,  $\dot{y}$ ,  $y$  – перемещение, скорость и ускорение РО;  $C_r$  – коэффициент жесткости упругой системы грохota;  $\mu$  – коэффициент внутренних сопротивлений в материале упругих связей (определяется экспериментально);  $m_o$  – величина массы дебалансов вибровозбудителей;  $r$  – расстояние от оси вращения до центра тяжести дебаланса.

Из (3) вычисляется амплитуда вынужденных колебаний грохота в установленвшемся режиме по формуле:

$$A_M = \frac{m_o r \omega^2}{\sqrt{C_r - (M + m_o) \omega^2 + \mu^2 C_r^2 \omega^2}}.$$



**Рисунок 2. Динамическая расчетная схема грохота.**  
Figure 2. Dynamic design diagram of the screen.

Величина массы дебалансов  $m_o$  с достаточной для практических расчетов точностью определяется из условия равновесия массы  $M$ , если ее рассматривать как свободно подвешенную в пространстве. При этом суммарная сила инерции, создаваемая вращением дебалансов с массой  $m_o$ , составит  $P = m_o r \omega^2$ , а инерционная сила от колебаний РО с амплитудой  $A_M$  и массой  $M$  составит  $P_1 = M A_M \omega^2$ . Приравнивая выражения для сил  $P$  и  $P_1$  и решив равенство относительно  $m_o$ , получим  $m_o = M A_M / r$ .

Одной из основных характеристик механической системы служит параметр – круговая частота собственных колебаний ( $\rho$ ). В грохотах с инерционным приводом  $\rho$  определяется по выражению

$$\rho = \sqrt{\frac{C_r}{M + m_o}}.$$

При инерционном возбуждении отношение  $\omega/\rho$  рекомендуется принимать в интервале от 2 до 3. При таком соотношении сила, передаваемая на опорную раму грохота, составляет 15–35 % от величины возмущающей силы вибровозбудителей.

Опыт эксплуатации комплекса очистки известняка от глины на Чаньвинском карьере (Пермский край) показал, что колосниковые ПП виброгрохотов при разделении ГМ на фракции  $\pm 0,04$  м часто забиваются глинистыми фракциями, при этом эффективность грохочения снижается [1]. Колосниковые ПП серийных грохотов осуществляют колебания совместно с РО, расстояние между колосниками всегда постоянно и не способствует интенсивному встряхиванию ГМ.

Анализ проблемной ситуации показал, что ПП колосниковых грохотов можно усовершенствовать, задавая смежным колосникам дополнительное движение в вертикальной плоскости относительно друг друга. Такое техническое решение можно реализовать, если колебания РО и ПП рассматривать как движение двухмассной колебательной системы: РО на своих упругих связях – первая масса; консольная колосниковая ПП за счет своей упругости и изгибной жесткости – вторая масса [2].

Просеивающая поверхность стенда включает четыре каскада, закрепленных между бортовинами. Каждый каскад включает опорный блок, на котором посредством болтовых соединений закреплены консольные колосники. Предусмотрено использование отличающихся колосников по массе, жесткости, длине, а также установка на них грузов. Колосники набраны из пружинной листовой стали 65Г толщиной 1–3 мм.

Вторая фаза разработки стенда направлена на реализацию сформулированной идеи, расчетная схема стенда приведена на рис. 2.

Без учета неупругих сопротивлений в системе уравнения движения для масс  $M$  и  $m_{np}$  принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} M\ddot{y}_M &= -C_r y_M + C_k (y_m - y_M) + P \cos \omega t \\ m_{np} \ddot{y}_m &= -C_k (y_m - y_M) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $y_M, \ddot{y}_M$  – перемещение и ускорение массы  $M$ ;  $y_m, \ddot{y}_m$  – перемещение и ускорение массы  $m$ ;  $m_{np}$  – приведенная масса колосников, учитывающая массу дополнительного груза  $G$  и массу единицы длины колосника,  $C_k$  – жесткость колосника;  $P \cos \omega t$  – возмущающая сила привода.

Вводя обозначение  $(C_r + C_k)/M = a$ ;  $C_k/M = b$ ;  $C_k/m_{np} = c$ ;  $P/M = d$ , уравнение (4) можно записать в компактной форме:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y}_M + ay_M - by_m &= d \cos \omega t \\ \ddot{y}_m &= -cy_m + cy_M \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Частное решение системы (5) имеет вид:

$$y_M = A_M \sin \omega t, \quad y_m = A_m \sin \omega t.$$

Таблица 1. Исходные данные параметров стенда для расчета.

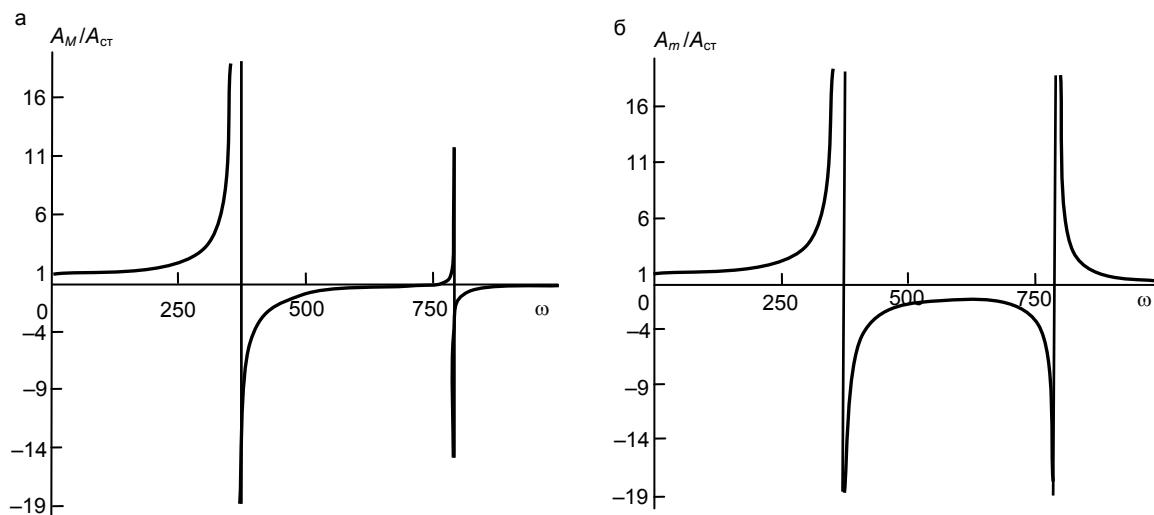
Table 1. Initial data of stand parameters for calculation.

Параметр	Значение параметра
Размер РО в плане $L \times B$ , м	$1,2 \times 3$
Угол наклона РО $\alpha$ , град.	0
Угол вибрации $\beta$ , град.	30
Частота вынужденных колебаний $\omega$ , кол/мин	0–1500
Амплитуда колебаний РО $A_M$ , мм	3,0–4,0
Общий коэффициент жесткости упругих опор РО $C_p$ , Н/м	533100
Возмущающая сила привода $P$ , кН	6,5–8,5
Количество каскадов ПП $N$ , шт.	4
Количество колосников (общее) $N_k$ , шт.	32
Масса рабочего органа $M$ , кг	300–350
Частота собственных колебаний РО $\omega_{po}$ , 1/с	35–40
Длина консоли колосников $l$ , м	0,25–0,3
Толщина колосника $h$ , м	0,002; 0,003; 0,004
Вес дополнительного груза на колосниках $G_p$ , Н	5; 10; 15

Таблица 2. Результаты численного моделирования колебаний двухмассной системы.

Table 2. Results of numerical simulation of oscillations of a dual-mass system.

Параметры стенда					Расчетные параметры				
$I$	$h$	$G_p$	$m$	$C_k$	$\omega_r$	$\omega_k$	$A_M$	$A_m$	
0,25	0,002	0,15	1,5	3276	354	476	-3,9	1,8	
0,25	0,003	0,15	1,7	11 059	362	793	-15,5	187,9	
0,25	0,004	0,15	2,0	26 214	362	1141	-3,3	-7,0	
0,3	0,002	0,15	1,6	1896	314	395	-3,9	0,8	
0,3	0,003	0,15	1,9	6400	357	586	-4,1	4,0	
0,3	0,004	0,15	2,1	15 170	359	833	-0,3	-44,5	

Рисунок 3. Амплитудно-частотная характеристика. а – рабочего органа; б – просеивающей поверхности;  $A_{st}$  – статическое перемещение просеивающей поверхности.Figure 3. Amplitude frequency response. a – work tool; b – deck plate;  $A_{st}$  – static motion of the deck plate.

После подстановки  $y_1, \ddot{y}_M, y_m, \ddot{y}_m$  в уравнение (5) получим систему для определения амплитуд колебаний  $A_M$  и  $A_m$

$$\left. \begin{aligned} (a - \omega^2)A_M - bA_M &= d \\ cA_M + (c - \omega^2)A_m &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где  $A_M, A_m$  – амплитуда колебаний просеивающей поверхности грохота и колосника.

Совместное решение уравнений (6) дает следующее значение амплитуд колебаний масс  $M$  и  $m_{np}$ :

$$A_M = P(C_k / m_{np}) - \omega^2 / (MB); A_m = PC_k / (Mm_{np}B), \quad (7)$$

где

$$B = \{(C_r + C_k)/M\}[(C_k/m_{np}) - \omega^2] - C_k^2/(Mm_{np}). \quad (8)$$

Выражение (8), входящее в знаменатель выражения (7), представляет собой квадратичное уравнение относительно  $\omega$  и определяет частотное уравнение системы (6). Решая частотное уравнение относительно  $\omega^2$ , определяют две собственных частоты всей системы  $\omega_r$  и  $\omega_k$ :

$$\omega_{r,k}^2 = 0,5[(C_r + C_k)/M] \pm \{1/4[(C_r + C_k)/M - C_k/m_{np}]^2 + C_k^2/(Mm_{np})\}^{0.5}. \quad (9)$$

Амплитуды  $A_M$  и  $A_m$  становятся бесконечно большими (если система не демпфирована), когда  $\omega = \omega_r$  или  $\omega = \omega_k$ . Для системы с двумя степенями свободы существуют два условия резонанса, соответствующего каждой из двух частот собственных колебаний всей системы  $\omega_r$  и  $\omega_k$ .

Отношение амплитуд  $A_M$  и  $A_m$  вынужденных колебаний определяется из выражения (7)

$$\frac{A_M}{A_m} = [(C_k/m_{np}) - \omega^2]m_{np}/C_k. \quad (10)$$

В выражениях (7)–(10) значения параметров определены по формулам:

$$\rho_r = [(C_r/(M + m_o)]^{0.5}; \rho_k = [(C_k/m_{np})]^{0.5}; m_{np} = m + \mu m_k l; \\ C_k = 3EJ_x/l^3; C_r = \rho_r^2 M,$$

где  $\rho_r$ ,  $\rho_k$  – частота собственных колебаний массы  $M$  и колосников;  $m_{np}$  – приведенная масса колосниковой ПП;  $\mu$  – коэффициент приведения массы колосника,  $\mu = 33/140$  [15];  $l$  – длина консоли колосника;  $E$  – модуль упругости;  $J_x$  – момент инерции поперечного сечения колосника.

Разработке стенда предшествовали исследования поведения грохота как двухмассной колебательной системы на примере серийного вибрационного грохота типа ГИТ с измененной просеивающей поверхностью. Анализ и численное моделирование показали, что массы  $M$  и  $m$  выполняют разноамплитудные колебания  $A_M$  и  $A_m$  и отношение амплитуд  $A_M/A_m$  зависит в основном от параметров колосников и высшей частоты резонансных колебаний  $\omega_k$ . Результаты анализа приведены в работе [1]. На следующем исследовании поставлена задача – проверить результаты экспериментально.

При рассмотрении модели стенда как двухмассной колебательной системы поставлена цель – подтвердить экспериментальным путем гипотезу, что при определенных соотношениях параметров  $\omega$ ,  $M$ ,  $m_{np}$ ,  $C_r$ ,  $C_k$  и др. ПП с консольными колосниками будет совершать неавтономные колебания с амплитудой  $A_m$ , отличной от амплитуды  $A_m$  рабочего органа, и эти колебания зависят от межрезонансного расстояния частот собственных колебаний всей системы  $\omega_r$  и  $\omega_k$ .

Для моделирования параметров колебаний стенда в соответствии с предложенной методикой разработана компьютерная программа на алгоритмическом языке (фонд кафедры ГМК УГГУ). Исходные данные для расчета параметров стенда сведены в табл. 1.

В результате численного моделирования получены значения параметров экспериментального стенда. Фрагмент расчетных значений приведен в табл. 2. На рис. 3 показаны расположения резонансных кривых.

По результатам табл. 2 видно, что массы  $M$  и  $m$  совершают разноамплитудные колебания. При этом движение масс при различных параметрах колосников выполняется в виде синфазных и антинфазных перемещений.

### Заключение

Разработан вибрационный стенд для проведения экспериментальных исследований инерционного грохота с усовершенствованной просеивающей поверхностью для проверки гипотезы о возможности рассматривать процесс колебаний на основе двухмассной колебательной системы. Приведена методика расчета параметров стендса и выполнен анализ колебаний методом численного моделирования алгоритмической программой. Приведены результаты анализа. Показано, что разработанная методика расчета позволяет прогнозировать колебания рабочего органа и просеивающей поверхности, разработать диапазон варьируемых параметров колосниковой просеивающей поверхности в экспериментальных условиях на стенде ( $l$ ,  $h$ ,  $G_r$ ,  $G_k$ ).

### ЛИТЕРАТУРА

- Юдин А. В., Шестаков В. С., Абдулкаримов М. К. Численный анализ колебаний двухмассовой консервативной системы вибрационного грохота для трудногрохотимой горной массы // Изв. вузов. Горный журнал. 2018. № 5. С. 93–101.
- Юдин А. В. Моделирование вынужденных колебаний просеивающей поверхности инерционного грохота с консольно защемленными колосниками // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 6. С. 63–70.
- Sladkowski A., Yudin A., Komissarov A., Lagunova Yu., Akhmetova M., Stolpovskikh I. Calculation of parameters and design of the movable transfer station with vibrating screen feeder for the conveyor of deer queries // International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018. Vol. 7. special issue, № 2. P. 148–151. <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11904>
- Волков Е. Б., Ляпцев С. А. Влияние угла наклона рабочей поверхности вибрационного грохота на эффективность грохочения // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 8. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9642>
- Волков Е. Б., Ляпцев С. А. Компьютерное моделирование процесса грохочения // Международный журнал экспериментального образования. 2012. № 4. С. 49–50.
- Вайсберг Л. А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов. М.: Недра, 1986. 144 с.

7. Вайсберг Л. А., Коровников А. Н., Трофимов В. А. Модернизация технологических циклов грохочения на основе инновационного оборудования (к 100-летию института «Механобр») // Горный журнал. 2017. № 1. С. 11–17. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.01.02>
8. Карташев А. Н. Вибрационные агрегаты для переработки минерального и техногенного сырья. Моделирование и элементы расчета по критериям энерго- и ресурсоэффективности. М.: МГГУ, 2013. 328 с.
9. Газалеева Г. И., Цыпин Е. Ф., Червяков С. А. Рудоподготовка, дробление, грохочение, обогащение. Екатеринбург, 2014. 914 с.
10. Назаров К. С., Фет Ш. Анализ современных конструктивных решений, повышающих эффективность виброклассификации трудногрохотимых материалов // ГИАБ. 2009. Т. 16, № 12. С. 383–393
11. Шишкин Е. А., Лебедев А. И. Исследование параметров вибрационного грохота с применением инструментов имитационного моделирования // Ученые заметки ТОГУ. 2016. Т. 7. С. 281–286. URL: [http://ejournal.pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2016/TGU\\_7\\_48.pdf](http://ejournal.pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2016/TGU_7_48.pdf)
12. Ferrara G., Preti U., Schena G. D. Modelling of screening operations // International Journal of Mineral Processing. 1988. Vol. 22, № 1/4. P. 193–222. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(88\)90064-6](https://doi.org/10.1016/0301-7516(88)90064-6)
13. Rumyantsev S., Tarasov D. Numerical Simulation of Non-linear Dynamics of Vibration Transport Machines in Case of Three Independently Rotating Vibration Exciters // Recent Advances in Applied Mathematics: Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (AMERICAN-MATH'10). Cambridge: Harvard University, USA, January 27–29, 2010. P. 191–194.
14. Subasinghe G. K. N. S., Schoap W., Kelly E. G. Modelling screening as a conjugate rate process // International Journal of Mineral Processing. 1990. Vol. 28. P. 289–300. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(90\)90047-3](https://doi.org/10.1016/0301-7516(90)90047-3)
15. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. М.: Физматиздат, 1959. 439 с.

Статья поступила в редакцию 26 января 2019 г.

# Development and methods for determining the parameters of a vibration stand with an open-end deck plate

Arkadiy Vasil'evich YUDIN,  
 Magomed Kazbekovich ABDULKARIMOV,  
 Anatoliy Grigor'evich POPOV  
 Viktor Stepanovich SHESTAKOV\*

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

**The relevance** of the work is due to the need of the mining and construction industry in high-quality preparation of raw materials, increasing the yield of standard fractions, reducing the loss of mineral resources in the development of carbonate open pit. A problem of screening plants is the difficulty of separating rock mass containing clay inclusions. Serial inertial screens with a grizzly deck plate are often clogged with clay and reduce their effectiveness.

**The purpose of the work:** improvement of screens deck plates, increasing screening efficiency, reducing the degree of clogging by clay inclusions in the separation of a difficult-to-reach rock mass; development of a vibration stand for testing abstract theorems on the improvement of deck plates under experimental conditions.

**Methodology of the research:** development of methods for calculating the parameters of a stand on the basis of the vibration system, the implementation of the design solution and the preparation of methods for measuring the vibrations of the work tool and the deck plate.

**Results.** A vibration stand with an improved deck plate has been developed. The stand includes: work tool, controlled-angle vibration exciters, flexible support, supporting frame, spring petal coupling, DC electric drive, control board, measuring equipment of the drive, sensor system for measuring oscillations and recording equipment. The peculiarity of the stand is that there are four supporting blocks between the sides of the work tool on which open-end grizzlies are installed with varying parameters. Grizzlies form a four-stage deck plate.

**Conclusion.** A scheme has been developed for an experimental stand of vibrating grizzly with an improved deck plate. It is hypothesized that the screen with a open-end deck plate can be rightfully regarded as a dual-mass oscillatory system. The method of calculating the parameters of such a system is described. To evaluate the methodology, a program was developed and the results were analyzed. As a result of the work, the characteristics of the stand and the main design parameters are given.

**Keywords:** vibrating stand, screen, side, deck plate, grizzly, beam, hinge, elastic support, vibrator, model, amplitude, oscillation frequency.

## REFERENCES

- Yudin A. V., Shestakov V. S., Abdulkarimov M. K. 2018, Numerical analysis of oscillations of a dual-mass conservative vibrating screen system for a hard rock mass. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 5, pp. 93–101. (In Russ.)
- Yudin A. V., 2016, Simulation of forced oscillations of a deck plate of an inertial screen with pinched grizzlies. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 6, pp. 63–70. (In Russ.)
- Sladkowskii A., Yudin A., Komissarov A., Lagunova Yu., Akhmetova M., Stolpovskikh I. 2018, Calculation of parameters and design of the movable transfer station with vibrating screen feeder for the conveyor of deer queries. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, vol. 7, no 2, pp. 148–151. <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i2.23.11904>
- Volkov E. B., Lyaptsev S. A. 2013, The influence of the angle of inclination of the working surface of the vibrating screen on the efficiency of screening. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], no. 4, p. 8 (In Russ.). URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9642>
- Volkov E. B., Lyaptsev S. A. 2012, Computer simulation of screening process. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International journal of experimental education], no. 4, pp. 49–50. (In Russ.)
- Weisberg L. A. 1986, *Proyektirovaniye i raschet vibratsionnykh grashotov* [Design and calculation of vibration screens]. Moscow, 144 p.
- Weisberg L. A., Korovnikov A. N., Trofimov V. A. 2017, Modernization of technological cycles of screening on the basis of innovative equipment (to the 100th anniversary of the Mekhanobr Institute. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], no. 1, pp. 11–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.01.02>
- Kartavii A. N. 2013, *Vibratsionnyye agregaty dlya pererabotki mineral'nogo i tekhnogenennogo syr'ya. Modelirovaniye i elementy rascheta po kriteriyam energo- i resursoeffektivnosti* [Vibration units for the processing of mineral and man-made materials. Modeling and calculation elements according to the criteria of energy and resource efficiency]. Moscow, 328 p.
- Gazaleeva G. I., Tsypin E. F., Chervyakov S. A. 2014, *Rudopodgotovka, drobleniye, grokhocheniye, obogashcheniye* [Ore preparation, crushing, screening, enrichment]. Ekaterinburg, 914 p.
- Nazarov K. S., Fet Sh. 2009, Analysis of modern design solutions that increase the efficiency of vibration classification of hard-to-get materials. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], vol. 16, no. 12, pp. 383–393. (In Russ.)
- Shishkin E. V., Lebedev A. I. 2016, Study of parameters of the vibrating screen using tools of simulation modeling. *Uchenyye zametki TOGU* [Electronic scientific journal "Scientists notes PNU"], vol. 7, pp. 281–286 (In Russ.). URL: [http://ejournal.pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2016/TGU\\_7\\_48.pdf](http://ejournal.pnu.edu.ru/media/ejournal/articles-2016/TGU_7_48.pdf)
- Ferrara G., Preti U., Schena G. D. 1988, Modelling of screening operations. *International Journal of Mineral Processing*, vol. 22, no. 1/4, pp. 193–222. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(88\)90064-6](https://doi.org/10.1016/0301-7516(88)90064-6)
- Rumyantsev S., Tarasov D. 2010, Numerical Simulation of Non-linear Dynamics of Vibration Transport Machines in Case of Three Independently Rotating Vibration Exciters. *Recent Advances in Applied Mathematics: Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (AMERICAN-MATH'10)*. Cambridge, Harvard University, USA, January 27–29, pp. 191–194.
- Subasinghe G. K. N. S., Schoap W., Kelly E. G. 1990, Modelling screening as a conjugate rate process. *International Journal of Mineral Processing*, vol. 28, pp. 289–300. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(90\)90047-3](https://doi.org/10.1016/0301-7516(90)90047-3)
- Timoshenko S. P. 1959, *Kolebaniya v inzhenernom dele* [Oscillations in engineering]. Moscow, 439 p.

The article was received on January 26, 2019

\*✉ shestakov.v.s@mail.ru

ID <https://orcid.org/0000-0001-9468-6696>

# О едином диагностическом критерии для выявления дефектов электрических машин по параметрам механических колебаний

Павел Борисович ГЕРИКЕ<sup>\*</sup>

Институт угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН, Россия, Кемерово

**Актуальность работы.** В настоящей работе приведены некоторые результаты анализа методологических подходов к разработке единого диагностического критерия, пригодного для выполнения оценки фактического состояния электрических машин и разработки прогнозных деградационных моделей.

**Цель работы:** обобщить результаты анализа параметров механических колебаний, генерируемых при работе электрических машин различной конструкции, что позволит осуществить классификацию дефектов данного оборудования по базовым группам и формализовать диагностические признаки для удобства их использования при разработке кода алгоритма автоматизированного контроля сложных систем по частотным наборам диагностических признаков; показать, что в условиях до сих пор действующей на предприятиях угольной и горнорудной промышленности Кузбасса системы плановых ремонтов приоритет должен быть отдан только краткосрочным прогнозным математическим моделям, позволяющим оценить вероятность возникновения аварийных отказов техники на ближайшую перспективу; разработать алгоритм создания единого диагностического критерия, пригодного для выявления и оценки степени опасности дефектов электрической природы на оборудовании горных машин.

**Методы исследования.** В рамках исследования обоснована необходимость использования результатов комплексного подхода к диагностике электрических машин по параметрам генерируемым при их работе вибрации с одновременным применением нескольких диагностических методологий, включая спектральный анализ, анализ огибающей, вейвлет-преобразование, анализ характеристики выбега. Показано, что комплексный подход к диагностике по параметрам вибрации открывает широкие возможности для своевременного диагностирования дефектов энергомеханического оборудования горных машин, в том числе находящихся на стадии зарождения.

**Результаты работы.** Результаты проведенных исследований уверенно доказывают принципиальную возможность создания нового адекватного единого диагностического критерия для выявления дефектов электрической природы, который может быть использован в качестве базового элемента системы обслуживания техники по ее фактическому техническому состоянию. Применение на практике разрабатываемого критерия позволит повысить эффективность управления техническим обслуживанием сложных механических систем и осуществлять прогнозирование изменения фактического состояния электрических машин, эксплуатируемых в угольной и горнорудной промышленности.

**Ключевые слова:** вибродиагностика, электродвигатели, дефекты электрической природы, горное оборудование, управление техническим обслуживанием.

## B ведение

На сегодняшний день до 25 % от общего количества технических устройств, эксплуатируемых на угольных разрезах и обогатительных фабриках Кузбасса и подпадающих под обязательную процедуру экспертизы промышленной безопасности как отработавшие свой нормативный срок, находятся в недопустимом техническом состоянии [1]. Дальнейшая эксплуатация такого технологического оборудования неминуемо влечет за собой риски, связанные с ростом числа аварийных ситуаций и увеличением эксплуатационных и логистических издержек предприятий [2, 3].

В основу настоящей работы положены результаты анализа параметров вибрации энергомеханического оборудования горных машин, полученные при обследовании выборки, состоящей из экскаваторов и другого технологического оборудования. Интервал обследований составлял от одного до трех раз в три года, вибродиагностические работы выполнялись в рамках процедуры экспертизы промышленной безопасности технических устройств, эксплуатируемых на опасных производственных объектах, общий период сбора информации составляет более 10 лет. Анализ полученных данных позволяет заключить, что в недопустимом техническом состоянии сегодня находится до 30 % от общего числа обследованных электрических экскаваторов.

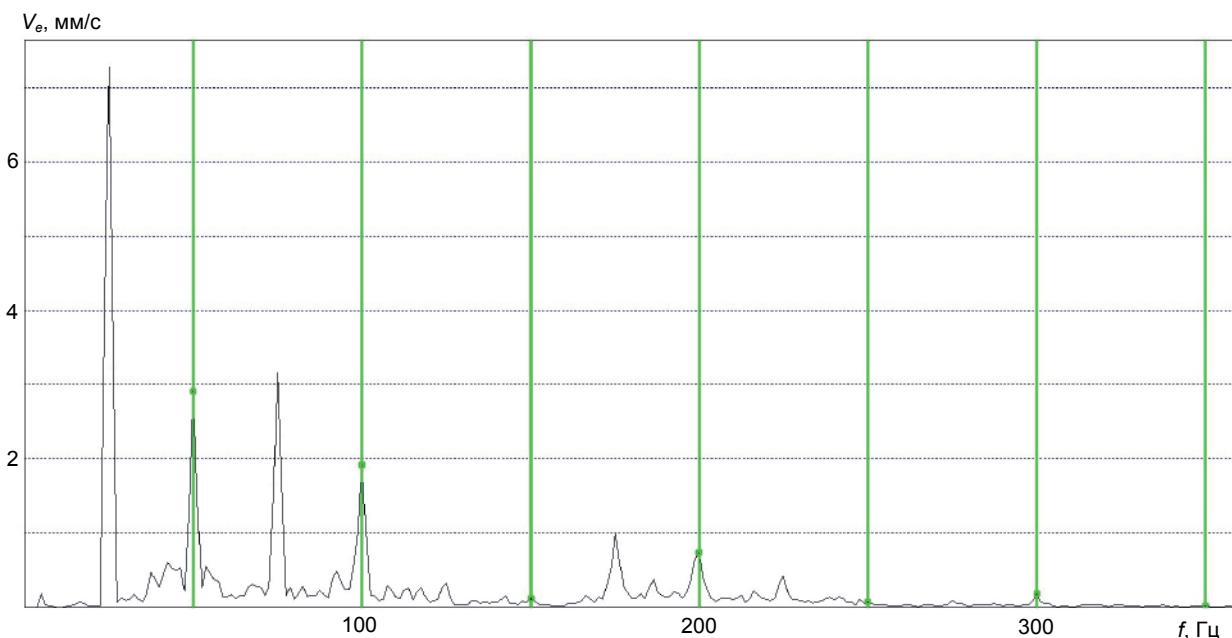
Изучение процессов формирования и распространения виброакустических волн проводилось на выборке из 40 единиц экскаваторов типа ЭКГ (ЭКГ-4,6Б; ЭКГ-5А; ЭКГ-8И; ЭКГ-10; ЭКГ-12,5; ЭКГ-15) и 30 единиц экскаваторов-дралайнов (ЭШ 10/70, ЭШ 6/45, ЭШ 11/70, ЭШ 15/90). Кроме того, данная выборка включает 150 единиц дробильно-сортировочного, горнотранспортного и углеобогатительного оборудования. Диагностируемое оборудование эксплуатируется на угольных разрезах, каменных карьерах и обогатительных фабриках Кемеровской области (филиалы ПАО «УК «Кузбассразрезуголь»: Моховский (в том числе Караканско и Сартакинское поле), Талдинский, Кедровский, Бачатский угольные разрезы, ООО «Разрез Киселевский», ПАО «КТК», разрез Виноградовский, ООО «Кемеровский каменный карьер», обогатительные фабрики «Листвяжная», «Распадская» и др.). Диагностические измерения выполнялись с учетом особенностей работы энергомеханического оборудования горных машин в соответствии с разработанной методикой и с использованием программно-аппаратного комплекса, удовлетворяющего всем предъявляемым требованиям для работы в условиях угольной промышленности [3] и прошедшего в установленном порядке процедуру государственной поверки метрологических характеристик.

Эффективное решение актуальных научных задач, связанных с разработкой комплекса адекватных математических моделей развития дефектов энергомеханического оборудования горных машин, не может быть получено без выявления основных закономерностей изменения технического состояния объектов диагностирования по параметрам генерируемых при их работе механических колебаний [4].

На сегодняшний день в мире не существует единого критерия, основанного на анализе параметров механических колебаний, ориентированного на решение задачи по выявлению дефектов электрической природы. Это объясняется

\*✉ am\_besten@mail.ru

ID <https://orcid.org/0000-0003-2085-6108>



**Рисунок 1. Совпадение частотных признаков дефектов механической (нарушение центровки, дисбаланс) и электрической (замыкание обмоток асинхронного электродвигателя) природы на примере сетевого двигателя экскаватора ЭКГ-5А.**

**Figure 1. The coincidence of frequency signs of mechanical defects (loss of alignment, imbalance) and electrical (short circuit of the induction motor windings) defects is exemplified by the supply-line engine of the EGG-5A excavator.**

несколькими причинами – недостаточной изученностью вопросов динамики энергомеханического оборудования горных машин и отсутствием представительных баз данных, содержащих диагностическую информацию по однотипным объектам исследования, в данном случае генераторам и электродвигателям различного типа, установленным на горном оборудовании, эксплуатация которого ведется в тяжелых условиях (запыленность, перепады температур, влажность, нарушения регламента технического обслуживания, проведение ремонтов с использованием восстановленных и контрафактных запасных частей, материалов и т. п.).

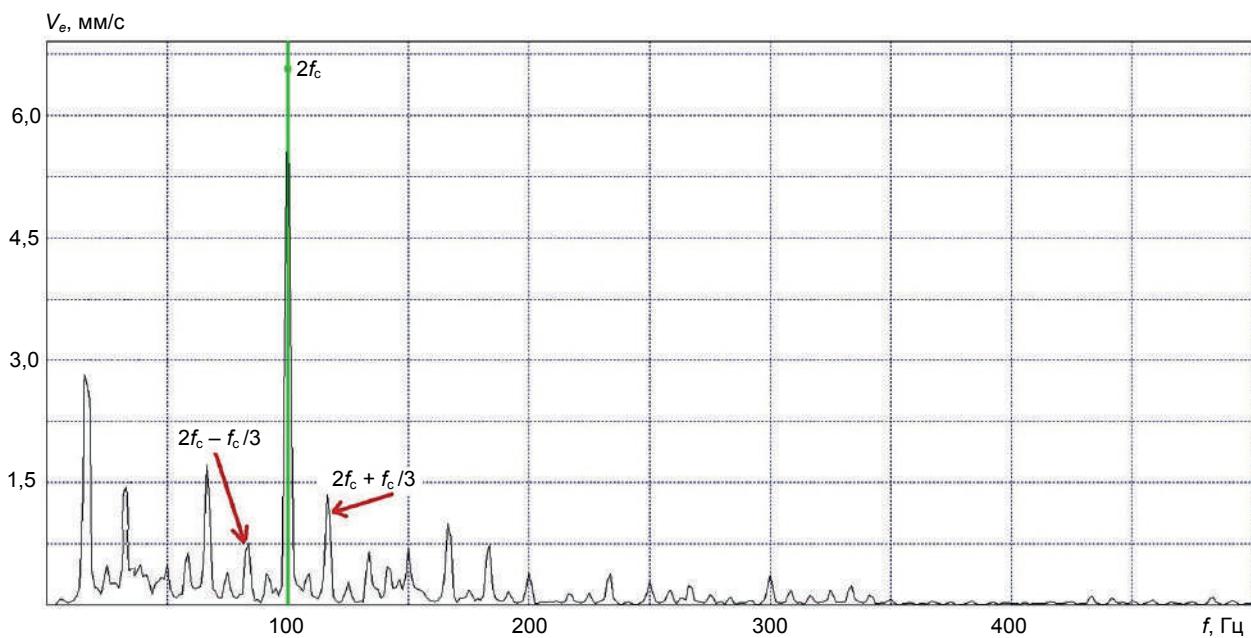
#### Результаты и их применение

Решение задачи по созданию критерия для диагностирования дефектов электрической природы было бы невозможным без проведения детального анализа причинно-следственной связи и закономерностей изменения технического состояния энергомеханического оборудования горных машин. В рамках настоящей работы использован комплексный подход к анализу параметров механических колебаний, включающий в себя прямой спектральный анализ в расширенном частотном диапазоне и анализ огибающей спектра. Кроме того, рассмотрена возможность применения в рамках настоящего исследования результатов, полученных с использованием анализа характеристики выбега роторного агрегата и вейвлет-преобразования параметров исходной виброакустической волны. Именно такое сочетание методов вибродиагностики позволяет с максимальной эффективностью получать объективную информацию об изменении технического состояния электрических машин при минимальных затратах времени на проведение измерений и выполнение последующего анализа первичных диагностических данных [1, 2, 5].

Результаты анализа диагностических данных позволяют сделать вывод о том, что дефекты электрической природы, такие как межвитковые замыкания обмотки ротора или смещение в магнитном поле, получили достаточное распространение на энергомеханическом оборудовании горных машин. Так, например, по причинам, связанным с наличием дефектов электрической природы, происходит до 10 % от общего числа аварийных простоев генераторных групп карьерных экскаваторов типа драглайн [1]. Далее на реальных примерах приведены результаты анализа параметров полигармонических волн, содержащих информацию о наличии тех или иных дефектов электрической природы энергомеханического оборудования горных машин (рис. 1–4).

Одним из факторов, значительно затрудняющих проводимый анализ, является совпадение значащих гармоник спектра (генерируемых процессами различной природы, например при нарушении соосности валов агрегата, нарушении жесткости системы и замыкании обмоток статора) вплоть до 0,1 Гц. Кроме того, рабочие частоты агрегатов из-за особенностей кинематики и конструкции технических устройств довольно часто могут проявляться на гармониках частотного ряда питающей электрической сети [6, 7]. На рис. 1 представлен пример, наглядно подтверждающий наличие данной проблемы. Составляющие гармонического ряда оборотной частоты на генераторной группе экскаватора ЭКГ-5А полностью совпали с компонентами частотного ряда питающей электрической сети. В подобных случаях наиболее эффективным может оказаться использование алгоритма характеристики выбега роторного агрегата, позволяющей получить четкую ассоциативную связь с наличием дефектов электрической природы [2].

Большинство диагностических признаков выявления дефектов электрической природы при помощи анализа параметров вибрации сосредоточены в области спектрального анализа [1, 2]. Дополнять данную совокупность признаков результатами анализа огибающей спектра и характеристикой разгона/выбега целесообразно только в тех случаях, когда получение объективного результата диагностирования стандартными методами затруднено или является невозмож-



**Рисунок 2. Пример спектра, иллюстрирующий нарушение симметрии фаз на генераторе подъема экскаватора ЭКГ-10.**  
Figure 2. An example of a spectrum illustrating the disbalance of phase symmetry in the lifting generator of the EKG-10 excavator.

ным из-за конструктивных или кинематических особенностей обследуемого агрегата. Все дефекты электродвигателей вызваны причинами либо механической (тепловая неуравновешенность ротора, перекосы пакетов стали статора и ротора, смещение массы лака при сушке), либо электрической природы (межвитковые замыкания и обрывы обмоток, несимметричность воздушного зазора ротора/статора, неправильное соединение полюсов синхронного ЭД и т. д.) и их различными сочетаниями. Для выполнения поставленных перед настоящим исследованием задач необходимо было решить задачу клиппирования, т. е. освобождения исходных спектров от всех составляющих, природа возникновения которых не связана с рассматриваемой группой дефектов (произвести ликвидацию «лишних» гармоник). В рамках настоящей работы использовался алгоритм клиппирования, включающий процедуру уточнения оборотной частоты, основанную на принципе поиска составляющих спектра с максимальными амплитудами в низкочастотном диапазоне. Данная процедура, предложенная в работе [8], зарекомендовала себя в качестве эффективного инструмента, пригодного для реализации алгоритма клиппирования при работе со спектрами виброскорости и виброускорения подшипников качения, где максимальные амплитуды значащих гармоник априори могут не принадлежать оборотной частоте. Единый диагностический критерий для выявления дефектов электрической природы разработан с учетом реализации многомерного пространства диагностических признаков при помощи алгоритмов скаляризации [8], включающих пошаговую сегментацию групп объектов с различной степенью развития дефектов.

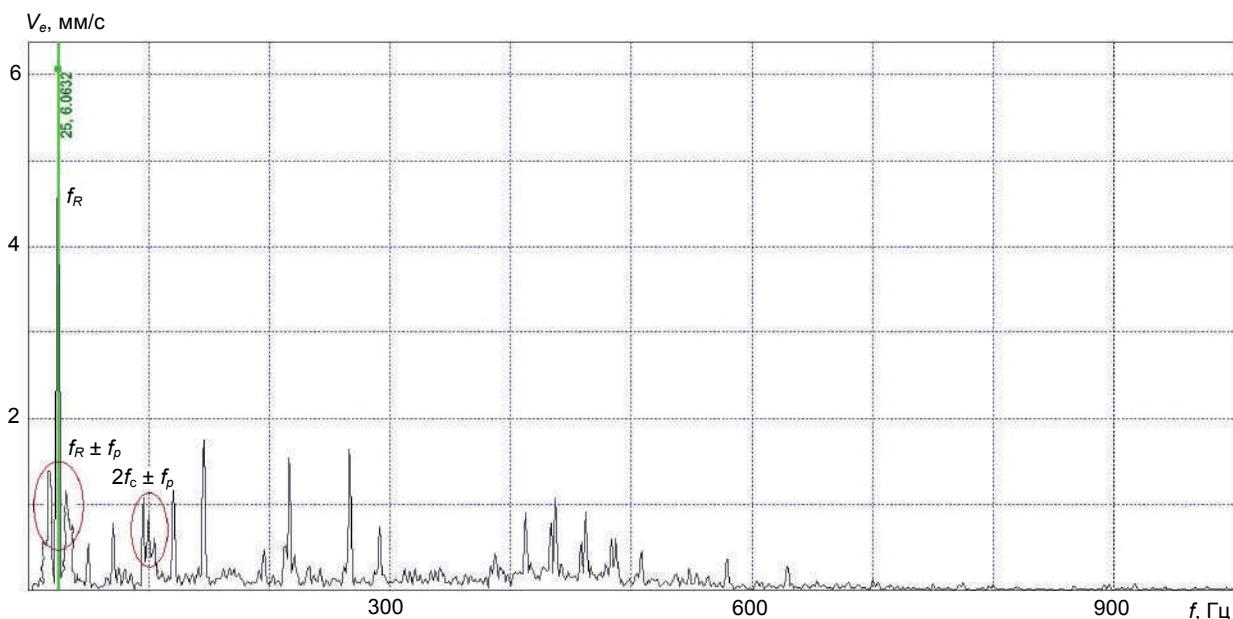
Проведенные исследования [1, 3] позволяют утверждать, что наибольшее распространение среди дефектов электрической природы на оборудовании горных машин получили следующие повреждения:

- межвитковые замыкания обмоток (рис. 1);
- нарушение симметрии фазовых токов (рис. 2);
- эксцентриситет воздушного зазора между статором и ротором (рис. 3);
- повреждения стержней роторов (обрывы, растрескивания) – рис. 4.

Этим четырем базовым дефектам электрической природы соответствует более 20 диагностических признаков в области практического вибранализа, часть которых взаимно перекрывают друг друга [9, 10]. К сожалению, объем настоящей статьи не позволяет детально и в полной мере рассмотреть все признаки проявления дефектов электрической природы, присущих оборудованию горных машин. Далее для примера приведены некоторые признаки, использование которых позволяет выявлять наиболее распространенные из перечисленных дефектов.

Одним из распространенных дефектов электрической природы, который встречается на оборудовании горных машин, является нарушение симметрии фаз, которое проявляется как последствие неравномерного распределения сопротивления обмоток по фазам и секциям якорных обмоток. Данный дефект сопровождается заметными тангенциальными колебаниями статора и проявляет себя на частотах  $2f_c \pm f_c/3$ ; где  $f_c$  – линейная частота питающей сети (рис. 2). Помимо прочего, проводимый анализ затрудняет тот факт, что довольно часто дефекты электрической природы сопровождаются обрывом проводников, из-за чего частично теряется электрический контакт. В результате диагностические признаки нарушения симметрии то проявляются в спектре, то нет – по причине того, что соединение электрической сети будет случайным.

Единственный метод вибродиагностики, позволяющий провести однозначную ассоциацию между параметрами вибрации и наличием на агрегате дефектов электрической природы, является неинформативным с точки зрения определения конкретного типа дефекта (трещина стержня ротора, межвитковые замыкания и т. п.). Данный метод позволяет лишь подтвердить имеющееся предположение о наличии на электрической машине дефекта электрической природы, но не позволяет определить конкретный тип дефекта и степень его развития. Кроме того, реализация данного метода



**Рисунок 3. Диагностические признаки наличия эксцентрикитета ротора на генераторе поворота экскаватора ЭКГ-5А.**  
**Figure 3. Diagnostic properties of the presence of the concentricity error of the rotor in the generator of the rotation of the EKG-5A excavator.**

потребует значительных затрат времени, что нивелирует его преимущества с учетом условий проведения измерений на промышленных предприятиях [11, 12]. Данные недостатки не позволяют использовать метод анализа характеристики выбега при разработке единого диагностического критерия оценки дефектов электрической природы.

Еще одним распространенным дефектом электрической природы является наличие вращающегося эксцентрикитета ротора, характеризующегося изменением воздушного зазора между статором и ротором в процессе работы агрегата, что обычно связано с нарушением технологии монтажа роторного агрегата (рис. 3). Наиболее информативным диагностическим признаком в этом случае служит наличие ярко выраженных компонентов вибрации на удвоенной частоте питающей сети и первой гармонике оборотной частоты при условии появления боковых частот прохода поля  $f_R \pm f_p$ ;  $2f_c \pm f_p$ , где  $f_R$  – частота вращения ротора;  $f_p$  – боковая полоса частоты прохождения поля,  $f_p = Nf_{sl}$ ;  $f_c$  – линейная частота питающей сети;  $f_{sl}$  – частота скольжения (разность частоты вращения магнитного поля и оборотной частоты ротора),  $f_{sl} = f_s - f_R$ ;  $f_s$  – частота вращения магнитного поля,  $f_s = f_c/p$ ;  $p$  – число пар полюсов,  $p = N/2$ ,  $N$  – число полюсов.

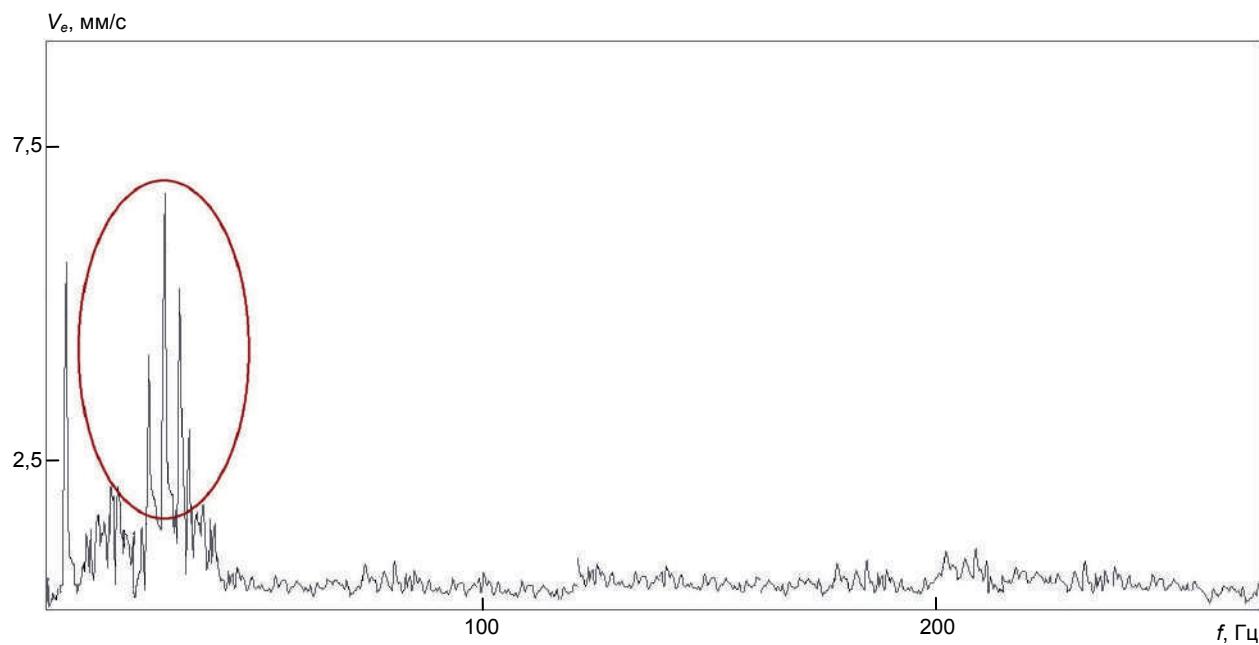
Эксцентрикитет статора, основной причиной возникновения которого является деформация статора при нагреве [13, 14], характеризуется появлением в спектре ярко выраженной радиальной компоненты оборотной частоты и гармонического ряда частоты питающей сети в том случае, когда хотя бы одна из основных осей роторного агрегата не совпадает с другими осями (например, ось вращения ротора и геометрическая ось статора). Кроме того, в случае наличия развитой асимметрии магнитного поля в спектре появляются составляющие с частотами  $f_{\text{паз}} \pm 2kf_c$  и  $f_{\text{паз}} \pm kf_R$ , обусловленные модуляцией гармоник пазовой частоты ( $f_{\text{паз}}$  – пазовая частота,  $f_{\text{паз}} = Xf_R$ ;  $X$  – число пазов ротора).

Диагностическими признаками наличия повреждений стержней ротора, таких как обрыв или растрескивание, могут выступать ярко выраженная амплитудная модуляция параметров регистрируемых виброакустических волн, а также присутствие в спектре некоторых характерных частот:

$$kf_R \pm nf_p (kf_c, kf_{\text{паз}} \pm 2f_c).$$

Кроме того, в качестве дополнительного диагностического признака наличия повреждения стержней может использоваться величина отношения амплитуд гармоник спектра по параметру виброскорости на частотах  $f_p$  и  $f_R$ . Это правило можно записать выражением вида  $A[V_e(f_R)]/A[V_e(f_p)] < 10$ . Выполнение данного условия подтверждает наличие на агрегате развитого дефекта электрической природы (повреждение стержня, повлекшее за собой электрическую асимметрию ротора).

Известно, что повреждение стержней ротора предопределяется превышением критического числа пусков [3]. В этом случае токовая нагрузка, действующая на неповрежденные стержни, увеличивается. В результате имеет место неравномерный нагрев как отдельных деталей так и всего ротора, что приводит к возникновению пластичных температурных деформаций ротора. Описанный процесс приводит к возникновению дисбаланса ротора и выхода из строя подшипников качения, изменению вращающего момента и частоты вращения ротора, появлению в спектре специфических гармонических рядов и значительной модуляции боковых частот. В данном случае в качестве диагностических признаков можно было бы использовать результаты теплового контроля и анализа временной реализации параметров вибрации роторных агрегатов, однако это значительно усложнит разрабатываемый комплекс базовых признаков и правил, решение этой задачи лежит за рамками настоящего исследования.



**Рисунок 4. Характер спектра при наличии растрескивания стержня ротора электродвигателя силовой установки бурового станка СБШ-250 МНА-32.**

**Figure 4. The nature of the spectrum in the presence of cracking of the rotor rod of the electric motor of the power plant of the SBSH-250 MNA-32 drilling machine.**

### Выводы

Наиболее эффективный путь для разработки обобщенного единого диагностического критерия представляет реализация с применением многомерного пространства диагностических признаков при помощи алгоритмов скаляризации [8, 14, 15]. Данная процедура включает в себя пошаговую сегментацию групп однотипных объектов (генераторов и электродвигателей синхронного и асинхронного типа) с различной степенью развития базовых дефектов электрической природы (замыкания обмоток, нарушение симметрии фазовых токов, эксцентризитет воздушного зазора, повреждения стержней роторов). Формализация диагностических признаков и правил с применением результатов комплексного диагностического подхода позволила сформировать блок из 25 базовых правил, принадлежащих трем основным критериям (виброскорость и виброускорение в расширенном диапазоне, спектр огибающей). Реализация алгоритма поиска оборотной частоты и клиппирования позволит приступить к созданию единого диагностического критерия для оценки фактического состояния электрической части агрегатов горных машин.

### Заключение

Полученные результаты убедительно доказали, что использование принципов совершенствования методологии анализа и нормативно-методической базы по параметрам механических колебаний при условии широкого использования современных методов и средств вибраналитика позволяет свести к минимуму вероятность возникновения аварий на производстве, связанных с фактическим состоянием эксплуатируемого горного оборудования. Предложенное направление позволит создать единый критерий оценки, который может быть использован при реализации алгоритмов прогностического моделирования, что станет залогом безопасной эксплуатации машин и механизмов в сложных условиях угольной промышленности [16].

### ЛИТЕРАТУРА

- Герике П. Б. Высокочастотные грохоты как объект диагностики по параметрам механических колебаний // Вестник КузГТУ. 2017. № 1. С. 59–67.
- Shardakov I., Shestakov A., Tsvetkov R., Yepin V. Crack diagnostics in a large-scale reinforced concrete structure based on the analysis of vibration processes // AIP Conference Proceedings. 2018. 2053, 040090. <https://doi.org/10.1063/1.5084528>
- Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / под ред. чл.-корр. РАН В. В. Клюева. М., 2005. Т. 7. 828 с.
- Wang T., Han, Q., Chu F., Feng Z. Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox: A review // Mechanical Systems and Signal Processing. 2019. Vol. 126. P. 662–685. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.02.051>
- Tse P., Peng Y., Yam R. Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis – Their Effectiveness and Flexibilities // Journal of Vibration and Acoustics. 2001. Vol. 123, issue 3. P. 303–310. <https://doi.org/10.1115/1.1379745>
- Краковский Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск: Наука, 2006. 227 с.
- Кравченко В. М., Сидоров В. А., Буцкин В. А. Повреждения подшипников качения в результате износа // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 2. С. 45–47.
- Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем: дис. ... канд. техн. наук. М.: МИФИ, 2007. 170 с.
- Ещеркин П. В. Разработка методики диагностирования и прогнозирования технического состояния дизель-гидравлических буровых станков: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2012. 18 с.
- Puchalski A., Komorska I. Stable distributions and fractal diagnostic models of vibration signals of rotating systems // Applied Condition Monitoring. 2018. Vol. 9. P. 91–101. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61927-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61927-9_9)
- Schreiber R. Induction motor vibration diagnostics with the use of stator current analysis // Proceedings of the 2016 17<sup>th</sup> International Carpathian Control Conference (ICCC 2016). P. 668–672. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2016.7501179>

12. Liu G., Parker R. Dynamic Modeling and Analysis of Tooth Profile Modification for Multimesh Gear Vibration // Journal of Mechanical Design. 2008. Vol. 130, issue 12. P. 121402/1–121402-13. <https://doi.org/10.1115/1.2976803>
13. Герике П. Б. Новые подходы к оценке технического состояния электрических буровых станков // Вестник КузГТУ. 2018. № 1. С. 118–124. <http://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-1-118-124>
14. Huňády R., Pavelka P., Lengvárský P. Vibration and modal analysis of a rotating disc using high-speed 3D digital image correlation // Mechanical Systems and Signal Processing. 2019. Vol. 121. P. 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.11.024>
15. Лукьянов А. В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. 230 с.
16. Клишин В. И., Зворыгин Л. В., Лебедев А. В., Савченко А. В. Проблемы безопасности и новые технологии подземной разработки угольных месторождений. Новосибирск, 2011. 524 с.

Статья поступила в редакцию 19 апреля 2018 г.

# About a single diagnostic criterion for detecting defects of electric machines by the parameters of vibrations

Pavel Borisovich GERIKE\*

Institute of Coal of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of RAS, Kemerovo, Russia

**The relevance of the work.** This paper discusses some results of the analysis of methodological approaches to the development of a single diagnostic criterion suitable for performing an estimation of the actual state of electric machines and the development of predictive degradation models.

**The purpose of the work:** to summarize the results of the analysis of the parameters of vibrations generated by the operation of electric machines of various designs, which will allow classifying some defects of this equipment by basic groups and formalizing diagnostic signs for ease of use when developing the code of the automated control algorithm for complex systems according to frequency sets of diagnostic signs; to show that, under the conditions of the planned repairs system still operating in the coal and mining industries of Kuzbass, priority should be given only to short-term predictive mathematical models, which make it possible to assess the probability of the occurrence of equipment failures in the near future; to develop an algorithm for creating a unified diagnostic criterion suitable for identifying and assessing the degree of danger of electrical defects of mining fleet.

**Methods of the study.** The study substantiated the need to use the results of an integrated approach to the diagnosis of electric machines according to parameters of vibration generated during their work, while simultaneously using several diagnostic methodologies, including spectral analysis, analysis of high-frequency vibration envelope, wavelet decomposition, and running down analysis. It is shown that an integrated approach to the diagnosis of vibration parameters opens up broad opportunities for the timely diagnosis of defects in the electromechanical equipment of mining machines, including defects that are still in their infancy.

**Results of the work.** The results of the studies confidently prove the fundamental possibility of creating a new relevant single diagnostic criterion for identifying electrical defects, which can be used as a basic element of the maintenance system for machines according to its actual technical condition. The application of the developed criterion will make it possible to increase the efficiency of the maintenance management of complex mechanical systems and predict changes in the actual state of electric machines operated in the coal and mining industries.

**Keywords:** vibration monitoring, electric motors, electrical defects, mining equipment, maintenance management

## REFERENCES

1. 2017, Gerike P. B. High-speed screens as an object of diagnostics according to parameters of vibrations. *Vestnik KuzGTU* [Vestnik of Kuzbass State Technical University], no. 1, pp. 59–67. (*In Russ.*)
2. Shardakov I., Shestakov A., Tsvetkov R., Yepin V. 2018, Crack diagnostics in a large-scale reinforced concrete structure based on the analysis of vibration processes. *AIP Conference Proceedings*. 2053, 040090. <https://doi.org/10.1063/1.5084528>
3. 2005, *Nerazrushayushchiy kontrol'* [Non-destructive testing], book of reference in 7 volumes. Ed. by Klyueva V. V., Corresponding member of the Academy of Sciences. Moscow, vol. 7, 828 p.
4. Wang T., Han Q., Chu F., Feng Z. 2019, Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 126, pp. 662–685. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.02.051>
5. Tse P., Peng Y., Yam R. 2001, Wavelet Analysis and Envelope Detection For Rolling Element Bearing Fault Diagnosis – Their Effectiveness and Flexibilities. *Journal of Vibration and Acoustics*, vol. 123, issue 3, pp. 303–310. <https://doi.org/10.1115/1.1379745>
6. Krakovsky Yu. M. 2006, *Matematicheskiye i programmnyye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya* [Mathematical and software tools for estimating the technical condition of equipment]. Novosibirsk, 227 p.
7. Kravchenko V. M., Sidorov V. A., Butsukin V. A. 2013, Rolling bearing damage due to wear. *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 2, pp. 45–47. (*In Russ.*)
8. Sushko A. E. 2007, *Razrabotka spetsial'nogo matematicheskogo i programmnogo obespecheniya dlya avtomatizirovannoy diagnostiki slozhnykh sistem* [Development of special mathematical and software for automated diagnostics of complex systems], PhD thesis. Moscow, 170 p.
9. Eshcherkin P. V. 2012, *Razrabotka metodiki diagnostirovaniya i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya dizel'-gidravlicheskikh burovykh stankov* [Development of methods for diagnosing and predicting the technical condition of diesel-hydraulic drilling rigs], PhD thesis, 18 p.
10. Puchalski A., Komorska I. 2018, Stable distributions and fractal diagnostic models of vibration signals of rotating systems. *Applied Condition Monitoring*, vol. 9, pp. 91–101. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61927-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61927-9_9)
11. Schreiber R. 2016, Induction motor vibration diagnostics with the use of stator current analysis. Proceedings of the 2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC 2016), pp. 668–672. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2016.7501179>
12. Liu G., Parker R. 2008, Dynamic Modeling and Analysis of Tooth Profile Modification for Multimesh Gear Vibration. *Journal of Mechanical Design*, vol. 130, issue 12, pp. 121402/1–121402-13. <https://doi.org/10.1115/1.2976803>
13. Gerike P. B. 2018, New approaches to the assessment of the technical condition of electric rock drilling machine. *Vestnik KuzGTU* [Vestnik of Kuzbass State Technical University], no. 1, pp. 118–124. (*In Russ.*) <http://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-1-118-124>
14. Huňady R., Pavelka P., Lengvarský P. 2019, Vibration and modal analysis of a rotating disc using high-speed 3D digital image correlation. *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 121, pp. 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.11.024>
15. Lukyanov A. V., 1999, *Klassifikator vibrodiagnosticheskikh priznakov defektov rotornykh mashin* [Classifier of vibration diagnostic properties of defects in rotary machines]. Irkutsk, 230 p.
16. Klishin V. I., Zvorygin L. V., Lebedev A. V., Savchenko A. V., 2011, *Problemy bezopasnosti i novyye tekhnologii podzemnoy razrabotki ugol'nykh mestorozhdeniy* [Safety aspects and new technologies for underground mining of coal deposits]. Novosibirsk, 524 p.

*The article was received on March 20, 2019*

\*✉ am\_besten@mail.ru

ID <https://orcid.org/0000-0003-2085-6108>

# Способы снижения износа колесных пар подвижного состава

Дмитрий Владимирович ГЛАЗУНОВ\*

Ростовский государственный университет путей сообщения, Россия, Ростов-на-Дону

**Актуальность** применения способов снижения износа колесных пар подвижного состава на предприятиях железнодорожного транспорта объясняется интенсивным износом рельсов и колесных пар подвижного состава на горных перевальных участках с затяжными подъемами и спусками и на равнинных железных дорогах. Рассмотрены основные неисправности колесных пар. Основные неисправности бандажей колесных пар вызваны параметрическими отказами, ошибками при ведении поезда, нарушениями технологии изготовления бандажей и формирования колесных пар. Для определения основных неисправностей используются ручные и автоматизированные методы диагностики.

**Результаты.** В работе рассмотрены основные современные способы снижения интенсивности изнашивания колес подвижного состава. Приведены примеры технологии плавменного упрочнения на примере колесных пар грузового электровоза серии 2ЭС4К Дончак. Рассмотрен принцип действия колесно-токарного станка по обточке колесных пар высокоскоростного электропоезда «Сапсан» в условиях Моторвагонного депо г. Санкт-Петербурга (ТЧ-10 «Металлострой»). В ФГБОУ ВО РГУПС разработан производственный процесс создания триботехнических материалов, позволяющий оптимизировать процесс лубрикации путем нанесения минимального количества триботехнических материалов, уменьшая при этом износ гребней колес подвижного состава.

**Применение результатов.** Оборудование лабораторного комплекса широко используется в научно-исследовательском процессе для аспирантов специальности «Трение и износ в машинах» и в учебном процессе для студентов специальности «Наземные транспортно-технологические средства». Оборудование эксплуатационного комплекса успешно прошло апробацию на участке Северо-Кавказской железной дороги Батайск–Лихая–Батайск на грузовых электровозах серии ВЛ в 2016 г. Результаты апробации эксплуатационного комплекса подтверждены актом промышленных испытаний.

**Выводы.** Рассмотрена проблема интенсивного износа рельсов и колесных пар подвижного состава, приведены основные неисправности бандажей колесных пар, описаны ручной и автоматизированный способы измерения интенсивности изнашивания колесных пар. Проведен обзор и выявлены недостатки современных способов снижения износа гребней колесных пар современного подвижного состава, используемых на предприятиях ОАО «РЖД». В ФГБОУ ВО РГУПС разработан производственный комплекс создания триботехнических материалов, позволяющий оптимизировать процесс лубрикации колес подвижного состава.

**Ключевые слова:** износ, колесная пара, поверхностное упрочнение, триботехнические материалы, оптимизация профиля, шаблон, толщина гребня, подвижной состав, опытная установка, система видеомониторинга, гребнесмазыватель, железная дорога, горный участок.

## B ведение

Увеличение объемов перевозок на железнодорожном транспорте в последние десятилетия усложнило условия эксплуатации пути и подвижного состава, привело к более быстрому износу рельсов и колесных пар. Если раньше интенсивный износ рельсов и колесных пар наблюдался на горных перевальных участках с затяжными подъемами и спусками, то в последние годы он стал распространенным и на равнинных железных дорогах.

На интенсивность износа рельсов и колес подвижного состава влияют многие факторы: несовершенство рессорного подвешивания; разность диаметров поверхностей катания бандажей одной колесной пары; асимметрия колесных пар при расположении их в раме тележки; статическая развеска колесных пар и повышение массы поезда. По мнению многих специалистов, главенствующую роль в процессе увеличения износа бандажей сыграло завершение перевода эксплуатационного вагонного парка на подшипники качения и изменение ширины колеи с 1524 на 1520 мм. В первом случае гребни бандажей колесных пар и рельсов стали работать в режиме сухого трения из-за прекращения поступления в зону контакта жидкой смазки из подшипников скольжения. Во втором случае колесные пары при снижении расстояния между рельсами переходят на гребневые контакты одновременного для левого и правого колес. Это приводит к повышенному износу не только тяговой части бандажа, но и гребней колес подвижного состава [1].

### Обзор способов снижения износа колесных пар подвижного состава

Основные неисправности бандажей колесных пар: параметрические отказы (предельный прокат, износ гребня по толщине; нарушение технологии ремонта подвижного состава, ошибки при ведении поезда (образование ползунов, сдвиг бандажа относительно колесного центра, наравномерный износ поверхности катания); нарушение технологии изготовления бандажей и формирование колесных пар (образование раковин, трещин, ослабление посадки бандажа).

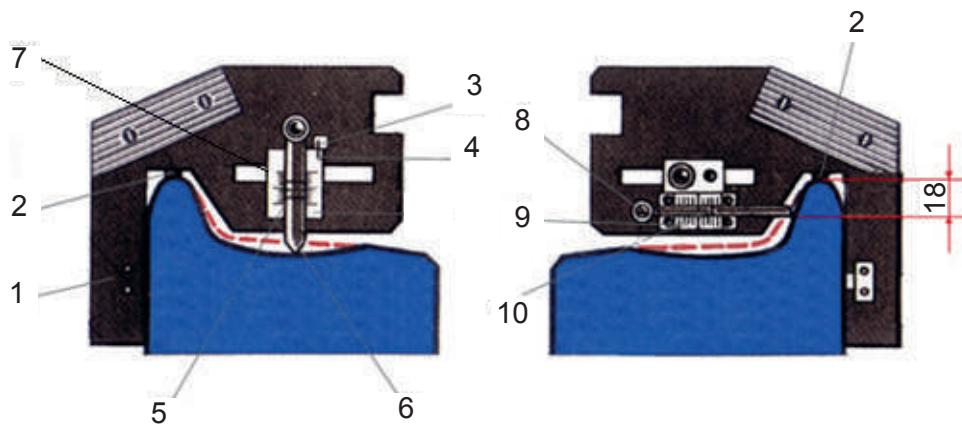
Для измерения интенсивности изнашивания проката и гребня колесных пар используют ручной и автоматизированные способы. Для ручного способа измерения используют абсолютный шаблон (рис. 1, а, б).

Абсолютным шаблоном измеряют прокат, ползун, навар и толщину гребня. Прокат определяют по кругу катания, расположенному на расстоянии 70 мм от внутренней грани колеса. При измерении глубины проката риски 3 и 4 должны совпадать. Опустив опорную скобу 2 на вершину гребня, надо прижать вертикальную грань шаблона и лапку к внутренней грани обода колеса. Определяют прокат по делению шкалы на движке 5 против риски 7 на ножке 6. Ползун и навар находят по разности показаний в месте дефекта и в неизношенном месте. Если дефект смещен относительно круга катания колеса, то перед измерением регулируют движок 5.

Для определения толщины гребня (рис. 1, а) движок 8, установленный на расстоянии 18 мм от вершины гребня, на которую опирается опорная скоба 2, надо переместить до касания с поверхностью гребня. По шкале на направляющей 9, установившейся против риски 10, находят толщину гребня. Размер толщины гребня должен составлять 25–33 мм. Срок ревизии – 2 месяца. Для автоматизации процесса диагностики и измерения основных параметров колесных пар подвижного состава в движении используют диагностический комплекс ARGUS компании Hegenscheidt-MFD. Данный

\*✉ glazunovdm@yandex.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-6044-8515>



**Рисунок 1. Схема абсолютного шаблона для измерения колеса. а – проката; б – толщины гребня.**  
**Figure 1. An absolute model for measuring a wheel. a – wear; b – flange thickness.**

комплекс позволяет осуществлять мониторинг состояния колесных пар после сборки с применением программных средств, исключая человеческий фактор [2].

В настоящее время удалось снизить интенсивность изнашивания до уровня, при котором пробег подвижного состава между заменами бандажей составляет 500–700 тыс. км. В 85 % случаев износ гребня бандажа имеет интенсивность большую, чем износ поверхности катания [1]. Для увеличения ресурса бандажей колесных пар подвижного состава используют поверхностное упрочнение, оптимизацию профиля обточки и триботехнические материалы. Рассмотрим подробнее каждый способ снижения износа гребней колесных пар подвижного состава.

#### Упрочнение колесных пар подвижного состава

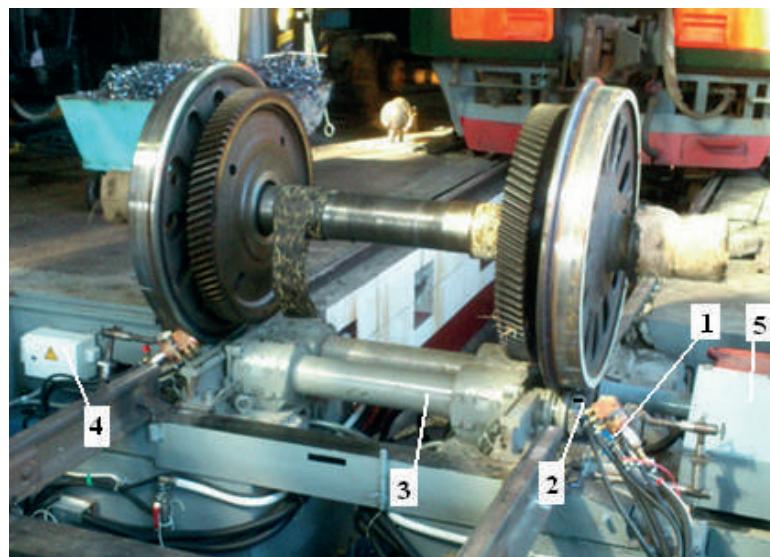
Упрочнение гребней колесных пар подвижного состава производится с учетом ТУ 0943-218-01124323-2006 «Бандажные колеса с термическим упрочнением гребня». Для этого разработаны и используются три основные технологии: лазерная, плазменная и электроконтактная. Применение первых двух фактически сводится к закалке металла, так как осуществляется сначала его нагрев на поверхности постоянно действующим источником тепла (струей плазмы или лазерным лучом), а затем последующее быстрое охлаждение путем отвода тепла в глубь металла. Что касается лазерной технологии, то на сети железных дорог действует лишь единственный участок лазерной обработки на Горьковской дороге на базе комплекса «Комета-2». Лазерное упрочнение основано на прохождении светового потока, который поглощается свободными электронами в приповерхностном слое (толщиной 0,1–1 мкм), что приводит к повышению их энергии и интенсификации столкновений между собой. Применение лазерного комплекса требует высокой квалификации обслуживающего персонала, дополнительных затрат, связанных с формированием поглощающих покрытий на поверхности упрочняемой детали (снижение отражающей ее способности увеличивает КПД лазера), особых климатических и санитарных условий в производственных помещениях. Наиболее распространенной является плазменная технология (на предприятиях ОАО «РЖД» внедрено около 90 установок), рис. 2.

При включении установки 4 в работу в плазмотроне 2 последовательно возбуждаются дежурная и рабочая (основная) дуга. При взаимодействии последней с переменным магнитным полем электромагнитного сканатора 5 происходит синхронное перемещение (сканирование) с заданной амплитудой электродной привязки дуги по обрабатываемой поверхности, вследствие чего наблюдается скоростной нагрев поверхностного слоя до температур фазовых превращений. Затем по мере вращения колесной пары универсальным вращателем 3 и удаления нагретых участков от зоны сканирования происходит их интенсивное охлаждение за счет кондуктивного отвода тепла в нижележащие, более холодные слои металла, т. е. происходит процесс самозакалки. Суппорт 1 служит для придания заданного пространственного положения плазмотрону 2 относительно обрабатываемой поверхности гребня колеса. В результате на обрабатываемой поверхности колесной пары за один ее оборот образуется упрочненный слой с определенными геометрическими и физико-механическими характеристиками. Данный слой представляет собой многокомпонентную химически активную и высокотемпературную струю продуктов горения углеводородного газа (метана, пропан-бутана). При этом качество упрочненных слоев зависит от расходных материалов, температуры в цехе, технического состояния установок и стабильности режимов [3, 4].

Улучшение характера движения экипажа возможно либо за счет использование поверхностного упрочнения колес, либо посредством разработки нового профиля колеса.

#### Обточка бандажей колесных пар подвижного состава

В эксплуатируемом подвижном составе изменение его жесткостных или демпфирующих параметров требует значительных затрат времени и средств в отличие от переточки колес колесных пар на новый профиль, поскольку обточка колес является обычной технологической операцией при эксплуатации всех видов подвижного состава. В 2009 г. на бандажах колесных пар электропоездов «Сапсан» выявлена пластическая деформация поверхностного слоя, развитие в нем микротрещин и, как следствие, многочисленных выщербин, что привело к катастрофическому износу колесных пар. Это вызвано узкой зоной контактирования поверхностей катания колес, что является результатом взаимодействия профилей колес и рельсов [5]. Создание нового профиля колесных пар электропоезда «Сапсан» при помощи обточки способствовало снижению износа колесных пар до допустимых среднестатистических значений. К тому же на практике часто возникает необходимость выполнить обточку в промежутках между ремонтами, т. е. обточить колесные пары без



**Рисунок 2. Установка плазменного упрочнения.** 1 – суппорт; 2 – плазмотрон; 3 – универсальный вращатель; 4 – источник питания; 5 – блок поджига (на примере упрочнения гребней колес грузового электровоза серии 2ЭС4К Дончак).

**Figure 2. Plasma-based hardening installation.** 1 – cutter block; 2 – plasmatron; 3 – versatile rotator; 4 – power supply; 5 – ignition block (as exemplified by hardening the flanges of wheels of an electric freight locomotive of the 2ES4K Donchak series).

выкатки из-под подвижного состава, что сложнее сделать при поверхностном упрочнении. Такую обточку выполняют на специальных станках (рис. 3, а).

В Моторвагонном депо Санкт-Петербурга (ТЧ-10 «Металлострой») для обточки бандажей без выкатки колесных пар используют станок КЖ-20М Краматорского станкостроительного производственного объединения. Диагностический комплекс станка определяет отклонения в геометрии колеса, позиционируя на станке и рассчитывая слой металла, который необходимо снять. На обод колеса крепится магнитик со светоотражающей пленкой. С ее помощью оптический датчик определяет диаметр колеса. Колесную пару 1 вращают опорно-приводные ролики 2, а резание производят профильные фрезы 3, имеющие собственный привод (рис. 3, б). На спиральных гранях такой фрезы в шахматном порядке расположены цилиндрические твердосплавные резцы, образующие профиль бандажа. Прижимное устройство дает также возможность обрабатывать бандажи одиночных колесных пар, выкаченных из-под локомотива [6].

Основным недостатком данного способа является то, что при повышенном износе гребней бандажей для восстановления номинальных геометрических параметров профиля катания приходится стачивать с поверхности бандажа большую часть его рабочего слоя, образуя при этом технологический износ. В настоящий момент величина технологического износа бандажей для грузовых локомотивов достигает 60 ч (80 %) от общего износа, что приводит к преждевременному снижению пробега до смены.

#### Лубрикация колес подвижного состава

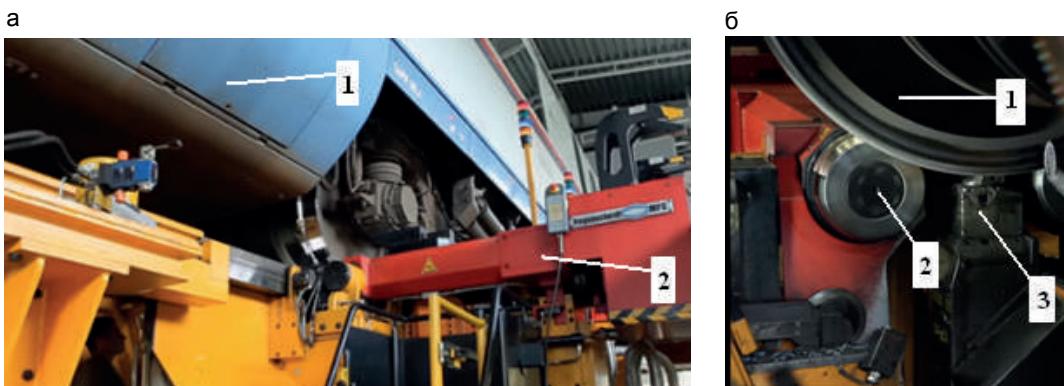
Использование смазочного материала позволяет изменить свойства третьего тела при трении, что ведет к снижению значения коэффициента трения и уменьшению износа. Лубрикация гребней колесных пар и боковой поверхности рельсов для снижения интенсивности изнашивания активно применяется на российских железных дорогах с середины XX в. Различают обработку боковой поверхности с помощью передвижных рельсосмазывателей и нанесение смазки на гребни колесных пар с помощью передвижных и бортовых систем лубрикации. В настоящее время в контакте колесо–рельс широко применяют различные смазочные материалы. По своему агрегатному состоянию они делятся на жидкие (масла), пластичные и твердые. Жидкие смазочные материалы требуют повышенной герметизации систем подачи смазки для предотвращения их вытекания и загрязнения тяговой поверхности колеса и верхнего строения пути. Перспективными смазочными материалами являются твердые и пластичные, лишенные приведенных выше недостатков [7].

Определенного успеха в разработке и внедрении твердых и пластичных смазочных материалов и триботехнических средств для снижения износа гребней колес и рельсов добились российские и зарубежные ученые [8–13], а также ученые РГУПС [14–16].

#### Разработка производственного процесса создания триботехнических материалов

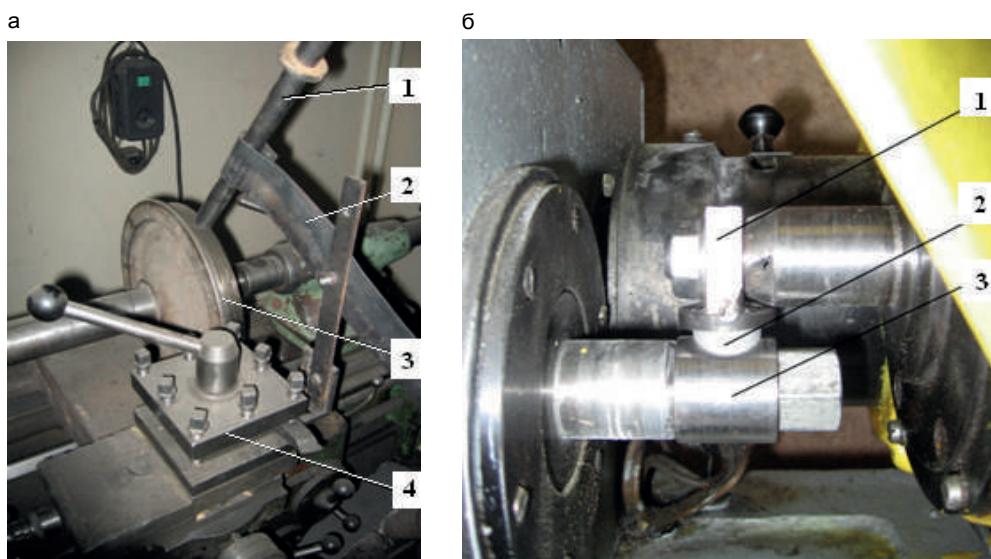
Для углубленного изучения процесса истирания, а также разработки новых триботехнических материалов, удовлетворяющих современным условиям эксплуатации подвижного состава, в РГУПС разработан производственный комплекс создания триботехнических материалов. Объектами исследования являются модификаторы трения РАПС, применяемые в рельсовом транспорте для смазывания гребней колес подвижного состава. Производственный процесс включает два технологических этапа: разработка и апробация триботехнических материалов. Для разработки триботехнических материалов используют лабораторный комплекс (рис. 4), включающий опытную лабораторную установку (рис. 4, а) и принципиально новую стендовую аналогию, имитирующую процесс истирания твердых триботехнических материалов (рис. 4, б).

Внедрение лабораторного комплекса обеспечивает минимальные затраты времени, удобство выполнения измерений, возможность изменения различных параметров, не требующих занятия перегона измерительным подвижным со-



**Рисунок 3. Колесно-токарный станок по обточке колес (на примере колесных пар высокоскоростного электропоезда «Сапсан»).**  
а – установка электропоезда на станке; 1 – электропоезд; 2 – станок; б – принцип действия станка: 1 – колесо; 2 – ролик; 3 – резец.

**Figure 3. Wheel-turning machine for turning wheels (for example, wheelset of high-speed train "Sapsan").** a – installation of electric trains on the machine: 1 – electric train; 2 – machine; b – mode of operation of the machine: 1 – wheel; 2 – roller; 3 – disc.



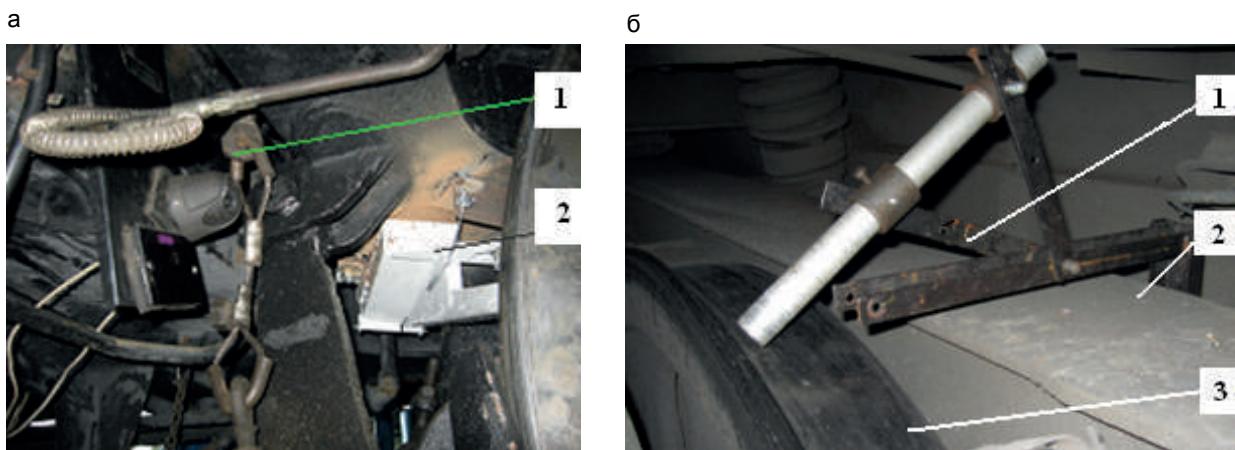
**Рисунок 4. Лабораторный комплекс.** а – опытная лабораторная установка: 1 – трубка; 2 – основание; 3 – модель колеса; 4 – суппорт; б – стендовая аналогия, имитирующая процесс истирания твердых триботехнических материалов: 1 – держатель оболочки; 2 – оболочка смазочного элемента; 3 – ролик, имитирующий гребень колеса.

**Figure 4. Laboratory facility.** a – laboratory machine: 1 – tube; 2 – base; 3 – wheel model; 4 – cutter block; b – bench model imitating the process of abrasion of solid tribotechnical materials: 1 – covering holder; 2 – lubricant element covering ; 3 – roller imitating the flange of the wheel.

ставом. Затрачиваемые средства при этом значительно ниже, чем при полевых испытаниях. Опытная установка (рис. 4, а), состоит из трубки 1, в которую помещают триботехнический материал в форме стержня, и основания 2. Установка монтируется на суппорте 4 токарно-винторезного станка 1М61М и имитирует процесс истирания разрабатываемого материала о модель колеса 3 подвижного состава. В процессе испытаний можно задавать угол подачи разрабатываемого материала, нагрузку, скорость вращения модели колеса 3, определяя возможный ресурс. Образуемый слой в процессе взаимодействия материала с моделью колеса удаляется с модели колеса при помощи щетки, имитирующей рельс. Аналогия, имитирующая процесс истирания оболочек триботехнических материалов о гребень колеса подвижного состава, успешно моделируется в лабораторных условиях на машинах трения типа «Амслер» (рис. 4, б). На верхний вал машины трения типа «Амслер» закрепляется держатель с оболочкой смазочного элемента, а на нижний – ролик, аналогичный длине и материалу гребня колеса. Комплекс измерительной аппаратуры позволяет регистрировать: изменение момента трения; изменение температуры в контакте; скорость вращения ролика; линейный износ оболочки в процессе испытаний; незначительную нагрузку (до 15 Н) на оболочку смазочного элемента. Благодаря данной аналогии представляется возможным определить влияние нагрузки, скорости, температуры, а также материала и толщины оболочки на процесс истирания и расход оболочных триботехнических материалов. Это позволит оптимизировать процесс гребнерельсосмазывания путем нанесения минимального количества триботехнических материалов, уменьшая при этом износ гребней колес подвижного состава [17].

Для апробации триботехнических материалов используют эксплуатационный комплекс (рис. 5), включающий систему видеомониторинга (рис. 5, а) и опытный гребнесмазыватель (рис. 5, б).

Система видеомониторинга позволяет исследовать состояние гребней колес при наличии смазочного материала и без него в течение всего периода эксплуатации. На борту тяговой единицы подвижного состава устанавливают реги-



**Рисунок 5. Эксплуатационный комплекс.** а – процесс видеомониторинга: 1 – система видеомониторинга; 2 – конструкция ГРС 20.07; б – опытный гребнесмазыватель.

**Figure 5. Production side.** a – video monitoring process: 1 – video monitoring system; 2 – GRS 20.07 systme; b – wheel flange lubricator.

стрирующий блок системы видеонаблюдения, включающий многоканальный блок видеозаписи, видеомонитор и систему электропитания бортовой телеаппаратуры. Программная поддержка регистрирующего блока позволяет быстро выбрать интересующий видеофрагмент (время выбора не более 20 мс) и детально его просмотреть в разных режимах. Оперативный просмотр видеозаписи может выполняться на борту подвижной единицы с использованием режимов «Стоп-кадр», «Вперед», «Назад», «Увеличение», «Ускорение просмотра». Идентификационный блок системы видеомониторинга 1 (рис. 5, а) включает корпус, камеру видеонаблюдения, световую плату и антивандальный кожух. Камера видеонаблюдения предназначена для видеомониторинга состояния бандажей крайних осей тяговой единицы и защищена антивандальным кожухом от инородных объектов (камней, мусора). Система видеомониторинга мобильна, так как время ее монтажа укладывается во время технического осмотра. Для установки оборудования достаточно обойтись штатным оборудованием и креплениями тяговой единицы [18].

Конструкция (рис. 5, б) опытного гребнесмазывателя 1 закреплена на буксе колеса 3 и расположена между рамой тележки 2 и корпусом подвижного состава. Опытный гребнесмазыватель позволяет варьировать угол подачи разработанного материала под собственным весом на гребень колеса. Данная установка предназначена для проведения эксплуатационных исследований и оптимизации процесса ротапринтного нанесения триботехнических материалов на гребень колеса подвижного состава с учетом различных вариантов смазывания. Разработка научно обоснованных положений на базе созданной опытной установки позволит оптимизировать технологический процесс гребнерельсомазывания [19].

#### Результаты применения лабораторного и эксплуатационного комплексов

Оборудование лабораторного комплекса широко используется для проведения научно-исследовательских работ, а также лабораторных и практических работ для студентов по дисциплинам специальности «Наземные транспортно-технологические средства».

Система видеомониторинга и конструкция опытного грабнесмазывателя успешно прошли апробацию на участке Северо-Кавказской железной дороги Батайск–Лихая–Батайск на грузовых электровозах серии ВЛ в 2016 г. Результаты апробации эксплуатационного комплекса подтверждены актом промышленных испытаний.

#### Заключение

На основании обзора существующих современных способов снижения интенсивности изнашивания колес подвижного состава определено, что в настоящее время не существует универсального способа. Каждый способ эффективен при определенных условиях ремонта, обслуживания и эксплуатации. Однако использование нескольких способов на предприятиях ОАО «РЖД» при грамотном подходе может дать необходимый экономический и триботехнический эффект.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург: УрГУПС, 2011. 456 с.
2. Шибеко Р. В., Захаров Е. А. Система контроля колесных пар железнодорожных вагонов // Молодой ученый. 2014. № 18. С. 314–317. URL: <https://moluch.ru/archive/77/13293>
3. Балановский А. Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор. Часть 1) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2015. № 12 (132). С. 18–30.
4. Балановский А. Е. Основные вопросы теории плазменного поверхностного упрочнения металлов (Обзор. Часть 2) // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. № 1. С. 25–34.
5. Максимов И. Н. Разработка профиля колес для скоростных поездов и прогнозирование его эволюции в процессе взаимодействия подвижного состава и пути: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ВНИИЖТ, 2014. 29 с.
6. Богданов А. Ф., Будюкин А. М., Иванов И. А., Жуков Д. А., Урушев С. В. Улучшение свойств металла обода колесных пар тягового подвижного состава // Бюллетень результатов научных исследований. 2014. № 1 (10). С. 22–30.
7. Богданов В. М. Обеспечение устойчивой работы системы колесо–рельс на отечественных и зарубежных железных дорогах // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 2. С. 10–14.
8. Марков Д. П. Трибология и ее применение на железнодорожном транспорте // Труды ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2007. 408 с.
9. Герасимова А. А., Керопян А. М., Гиря А. М. Исследование системы колесо–рельс карьерных локомотивов в режиме тяги // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2018. № 1. С. 39–42. <https://doi.org/10.3103/S1052618818010065>

10. Елагина О. Ю., Гусев В. М., Буклаков А. Г., Гантимирзов Б. М. Исследование износостойкости покрытий из плакированных порошков в условиях трения скольжения с граничной смазкой // Трение и износ. 2015. № 3 (36). С. 287–291. <https://doi.org/10.3103/S1068366615030046>
11. Ермаков С. Ф., Рыбаков А. А., Богданов А. Л., Константинов В. Г., Данишевский В. Н. Триботехнические характеристики композиционных пластичных смазочных материалов на основе дистиллятов вакуумных нефтяных и этаноламинов // Трение и износ. 2015. № 5. С. 561–568. <https://doi.org/10.3103/S1068366615050049>
12. Dumpala R., Chandran M., Rao M. S. R. Engineered CVD Diamond Coatings for Machining and Tribological Applications // JOM. 2015. Vol. 67, № 7. Р. 1565–1577. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1428-2>
13. Иващенко Е. П., Марченко А. Ю., Юдкин Б. Ю., Марченко М. Ю., Салтанов С. Н., Баринов И. М., Викулов Е. А. Оценка влияния температуры окружающей среды на ресурс деталей и узлов горных машин // Изв. УГТУ. 2015. № 3 (39). С. 39–41.
14. Евдокимов Ю. А., Браун Э. Д., Корнев В. И. Проблема триботехники на железнодорожном транспорте: методы решения // Вестник РГУПС. 2000. № 3. С. 19–21.
15. Kokhanovskii V. A., Glazunov D. V. Selection of lubricant composition for open contact systems in rolling stock // Russian Engineering Research. 2016. Vol. 36. № 6. Р. 449-451. <http://dx.doi.org/10.3103/S1068798X16060113>
16. Шаповалов В. В. Проблемы транспортной триботехники: физико-математическое моделирование мобильных фрикционных систем // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009. № 10. С. 3–11.
17. Кохановский В. А., Глазунов Д. В. Управление эксплуатационными показателями смазочного материала // Вестник машиностроения. 2017. № 6. С. 54–58.
18. Kokhanovskii V. A., Maiba I. A., Glazunov D. V., Bol'shikh I. V. Lubricator casings for locomotive wheel rims // Russian Engineering Research. 2016. Vol. 36. № 5. Р. 364–365. <https://doi.org/10.3103/S1068798X16050099>
19. Kokhanovskii V. A., Glazunov D. V. Control of lubricant performance // Russian Engineering Research. 2017. Vol. 37. № 9. Р. 768–773. <https://doi.org/10.3103/S1068798X17090131>

Статья поступила в редакцию 31 января 2019 г.

# Ways to reduce wear of wheelsets of carriage rolling stock

Dmitriy Vladimirovich GLAZUNOV\*

Rostov State University of Railway Engineering, Rostov-on-don, Russia

**The relevance** of the application of methods for reducing wear of wheelsets of rolling stock at railway transport enterprises is explained by the intense wear of rails and wheelsets of rolling stock on highlands with excessive gradient and on flat gradient railway. The main malfunctions of wheelsets are considered. The main malfunctions of wheelsets tyre are caused by failures as related to products parameters, errors in train operation, procedural violations when making tires and forming wheelsets. The manual and computer-aided method diagnostic methods are used to determine the main malfunctions.

**Results.** The paper discusses the main modern methods of wear reduction of rolling stock wheels. The illustrations of plasma-based hardening technology are offered using the example of wheelsets of an electric freight locomotive of the 2ES4K Donchak series. The mode of functioning of the wheel-lathe machine for turning wheelsets of the high-speed Sapsan electric train under the conditions of the St. Petersburg-based motive-power depot (MPD-10 Metallostroy) is considered. The Rostov State Transport University has developed a production process for creating tribotechnical materials, which makes it possible to optimize the lubrication process by applying a minimum amount of tribotechnical materials, while reducing the wear of wheel flanges of the rolling stock.

**Application of the results.** The equipment of the laboratory facilities is widely used in the research process for graduate students at "Friction and wear in machines" faculty and "Ground transport and technological means" faculty as well. The equipment of the production side was successfully tested at the site of the North Caucasus Railway Bataysk – Likhaya – Bataysk for electric freight locomotives of the VL series in 2016. The results of testing of the production side are confirmed by a test certification.

**Conclusion.** The problem of intensive wear of rails and wheelsets of rolling stock is considered; the main malfunctions of wheelsets are described; manual and computer-aided methods for measuring the wear rate of wheelsets are highlighted. A review has been carried out. As a result, the shortcomings of modern methods for wear reduction of the flanges of wheelsets of modern rolling stock used at the enterprises of Russian Railways have been revealed. The Rostov State Transport University has developed an industrial complex for creating tribotechnical materials, which makes it possible to optimize the process of lubricating the wheels of rolling stock.

**Keywords:** wear, wheelset, superficial hardening, tribotechnical materials, profile optimization, pattern, flange thickness, rolling stock, pilot plant, video monitoring system, wheel flange lubricator, railway, highland.

## REFERENCES

1. Buynosov A. P. 2011, *Metody povysheniya resursa bandazhey kolesnykh par tyagovogo podvizhnogo sostava* [Methods of increasing the service life of wheelsets of traction equipment], PhD thesis. Ekaterinburg, 456 p.
2. Shibeko R. V., Zakharov E. A. 2014, The system of control of wheelset of railway cars. *Molodoy uchenyy* [Young scientist], no. 18, pp. 314–317 (*In Russ.*). <https://moluch.ru/archive/77/13293>
3. Balanovsky A. E. 2015, The main issues of the theory of plasma superficial hardening of metals (Review. Part 1). *Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya* [Hardening technologies and coatings], no. 12 (132), pp. 18–30. (*In Russ.*)
4. Balanovsky A. E. 2016, The main issues of the theory of plasma superficial hardening of metals (Review. Part 2). *Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya* [Hardening technologies and coatings], no. 1, pp. 25–34. (*In Russ.*)
5. Maximov I. N. 2014, *Razrabotka profilya koles dlya skorostnykh poyездов и прогнозирование его эволюции в процессе взаимодействия подвижного состава с путем* [Development of a wheel profile for high-speed trains and forecasting its evolution in the process of rolling stock and track interaction], abstract of PhD thesis. Moscow, 29 p.
6. Bogdanov A. F., Budyukin A. M., Ivanov I. A., Zhukov D. A., Urushev S. V. 2014, Improving the properties of the metal rim wheelset traction rolling stock. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovanii* [Bulletin of scientific research results], no. 1 (10), pp. 22–30. (*In Russ.*)
7. Bogdanov V. M. 2010, Ensuring the stable operation of the wheel-rail system on domestic and foreign railways. *Vestnik VNIIZHT* [Vestnik of the Railway Research Institute], no. 2, pp. 10–14. (*In Russ.*)
8. Markov D. P. 2007, *Tribologiya i yeye primeneniye na zheleznodorozhnom transporte* [Tribology and its application in railway transport]. Proceedings of the Railway Research Institute. Moscow, 408 p.
9. Gerasimova A. A., Keropyan A. M., Girya A. M. 2018, Study of the wheel-rail system of mine locomotives in thrust mode. *Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin* [Problems of mechanical engineering and machine reliability], pp. 39–42 (*In Russ.*). <https://doi.org/10.3103/S1052618818010065>
10. Elagina O. Yu., Gusev V. M., Buklakov A. G., Gantemirov B. M. 2015, Investigation of wear resistance of coatings from clad powders under conditions of sliding friction with borderline lubrication. *Trenie i Iznos* [Friction and Wear], no. 3 (36), pp. 287–291 (*In Russ.*). <https://doi.org/10.3103/S1068366615030046>
11. Ermakov S. F., Rybakov A. A., Bogdanov A. L., Konstantinov V. G., Danishevskiy V. N. 2015, Tribotechnical characteristics of composite plastic lubricants based on vacuum oil distillates and ethanolamines. *Trenie i Iznos* [Friction and Wear], no. 5, pp. 561–568 (*In Russ.*). <https://doi.org/10.3103/S1068366615050049>
12. Dimpala R., Chandran M., Rao M. S. R. 2015, Engineered CVD Diamond Coatings for Machining and Tribological Applications. *JOM*, vol. 67, no. 7, pp. 1565–1577. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1428-2>
13. Ivashchenko E. P., Marchenko A. Yu., Yudkin B. Yu., Marchenko M. Yu., Saltanov S. N., Barinov I. M., Vikulov E. A. 2015, Evaluation of the influence of ambient temperature on the life of parts and components of mining machines. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 3 (39), pp. 39–41. (*In Russ.*)
14. Evdokimov Yu. A., Brown E. D., Kornev V. I. 2000, The problem of tribotechnics in railway transport: methods for solving. *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya* [Vestnik RGUPS], no. 3, pp. 19–21. (*In Russ.*)
15. Kokhanovskii V. A., Glazunov D. V. 2016, Selection of lubricant composition for open contact systems in rolling stock. *Russian Engineering Research*, vol. 36, no. 6, pp. 449–451. <http://dx.doi.org/10.3103/S1068798X16060113>
16. Shapovalov V. V. 2009, Problems of transport tribotechnology: physical and mathematical modeling of mobile friction systems. *Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmakh* [Friction and lubrication in machines and mechanisms], pp. 3–11. (*In Russ.*)
17. Kokhanovsky V. A., Glazunov D. V. 2017, Performance indicators management of lubricant. *Vestnik mashinostroyeniya* [Mechanical Engineering Bulletin], pp. 54–58. (*In Russ.*)

\*✉ glazunovdm@yandex.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-6044-8515>

18. Kokhanovskii V. A., Maiba I. A., Glazunov D. V., Bol'shikh I. V. 2016, Lubricator casings for locomotive wheel rims. *Russian Engineering Research*, vol. 36, no. 5, pp. 364–365. <https://doi.org/10.3103/S1068798X16050099>
19. Kokhanovskii V. A., Glazunov D. V. 2017, Control of lubricant performance. *Russian Engineering Research*, vol. 37, no. 9, pp. 768–773. <https://doi.org/10.3103/S1068798X17090131>

The article was received on January 31, 2019

# Разработка автоматизированной системы пожаротушения шахты Третьего Соликамского калийного-рудникового управления

Татьяна Геннадьевна СЕРЕДА<sup>\*</sup>

Пермский государственный аграрно-технологический университет им. акад. Д. Н. Прянишникова, Россия, Пермь  
Пермский филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Россия, Пермь

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью уменьшения рисков гибели шахтеров при пожаре.

**Цель работы:** разработка автоматизированной системы пожаротушения для обеспечения безопасности работников Третьего Соликамского калийного рудоуправления.

**Методология исследования:** решение задачи анализа и синтеза конечного автомата, описанного логическими уравнениями работы автоматизированной системы пожаротушения; разработка программного обеспечения для промышленного контроллера Omron.

**Результаты.** Проанализирована статистика несчастных случаев на предприятии «Уралкалий». Объектом исследований являлась четвертая шахта Третьего Соликамского калийного-рудникового управления. СКРУ-3 – одна из трех шахт в Соликамске, где подземным способом на глубине от 100 до 500 м ведется добыча калийно-магниевых солей. Был выявлен несчастный случай со смертельным исходом, в результате задымления и пожара на четвертой шахте на глубине 363 м погибли 9 человек – строители подрядной организации. Подряд по строительству ствола выполнили сотрудники ФГУП «Управление строительства № 30» из Башкортостана. При разработке системы пожаротушения построена функциональная схема управления приводом дренажным насосом и пожарным насосом высокого давления, в которой предусмотрено ручное и автоматическое управление насосами. В расширительном бачке и рассолосборнике дренажного насоса рекомендовано установить датчики нижнего и верхнего уровня и другое оборудование: датчики управления насосами, датчик сигнализации уровня с дистанционной передачей данных. Разработаны логические уравнения и релейно-контактная схема работы оборудования. В конструкторской части предложено использование программно-аппаратного обеспечения на основе микроконтроллера Omron. Проведено имитационное моделирование схемы работы насосов.

**Заключение.** Для уменьшения рисков гибели людей и порчи имущества разработана модель управления системой пожаротушения шахты рудоуправления. Разработаны принципиальная и релейно-контактная схемы управления насосами. Предложенное программно-аппаратное обеспечение поможет предотвратить возникновение аварийных ситуаций и несчастных случаев и обеспечит повышение безопасности работников СКРУ-3 при работе в шахте.

Ключевые слова: пожарная автоматика, релейно-контактная схема, рудник, микроконтроллер, производственный травматизм.

## Bведение

На строящемся четвертом стволе рудника «Соликамск-3» предприятия «Уралкалий» произошло задымление, а затем пожар. От задымления, повышенной температуры и отсутствия кислорода погибли 9 человек при подготовке к бетонированию ствола шахты. Ствол шахты диаметром 7 м был обработан полиуретаном, возгорание произошло предположительно в результате искрообразования при строительных работах [1]. В ночь на 23 декабря 2018 г. спасатели обнаружили тела погибших. Два тела были найдены на первом уровне, на втором и третьем уровнях – еще семь проходчиков-строителей [2]. С целью безопасности эксплуатации шахты представлена разработанная система управления насосами для тушения пожара с использованием релейно-контактных схем (IEC 61131-3).

## Результаты исследования

### Классификация средств пожаротушения

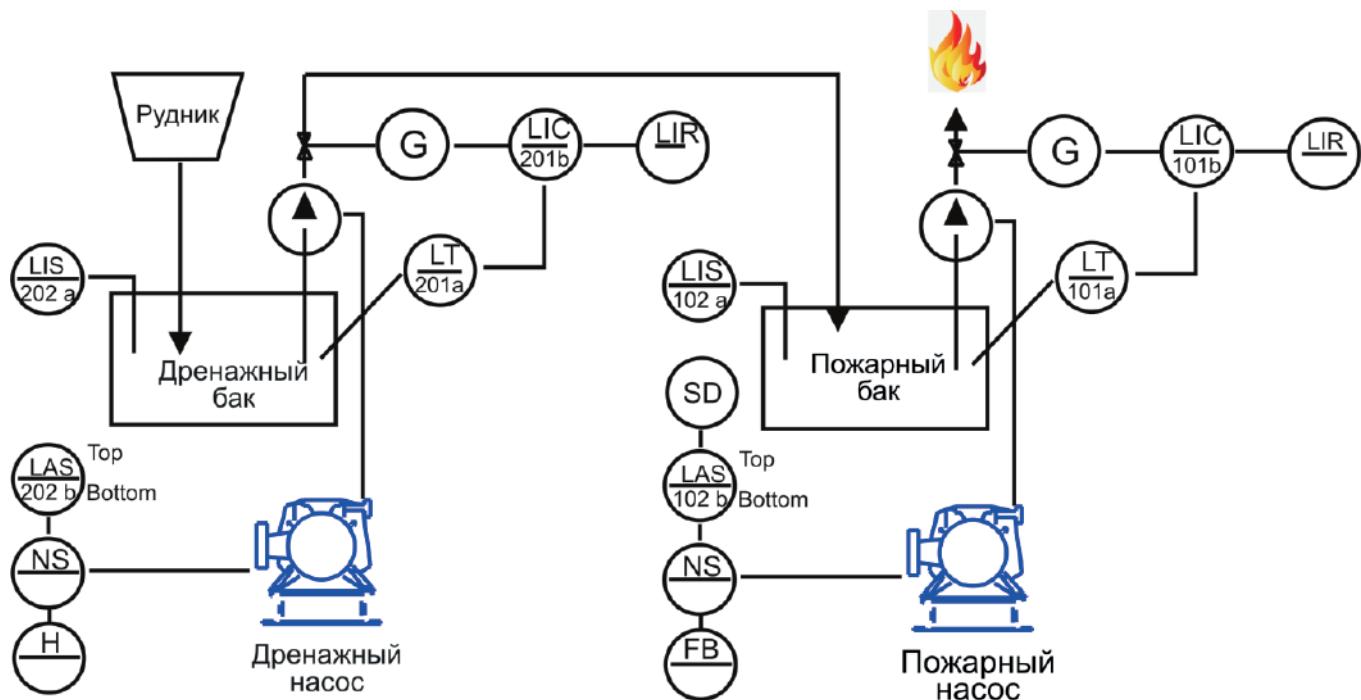
Работа в рудниках связана с большими рисками для здоровья и жизни шахтеров, одними из самых опасных факторов являются взрывы и пожары [3, 4]. Моделированию развития процесса пожара в шахте посвящены работы [5, 6]. В статье [7] проведен натурный лабораторный эксперимент по моделированию процесса распространения пламени от нескольких источников возгораний. Известны различные способы пожаротушения в шахтах, которые классифицируют по виду средств тушения, методу их подачи и назначению. Все способы подразделяют на поверхностное тушение (подача средств тушения непосредственно в очаг пожара) и объемное тушение (создание в области пожара газовой среды, не поддерживающей горение). Поверхностное тушение применяют почти при всех видах пожара. Для его реализации необходимы средства, которыми можно подавать огнетушащие материалы в очаг пожара на расстоянии (жидкости, пены, порошки). Объемное тушение применяется в ограниченном объеме (в помещениях, отсеках) [8, 9]. Разработке технологий аэрозольного пожаротушения посвящена работа [10]. Горящая горная выработка условно разделяется на участок выгоревшей крепи, зону горения (состоящую из участка беспламенного горения и участка интенсивного пламенного горения) и зоны термической подготовки древесины и подсушки древесины [11]. Разработка способов и средств обнаружения начальной стадии подземных пожаров описана в диссертации [12]. Для оценки риска последствий пожара и динамики его развития в рудниках разработаны специальные программы, например Fire Dynamics Simulator (FDS) [13].

### Анализ несчастного случая возгорания в руднике и особенности пожаротушения в шахтах Соликамского калийно-рудникового управления

22 декабря 2018 г. около 12 часов произошло возгорание на строящемся стволе рудника СКРУ-3. В момент возникновения пожара рабочие находились на отметке 363 м, где выполняли работы по бетонированию строящегося ствола. В стволе шахты в СКРУ при пожаре на глубине 343 м температура достигала 70 °C, что мешало проводить спасательные работы [2]. Использование газовых, порошковых и аэрозольных современных средств пожаротушения в рудниках ог-

\*✉ iums@dom.raid.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>



**Рисунок 1. Функциональная схема автоматизации пожаротушения.** LIS (102a, 202a) – датчики измерения уровня; LAS (102b, 202b) – датчики сигнализации уровня; NS – датчики управления насосами; H – ручное управление; LT (101a, 201a) – датчики сигнализации уровня с дистанционной передачей данных; LIC (101b, 201b) – П-регулятор; LIR – регистратор; G – мембранный исполнительный механизм.

**Figure 1. Functional flow diagram of fire-fighting automatic control.** LIS (102a, 202a) – level gauges; LAS (102b, 202b) – level signaling sensors; NS – pump control sensors; H – manual control; LT (101a, 201a) – level signaling sensors with remote data transmission; LIC (101b, 201b) – P-regulator; LIR – recorder; G – membrane actuating mechanism.

**Таблица 1. Логические элементы для описания работы системы пожаротушения.**

**Table 1. Logic components to describe the operation of the fire-fighting system.**

Сигнал*	Адрес бита в ОЗУ контроллера	Обозначение	Панель оператора	Пояснение
W4	4.00	Avt	4.00	Автоматическое/ручное управление
W5	5.00	Fire button (FB)	5.00	Извещатель пожарный ручной
X0	CIO 0.00	Smoke detector (SD)	–	Пожарный извещатель
X1	CIO 0.01	Bottom Fire (BF)	–	Датчик нижнего уровня воды в расширительном бачке пожарного насоса
X2	CIO 0.02	Button Stop (BS)	CIO 0.02	Выключение пожарного насоса
X3	CIO 0.03	Top Fire (TF)	–	Датчик верхнего уровня воды в расширительном бачке пожарного насоса
Y1	CIO 100.00	Fire-pump (FP)	CIO 100.00	Пожарный насос
X5	CIO 0.05	Bottom Drine (BD)	–	Датчик нижнего уровня воды в расширительном бачке дренажного насоса
X6	CIO 0.06	Top Drine (TD)	–	Датчик верхнего уровня воды в расширительном бачке дренажного насоса
Y2	CIO 100.02	Drainage pump (DP)	CIO 100.02	Дренажный насос

\*Вход – X, выход – Y.

граничено в связи с представлением угрозы для здоровья и жизни шахтеров. Преимуществом предлагаемой схемы пожаротушения является возможность использования также фильтрационных вод и рассола для тушения пожара, образующихся в Соликамских калийных-рудниках. В качестве дренажных пожарных насосов можно использовать насосы ЦНКС 300-300, применяемые на СКРУ и предназначенные для откачивания кислотных вод с водородным показателем pH = 3,5...8,5, температурой от 1 до 45 °C, содержанием механических примесей не более 0,2 мас. %, размером твердых частиц не более 0,2 мм, микротвердостью не более 1,47 ГПа на водоотливе угольных шахт [14].

#### Разработка функциональной схемы автоматизации пожаротушения

Для устранения рисков несчастных случаев, связанных с гибелью людей при пожаре в шахте, разработана автоматическая система пожаротушения. Функциональная схема автоматизации представлена на [рис. 1](#). Принцип работы заключается в следующем: пожарный насос срабатывает от датчика обнаружения пожара, дренажный насос закачивает воду из дренажного приемника в бачок-расширитель пожарного насоса. В дренажном приемнике и расширительном бачке

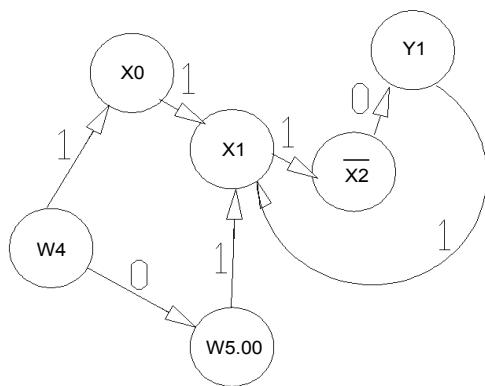


Рисунок 2. Граф состояний и переходов управления пожарным насосом.

Figure 2. State graph and transition diagram of fire pump control.

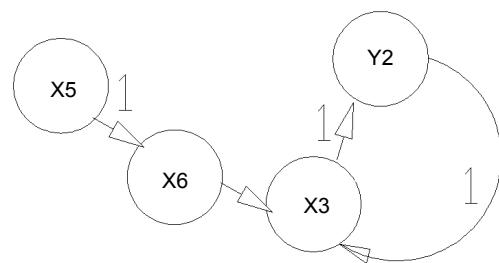


Рисунок 3. Граф состояний и переходов управления дренажным насосом.

Figure 3. State graph and transition diagram of drainline pump control.

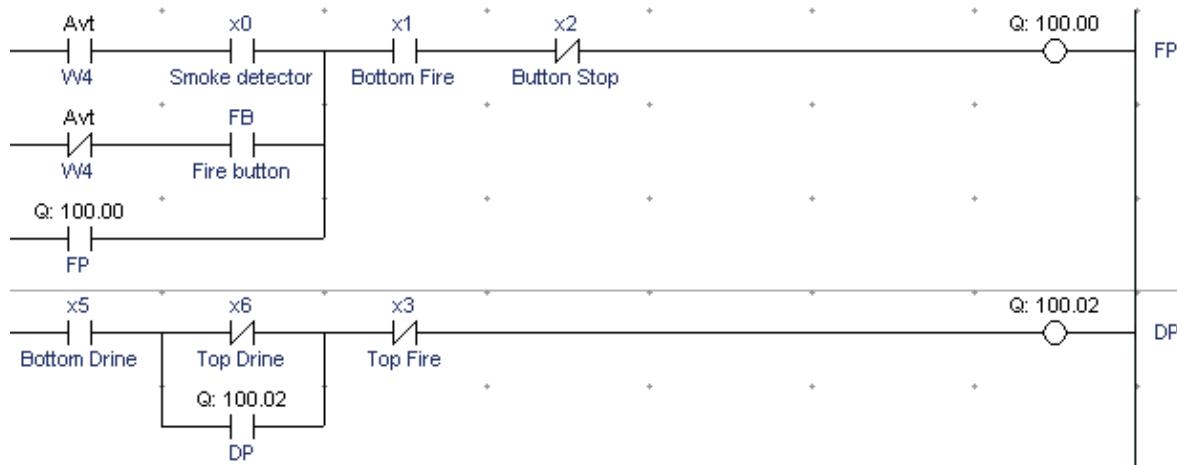


Рисунок 4. Релейно-контактная схема управления установкой пожаротушения.

Figure 4. Relay contact circuit for control of the fire-extinguishing system.

имеются датчики нижнего и верхнего уровней воды. В качестве дополнительных резервуаров можно использовать расолосборники [14]. Дренажный насос должен отключаться, если воды в дренажном приемке нет или расширительный бачок полностью заполнен. Пожарный насос должен отключаться, если в расширительном бачке воды нет. Предусмотрено ручное и автоматическое управление установкой пожаротушения. Для регулирования расхода воды предусмотрен П-регулятор с мембранным исполнительным механизмом.

#### Разработка релейно-контактной схемы

В качестве программно-аппаратного обеспечения был выбран контроллер Omron, имеющий хорошие технико-экономические характеристики [15, 16]. Использование данного контроллера в промышленной безопасности показало удовлетворительные результаты. Для описания работы установки пожаротушения были введены необходимые логические элементы (табл. 1). В предлагаемой схеме было предусмотрено ручное и автоматическое управление установкой пожаротушения W4. Для ручного пожарного извещателя предназначена кнопка W5, расширительные бачки дренажного и пожарного насосов имеют датчики нижнего X5, X2 и верхнего X6, X3.

Алгоритм работы насосов следующий: пожарный насос Y1 включается от датчика обнаружения пожара X0 или от ручного пожарного извещателя W5. Для работы пожарного насоса необходимо наличие воды в пожарном бачке X1. Пожарный насос отключается от кнопки ручного управления X2 или от датчика нижнего уровня воды в расширительном бачке пожарного насоса X1. Дренажный насос Y2 закачивает воду (рассол) из дренажного приемка в бачки-расширители дренажного и пожарного насосов до их наполнения X6, X3; для работы дренажного насоса необходимо наличие воды (рассола).

Графы состояний и переходов управления пожарным Y1 и дренажным Y2 насосами показаны на рис. 2, 3.

Логические функции, соответствующие графикам состояний и переходов управления пожарным Y1 и дренажным насосами Y2, представлены в следующих зависимостях:

$$Y_1 = (W_4 \cdot X_0 \vee \overline{W_4} \cdot W_5 \vee Y_1) \cdot X_1 \cdot \overline{X_2}; Y_2 = X_5 \cdot (X_6 \vee Y_2) \cdot X_3.$$

Разработанная релейно-контактная схема управления установкой пожаротушения показана на рис. 4.

Описание работы схемы управления насосами приведено в табл. 2.

Внедрение данной автоматизированной системы пожаротушения будет способствовать безопасности и уменьшению подобных несчастных случаев в шахте.

Таблица 2. Описание работы схемы управления насосами.

Table 2. Description of the pump control circuit.

Описание работы	LD
Сработал детектор дыма. Включился пожарный насос	<pre> Avt VV4 Smoke detector FB Q: 100.00 FP </pre>
Включение пожарного насоса от ручного извещателя	<pre> Avt VV4 Fire button FB Q: 100.00 FP </pre>
Работа пожарного насоса осуществляется через блокировку	<pre> Avt VV4 Smoke detector FB Q: 100.00 FP </pre>
Верхние уровни воды в расширительных баках не достигнуты. Работает дренажный насос	<pre> x5 Bottom Drine x6 Top Drine DP Q: 100.02 </pre>
Пожарный насос отключился из-за отсутствия воды	<pre> Avt VV4 Smoke detector FB Q: 100.00 FP </pre>
Выключение пожарного насоса от ручного выключателя	<pre> Avt VV4 Fire button FB Q: 100.00 FP </pre>

**Заключение**

Рассмотрена ситуация возгорания рудника Третьего Соликамского калийного рудоуправления предприятия «Уралкалий», в результате чего погибли 9 горняков-проходчиков. Для уменьшения рисков гибели людей и порчи имущества предприятия разработана модель управления системой пожаротушения шахты Соликамского рудоуправления. Разра-

ботаны принципиальная и релейно-контактная схемы управления насосами. Предложенное программно-аппаратное обеспечение поможет предотвратить возникновение аварийных ситуаций и несчастных случаев и обеспечит повышение безопасности работников СКРУ-3 при работе в шахте.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков С.П. ОАО «Уралкалий»: История и перспективы развития // Горный журнал. 2008. № 10. С. 14–17.
2. Рангулова В. Версия: девять шахтеров погибли в Соликамске из-за русского «авось» // Комсомольская правда. 2018, 24 декабря. <https://www.perm.kp.ru/daily/26924/3971805>
3. Johnson A. L., Dipnall J. F., Dennekamp M., Williamson G. J., Gao C. X., Carroll M. T. C., Dimitriadis C., Ikin J. F., Johnston F. H., McFarlane A. C., Sim M. R., Stub D. A., Abramson M. J., Guo Y. Fine particulate matter exposure and medication dispensing during and after a coal mine fire: A time series analysis from the Hazelwood Health Study // Environmental Pollution. 2019. Vol. 246. P. 1027–1035. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.085>
4. Abashidze G., Iliaş N., Moraru R. I., Tsverava D. The possibility of safety improvement through exogenous fire prediction in mine workings and transport tunnels // Quality – Access to Success. 2019. Vol. 20, issue S1. P. 7–12.
5. Jones R., Lee S., Maybery D., McFarlane A. Experiences of a prolonged coal-mine fire // Disaster Prevention and Management: An International Journal. 2018. Vol. 27 (5). P. 534–545. <http://dx.doi.org/10.1108/DPM-05-2018-0145>
6. Xiao Y., Chen L., Zhang X., Shuaijing R., Li D. Controlling Fire of Belt Conveyor and Ventilation Network Calculation in Underground Coal mines // Earth and Environmental Science: IOP Conference Series. 2018. Vol. 189(4). 042028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/189/4/042028>
7. Hansen R. Fire behaviour of multiple fires in a mine drift with longitudinal ventilation // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29(2). P. 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.05.005>
8. Середа Т. Г., Кушнарева О. В., Костарев С. Н., Устинов А. И., Михайлова М. А. Снижение пожаровзрывоопасности объектов депонирования отходов // Пожарная безопасность. 2008. № 3. С. 84–89.
9. Костарев С. Н. Пожарная автоматика, управление и связь. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. 123 с.
10. Липанов А. М., Вахрушев А. В. Задача о диспергировании порошковых материалов взрывом // Прикладная механика. 1991. Т. 27, № 2. С. 47–53.
11. Зборщик М. П., Осокин В. В. Горение пород угольных месторождений и их тушение. Донецк: ДонГТУ, 2000. 180 с.
12. Лобазнов А. В. Разработка способа и средств обнаружения начальной стадии подземных пожаров: автореф. ... дис. канд. техн. наук. М.: МГГУ, 2011. 22 с.
13. Kong B., Li Z., Yang Y., Liu Z., Yan D. A review on the mechanism, risk evaluation, and prevention of coal spontaneous combustion in China // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24, issue 30, P. 23453–23470. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0209-6>
14. Kostarev S. N., Sereda T. G., Tatarikova N. A., Kochetova O. V. Development of electric drive for centrifugal mine pumps in Solikamsk Potassium Mine Group Based on Industrial OMRON Controller // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. Vol. 327. 022064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/2/022064>
15. Поляков С. И., Короборчев Р. Н. Исследование автоматического управления переместительными операциями на базе контроллера // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 355–361.
16. Чекавинская Я. Решения Omron для успешной реализации цифровой трансформации промышленных предприятий // Станкоинструмент. 2018. № 3 (12). С. 78–81.

Статья поступила в редакцию 27 января 2019 г.

# Development of an automated fire-fighting system for the mine of the Third Solikamsk potash-mine administration

Tat'yana Gennad'evna SEREDA\*

Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia  
Perm filial of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Perm, Russia

**The relevance of the work** is due to the need to reduce the risk of mortality of miners in case of fire.

**The purpose of the work:** development of an automation fire-fighting system to ensure the safety of employees of the Third Solikamsk potash-mine administration.

**Methodology of the research:** solving the problem of analyzing and synthesizing the finite-state automation described by the logical equations of the automated fire-fighting system; software development for the Omron industrial controller.

**Results.** The information about accidents at the Uralkali was analyzed. The object of research was the fourth mine of the Third Solikamsk potash-mine administration. SKRU-3 is one of the three mines in Solikamsk, where the extraction of potassium and magnesium salts is carried out by an underground mining method at a depth of 100 to 500 m. A fatal accident was identified. As a result of smoke generation and fire 9 people died, the builders of the contracting organization, at the fourth mine at a depth of 363 m. The main contract work of the main shaft was performed by employees of the Construction Management No. 30 Federal State Unitary Enterprise from Bashkortostan. When developing a fire-fighting system, a functional scheme for motor control by a drainline pump and a high-pressure fire pump was built, which provides for manual and automatic control of the pumps. It is recommended to install low and high-level sensors and other equipment in the expansion tank and the desalination tank of the drainage pump: pump control sensors, level signaling sensor with remote data transmission. The logical equations and relay contact circuit of the equipment were developed. It is offered the use of software and hardware based on the Omron microcontroller in the engineering section. The simulation modeling of pumps was carried out.

**Conclusion.** To reduce the risk of mortality and damage to property, a model has been developed for managing the fire-fighting system of the mine management. The principle and relay-contact pump control circuit have been developed. The proposed hardware and software will help prevent alarm conditions and accidents and will increase the safety of the SKRU-3 employees when working in the mine.

**Keywords:** automatic fire-fighting equipment, relay-contact circuit, mine, microcontroller, occurrence rate of industrial injuries.

## REFERENCES

1. Dyakov S. P. Uralkali: 2008, History and prospects of development. *Gornyi Zhurnal* [Mining journal], no. 10, pp. 14–17. (In Russ.)
2. Rangulova V. 2018, Version: Nine miners died in Solikamsk because trusting to luck. *Komsomolskaya Pravda*. December 24th. <https://www.perm.kp.ru/daily/26924/3971805>
3. Johnson A. L., Dipnall J. F., Dennekamp M., Williamson G. J., Gao C. X., Carroll M. T. C., Dimitriadis C., Ikin J. F., Johnston F. H., McFarlane A. C., Sim M. R., Stub D. A., Abramson M. J., Guo Y. 2019, Fine particulate matter exposure and medication dispensing during and after a coal mine fire: A time series analysis from the Hazelwood Health Study. *Environmental Pollution*, vol. 246, pp. 1027–1035. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.085>
4. Abashidze G., Ilaş N., Moraru R. I., Tsverava D. 2019, The possibility of safety improvement through exogenous fire prediction in mine workings and transport tunnels. *Quality – Access to Success*, vol. 20, issue S1, pp. 7–12.
5. Jones R., Lee S., Maybery D., McFarlane A. 2018, Experiences of a prolonged coal-mine fire. *Disaster Prevention and Management. An International Journal*, vol. 27 (5), pp. 534–545. <http://dx.doi.org/10.1108/DPM-05-2018-0145>
6. Xiao Y., Chen L., Zhang X., Shuaijing R., Li D. 2018, Controlling Fire of Belt Conveyor and Ventilation Network Calculation in Underground Coal mines. *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*, vol. 189(4). 042028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/189/4/042028>
7. Hansen R. 2019, Fire behaviour of multiple fires in a mine drift with longitudinal ventilation. *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 29(2), pp. 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.05.005>
8. Sereda T. G., Kushnareva O. V., Kostarev S. N., Ustinov A. I., Mikhailova M. A. 2008, Reduction of fire and explosion hazard of waste Deposit facilities. *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire safety], no. 3, pp. 84–89. (In Russ.)
9. Kostarev S. N. 2017, *Pozharnaya avtomatika, upravleniye i svyaz'* [Fire automation, control and communication]. Perm, 123 p.
10. Lipanov A. M., Vakhrushev A. V., 1991, The problem of dispersation of powder materials by explosion. *Prikladnaya mehanika* [International applied mechanics], vol. 27, no. 2, pp. 47–53. (In Russ.)
11. Zborshchik M. P., Osokin V. V., 2000, *Goreniye porod ugol'nykh mestorozhdeniy i ikh tusheniye* [Combustion of rocks of coal deposits and their extinguishing]. Donetsk, 180 p.
12. Lobzanov A. V., 2011, *Razrabotka sposoba i sredstv obnaruzheniya nachal'noy stadii podzemnykh pozharov* [Development of the method and means of detecting the initial stage of underground fires], PhD thesis. Moscow, 22 p.
13. Kong B., Li Z., Yang Y., Liu Z., Yan D. 2017, A review on the mechanism, risk evaluation, and prevention of coal spontaneous combustion in China. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, issue 30, pp. 23453–23470. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0209-6>
14. Kostarev S. N., Sereda T. G., Tatarnikova N. A., Kochetova O. V. 2018, Development of electric drive for centrifugal mine pumps in Solikamsk Potassium Mine Group Based on Industrial OMRON Controller. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 327. 022064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/2/022064>
15. Polyakov S. I., Koroborchev R. N. 2018, The study of automatic control of the commutative operations based on controller. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovanii XXI veka: teoriya i praktika* [Actual areas of research of the XXI century: theory and practice], vol. 6, no. 4 (40), pp. 355–361. (In Russ.)
16. Chekavinskaya Ya. 2018, Omron solutions for the successful implementation of digital transformation of industrial enterprises. *Stankoinstrument* [Stankoinstrument], no. 3 (12), pp. 78–81. (In Russ.)

The article was received on January 27, 2019

\*✉ iums@dom.raid.ru

✉ <https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>

# Экономические науки Economic sciences

УДК 336.781.5:658.14.01

<https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-2-121-125>

## Determination of the discount rate for the conditions of enterprises of the mineral resources sector: argumentative issues

Vladimir Nikolaevich PODKORYTOV\*,  
Lyudmila Anatol'evna MOCHALOVA\*\*

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

**The relevance of this study** is the need to improve the accuracy of calculations of indicators characterizing the value of companies and the effectiveness of investments in various projects. The discount rate should accurately reflect market trends. The correctly calculated discount rate should play a special role in assessing the market capitalization of enterprises of the mineral resources sector; securities of the largest companies are the most popular among investors.

**The aim of the work** is a comparative analysis of definitions and methods for calculating the discount rate to identify its basic characteristics that contribute to obtaining an objective value.

**Results of work and their application.** The authors analyzed various definitions of the discount rate and made the following conclusions. The discount rate should be understood as the minimum rate of return which a typical investor can expect while investing his own money in an asset that generates income at the current time (and/or assumes its receipt in the future). At the same time, it is necessary to have alternative (comparable) investment options on the market. Thus, the discount rate is not a return on the asset being valued, but an alternative return. The core statements of the specified definition of the discount rate are as follows: "Minimum rate of return", "alternative investment options", "alternative yield". When taking into account the most significant aspects of this definition, the authors of this paper analyzed the existing methods of its calculation, which are most often used in the framework of the valuation and investment analysis of enterprises of the mineral resources sector. The Capital Assets Assessment Model (CAPM) was highlighted among other models, which most closely matches the specified definition of the discount rate. The model is based, firstly, not on subjectivism when calculating risk premiums, but on statistically confirmed market data; secondly, it takes into account the average market yield, providing for alternative options for capital investment and, accordingly, alternative yield; thirdly, it implies a minimal, reasonable yield barrier for potential investors. In addition, this model applies the coefficient  $\beta$ , which takes into account non-systemic risks of a particular field of activity, allows to consider the peculiarities and specific risks of enterprises of the mineral resources sector.

**Conclusion.** Theory-based definitions of the discount rate (confirmed by statistical data) will allow building viable financial models of companies, which in turn will contribute to increasing the objectivity of investment analysis and valuation.

**Keywords:** discount rate, enterprise of the mineral resources sector, cumulative building model, capital asset pricing model, investment analysis, company valuation.

### I ntroduction

Currently, the mineral industry plays an extremely important role in the Russian economy. Eight blue-chip companies on the Russian stock market out of fifteen are enterprises of the mineral resources sector. In addition to these eight, there are many other enterprises (the largest ones) that develop mineral deposits. Their activity is associated with a large number of risks, especially if the deposits are located in hard-to-reach places. Hence there is the uncertainty of the value of money flows received from the enterprise's activities and the need to increase the objectivity and accuracy of the calculation of indicators characterizing the efficiency of investments in projects for the development of new mineral deposits and securities of enterprises of the mineral resources sector.

The determination of the discount rate is an integral part of the calculation within the framework of the evaluation of investment projects, as well as the valuation of enterprises of the mineral resources sector. It is necessary to note the correctness of its calculations as an important issue. As we know, any method of calculation should be based on the theoretical basis of the indicator being defined. Otherwise, any calculations will not make economic sense, giving distorted results. This situation also applies to the discount rate that is widely used in financial calculations.

**The aim of the work** is a comparative analysis of definitions and methods for calculating the discount rate to identify its basic characteristics that contribute to obtaining an objective value.

**Results of the work and their application.** Conceivably, there are a number of definitions of the concept of "discount rate". At the same time, it can be stated that many formulations reflect only the mathematical essence of the indicator under consideration, which means that they are only of secondary importance. However, there are definitions of the discount rate that convey its economic content.

For example, I. M. Kamnev and A. Yu. Zhulin gave several formulations at once [1]:

- "the discount rate is the interest rate used to recalculate future money flows into a single present value";
- "the discount rate is a tool that is used to transfer the expected money flows generated by the asset into the present value of this asset";

\*s.p.a.r.k.s@rambler.ru

\*\*✉ lyudmila.mochalova@m.ursmu.ru

DOI <https://orcid.org/0000-0002-0983-826X>

—“the discount rate is the rate of return on invested capital required by investors in investment objects of comparable risk level or it is the required rate of return on existing investment alternatives with a comparable risk level at the date of valuation; the discount rate should include the minimum guaranteed level of profitability not dependent on the directions of investments, correction for inflation rates and the degree of risk of a specific investment (the risk of this type of investment, the risk of inadequate investment management, the risk of loss of liquidity of this investment, etc.)”. Thus, in the first and second options, the discount rate is considered from the standpoint of mathematical calculations. The third option reflects the economic essence of the concept and includes the important phrase “the required rate of return on the available alternative investment options with a comparable level of risk at the date of valuation”. Thus, the authors of this paper do not consider the discount rate as a return on the asset being valued (or a business), but as some kind of alternative yield in the presence of comparable investment options on the market. According to this, it can be assumed that any asset will be useful to an investor if his profitability exceeds certain alternative profitability or at least equals to it. Otherwise, a wise investor will leave the project in favor of alternatives available on the market. The phrase “comparable risk level” used by the authors means a high level of investment requirements for invested capital leading to an overestimation of the calculated values of the discount rate.

Yu. V. Kozyr in his monograph [2] gives the following definitions:

- “the discount rate is a tool that allows you to compare different money flows and bring them to their present value”;
- “the discount rate is the cost of raising equity capital, that is, the return on investment in equity capital desired by shareholders, taking into account the possibilities of the market and expectations for its change.”

The first version of the definition contains only the mathematical essence of the discount rate. The second version implies the phrase “shareholders’ desired return on equity investments” that reflects the economic essence of the concept. However, it causes uncertainty due to the lack of substantiation of the degree (or barrier) of profitability, which is necessary to enter the project for a would-be shareholder. This is important because the desires or motives of different investors (average investor, cautious investor, and risky investor) are different.

Yu. V. Efimova in her article [3] considers the economic content of the discount rate and defines it as the “rate of return on invested capital required by the investor”. However, it does not specify which rate of return and which investor is required. Further, there is a phrase “the discount rate should reflect the following economic parameters: minimum guaranteed rate of return, independent of the type of investment, inflation rate and risk (risk ratio)”. It can be concluded that the discount rate should include risk-free return, inflation rate, and risk premium. The authors would like to note that the risk-free return, as a rule, is nominal that is, it indirectly includes inflation. Therefore, a separate assessment of inflation seems superfluous.

O. V. Malinovskaya, E. A. Sapko and A. V. Borovkina in their work [4] define the discount rate as “a specific economic standard that reflects the growth rate of the relative value of money when it is received earlier (or later spent)”. We consider it is incorrect since it does not imply the presence of an investor, alternatives, income standards and etc. They note that the discount rate is an “exogenously defined key economic standard used in assessing the profitability of a specific investment project” (equating it to the inflation rate).

A number of scientists, for example, A. N. Titov, R. F. Taziev, E. P. Fadeeva in their work [5] consider the discount rate as “the comparison rate, the discount percentage rate, the opportunity cost, or the required rate of return”. Their phrase “the discount rate reflects the alternative cost of capital, so it depends on the company’s capital investment opportunities” needs to be clarified, since questions arise about the manner in which this dependence manifests itself and what it is about.

The most correct definition of the discount rate from all those reviewed was presented by a well-known expert in the field of valuation activity S. V. Gribovsky, the author of [6]: “The discount rate is the minimum rate of return that an investor expects when investing money in the purchase of a profitable asset.” The “minimum rate of return” indicates a barrier of the rate of return, and does not imply excessive demands, and therefore, high calculated values of the discount rate. In addition, profit seems to be more significant for an investor than gross income, therefore the “rate of return” more accurately reflects his intentions compared to the “rate of return”. The definition under consideration also implies the existence of alternatives on the market. Similar characteristics of the discount rate are contained in the articles of foreign scientists and experts [7-9].

According to the authors of this paper, the discount rate should be understood as the minimum rate of return which a typical investor can expect while investing his own money in an asset that generates income at the current time (and/or assumes its receipt in the future). At the same time, it is necessary to have alternative (comparable) investment options on the market. Thus, the discount rate is not a return on the asset being valued, but an alternative return (!).

The core statements of the specified definition of the discount rate are as follows:

- “minimum rate of return”;
- “alternative investment choice”;
- “competing earning power”.

When taking into account the most significant aspects of this definition, the authors of this paper analyzed the existing methods of its calculation, which are most often used in the framework of the valuation and investment analysis of enterprises of the mineral resources sector.

I. V. Filimonova, L. V. Eder, A. A. Babikov [10] described in detail the model of the cumulative building of the discount rate expressed in the formula

$$r = r_f + r_{\text{risk}},$$

where  $r$  is the discount rate, %;  $r_f$  – risk free rate, %;  $r_{\text{risk}}$  – cumulative risk premium, %.

When determining the cumulative risk premium, the following factors are taken into account: company size, financial structure, diversification of customers, profitability of the enterprise and the predictability of its income, quality of management, and other risks.

The authors of this paper propose to use the generally accepted boundaries of risk premium ranges used in this model (0–3%, 0–4%, 0–5%) and directly calculate risk premiums for oil and gas companies by ranking based on financial information for a number of companies in the sector. In this case, in their opinion, the largest companies should accrue the smallest values and vice versa. If we consider this model from the point of view of the theory, then, in this case, the types of risks do not take into account either alternative returns, or alternative investments, or the minimum rate of return. Calculations are carried out on the basis of the data of the estimated company, i.e. the discount rate is close to (or equal to) the return on equity, which contradicts its very definition. So, the analysis of the compliance of the presented model of the cumulative building of the discount rate to its previously selected key characteristics showed that it does not correspond to any of them: the minimum rate of return, alternative investment options, alternative yield are not available.

V. I. Nazarov in his work [11] also considers the model of the cumulative building of the discount rate. He proposes to add to the base rate, which reflects “the usual industry-accepted rate of return on invested capital” (10%), the “risk rate of capital characteristic of mining industries.” Geographical, economic and geological risks are considered as additional risks when charging premiums for which the following factors should be taken into account:

- infrastructure of the location of the mineral deposit (geographical and economic risk);
- categories of reserves (geological risk).

The range of premiums for risks offered by the author based on expert estimation. Thus, the geographic and economic risk premium is recommended from 0 to 8%, the geological risk premium is from 0 to 7%. Once again, the model under consideration does not correspond to the selected key aspects of determining the discount rate. In addition, risk premiums, based only on expert estimation, make the discount rate too high and hardly grounded (up to 25%).

O. V. Eremenko in the work [12] specifies the main factors affecting the range of discount rates, including: the level of dependence on suppliers and consumers; the level of innovation risk; capital structure; market returns; calculation method; financial state; type and form of innovative technology; scope and duration of the project; the degree of depreciation of fixed assets; type of cash flow, the purpose of innovation. It is clear from the list of factors that the range of the discount rate depends on various indicators (financial, production, technology) of a particular enterprise or investment project for which it is calculated. Similar to previous models, it is not supposed to take into account alternative returns. In addition, it indicates such a subjective factor as the method of calculation. We can conclude that it is possible to calculate completely different discount rates for the same situation by changing the calculation method (thus managing investment calculations).

Ukal Sari [13], S. A. Fokina [14] describe in their works the most well-known models for determining the discount rate: the cumulative building model and the capital asset pricing model (CAPM). O. V. Eremenko in the mentioned article characterizes many other models, including:

- modified capital asset pricing model (MCARM);
- model by E. Fama and K. French;
- M. Carhart four-factor model;
- Gordon growth model;
- models for calculation of a rate based on return on assets, net profitability of equity;
- market multiplier model;
- expert estimation model;
- methodology of the Government of the Russian Federation No. 1470, etc.

At the same time, the range of risk premiums calculated in different ways ranges from 1.8 to 61%. It can be assumed that the overwhelming number of investment projects will fall into the number of ineffective ones with such overvalued discount rates (50% or more).

For projects of development of hydrocarbon deposits, the author of the article [12] justifies the model of cumulative building (as the most acceptable way to calculate the discount rate) taking into account the following types of risks: financial and economic, technological and geological ones. Unfortunately, in terms of geological risks, the range of changes in premiums (3.75–7.54%) is not supported by any calculated evidence-based materials. It should be noted that, in general, the presented risk-based model does not meet the previously highlighted criteria of the definition of the discount rate: the minimum rate of return, alternative investment options, alternative yield.

The works [15, 16] reveal the problems of risk analysis in the oil and gas sector of the mineral resources sector with regard to exceeding the terms of investment projects and their appreciation under the influence of various factors. The main attention is paid to the methods of expert risk estimation; the topic of estimating the discount rate is not affected. It can be assumed that the influence of risks on an investment project, in the opinion of the authors of the works, consists of the forecasting of its future cash flows. The authors encompass a risk-based problem when evaluating investments in the oil and gas sector of the Russian economy.

The following conclusions can be drawn from the analysis of the above scientific works:

- when calculating the discount rate for investment projects and business valuation within the mineral sector, the model of cumulative building is mainly considered;
- the cumulative building model takes into account the risks of a particular project or business and is slightly linked to such basic characteristics of the discount rate as the minimum rate of return, alternative investment options, alternative yield;
- risk estimation of an investment project can be carried out through the calculation of the discount rate (the accrual of the corresponding risk premiums), as well as by direct accounting for forecasting of cash flows.

According to the authors of this paper, the most appropriate way of calculating the discount rate is the Capital Asset Pricing Model (CARM) developed by W. Sharp:

$$i = R_f + \beta (R_m - R_f),$$

where  $R_f$  is the risk-free rate of return;  $\beta$  is the degree of market risk reflecting the sensitivity of changes in the value of assets

depending on market profitability;  $(R_m - R_f)$  is the premium for the risk of investing in stocks, equal to the difference in the rates of market return and risk-free rate.

The presented model most closely matches the previously defined definition of the discount rate, since it is based, firstly, not on subjectivism when calculating risk premiums, but on statistically confirmed market data; secondly, it takes into account the average market yield, providing for alternative options for capital investment and, accordingly, alternative yield; thirdly, it implies a minimal, reasonable yield barrier for potential investors. In addition, this model applies the coefficient  $\beta$ , which takes into account non-systemic risks of a particular field of activity, allows to consider the peculiarities and specific risks of enterprises of the mineral resources sector. Additional risks of non-receipt of income should be considered directly while forecasting of cash flows.

### Conclusion

Thus, the determination of the discount rate is an important stage of work carried out when building models of cash flow in the framework of the valuation of enterprises of the mineral resources sector and analysis of the effectiveness of investments in the development of mineral deposits. The discount rate should be understood as the minimum rate of return which a typical investor can expect while investing his own money in an asset that generates income at the current time (and/or assumes its receipt in the future). At the same time, it is necessary to have alternative (comparable) investment options on the market. The most appropriate way to calculate the discount rate is the capital asset pricing model, which involves gathering objective market data. Theory-based definitions of the discount rate (confirmed by statistical data) will allow building viable financial models of companies, which in turn will contribute to increasing the objectivity of investment analysis and valuation.

### REFERENCES

1. Kamnev I. M., Zhulina A. Yu. 2012, Methods to justify the discount rate. *Problemy ucheta i finansov* [Problems of Accounting and Finance], no. 2 (6), pp. 30–35. (*In Russ.*)
2. Kozyr Yu. V. 2006, *Osobennosti otsenki i realizatsii kontseptsii VBM* [Features of evaluation and implementation of the VBM concept]. Moscow, 285 p.
3. Efimova Yu. V. 2011, The choice of the discount rate in assessing the effectiveness of investment projects of industrial enterprises. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Izvestiya Tula State University. Economic and legal sciences], issue 1, part 1, pp. 161–165. (*In Russ.*)
4. Malinovskaya O. V., Sapko E. A., Brovkina A. V. 2016, The discount rate of cash flows of investment projects of the transport complex: theoretical basis and evaluation. *Finansovaya analitika: problemy i resheniya* [Financial Analytics: Science and Experience], no. 2, pp. 15–30. (*In Russ.*)
5. Titov A. N., Tazieva R. F., Fadeeva E. P. 2018, Simulation of the optimal discount rate and the choice of its probabilistic model. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], vol. 21, no. 4, pp. 193–201. (*In Russ.*)
6. Gribovsky S. V. 2007, About capitalization and discount rates once again. *Otsenochnaya deyatel'nost'* [Valuation activities], no. 3, pp. 9–13. (*In Russ.*)
7. Rafanelli P. 2016, Case Study (Part I): Applying And Assessing The Capitalization Rate. *The Value Examiner*, pp. 16–26.
8. Lisi G. 2019, Income capitalization method and hedonic model: an integrated approach. *Journal of Property Investment & Finance*, vol. 37, issue 3, pp. 289–300. <https://doi.org/10.1108/JPIF-11-2018-0088>
9. Hayler R. 2019, Post- to Pre-Tax Discount Rates: Not a Simple Conversion. *Journal of Business Valuation & Economic Loss Analysis*, vol. 14, issue 1. <https://doi.org/10.1515/jbvela-2018-0013>
10. Filimonova I. V., Eder L. V., Babikov A. A. 2014, Justification of the choice of the discount rate when evaluating investment projects of the oil and gas complex. *Ekologicheskiy vestnik Rossii* [Ecological Bulletin of Russia], pp. 12–21. (*In Russ.*)
11. Nazarov V. I. 2009, Geological and economic aspects of the problem of introducing a new Classification of reserves and forecast resources of oil and combustible gases. *Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye* [Mineral resources of Russia. Economics and Management], no. 2, pp. 32–38. (*In Russ.*)
12. Eremenko O. V. 2017, Features of determining the discount rate when evaluating the effectiveness of innovative projects in the development and operation of oil and gas fields. General-methodological issues. *Aktual'nyye problemy ekonomiki i upravleniya* [Topical issues of economics and management], no. 1 (13), pp. 46–55. (*In Russ.*)
13. Ucal Sari Irem. 2018, Development of an integrated discounting strategy based on vendors' expectations using FAHP and fuzzy goal programming. *Technological & Economic Development of Economy*, vol. 24, issue 2, pp. 635–652. <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1213205>
14. Fokina S. A. 2016, Size premium: analysis of the Russian capital market. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* [Vestnik of Saint Petersburg University], ser. 5, issue 4, pp. 92–103. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu05.2016.405>
15. Demkin I. V., Nikonorov I. M., Gabrielov A. A., Barkhatov V. D., Petrova M. S. 2016, Methodological problems of risk analysis of oil and gas projects. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom* [Issues of economics and management of oil and gas complex]. Part I, no. 4, pp. 18–27 (*In Russ.*). Part II, no. 5, pp. 20–28. (*In Russ.*)
16. Boldyrev E. S., Burenina I. V., Zakharova I. M. 2016, Risk inventory when evaluating investment projects in the oil and gas industry. *Naukovedenie* [Science studies], online magazine, vol. 8, no. 1. <http://dx.doi.org/10.15862/48EVN116>

*The article was received on April 9, 2019*

# Определение ставки дисконтирования для условий предприятий минерально-сырьевого комплекса: дискуссионные вопросы

Владимир Николаевич ПОДКОРЫТОВ\*,  
Людмила Анатольевна МОЧАЛОВА\*\*

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

**Актуальность данного исследования** заключается в необходимости повышения точности расчетов показателей, характеризующих стоимость компаний и эффективность инвестиционных вложений в различные проекты. Ставка дисконтирования должна точно отражать рыночные тенденции. Особую роль корректно рассчитанная ставка дисконтирования должна играть при оценке рыночной капитализации предприятий минерально-сырьевого комплекса, ценные бумаги крупнейших из которых являются наиболее востребованными среди инвесторов.

**Целью работы** является сравнительный анализ определений и способов расчета ставки дисконтирования для выявления ее базовых характеристик, способствующих получению объективной величины.

**Результаты работы и их применение.** Авторами статьи проанализированы различные определения ставки дисконтирования и сделаны следующие выводы. Ставку дисконтирования следует понимать как минимальную норму прибыли, на которую рассчитывает средний инвестор с типичной мотивацией на рынке, инвестируя собственный капитал в покупку актива, приносящего доход в текущее время и/или предполагающего его получение в будущем. При этом необходимо наличие на рынке альтернативных (сопоставимых) вариантов инвестиций. Таким образом, ставка дисконтирования представляет собой не доходность оцениваемого актива, а альтернативную доходность. Ключевыми фразами уточненного определения ставки дисконтирования являются следующие: «минимальная норма прибыли», «альтернативные варианты инвестиций», «альтернативная доходность». При учете наиболее существенных аспектов указанной формулировки авторами статьи был проведен анализ существующих способов ее расчета, наиболее часто используемых в рамках стоимостной оценки и инвестиционного анализа предприятий минерально-сырьевого комплекса. Среди многих других была выделена модель оценки капитальных активов (CAPM), которая наиболее точно соответствует уточненному определению ставки дисконтирования. Модель основывается, во-первых, на субъективизме при начислении премий за риск, а на статистически подтвержденных рыночных данных; во-вторых, учитывает среднерыночную доходность, предусматривая альтернативные варианты вложения капитала и, соответственно, альтернативную доходность; в-третьих, предполагает минимальный, обоснованный барьер доходности для потенциальных инвесторов. Кроме того, данная модель путем применения коэффициента  $\beta$ , учитывающего несистемные риски той или иной сферы деятельности, позволяет учесть особенности и специфические риски предприятий минерально-сырьевого комплекса.

**Заключение.** Подтвержденные статистическими данными, теоретически обоснованные значения ставки дисконтирования позволят строить реалистичные финансовые модели компаний, что в свою очередь будет способствовать повышению объективности инвестиционного анализа и стоимостной оценки.

**Ключевые слова:** ставка дисконтирования, предприятие минерально-сырьевого комплекса, модель кумулятивного построения, модель оценки капитальных активов, инвестиционный анализ, оценка стоимости компании.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Камнев И. М., Жулина А. Ю. Методы обоснования ставки дисконтирования // Проблемы учета и финансов. 2012. № 2(6). С. 30–35.
2. Козырь Ю. В. Особенности оценки и реализации концепции VBM. М.: Издат. дом «Квント-Консалтинг», 2006. 285 с.
3. Ефимова Ю. В. Выбор ставки дисконтирования при оценке эффективности инвестиционных проектов промышленных предприятий // Изв. ТулГУ. Экономические и юридические науки. 2011. Вып. 1. Ч.1. С. 161–165.
4. Малиновская О. В., Сапко Е. А., Бровкина А. В. Ставка дисконтирования денежных потоков инвестиционных проектов транспортного комплекса: теоретические основы и оценка // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2016. № 2. С. 15–30.
5. Титов А. Н., Тазиева Р. Ф., Фадеева Е. П. Моделирование оптимальной ставки дисконтирования и выбор ее вероятностной модели // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 4. С.193–201.
6. Грибовский С. В. Еще раз о ставках капитализации и дисконтирования // Оценочная деятельность. 2007. № 3. С. 9–13.
7. Rafanelli P. Case Study (Part I): Applying And Assessing The Capitalization Rate. The Value Examiner. Mar/Apr 2016. P. 16–26.
8. Lisi G. Income capitalization method and hedonic model: an integrated approach // Journal of Property Investment & Finance. 2019. Vol. 37, issue 3. P. 289–300. <https://doi.org/10.1108/JPIF-11-2018-0088>
9. Hayler R. Post- to Pre-Tax Discount Rates: Not a Simple Conversion // Journal of Business Valuation & Economic Loss Analysis. 2019. Vol. 14, issue 1. 20180013. <https://doi.org/10.1515/jbvela-2018-0013>
10. Филимонова И. В., Эдер Л. В., Бабиков А. А. Обоснование выбора ставки дисконтирования при оценке инвестиционных проектов нефтегазового комплекса // Экологический вестник России. 2014. № 1. С. 12–21.
11. Назаров В. И. Геолого-экономические аспекты проблемы ввода в действие новой Классификации запасов и прогнозных ресурсов нефти и горючих газов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2009. № 2. С. 32–38.
12. Еременко О. В. Особенности определения ставки дисконтирования при оценке эффективности инновационных проектов в сфере разработки и эксплуатации месторождений нефти и газа. Общеметодологические проблемы // Актуальные проблемы экономики и управления. 2017. № 1(13). С. 46–55.
13. Ucal Sari Irem. Development of an integrated discounting strategy based on vendors' expectations using FAHP and fuzzy goal programming // Technological & Economic Development of Economy. 2018. Vol. 24, issue 2. P. 635–652. <https://doi.org/10.3846/20294913.2016.1213205>
14. Фокина С. А. Премия за размер: анализ российского рынка капитала // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2016. Сер. 5. Вып. 4. С. 92–103. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu05.2016.405>
15. Демкин И. В., Никонов И. М., Габрилов А. О., Бархатов В. Д., Петрова М. С. Методические проблемы анализа рисков нефтегазовых проектов // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2016. Ч. I, № 4. С. 18–27. Ч. II. 2016. № 5. С. 20–28.
16. Болдырев Е. С., Буренина И. В., Захарова И. М. Учет рисков при оценке инвестиционных проектов в нефтегазовой отрасли // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т. 8, № 1. <http://dx.doi.org/10.15862/48EVN116>

Статья поступила в редакцию 9 апреля 2019 г.

\* s.p.a.r.k.s@rambler.ru

\*\*✉ lyudmila.mochalova@m.ursmu.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-0983-826X>

# Природные ресурсы с позиции учета в составе национального богатства

Оксана Александровна ЛОГВИНЕНКО,  
Владимир Евгеньевич СТРОВСКИЙ\*

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

**Актуальность.** Национальное богатство во все времена играло роль важнейшего индикатора экономического положения государства. С этих позиций полнота и достоверность оценки его величины продолжает оставаться актуальной задачей исследований и в настоящее время.

**Цель исследования.** Выявление эволюционных изменений в отображении национального богатства, в том числе с позиции учета в его составе природных ресурсов.

**Результаты исследования.** Доказано отсутствие унифицированного подхода к понятию национального богатства в мировом сообществе. Раскрыто содержание методик по оценке национального богатства начиная с конца 1960-х гг., когда была принята и одобрена ООН методика, рекомендуемая в качестве официальной для многих стран мира. Отражены эволюционные изменения в методиках оценки национального богатства. Особое внимание уделено учету природных ресурсов. В аграрной экономике элементом национального богатства выступала земля (пашня, лес), при этом ее ценность выражалась в виде стоимости сельскохозяйственных угодий. В индустриальной экономике стоимостному учету подлежали пашня, лес, ресурсы недр как источники сырья. И, наконец, в постиндустриальной экономике стала задача учета в составе национального богатства природного капитала, который рассматривается как совокупность природных ресурсов и экосистемных услуг. Становясь экономическими активами и принося определенные выгоды, природные ресурсы и экосистемные услуги (экологические ресурсы), трансформируясь в понятие природного капитала, оказывают значительное влияние на величину национального богатства страны. Отсутствие достаточного опыта, сложность экономической оценки природного капитала не позволяют дать объективную стоимостную оценку национального богатства.

**Выводы.** Стоймостная оценка природного капитала в составе национального богатства должна стать одной из первоочередных задач российской статистики. Наиболее перспективной для оценки природного капитала следует считать концепцию общей экономической ценности, которая позволяет учитывать не только стоимость использования ресурсов, но и стоимость существования, что крайне важно в рамках концепции устойчивого развития экономики, в целях сохранения природного богатства для будущих поколений.

Ключевые слова: национальное богатство, стоимостная оценка, земля, природные ресурсы, природный капитал, эволюционные изменения.

## B ведение

Традиционно национальному богатству (НБ) отводят функцию одного из индикаторов в международных сопоставлениях. Однако, на наш взгляд, важнейшей функцией НБ является его возможность быть выражением совокупного экономического потенциала, определенным целевым ориентиром и одновременно исходной базой для оценки эффективности национальной экономики. Национальное богатство во все времена являлось важнейшим индикатором экономического положения государства. Место, которое оно занимает в международных сравнениях, во многом зависит от его величины. Экономическая теория уделяет достаточно много внимания методологическим положениям по оценке национального богатства [1], и тем не менее единых подходов к определению его величины, принятых на вооружение большинством стран мира, до сих пор не существует.

Сама макроэкономическая категория «национальное богатство» в отличие, скажем, от других показателей, таких как валовой внутренний продукт или валовой национальный доход, не имеет на сегодняшний день единого подхода к своему содержанию. Как следствие, отсутствует общепринятая методика его стоимостной оценки в целях всестороннего государственного учета. В экономической науке имеются значительные расхождения в подходах к трактовке НБ как в глобальном, так и в национальном масштабе. В последние годы в мировом сообществе наметилась некоторая определенность в компонентном составе национального богатства, однако до сих пор нет единого мнения по содержанию отдельных элементов, целесообразности и практической возможности их учета в национальных стандартах стран.

### Результаты исследования

Попытки измерить национальное богатство предпринимались достаточно давно. В европейских странах первые официальные оценки относятся ко второй половине XVIII в., в США – к началу XIX в., в России – к середине XIX в. С 1853 г. методологические проблемы измерения национального богатства становятся темой международных статистических конгрессов [2]. Первые стоимостные оценки появились в отдельных странах (США, Германии, Японии и др.) в начале XX в. и носили фрагментарный характер. На межнациональном уровне практическое применение общих подходов к учету национального богатства началось в послевоенные годы, когда экспертами ООН были подготовлены рекомендации по национальным счетам на основе разработок США 1930–1940-х г. В 1953 г. была принята «Система национальных счетов и вспомогательных таблиц ООН». *Методика оценки и учета национального богатства в соответствии с СНС* стала официальной для многих стран мира с 1968 г. (2-я редакция СНС), в том числе для России с 1991 г. По существу, она представляла собой макроэкономический разрез бухгалтерского учета, где национальное богатство выступает неким аналогом величины собственного капитала (капитала и резервов в соответствии с бухгалтерским балансом) на общенациональном уровне. Несмотря на задекларированный переход отечественной статистики на эту методологию, в полном объеме в России она не использовалась в силу ряда объективных и субъективных причин [3].

Учет природных ресурсов (земля, лес) изначально осуществлялся в натуральных единицах. Становление, развитие и расцвет промышленности со второй половины XVIII в., вплоть до середины XX в., помимо традиционной, естественной для человека функции жизнеобеспечения, прочно закрепило за природой функцию поставщика сырья и энергии,

\*✉ IEF.EM@ursmu.ru

ID <https://orcid.org/0000-0001-6898-4286>

необходимых для удовлетворения нужд все более развивающегося индустриального общества. Понятие «природных ресурсов» значительно расширяется. Оно включает в себя уже помимо земли с собственно почвенным покровом, лесами, водными угодьями также богатство недр, необходимых ресурсов для развивающейся индустриальной экономики. Вовлечение все большего числа природных ресурсов в экономический оборот привело мировое сообщество к пониманию необходимости совершенствования подходов к их учету в национальном богатстве. Страны, наиболее развитые в экономическом отношении и имевшие богатый опыт национального счетоводства, постепенно переходили на стоимостной учет природных ресурсов. Надо отметить, что в СНС-68 необходимость масштабного стоимостного учета всех экономических активов, включая активы природного происхождения, по существу, была только задекларирована, в то время как СНС-93 содержала уже практические рекомендации по его осуществлению.

К тому времени активы природного происхождения, попавшие под определение экономических, т. е. наделенных правом собственности на них и используемых для получения выгод, оценивались в стоимостном выражении в ограниченном числе стран [4]. Большинство стран вело их фрагментарно, в основном учитывалась земля. В Австралии, Германии, Дании, Канаде, Нидерландах, Франции, Финляндии, Норвегии ряде других стран составлялись полные балансы активов и пассивов [5]. Их опыт стал основой учета природных ресурсов в СНС-93 и совершенствованных СНС-2008 [6]. В качестве примера приведен учет ресурсов природного происхождения в Нидерландах, стране, перешедшей на их стоимостную оценку одной из первых в мире. В табл. 1 представлен баланс нефинансовых активов, включавшихся в национальное богатство страны за ряд лет.

В России вплоть до 2017 г. оценка национального богатства осуществлялась Росстатом по традиционной методике, представлявшей собой наследие советской научной школы, сложившейся в 1970–1980-е гг. Именно тогда в экономическом сознании обозначился переход с ограничительной теории национального богатства, господствовавшей в советской экономике, на расширительную, которая позволила трактовать НБ как совокупность элементов произведенного капитала, накопленных национальной экономикой на учетную дату, и природной составляющей. Согласно данной методике, в составе национального богатства учитывался основной и оборотный капитал в стоимостной оценке, а также некоторые элементы природных ресурсов в натуральном выражении. Имущество домашних хозяйств отражалось справочно. Несмотря на официально провозглашенный в начале 1990-х гг. переход отечественной статистики на методологию СНС, рассчитанное таким образом национальное богатство, представлявшее собой скорее величину национального имущества, да и то недоучченного [7], и отражалось в официальной российской статистике вплоть до 2016 г. (табл. 2).

В настоящее время в большинстве стран мира используется редакция СНС 2008 г., в том числе и в РФ. Согласно СНС, НБ на конец каждого учетного года в официальном статистическом учете должно определяться величиной чистого национального капитала, получаемого как результат вычитания из общей суммы активов всех имеющихся

**Таблица 1. Нефинансовые активы Нидерландов за ряд лет, млрд евро.**

Table 1. Non-financial assets of the Netherlands for a number of years, billion euros.

Активы	Годы			
	1996	2000	2005	2008
Земля	264	753	1042	1212
Минеральные ресурсы	68	71	110	178
Запасы нефти и газа	66	66	103	172
Прочие полезные ископаемые	2	4	6	6
<b>Природные ресурсы</b>	<b>332</b>	<b>823</b>	<b>1152</b>	<b>1389</b>
Основные фонды	1052	1302	1651	1892
Изменение запасов	55	68	72	79
Потребительские товары длительного пользования	98	126	146	157
<b>Все активы</b>	<b>1538</b>	<b>2319</b>	<b>3022</b>	<b>3518</b>

Источник: Социальный и экономический совет ООН, доклад «Измерение природных ресурсов в Нидерландах». ECE/20/2010/5.

**Таблица 2. Национальное богатство России в 2012–2016 гг., млрд руб. (по традиционной методике).**

Table 2. Russia's national wealth in 2012–2016, billion rubles (according to the traditional method).

Годы	Всего	В том числе			Справочно: накопленное домашнее имущество	
		Основные фонды, включая незавершенное строительство		Материальные оборотные средства		
		Всего	Из них основные фонды			
2012	153 901	137 531	121 269	16 370	28 108	
2013	204 659	150 779	133 522	53 880	35 193	
2014	–	–	146 468	–	–	
2015	–	–	158 533	–	–	
2016	–	–	171 764	–	–	

Источник: Россия в цифрах 2017. URL: [www.gks.ru](http://www.gks.ru)

обязательств. Пришедшая на смену СНС-93 текущая редакция значительно расширяет возможности стран по учету как материальной, так и нематериальной составляющей НБ. Что касается учета природных ресурсов, отражаемых в категории не произведенных материальных активов, то их полноценный стоимостной учет по-прежнему остается трудноразрешимой для Росстата задачей. Она осложняется также необходимостью включения в состав национальных активов еще и такого элемента, как экосистемные или экологические услуги, которые наряду с природными ресурсами способствуют капитализации природного капитала в составе НБ в соответствии с концепцией устойчивого развития, провозглашенной ООН.

По состоянию на 2018 г. официальная статистика в величине НБ отражает основные фонды по полной учетной стоимости в смешанных ценах, стоимость домашнего имущества методом непрерывной инвентаризации и часть земельных и водных ресурсов (в натуральном выражении). Данные по оборотным средствам, стоимости материальных не произведенных (природным ресурсам), нематериальным и финансовым активам в стоимости НБ не учтены, за исключением данных в текущих рыночных ценах [8].

В целях сопоставимости с расчетами НБ в 2017 г. данные за последние годы были скорректированы в связи с переходом на классификацию экономических активов в соответствии с СНС и необходимостью использования текущих рыночных цен для учета основного капитала. В табл. 3 приведены сведения о национальном богатстве России, пересчитанные в соответствии с классификацией СНС по текущим рыночным ценам. Природные ресурсы (земля) приведены в натуральном выражении в табл. 4.

Значительное истощение ресурсов природы, сокращение природных парков и рекреационных зон, ухудшение экологической обстановки к началу XX в. привело к расширению понятия природных ресурсов и их роли в национальном богатстве. Традиционная для экономических отношений сырьевая функция дополняется экологической или экосистемной. Ее основной задачей является повышение качества окружающей человека природной среды и сохранение ее потенциала для будущих поколений. Основоположники современной теории природного капитала как элемента наци-

**Таблица 3. Национальное богатство России в 2012–2016 гг., млрд руб. (по классификации активов в СНС).**  
**Table 3. Russia's national wealth in 2012–2016, billion rubles (according to the classification of assets in the system of national accounts (SNA)).**

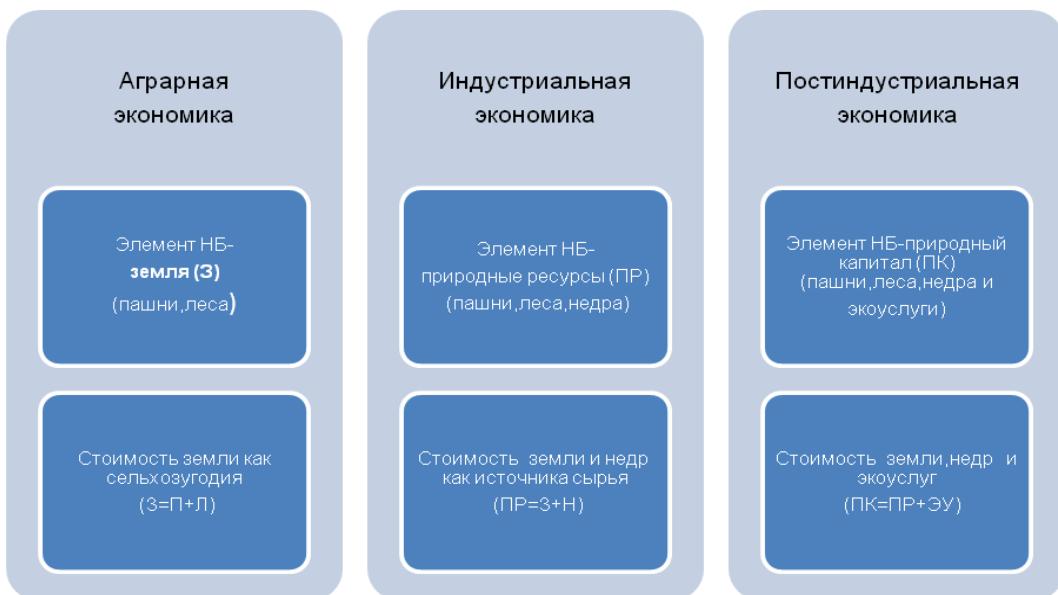
Активы	Годы				
	2012	2013	2014	2015	2016
<b>Активы</b>	518 381	585 883	691 133	787 077	817 360
<b>Нефинансовые активы</b>	256 262	275 962	302 799	340 334	361 430
Основной капитал	256 262	275 962	302 799	340 334	361 430
Жилые здания	118 524	120 156	131 437	138 764	142 216
Нежилые здания	39 382	46 090	47 928	56 596	61 306
Сооружения	62 590	68 124	73 597	83 426	92 106
Машины и оборудование	22 874	25 872	28 961	36 701	37 978
Транспортные средства	7087	8426	11 705	13 084	13 908
Прочие виды основного капитала	5805	7294	9171	11 763	13 916
<b>Финансовые активы</b>	<b>262 119</b>	<b>309 921</b>	<b>388 334</b>	<b>446 743</b>	<b>455 931</b>
Монетарное золото и специальные права заимствования	1816	1596	3057	4114	4045
Наличная валюта и депозиты	53 897	61 306	78 320	86 472	84 818
Долговые ценные бумаги	22 487	24 008	31 642	38 559	34 085
Кредиты и займы	50 041	63 061	88 379	96 541	95 628
Акции и прочие формы участия в капитале	77 048	88 253	99 548	118 188	129 255
Страховые и пенсионные резервы	2043	2657	2948	3682	4379
Дебиторская задолженность	54 787	69 040	84 440	99 187	103 721
<b>Обязательства</b>	<b>257 796</b>	<b>305 610</b>	<b>370 888</b>	<b>422 421</b>	<b>442 459</b>
<b>Национальное богатство</b>	<b>260 585</b>	<b>280 273</b>	<b>320 245</b>	<b>364 656</b>	<b>374 901</b>

Источник: Россия в цифрах 2018. URL: [www.gks.ru](http://www.gks.ru)

**Таблица 4. Природные ресурсы РФ (земельная площадь), млн га.**  
**Table 4. Natural resources of the Russian Federation (land area), million hectares.**

Земельные ресурсы	Годы				
	2001	2006	2015	2016	2017
<b>Всего земель</b>	<b>1709,8</b>	<b>1709,8</b>	<b>1712,5</b>	<b>1712,5</b>	<b>1712,5</b>
В том числе:					
сельскохозяйственные угодья	221,1	220,7	220,2	222,1	222,0
лесные земли	871,5	870,6	871,8	870,7	870,7
поверхностные воды, включая болота	219,0	225,1	225,0	226,8	226,8
другие земли	398,2	393,4	392,9	392,9	393,0

Источник: Россия в цифрах 2018. URL: [www.gks.ru](http://www.gks.ru)



**Рисунок 1. Эволюционное изменение содержания природных ресурсов как источника национального богатства.**  
**Figure 1. The evolutionary change in the content of natural resources as a source of national wealth.**

онального богатства американцы R. Costanza и H. Daly в [9] под экосистемными услугами в начале XXI в. понимали выгоды, которые общество получает от экосистем. В современном мире экосистемные услуги способны аккумулировать природный капитал точно так же, как это делают сырьевые природные ресурсы, а значит, могут и должны быть оценены с экономической точки зрения. Таким образом, становясь экономическим активом и принося определенные выгоды, сырьевые природные ресурсы и экосистемные услуги, трансформируясь в понятие «природного капитала», оказывают значительное влияние на величину национального богатства страны (рис. 1).

С развитием экономических отношений в общественном сознании понятие земли как природного блага, источника жизненно необходимых ресурсов трансформировалось со временем в источник получения богатства при сохранении функции жизнеобеспечения. Родоначальники современной экономической теории А. Смит, Д. Рикардо и ряд других приверженцев классической школы видели главными источниками богатства землю, труд и капитал. Современная экономическая теория оперирует понятиями природного, человеческого и произведенного капитала. При этом отождествлять понятия «земля» как источник богатства у Смита с «природным капиталом» в современных концепциях национального богатства не следует. Роль природных ресурсов в аграрной экономике с древних времен до начала XVIII в. выполняла земля как основной и единственный источник жизненно необходимых человеку благ. Закрепившаяся за термином сырьевая функция, определяющая основное содержание природных ресурсов в индустриальном обществе, в настоящее время в силу объективных причин все больше расширяется и дополняется функциями, связанными с экологической и культурно-духовной составляющей. Это не только приводит к изменению содержания давно известного понятия, но и становится причиной появления новой экономической категории, связанной с природопользованием и получившей название *природного капитала* [10].

С учетом определенной агрегированности активов в учете СНС для более детальной оценки природно-ресурсной части национального богатства параллельно с СНС-93 были разработаны так называемые сателлитные счета системы эколого-экономического учета (СЭЭУ) [11]. Их использование, с одной стороны, не перегружает саму систему национальных счетов излишней детализацией, с другой – позволяет учитывать эколого-экономический аспект формирования макроэкономических показателей во всем его многообразии. В отличие от СНС система эколого-экономических счетов позволяет наряду со стоимостными показателями использовать физические счета. Использование рыночных оценок, обязательных для СНС, может быть дополнено в СЭЭУ нерыночными. Начиная с 2000-х гг., целью этой вспомогательной системы являлся полный учет природных ресурсов и экологической составляющей для описания современного взаимодействия экономики и окружающей среды [12]. Декларировалось, что основной целью системы СЭЭУ станет расчет макроэкономических показателей, скорректированных на экологическую составляющую, и интеграция их в СНС. Отметим, что в ряде стран такие скорректированные показатели считают. Примером служит голландская система NMEA, содержащая экологические показатели и призванная отслеживать вклад различных отраслей в нагрузке на окружающую среду [13]. Вышедшая в 2012 г. обновленная версия (в русском адаптированном переводе звучит как Центральная основа Системы природно-экономического учета (СПЭУ), появилась лишь в 2017 году) [14] содержит методические указания по расчету скорректированного, экологически адаптированного чистого внутреннего продукта (ЭЧВП). Корректировку предлагают выполнять в несколько этапов. Сначала чистый внутренний продукт корректируют на стоимостную оценку истощения природных ресурсов (ИПС), а затем вычитается оценка экологического ущерба (ЭУ). Конечной целью корректировки является получение экологически скорректированного ВВП или «зеленого ВВП». Однако, в силу отставания ряда стран в переходе на стоимостной учет природного капитала и значительные расхождения в методиках экономической оценки составляющих их активов, интеграция данного показателя в СНС пока не осуществляется. Учет экосистемных услуг предлагается вести на специальных дополнительных счетах «Экспери-



**Рисунок 2. Структура национального богатства.**  
**Figure 2. The structure of national wealth.**

ментальные экосистемные счета СПЭУ» [15]. Таким образом, историческая трансформация понятия природных ресурсов отражается на концепции их стоимостного учета в системе национальных счетов и в оценке национального богатства [16].

Несомненный интерес представляет «Расширительная» методика оценки национального богатства. Методика была предложена специалистами Всемирного Банка в качестве методологического подхода для оценки НБ в соответствии с расширительной моделью, одобренной Организацией объединенных наций (ООН), в рамках концепции устойчивого развития мировой экономики. Одной из ее задач является определение концептуальных основ оценки национального богатства с целью совершенствования методики СНС как практического инструмента реализации методологических разработок современной экономической теории в области национального учета. Укрупненная классификация элементов национального богатства представлена на рис. 2.

Расширительная методика предполагает включение природных ресурсов в состав НБ в качестве накопленного природного капитала (материального непроизведенного) наряду с традиционным (произведенным) и так называемым человеческим капиталом (нематериальным, непроизведенным) [17]. Гипотетически упоминается еще социальный капитал, получаемый как результат эффективности рыночных институтов, отражающих степень развитости гражданского общества в стране. Надо отметить, что необходимость учета интеллекта, уровня образования, культуры, духовности нации, т. е. всего того, что составляет нематериальную сторону национального богатства, признавалась в обществе всегда. Причем надо отметить, что в России даже в большей степени, чем на Западе. Вспомним хотя бы И. Т. Посошкова и А. К. Шторха, которые еще в XVII в. вступали в заочную полемику со Смитом из-за его сугубо материального подхода к понятию богатства народов [18]. Однако степень развитости национального счетоводства на тот момент не позволяла вести учет нематериальных активов страны в стоимостном выражении. Даже в сегодняшнем развитом информационном обществе полученные специалистами Всемирного банка расчеты небесспорны и нуждаются в определенных корректировках со стороны отечественных специалистов как по методическому обеспечению, так и по качеству используемой в расчетах информации. В табл. 5 приведена структура НБ по некоторым странам мира. Страны разбиты на две группы по обеспеченности природными ресурсами. Представленные данные свидетельствуют о значительных различиях в структуре национального богатства России и наиболее развитых в экономическом отношении стран.

Поскольку экономическая оценка всех ресурсов, и природных в частности, представляет собой механизм определения цены на них, а под ценой обычно понимают денежное воплощение ценности ресурса, то истоки постоянных трансформаций этого понятия следует искать в эволюции взглядов на понятие ценности в экономической теории. Изменение взглядов на соотнесение понятий «благо» и «ценность» применительно к использованию природных ресурсов в экономических отношениях напрямую влияет на подходы к их стоимостному учету в национальном счетоводстве. Изменение концепции ценности природных благ отражается на методологии их оценки на всех уровнях. Настоящая ценность природных ресурсов в соответствии с концепцией устойчивого развития определяется не только необходимостью их использования для удовлетворения все возрастающих потребностей нынешнего поколения, но и способностью удовлетворять потребности будущих поколений. Такой взгляд на ценность природных ресурсов не вписывается в современную концепцию потребительской стоимости. Кроме того, ценность экосистемных услуг, трансформируясь в

**Таблица 5. Структура национального богатства РФ и стран мира в соответствии с расширенной концепцией (на начало XXI в.), %.**  
**Table 5. The structure of the national wealth of the Russian Federation and the countries of the world in accordance with the extensive concept (at the beginning of XXI century), %.**

Страны мира	Природный капитал	Человеческий капитал	Произведенный капитал
<i>Богатые природными ресурсами</i>			
<b>Россия</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>10</b>
Австралия	12	66	23
Канада	11	69	20
Норвегия	10	57	3
Саудовская Аравия	42	40	18
<i>Другие страны</i>			
Китай	7	77	16
США	4	77	19
Италия	1	73	26
Германия	1	75	23
Япония	1	68	31

стоимость, при необходимости их экономической оценки в составе природного капитала также не соотносится со стоимостью потребления. Наиболее приемлемой для оценки природных ресурсов представляется в настоящее время концепция общей экономической ценности (TEV), согласно которой [19], общая ценность ресурсов определяется не только ценность использования(UV), но и ценностью неиспользования (NV), т. е. ценностью существования. Такой подход к ценности экономических благ в перспективе позволит давать оценку экосистемным услугам, что позволит оценивать величину природного капитала в национальном богатстве более объективно [20].

Стоимостная оценка и учет природных ресурсов как элемента национального богатства в экономической практике непосредственно связаны с концепцией национального счетоводства [21]. Применение СНС для стоимостного учета природных ресурсов, как и других материальных активов в составе НБ, предполагает их оценку в текущих рыночных ценах. Не имея достаточного опыта в этом вопросе, российская статистика испытывает значительные трудности при разработке методического обеспечения стоимостного учета отдельных компонентов природного капитала в соответствии с рекомендуемыми СНС способами оценки [22]. Это особенно актуально для той части природных ресурсов, которая не является объектом купли-продажи в современном обществе [23]. Компоненты природной среды, обеспечивающие экосистемные услуги, обладают в современном обществе не меньшей ценностью, чем жизнеобеспечивающие (например, пашни и пастбища, используемые для получения продуктов питания), а значит, их экономическая оценка, с позиции национального богатства, также необходима обществу, как и оценка ресурсно-сырьевого потенциала. Использование рыночных цен в этом случае, безусловно, крайне затруднительно в РФ, но имеющийся уже в некоторых странах положительный опыт такой оценки позволяет предположить, что в недалеком будущем он будет доступен и в отечественной практике.

### Заключение

Рассмотрев некоторые проблемы оценки природных ресурсов с позиции национального богатства, можно отметить следующее.

1. Стоимостная оценка природных ресурсов, учитывая обеспеченность ими национальной экономики, должна стать одной из первоочередных задач российской статистики.

2. Понятие «природные ресурсы» так же, как и категория «национальное богатство», постоянно эволюционирует, расширяясь и дополняясь новыми элементами, поэтому и способы экономической оценки должны видоизменяться, чтобы максимально объективно и полно учитывать их в составе национального богатства.

3. Наиболее перспективной для оценки природных ресурсов и экосистемных услуг на сегодняшний день следует считать концепцию общей экономической ценности. Она позволяет учитывать не только стоимость использования ресурсов, но и стоимость их существования, что крайне важно в рамках концепции устойчивого развития экономики, утвержденной Организацией Объединенных Наций, в целях сохранения нынешнего природного богатства для будущих поколений.

4. Неразвитость рынка природных ресурсов и экоуслуг сдерживает применение текущих рыночных цен в оценке природного капитала, что не позволяет проводить стоимостной учет природных ресурсов и экоуслуг в национальном богатстве в соответствии с нормами СНС.

5. Поэтапное решение этих проблем позволит осуществлять полноценную экономическую оценку и учет природных ресурсов с позиции национального богатства в целях получения достоверной и объективной информации для разработки эффективной, социально ориентированной экономической политики.

### ЛИТЕРАТУРА

- Смолина Е. Э., Осадчая Т. Г. К вопросу о сущности национального богатства // Социально-экономические явления и процессы. 2006. № 1/2. С. 134–139.
- Григорьева Н. В. Вопросы методологии исследования национального богатства как экономической категории // Вестник ЧГУ. 2010. № 2.
- Гирбасова Е. М. Особенности современного этапа развития системы национальных счетов в России // ЭСГИ. 2014. № 2 (2). С. 12–22.
- Григорьева Е. А. Статистические подходы к оценке национального богатства в России // Экономика и предпринимательство. 2016. № 6. С. 816–820. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26251175>

5. Раскина Ю. В. Статистика природных ресурсов как части национального богатства. СПб.: Изд-во Европейского ун-та, 2010. 23 с.
6. Система национальных счетов 2008. Комиссия европейских сообществ, Международный валютный фонд, Организация экономического сотрудничества и развития, ООН, Всемирный банк. Н. Й., 2009. 1235 с.
7. Пасхавер Д. В. Статистико-экономический анализ национального богатства и производственного потенциала СССР: дис. ... канд. экон. наук. Киев: Ин-т народ. хоз-ва, 1991. 181 с.
8. Россия в цифрах. 2018: краткий статистический сборник / Росстат. М., 2018. 522 с.
9. Costanza R., Daly H. E. Natural capital and sustainable development // Conservation Biology. 1992. Vol. 6, № 1. P. 37–46. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x>
10. Missemmer A. Natural Capital as an Economic Concept, History and Contemporary // Ecological Economics. 2018. Vol. 143. P. 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.011>
11. Ляпина А. А. Разработка сателлитных счетов для анализа социально-экономического развития // Вопросы статистики. 2016. № 2. С. 24–31.
12. Ochuodho T. O., Alavalapati J. R. R. Integrating natural capital into system of national accounts for policy analysis: An application of a computable general equilibrium model // Forest Policy and Economics. 2016. Vol. 72. P. 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.forepol.2016.06.020>
13. Костина Е. Н. Международный опыт учета показателей статистики окружающей среды в национальном счетоводстве // Вестник ОГУ. 2010. № 8 (114). С. 183–189.
14. Центральная основа Системы природно-экономического учета, 2012 год. Нью-Йорк: ООН, 2017.
15. Думнов А. Д., Фоменко Г. А., Фоменко М. А. Экосистемный учет как дальнейшее развитие системы комплексного природно-ресурсного и экономического учета и СНС // Вопросы статистики. 2015. № 5. С. 11–34.
16. Hanley N., Dupuy L., McLaughlin E. Genuine savings and sustainability // Journal of Economic Surveys. 2015. Vol. 29(4). P. 779–806. <https://doi.org/10.1111/joes.12120>
17. Диверсифицированное развитие: оптимальное использование природных ресурсов в регионе Евразии. Вашингтон: Всемирный банк, 2014. С. 122.
18. Зайцева А. Н., Приходько А. В. Эволюция содержания категории «национальное богатство» в истории развития экономической мысли // Вестник ТюмГУ. 2013. № 11. С. 56–64.
19. Pearce D. W., Warford J. W. World Without End: Economics, Environment, and Sustainable Development. Oxford: Oxford University Press, 1993. P. 139–143.
20. Schröter M., Barton D. N., Remme R. P., Hein L. Accounting for capacity and flow of ecosystem services: A conceptual model and a case study for Telemark, Norway // Ecological Indicators. 2014. Vol. 36. P. 539–551. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.018>
21. La Notte A., Dalmazzone S. Sustainability assessment and causality nexus through ecosystem service accounting: The case of water purification in Europe // Journal of Environmental Management. 2018. Vol. 223. P. 964–974. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.072>
22. Гольденберг И. А. Оценка стоимости природных ресурсов в системе национальных счетов: проблемы и опыт статистических расчетов // Проблемы прогнозирования. 2006. № 5. С. 33–46.
23. Droste N., Bartkowski B. Ecosystem Service Valuation for National Accounting: A Reply to Obst, Hein and Edens (2016) // Environmental and Resource Economics. 2018. Vol. 71(1). P. 205–215. <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0146-3>

Статья поступила в редакцию 16 апреля 2019 г.

# Natural resources as part of national wealth

Oksana Aleksandrovna LOGVINENKO,  
Vladimir Evgen'evich STROVSKIY\*

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

**Relevance.** At all times national wealth played the role of the most important indicator of the economic situation of a state. From this point of view, the completeness and accuracy of the assessment of its magnitude continues to be an actual research task to this day.

**Purpose of research.** Identifying evolutionary changes in the mapping of national wealth from the perspective of its natural resources.

**Research results.** The absence of a unified approach to the concept of national wealth in the world community has been proved. The content of methods for assessing national wealth has been disclosed since the late 1960s, when the UN approved the methodology recommended for many countries around the world. Some evolutionary changes in the methods of assessing national wealth were reflected. Particular attention is paid to the accounting of natural resources. In the agrarian economy, land (arable land, forest) acted as an element of national wealth, while its value was expressed in the form of the value of agricultural land. In the industrial economy, arable land, forest, and mineral resources as sources of raw materials were subject to monetary recording. And finally, in the post-industrial economy, the task of recording of natural capital as part of the national wealth is taking account; it is considered as a combination of natural resources and ecosystem services. Becoming economic assets and bringing certain benefits, natural resources and ecosystem services (ecological resources), transforming into the concept of natural capital, have a significant impact on the amount of a country's national wealth. The lack of sufficient experience, the complexity of the economic assessment of natural capital does not allow for an objective valuation of national wealth.

**Conclusion.** The valuation of natural capital in the composition of national wealth should be one of the priorities of Russian statistics. The concept of total economic value should be considered the most promising for assessing natural capital; it allows to take into account not only the cost of using resources but also the cost of existence, which is extremely important in the framework of the concept of sustainable development of the economy, in order to preserve natural wealth for future generations.

**Keywords:** national wealth, valuation, land, natural resources, natural capital, evolutionary changes.

## REFERENCES

1. Smolina E. E., Osadchaya T. G. 2006, To the question of the essence of national wealth. *Sotsial'no-ekonomicheskiye yavleniya i protsessy* [Social and Economic Phenomena and Processes], no. 1/2, pp. 134–139. (*In Russ.*)
2. Grigorieva N. V. Issues of the study of national wealth as an economic category. *Vestnik CHGU* [Bulletin of the Cherepovets State University]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-metodologii-issledovaniya-natsionalnogo-bogatstva-kak-ekonomicheskoy-kategorii>
3. Girbasova E. M. 2014, Features of the current stage of development of the system of national accounts in Russia. *Ekonomicheskiye i Sotsial'no-gumanitarnyye issledovaniya* [Economic and Social Research], pp. 12–22. (*In Russ.*)
4. Grigorieva E. A. 2016, Statistical approaches to the assessment of national wealth in Russia. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and entrepreneurship], no. 6, pp. 816–820. (*In Russ.*)
5. Raskina Yu. V. 2010, *Statistika prirodnnykh resursov kak chasti natsional'nogo bogatstva* [Statistics of natural resources as part of national wealth]. Saint-Petersburg, 23 p.
6. 2009, System of national accounts 2008. Commission of the European Communities, International Monetary Fund, Organization for Economic Cooperation and Development, UN, World Bank. N. Y., 1235 p.
7. Pashkaver D. V. 1991, *Statistiko-ekonomicheskiy analiz natsional'nogo bogatstva i proizvodstvennogo potentsiala SSSR* [Statistical and economic analysis of the national wealth and production potential of the USSR], PhD thesis, 08.00.11. Kiev, 181 p.
8. 2018, Russia in numbers. 2018: statistical book. Rosstat. Moscow, 522 p.
9. Costanza R., Daly H. E. 1992, Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*, vol. 6, no. 1, pp. 37–46. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x>
10. Missemmer A. 2018, Natural Capital as an Economic Concept, History and Contemporary. *Ecological Economics*, vol. 143, pp. 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.011>
11. Lyapina A. A. 2016, Development of satellite accounts for the analysis of socio-economic development. *Voprosy statistiki* [Bulletin of Statistics], pp. 24–31. (*In Russ.*)
12. Ochuodho T. O., Alavalapati J. R. R. 2016, Integrating natural capital into system of national accounts for policy analysis: An application of a computable general equilibrium model. *Forest Policy and Economics*, vol. 72, pp. 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.forepol.2016.06.020>
13. Kostina E. N. 2010, International experience in integrating environmental statistics into national accounting. *Vestnik OGU* [Vestnik of the Orenburg State University], no. 8 (114), pp. 183–189. (*In Russ.*)
14. 2017, The central basis of the System of Natural-Economic Accounting, 2012. New York: UN.
15. Dumnov A. D., Fomenko G. A., Fomenko M. A. 2015, Ecosystem accounting as a further development of the system of integrated natural resource and economic accounting and the SNA. *Voprosy statistiki* [Bulletin of Statistics], no. 5, pp. 11–34. (*In Russ.*)
16. Hanley N., Dupuy L., McLaughlin E. 2015, Genuine savings and sustainability. *Journal of Economic Surveys*, vol. 29(4), pp. 779–806. <https://doi.org/10.1111/joes.12120>
17. 2014, Diversified development: optimal use of natural resources in the Eurasian region. Washington: World Bank, p. 122.
18. Zaitseva A. N., Prikhodko A. V. 2013, The evolution of the content of the category "national wealth" in the history of the development of economic thought. *Vestnik TyumGU* [Bulletin of the Tyumen State University], no. 11, pp. 56–64. (*In Russ.*)
21. Pearce D. W., Warford J. W. 1993, *World Without End: Economics, Environment, and Sustainable Development*. Oxford: Oxford University Press, pp. 139–143.
20. Schröter M., Barton D. N., Remme R. P., Hein L. 2014, Accounting for capacity and flow of ecosystem services: A conceptual model and a case study for Telemark, Norway. *Ecological Indicators*, vol. 36, pp. 539–551. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.09.018>
21. La Notte A., Dalmazzone S. 2018, Sustainability assessment and causality nexus through ecosystem service accounting: The case of water purification in Europe. *Journal of Environmental Management*, vol. 223, pp. 964–974. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.072>
22. Goldenberg I. A. 2006, Estimation of the value of natural resources in the system of national accounts: problems and experience of statistical calculations. *Problemy prognozirovaniya* [Forecasting issues], no. 5, pp. 33–46. (*In Russ.*)
23. Droste N., Bartkowski B. 2018, Ecosystem Service Valuation for National Accounting: A Reply to Obst, Hein and Edens (2016). *Environmental and Resource Economics*, vol. 71(1), pp. 205–215. <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0146-3>

The article was received on April 16, 2019

\*✉ IEF.EM@ursmu.ru

✉ https://orcid.org/0000-0001-6898-4286

# Методика расчета резерва рабочего времени персонала угледобывающего предприятия для его развития

Владимир Алексеевич ГАЛКИН\*,  
Александр Михайлович МАКАРОВ\*\*,  
Святослав Игоревич ЗАХАРОВ\*\*\*,  
Марина Николаевна ПОЛЕЩУК\*\*\*\*

Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства, Россия, Челябинск  
Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, Россия, Челябинск

**Актуальность работы.** Угледобывающие предприятия России за период освоения рыночных отношений существенно улучшили свои позиции на рынке. По сравнению с 1988 г. – годом максимальной добычи угля в СССР – производительность труда выросла в 3,5 раза. Это обусловлено увеличением единичной мощности горнотранспортного и горно-шахтного оборудования. Так, средняя вместимость ковша экскаваторов выросла в 3 раза, грузоподъемность автосамосвалов – в 1,5–2,4 раза. Перевооружение сопровождалось освоением новых технологических параметров производства, что обеспечило рост эффективности использования техники в 2,5–3,0 раза. В результате отставание по производительности труда по сравнению с угледобывающими предприятиями экономически развитых стран, например США, сократилось с 7,3 до 4,3 раза. Вместе с тем налицо возрастание социальной напряженности, обусловленное разрывом в уровнях заработной платы, которое практически равно отставанию по производительности труда. Для уменьшения отставания в уровне жизни необходимо повышение заработной платы, что невозможно обеспечить без роста производительности труда. Основным средством решения этой задачи является сокращение непроизводительной работы и непроизводительных затрат времени на нее. Соответственно возникает потребность в выявлении непроизводительного рабочего времени персонала, высвобождении его из процесса и направлении высвобожденного времени на развитие производства. Для этого необходима методика расчета резервов рабочего времени.

**Цель работы:** разработать методику расчета резервов рабочего времени персонала угледобывающего предприятия, применение которой станет базой для целенаправленного устранения причин непроизводительного использования времени руководителями, специалистами и рабочими, а также использования высвобожденного времени для решения задач развития производства и диверсификации деятельности.

**Методология и методы проведения работы.** Выявление, оценка и использование резервов основаны на следующих положениях: 1) требуемая структура рабочего времени обуславливается функциональным предназначением должности работника в оргструктуре предприятия; 2) фактическая структура рабочего времени предопределется пониманием работником своего функционального предназначения, его квалификацией и ответственностью. Оценка резервов осуществляется с использованием методов структуризации и декомпозиции целей, структурно-функционального анализа, организационного моделирования, аналитических расчетов.

**Результаты работы и область их применения.** Разработана методика расчета резервов рабочего времени операционного персонала, специалистов и руководителей угледобывающего предприятия. Отражены структура времени и имеющиеся резервы рабочего времени персонала угледобывающих предприятий.

**Выводы.** Разработанная методика позволяет выявлять и оценивать имеющиеся резервы рабочего времени персонала угледобывающих предприятий, что является базой разработки мер по эффективному использованию этих резервов на основе освоения персоналом функций развития производства и диверсификации деятельности.

**Ключевые слова:** угледобывающее предприятие, персонал, производительное время работы, резерв рабочего времени, развитие, диверсификация деятельности, методика расчета.

## B ведение

Угледобывающие предприятия России за период освоения новых экономических отношений существенно улучшили свои позиции на рынке. По сравнению с 1988 г. – годом максимальной добычи угля в СССР – производительность труда выросла в 3,5 раза ([таблица](#)).

Это обусловлено увеличением единичной мощности горнотранспортного и горно-шахтного оборудования. Так, средняя вместимость ковша экскаваторов выросла в 3 раза, грузоподъемность автосамосвалов – в 1,5–2,4 раза. Перевооружение сопровождалось ростом эффективности использования техники в 2,5–3,0 раза [3].

В результате отставание по производительности труда по сравнению с угледобывающими предприятиями экономически развитых стран, например США, сократилось с 7,3 до 4,3 раза ([таблица](#)). Вместе с тем налицо возрастание социальной напряженности, обусловленное разрывом в уровнях заработной платы. В США в 2017 г. средняя годовая заработная плата работников угледобывающих предприятий составляла 60,7 тыс. долл. [4], на российских угледобывающих предприятиях в 2018 г. – 691 тыс. руб., а вместе с отчислениями в страховой фонд – 947 тыс. руб., что составляет примерно 14,6 тыс. долл. США [1].

Отставание по заработной плате практически равно разрыву в производительности труда. Следовательно, для уменьшения отставания в уровне жизни необходимо повышение заработной платы, которое можно осуществить на базе роста производительности труда. Основным средством наращивания производительности труда является сокращение непроизводительной работы и непроизводительных затрат времени [5–12]. Соответственно возникает задача выявления и использования резервов рабочего времени.

## Расчет резервов

Методика расчета представлена для угольных разрезов. При необходимости она может быть адаптирована к условиям угольных шахт.

\* [✉ niiogr@list.ru](mailto:niiogr@list.ru)

\*\* [ID https://orcid.org/0000-0002-2851-9221](https://orcid.org/0000-0002-2851-9221)

\*\*\* [makarovam\\_niiogr@mail.ru](mailto:makarovam_niiogr@mail.ru)

\*\*\*\* [ID https://orcid.org/0000-0001-8985-734X](https://orcid.org/0000-0001-8985-734X)

\*\*\*\* [svzakharov@bk.ru](mailto:svzakharov@bk.ru)

\*\*\*\* [ID https://orcid.org/0000-0001-5616-1725](https://orcid.org/0000-0001-5616-1725)

\*\*\*\* [m\\_poleshuk@mail.ru](mailto:m_poleshuk@mail.ru)

\*\*\*\* [ID https://orcid.org/0000-0002-8074-5293](https://orcid.org/0000-0002-8074-5293)

**Показатели работы угледобывающих предприятий [1, 2].**  
**Performance indicators of coal mining enterprises [1, 2].**

Год	Объем, млн т/год	Численность, тыс. чел.	Производительность, т/чел.-год
<i>РФ</i>			
1988	416,6	477,7	872
2018	439,3	144,2	3046
<i>США</i>			
1988	862,1	135,4	6367
2017	702,7	53,0	13 258
<i>АО «СУЭК»</i>			
2018	110,4	25,3	4364
<i>ООО «СУЭК-Хакасия»</i>			
2018	12,9	2,8	4607
<i>АО «Разрез Тугнуйский»</i>			
2018	14,3	2,2	6500

Резервы рабочего времени рассматриваются в деятельности как операционного, так и управленческого персонала.

*1. Операционный персонал*

Можно выделить затраты времени основного и обслуживающего персонала.

*1.1. Расчет времени, необходимого для осуществления основных технологических процессов*

В основных технологических процессах производительное время работы оборудования  $T_{\text{пп}}$  целесообразно рассчитывать на основе рациональной продолжительности его рабочего цикла, маш.-ч:

$$T_{\text{пп}} = \frac{Q_{\phi}}{\Pi_{\text{q}}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\phi}$  – фактический результат работы оборудования за период (год, месяц), м<sup>3</sup>, т, т · км, м и др.;  $\Pi_{\text{q}}$  – часовая производительность оборудования при рациональных параметрах его работы, м<sup>3</sup>/ч, т/ч, т · км/ч, м/ч и др.:

– если время цикла измеряется в секундах, то:

$$\Pi_{\text{q}} = \frac{3600}{t_{\text{ц}}} V_{\text{ц}}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{ц}}$  – объем производимой работы за цикл, м<sup>3</sup>, т, т · км, м и др.;  $t_{\text{ц}}$  – время цикла, с; 3600 – количество секунд в часе.

– если время цикла измеряется в минутах, то:

$$\Pi_{\text{q}} = \frac{60}{t_{\text{ц1}}} V_{\text{ц}}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{ц1}}$  – время цикла, мин; 60 – количество минут в часе.

Для экскаватора типа драглайн объем производимой работы за цикл рассчитывается, м<sup>3</sup>/ч:

$$V_{\text{ц}} = E_{\text{k}}^{\text{u}} = E_{\text{k}} K_{\text{з}}, \quad (4)$$

где  $E_{\text{k}}^{\text{u}}$  – объем горной массы в ковше в целике, м<sup>3</sup>;  $E_{\text{k}}$  – вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;  $K_{\text{з}}$  – коэффициент экскавации горной массы [13].

При погрузке автосамосвала экскаватором типа мехлопата во времени его цикла необходимо учитывать время обмена транспортных единиц:

$$t_{\text{ц}} = \lceil Q_{\text{k}}^{\text{з}} / E_{\text{k}}^{\text{з}} \rceil t_{\text{ц.з}} + T_{\text{обм}}; \quad (5)$$

где  $Q_{\text{k}}^{\text{з}} / E_{\text{k}}^{\text{з}}$  – количество циклов погрузки горной массы в транспорт, округляется до целого числа ковшей в большую сторону;  $Q_{\text{k}}^{\text{з}}$  – объем горной массы в кузове автосамосвала в целике, м<sup>3</sup>;  $t_{\text{ц.з}}$  – время цикла экскавации, с;  $T_{\text{обм}}$  – время обмена транспорта, с; при двусторонней погрузке  $T_{\text{обм}} = 0$ .

Объем производимой за цикл работы экскаватора мехлопаты, м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{ц}} = Q_{\text{k}}^{\text{з}}, \quad (6)$$

Для автосамосвала часовая производительность рассчитывается с учетом рациональных параметров его работы, которые включают скорость движения самосвала в груженом и порожнем направлении, время погрузки и разгрузки, а также время маневров на погрузке и разгрузке.

Время цикла рассчитывается по формуле:

$$t_{ц1} = T_{погр} + T_{груж} + T_{пор} + T_{разгр} + T_m, \quad (7)$$

где  $T_{погр}$  – время погрузки, мин;  $T_{груж}$  – время движения груженым, мин;  $T_{пор}$  – время движения порожним, мин;  $T_{разгр}$  – время разгрузки, мин;  $T_m$  – время маневров, мин.

Объем производимой за цикл работы,  $m^3$  рассчитывается по формуле (6).

Для бурового станка время цикла и объем работы за цикл рассчитываются по формулам:

$$t_{ц} = (t_{ц,6} + T_{нар})n_{ш} + t_{доп. бур} + T_{пер}; \quad (8)$$

$$V_{ц} = L_{ш}n_{ш} + L_{доп. ш}, \quad (9)$$

где  $t_{ц,6}$  – время цикла бурения на длину одной штанги, с;  $T_{нар}$  – время наращивания штанги, с, при однозаходном бурении  $T_{нар} = 0$ ;  $n_{ш}$  – количество штанг, шт., при однозаходном бурении  $n_{ш} = 1$ ;  $t_{доп. бур}$  – время бурения на длину неполной штанги, с;  $T_{пер}$  – время переезда между скважинами, с;  $L_{ш}$  – длина штанги, м;  $L_{доп. ш}$  – длина неполной штанги, м.

Резервы машинного времени на выполнение основной функции  $T_{рез}^{маш}$  вычисляются по формуле:

$$T_{рез}^{маш} = T_{пр}^{возм} - T_{пр}^{факт}, \quad (10)$$

где  $T_{пр}^{факт}$  – фактически отработанное производительное время;  $T_{пр}^{возм}$  – технологические возможности использования оборудования на выполнении его основной функции с учетом проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР), буровзрывных работ (БВР), обеда и личных надобностей персонала в месяц:

$$T_{пр}^{возм} = КФВ - T_{обс}^{норм} - T_{ПЗО, БВР}^{норм} - T_{л.н}^{норм}, \quad (11)$$

где  $T_{обс}^{норм}$  – необходимое время проведения ППР при рациональных организациях и технологии труда;  $T_{ПЗО, БВР}^{норм}$  – необходимое время проведения подготовительно-заключительных операций (ПЗО) и взрывных работ (БВР) при рациональных организациях и технологии труда;  $T_{л.н}^{норм}$  – необходимое время обеда и личных надобностей персонала. Принято, что в смену обед – 30 мин, личные надобности – 10 мин.

Производительное время оператора  $T_{пр}^{оп}$  при выполнении основной функции в смену или месяц рассчитывается по формуле:

$$T_{пр}^{оп} = T_{см(мес)}k_{и.о} = T_{см(мес)} \frac{T_{пр}}{КФВ}, \quad (12)$$

где  $T_{см(мес)}$  – продолжительность смены (месячный фонд времени) рабочего;  $k_{и.о}$  – коэффициент производительного использования оборудования; КФВ – календарный фонд времени, маш.-ч.

С учетом необходимого времени на обед и личные надобности на выполнение основной функции оператору требуется:

$$T_{необх}^{оп} = T_{пр}^{оп} \left( 1 + \frac{T_{лн}^{норм}}{T_{пр}^{возм}} \right). \quad (13)$$

Резерв времени оператора при выполнении основной функции:

$$T_{рез}^{оп} = T_{факт}^{оп} - T_{необх}^{оп}, \quad (14)$$

где  $T_{факт}^{оп}$  – фактическое время, затраченное на выполнение основной функции.

Технологические возможности  $T_{пр}^{возм}$  составляют (формула (11)): по экскаваторам – 626 (при 30 сут в месяц) и 645 ч (при 31 дне в месяц), по автосамосвалам соответственно 621 и 642 ч, т. е. 86–87 % от календарного фонда времени. При такой организации и при экипаже 4 человека машинист экскаватора при 12-часовой рабочей смене в среднем задействован на выполнении основной функции 10,3 ч в смену. Это реально достижимо и подтверждается эффективным использованием времени оборудования и персонала при установлении рекордных показателей [14, 15]. Так, на разрезе «Тугнуйский» в июне 2015 г. экскаватор Bucyrus 495HD погрузил в автосамосвалы БелАЗ-75306 2,1 млн  $m^3$  горной массы. Время цикла экскавации составляет 30 с, коэффициент экскавации 0,745. Часовая производительность экскаватора (формулы (2), (5)–(6)):

$$\Pi_q = \frac{3600}{\left[ \frac{86}{\frac{41,3 \cdot 0,745}{30}} \right] 30} - 86 = \frac{3600}{3 \cdot 30} - 86 = 3440 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Производительное время работы экскаватора за месяц (формула (11)):

$$T_{np} = \frac{2102000}{3440} = 611 \text{ маш.-ч, т. е. } 82 \% \text{ месячного календарного фонда времени.}$$

В данном примере машинист экскаватора в среднем производительно трудился на экскавации 10 ч в смену, что меньше 10,3 ч.

Буровой станок PitViper-271 на разрезе «Тутнуйский» в октябре 2012 г. набурил 42 520 м. Его часовая производительность составляет 72 м. Производительное время работы (формулы (1), (8)-(9)):

$$T_{np} = \frac{42520}{72} = 590 \text{ маш.-ч, т. е. } 79 \% \text{ месячного фонда времени.}$$

Следовательно, машинист бурового станка в среднем производительно трудился на бурении 9,5 ч в смену.

Но достижение и освоение рекордных показателей требует соответствующих планирования, организации и контроля процессов, мотивации персонала [3].

Анализ результатов работы горнотранспортного оборудования (формулы (1)-(7)) представительного ряда горно- и угледобывающих предприятий показал, что его использование имеет структуру времени, представленную на рис. 1.

Среднее производительное время работы оборудования:

– экскаватора:

$$T_{np} = 355 \text{ маш.-ч,}$$

– автосамосвала:

$$T_{np} = 375 \text{ маш.-ч.}$$

Производительное время в месяц с учетом времени обеда и личных надобностей составляет (формула (12)):

– для машинистов экскаваторов (4 человека в экипаже):

$$T_{np}^{\text{оп.факт}} = \frac{355}{4} \cdot 1,06 = 94,1 \text{ ч;}$$

– для водителей автосамосвалов:

$$T_{np}^{\text{оп.факт}} = \frac{375}{4} \cdot 1,06 = 99,4 \text{ ч,}$$

где  $1,06 = 1 + \frac{T_{\text{ли}}^{\text{норм}}}{T_{\text{пр}}^{\text{возм}}} - \text{коэффициент дополнительного времени работника на осуществление основной функции с учетом обеда и личных надобностей.}$

Резервы времени составляют (формула (10)):

– для экскаваторов:

$$T_{pes}^{\text{ маш.}} = 635 - 355 = 280 \text{ маш.-ч, т. е. } 44 \% \text{ от возможного;}$$

– для автосамосвалов:

$$T_{pes}^{\text{ маш.}} = 630 - 375 = 255 \text{ маш.-ч, т. е. } 40 \% \text{ от возможного.}$$

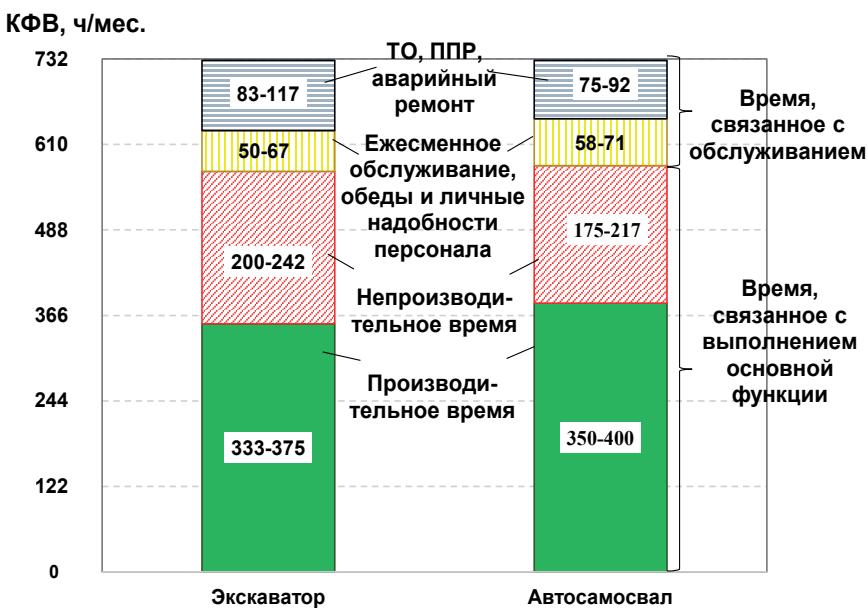
Резерв времени оператора при выполнении основной функции (формулы (13)-(14)):

– для машинистов экскаваторов:

$$T_{pes}^{\text{оп.}} = \frac{635 \cdot 1,06}{4} - 94,1 = 168,3 - 94,1 = 74,2 \text{ чел.-ч, т. е. } 44 \% \text{ от возможного,}$$

– для водителей автосамосвалов:

$$T_{pes}^{\text{оп.}} = \frac{630 \cdot 1,06}{4} - 99,4 = 167,0 - 99,4 = 67,6 \text{ чел.-ч, т. е. } 40 \% \text{ от возможного.}$$



**Рисунок 1. Среднемесячная структура календарного фонда времени горнотранспортного оборудования.**  
**Figure 1. The average monthly structure of the calendar labour time reserve of mining equipment.**

### 1.2. Обслуживающий операционный персонал

В целом по всем обеспечивающим процессам производительное время нахождения оборудования в техническом обслуживании и регламентированных перерывах  $T_{\text{пр}}^{\text{обс}}$  целесообразно рассчитывать по формуле:

$$T_{\text{пр}}^{\text{обс}} = T_{\text{пр}} (k_{\text{обс}} + k_{\text{ПЗО,БВР}} + k_{\text{л.н}}), \quad (15)$$

где  $k_{\text{обс}}$  – коэффициент, отражающий необходимое время планово-предупредительных ремонтов (ППР);  $k_{\text{ПЗО,БВР}}$  – коэффициент, отражающий необходимое время подготовительно-заключительных операций (ПЗО) и взрывных работ (БВР);  $k_{\text{л.н}}$  – коэффициент, отражающий необходимое время личных надобностей и обеда персонала.

Формула для расчета  $k_{\text{обс}}$ , ч/маш.-ч:

$$k_{\text{обс}} = \frac{T_{\text{обс}}^{\text{норм}}}{T_{\text{пр}}} \quad (16)$$

где  $T_{\text{обс}}^{\text{норм}}$  – необходимое время проведения ППР при рациональной организации и технологии труда;  $T_{\text{пр}}$  – производительное время работы оборудования (см. формулу (1)).

Формула для расчета  $k_{\text{ПЗО,БВР}}$  ч/маш.-ч:

$$k_{\text{ПЗО,БВР}} = \frac{T_{\text{ПЗО,БВР}}^{\text{норм}}}{T_{\text{пр}}} \quad (17)$$

где  $T_{\text{ПЗО,БВР}}^{\text{норм}}$  – необходимое время проведения подготовительно-заключительных операций (ПЗО) и взрывных работ (БВР) при рациональной организации и технологии труда.

Формула для расчета коэффициента  $k_{\text{л.н}}$ , ч/маш.-ч:

$$k_{\text{л.н}} = \frac{T_{\text{л.н}}^{\text{норм}}}{T_{\text{пр}}}, \quad (18)$$

где  $T_{\text{л.н}}^{\text{норм}}$  – необходимое время обеда и личных надобностей персонала.

По инструкциям заводов-изготовителей техники, расчетам и опыту передовых предприятий конкретные значения в месяц должны составлять [11, 16]:

для современных экскаваторов:

- время ППР – 12 ч;
  - время ПЗО и взрывных работ – 42–44 ч;
  - время обеда и личных надобностей работников – 40–42 ч;
- для современных автосамосвалов:
- время ТО, профилактических и плановых текущих ремонтов – 32 ч;
  - ПЗО – 30 ч;
  - время обеда и личных надобностей работников – 40–42 ч.

В среднем нормативные значения коэффициентов и продолжительность обслуживания оборудования составляют (формулы (15)–(18)):

– для экскаваторов:

$$k_{\text{обс}} = \frac{12}{645} = 0,02 \text{ ч/маш.-ч}, k_{\text{ПЗО,БВР}} = \frac{44}{645} = 0,07 \text{ ч/маш.-ч}, k_{\text{л.н}} = \frac{42}{645} = 0,06 \text{ ч/маш.-ч};$$

$$T_{\text{пп}}^{\text{обс}} = 636(0,02 + 0,07 + 0,06) = 95 \text{ маш.-ч/мес};$$

– для автосамосвалов:

$$k_{\text{обс}} = \frac{32}{642} = 0,05 \text{ ч/маш.-ч}, k_{\text{ПЗО,БВР}} = \frac{30}{642} = 0,05 \text{ ч/маш.-ч}, k_{\text{л.н}} = \frac{42}{642} = 0,06 \text{ ч/маш.-ч};$$

$$T_{\text{пп}}^{\text{обс}} = 632(0,05 + 0,05 + 0,06) = 101 \text{ маш.-ч/мес}.$$

Резервы времени на обслуживание и регламентированные перерывы  $T_{\text{рез}}^{\text{обс}}$  вычисляются по формуле:

$$T_{\text{рез}}^{\text{обс}} = T_{\text{пп}}^{\text{обс,факт}} - T_{\text{пп}}^{\text{обс,норм}}, \quad (19)$$

где  $T_{\text{пп}}^{\text{обс,факт}}$ ,  $T_{\text{пп}}^{\text{обс,норм}}$  – фактическое и нормативное время обслуживания и регламентированных перерывов, маш.-ч.  
Резервы использования времени обслуживающего персонала  $T_{\text{рез}}^{\text{обс,п}}$  составляют:

$$T_{\text{рез}}^{\text{обс,п}} = T_{\text{q}}^{\text{факт}} - T_{\text{q}}^{\text{норм}}, \quad (20)$$

где  $T_{\text{q}}^{\text{норм}}$ ,  $T_{\text{q}}^{\text{факт}}$  – нормативные (расчетные) и фактические трудозатраты проведения ППР с учетом регламентированных перерывов.

Необходимые затраты времени персонала для осуществления обслуживания, а также регламентированных перерывов  $T_{\text{q}}^{\text{норм}}$  определяются по формуле:

$$T_{\text{q}}^{\text{норм}} = N^{\text{норм}} T_{\text{пп}}^{\text{обс}} = N^{\text{норм}} T_{\text{пп}} (k_{\text{обс}} + k_{\text{ПЗО,БВР}} + k_{\text{л.н}}), \quad (21)$$

где  $N^{\text{норм}}$  – нормативная численность персонала на осуществление обслуживания и ремонтов, ПЗО и БВР, чел.-ч.

Фактические продолжительность проведения обслуживания, ППР и аварийных ремонтов в месяц и коэффициенты на один производительный час работы техники (рис. 1, средние значения) [12, 17, 18] составляют (формулы (15)–(18)):

– для экскаваторов:

$$T_{\text{пп}}^{\text{обс,факт}} 100 + 58 = 158 \text{ маш.-ч/мес};$$

$$k_{\text{обс}} + k_{\text{ПЗО,БВР}} + k_{\text{л.н}} = \frac{158}{355} = 0,445 \text{ ч/маш.-ч};$$

– для автосамосвалов:

$$T_{\text{пп}}^{\text{обс,факт}} = 83 + 65 = 148 \text{ маш.-ч/мес};$$

$$k_{\text{обс}} + k_{\text{ПЗО,БВР}} + k_{\text{л.н}} = \frac{148}{375} = 0,395 \text{ ч/маш.-ч}.$$

Фактические удельные затраты времени на час работы техники больше нормативных (0,15–0,16 ч) в 2,4–3,0 раза.

Резервы времени в обслуживании составляют в среднем (формула (19)):

– по экскаваторам:

$$T_{\text{рез}}^{\text{обс}} = 158 - 355 \cdot 0,15 = 105 \text{ маш.-ч/мес.}, \text{ т. е. } 66 \% \text{ от возможного};$$

– по автосамосвалам:

$$T_{\text{рез}}^{\text{обс}} = 148 - 375 \cdot 0,16 = 88 \text{ маш.-ч/мес.}, \text{ т. е. } 59 \% \text{ от возможного.}$$

Проиллюстрируем резервы времени обслуживающего персонала на примере работы экскаватора ЭШ 20/90, который за месяц переместил 460 тыс. м<sup>3</sup> горной массы. Экипаж в смену состоит из 2 человек (1 машинист и 1 помощник), поэтому время обедов и личных надобностей можно не учитывать при расчете необходимого времени на осуществление функции (при условии соответствующей квалификации помощника машиниста и наличия у него прав на управление экскаватором). Экскаватор ЭШ 20/90 производительно отработал 429 маш.-ч. (формула (4)). На его обслуживание и ремонт должно было быть отведено следующее время (формула (21)):

$$T_{\text{пп}}^{\text{обс,норм}} = 429 \text{ маш. - ч} (0,02 \text{ ч / маш. - ч} + 0,07 \text{ ч / маш. - ч}) = 38,6 \text{ ч.}$$

Фактически на процессы, связанные с обслуживанием экскаватора, было затрачено 192 ч. Фактические затраты труда  $T_{\text{ч}}^{\text{факт}}$  составили:

$$T_{\text{ч}}^{\text{факт}} = 192 \cdot 2 = 384 \text{ чел.-ч.}$$

Резервы использования времени обслуживающего персонала в процессе обслуживания (формула (20)):

$$T_{\text{рез}}^{\text{обс.н}} = 383,2 - 38,6 = 344,6 \text{ чел.-ч, т. е. 83 \% от фактического времени.}$$

Далее представлены 2 примера значительных резервов рабочего времени в отдельных процессах:

а) *организация труда в процессе обслуживания и ремонта двигателя внутреннего сгорания (ДВС)*

Наблюдения показали, что работник находился у стенда обкатки ДВС (основного рабочего места по наряду) менее 20 % времени, а в остальное время перемещался по всему цеху (рис. 2).

б) *подготовка и выдача наряда на ремонтные работы*

Зачастую при выдаче наряда на проведение ремонтных работ не учитываются рациональная организация труда и нормы времени на операции. В итоге работник получает неэффективный наряд. Так, рациональное время демонтажа радиатора автосамосвала в зависимости от условий составляет 6–7,7 ч, демонтажа-монтажа цилиндра подвески – 2,2–2,3 ч. Работникам на 12-часовую сменудается наряд на выполнение только одной из этих работ. Поэтому у работников будут непроизводительно задействованы соответственно 4,3–6,0 и 9,7–9,8 ч, что составляет 36–50 % и 80–82 % рабочего времени и является, по сути, резервом [3, 11].

## 2. Управленческий персонал

Управленческий персонал можно разделить на руководителей, занимающихся организацией *процессов*, и руководителей, занимающихся более масштабными задачами – организацией *деятельности*, а также специалистов.

Выявление и оценка резервов осуществлялись посредством структуризации и декомпозиции целей, структурно-функционального анализа, организационного моделирования, аналитических расчетов.

Методы структуризации и декомпозиции целей включают в себя выработку и постановку целей предприятия и его подразделений, оценку соответствия фактического состояния подразделений целевому; разложение целей на задачи; разработку мер по поэтапному достижению целей.

Структурно-функциональный анализ направлен на определение функциональных предназначений должностных лиц, выявление нечетких функций.

Организационное моделирование позволяет распределить и зафиксировать в организационной структуре функциональное предназначение каждого должностного лица, определить полномочия и ответственность каждого субъекта организации.

Аналитические расчеты позволяют оценить соотношение затрачиваемого и необходимого времени на осуществление процессов, определить основные направления увеличения производительного времени.

### 2.1. Руководители

В их функциональном предназначении можно выделить три направления:

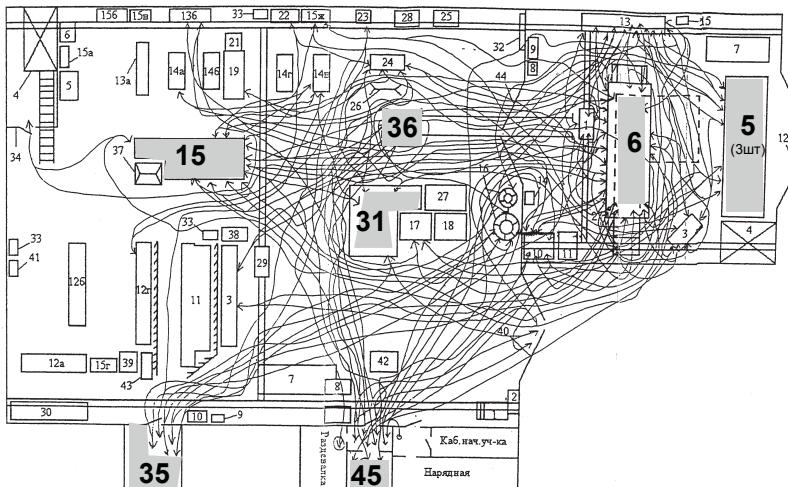
- воспроизводственная деятельность;
- разработка и реализация более совершенных систем и моделей процессов (деятельности);
- разработка и освоение методических средств поэтапного перехода от существующих моделей к более совершенным.

В настоящее время у руководителей-организаторов процессов и руководителей-организаторов производственной деятельности эти направления четко не зафиксированы в их функциональном предназначении. В силу этого возникает функциональная неопределенность [21] и, как следствие, – непроизводительные затраты времени, потери всех видов ресурсов.

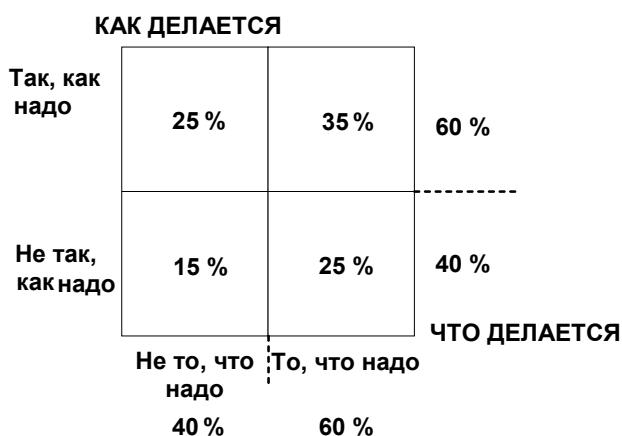
Эффективность использования времени руководителей можно оценить через использование времени всего персонала [22]. В осуществляемых процессах можно выделить четыре вида операций [23]:

- технологически необходимые и осуществляемые эффективно и безопасно по стандартам, для сокращения – «ТО, что надо–ТАК, как надо» (ТТ);
- технологически необходимые и осуществляемые неэффективно или небезопасно с нарушением стандартов – «ТО, что надо–НЕ ТАК, как надо» (ТН);
- избыточные, но осуществляемые эффективно и безопасно по стандартам – «НЕ ТО, что надо–ТАК, как надо» (НТ);
- избыточные и осуществляемые неэффективно или небезопасно с нарушением стандартов – «НЕ ТО, что надо–НЕ ТАК, как надо» (НН);

Час осуществления неэффективно и небезопасно технологически ненужных (избыточных) операций обходится в среднем в 5 раз дороже, чем час необходимых операций «ТО–ТАК». К таким операциям относится, например, аварийный ремонт. При аварийном ремонте простоявает вся технологическая цепочка. Ремонтный персонал осуществляет подготовку ремонта в «авральном» режиме, зачастую поломка имеет тяжелые последствия, так как ломается не один узел. Значительно влияют на эффективность и безопасность использования оборудования условия и режимы его эксплуатации, а также технология и организация технического обслуживания и ремонта. По оценкам, относительные затраты на запасные части в пересчете на час работы экскаваторы в неудовлетворительных условиях и режимах эксплуатации в 4,3 раза больше, чем в качественно подготовленных, а относительные затраты на запасные части в пересчете на час работы экскаватора при низком уровне организации и технологии обслуживания в 3,5 раза больше, чем при высоком [24].



**Рисунок 2. Схема перемещения работника ремонтного участка [19, 20].**  
**Figure 2. Scheme of movement of the repair worker [19, 20].**



**Рисунок 3. Распределение действий (по оценкам начальников участков, их помощников и заместителей, старших электромехаников, горных мастеров, бригадиров).**

**Figure 3. Distribution of actions (according to estimates of sectional managers, their assistants, and deputies, senior electricians, mining foremen, taskmasters).**

Резервы рабочего времени руководителей можно рассчитывать следующим образом:

$$P_{\text{рез}} = \frac{OZ_{\text{HH}} + OZ_{\text{HT+TH}}}{Z_{\text{TT}}}, \quad (22)$$

где  $OZ_{\text{HH}}$  – относительные затраты на операции «НЕ ТО–НЕ ТАК»;  $OZ_{\text{HT+TH}}$  – относительные затраты на операции «НЕ ТО–ТАК» и «ТО–НЕ ТАК»;  $Z_{\text{TT}}$  – затраты на операции «ТО–ТАК»;

$$OZ_{\text{HH}} = T_{\text{HH}} OC_{\text{q}}^{\text{HH}}, \quad (23)$$

где  $T_{\text{HH}}$  – время осуществления операций «НЕ ТО–НЕ ТАК»;  $OC_{\text{q}}^{\text{HH}}$  – относительная стоимость часа «НЕ ТО–НЕ ТАК»;

$$OZ_{\text{HT+TH}} = (T_{\text{HT}} + T_{\text{TH}}) OC_{\text{q}}^{\text{HT, TH}}, \quad (24)$$

где  $T_{\text{HT}}$  – время осуществления операций «НЕ ТО–ТАК»;  $T_{\text{TH}}$  – время осуществления операций «ТО–НЕ ТАК»;  $OC_{\text{q}}^{\text{HT, TH}}$  – относительная стоимость часа «НЕ ТО–ТАК» и «ТО–НЕ ТАК».

*Пример расчета имеющихся резервов.*

По оценкам работников, на предприятии делается около 35 % технологически необходимых операций эффективно и безопасно (рис. 3) [23].

Расход ресурсов на операции «ТО–ТАК» примем за 1,0. При осуществлении операций «НЕ ТО–ТАК» и «ТО–НЕ ТАК» относительный расход, как показывает практика, в среднем равен 1,5–2,0 раза. При осуществлении операций «НЕ ТО–НЕ ТАК» – 5 раз.

Избыточные затраты составляют:

$$\text{ОЗ}_{\text{НН}} = 15 \cdot 5 = 75;$$

$$\text{ОЗ}_{\text{HT+TH}} = (25 + 25) \cdot 1,75 = 87,5.$$

Итого:  $75 + 87,5 = 162,5$  ед. ненужной работы.

Поэтому при такой структуре работы резервы руководителя составляют:

$$\text{Рез} = \frac{75 + 87,5}{35} = \frac{162,5}{35} = 4,6 \text{ раза.}$$

## 2.2. Специалисты

В их функциональном предназначении можно выделить два направления:

- информирование персонала об эффективности и безопасности процессов (деятельности) в каждой зоне ответственности: состояние, динамика, тенденции;

- обоснование и подготовка решений по повышению эффективности и безопасности процессов (деятельности).

Так же, как и у руководителей, эти направления у специалистов четко не зафиксированы в их функциональном предназначении.

В силу того, что функциональная неопределенность у специалистов существенно выше, то на их структуру времени значительное влияние оказывает «закон Паркинсона»: «Работа заполняет все отведенное на нее время» [25]. Они поглощены «кипучей текучкой», зачастую работая в авральном режиме.

Вместе с тем специалисты, как правило, имеют развитый интеллектуальный потенциал, который может быть вовлечен в диверсификацию собственной деятельности и деятельности всего персонала предприятия для повышения его ценности и конкурентоспособности.

## Выводы

Расчет резервов рабочего времени персонала угледобывающих предприятий показал, что при современном техническом оснащении производства **отставание от экономически развитых стран в производительности труда, а соответственно, и в его оплате может быть преодолено**. Но для этого необходимы изменения в структуре деятельности и времени труда руководителей и специалистов. А именно – надо «вытащить» себя из текучки и заняться подготовкой и организацией решения задач по диверсификации деятельности персонала. Это позволит планомерно наращивать ценность персонала, повышать его конкурентоспособность и на этой основе – уровень жизни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2018 года // Уголь. 2019. № 3. С. 64–79. <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-3-64-79>
2. Официальная энергетическая статистика от правительства США. URL: <https://www.eia.gov>.
3. Кулепций В. Н., Жунда С. В., Довженок А. С., Галкин А. В., Полещук М. Н. Методика повышения качества трудовых процессов: отд. статья // ГИАБ. 2018. № 9 (спец. вып. № 42). 40 с.
4. Бюро Статистики Труда США. URL: [www.bls.gov/oes](http://www.bls.gov/oes)
5. Gerold S., Nocker M. More Leisure or Higher Pay? A Mixed-methods Study on Reducing Working Time in Austria /Stefanie Gerold, Matthias Nocker // Ecological Economics. 2018. Vol. 143. P. 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.016>
6. Chenic (Cretu) A. S., Angelescu C., Miron A., Gheorghita A. R. Working Time – a Key Element of Health Workers, an Instrument of Labor Market Flexibility. The Situation of the Health System // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 93. P. 1142–1147. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.004>
7. Pullinger M. Working time reduction policy in a sustainable economy: Criteria and options for its design // Ecological Economics. 2014. Vol. 103. P. 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.009>
8. Beckmann M., Cornelissen T., Kräkel M. Self-managed working time and employee effort: Theory and evidence // Journal of Economic Behavior & Organization. 2017. Vol. 133. P. 285–302. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.11.013>
9. Ошаров А. В. Повышение технико-экономической эффективности производства угольного разреза на основе совершенствования его организационной структуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.22. М.: МГГУ, 2018. 127 с.
10. Коркина Т. А. Управление инвестициями в персонал угледобывающего предприятия: цели и средства // Уголь. 2009. № 8. С. 52–55.
11. Кулепций В. Н. Разработка комплекса решений по формированию угольного разреза нового технико-технологического уровня: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21. Челябинск: МГГУ, 2013. 159 с.
12. Каинов А. И. Обоснование способов и показателей горных работ на угольных разрезах с большегрузным автомобильным транспортом: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22. Челябинск, 2015. 162 с.
13. Открытые горные работы: справочник / К. Н. Трубецкой, М. Г. Потапов, Виницкий К. Е., Мельников Н. Н. и др. М.: Горное бюро, 1994. 590 с.
14. Артемьев В. Б., Казаков С. А. Открытые горные работы 2006–2015: достижения и перспективы // Открытые горные работы в XXI веке-1 // ГИАБ. 2015. № 10 (спец. вып. № 45-1). С. 7–20.
15. Ясючена С. В., Опанасенко П. И., Кулепций В. Н., Каинов А. И., Попов Д. В. Рекорды как способ выявления и освоения потенциальных возможностей экскаваторно-автомобильного комплекса // Уголь. 2013. № 8. С. 19–21.
16. Положение о системе планово-предупредительного ремонта основных средств ОАО «СУЭК». М., 2003. 167 с.
17. Андреева Л. И. Методология формирования технического сервиса горнотранспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.22. Екатеринбург, 2004. 297 с.
18. Галкина Н. В., Макаров А. М. Дисбаланс интересов и ответственности – главный тормоз развития угледобывающего предприятия // Уголь. 2006. № 9. С. 7–9.
19. Анализ существующей ремонтной базы и разработка структуры и формы технологической документации для проведения капитального ремонта двигателей ЯМЗ-240 НМ2: отчет о НИР № 20010058/2652. Этап I / ОАО «Комбинат Магнезит», НТЦ-НИИОГР. Челябинск, 2001. 100 с.
20. Ремонтное производство горнодобывающего предприятия: технология, организация, экономика. Проблемы и решения: материалы Координаца. совещ. (30 окт.–1 нояб. 2006 г.). Челябинск: НИИОГР, 2006. 66 с.
21. Артемьев В. Б., Волков С. А., Галкин В. А., Макаров А. М., Захаров С. И. Подходы к повышению конкурентоспособности угледобывающего предприятия и его персонала // Уголь. 2019. № 6. С. 4–9.

22. Артемьев В. Б., Килин А. Б. и др. Угледобывающее предприятие: руководитель и руководство: отд. статья ГИАБ. М.: Горная книга, 2016. 47 с. (Сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». Вып. 31).
23. Артемьев В. Б., Добровольский А. И., Лисовский В. В. и др. Роль руководителя и персонала в обеспечении безопасности производства: отд. статья ГИАБ. М.: Горная книга, 2017. 47 с. (Сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». Вып. 32).
24. Слюньков В. Н., Андреева Л. И., Довженок А. С. Показатели функционирования системы обеспечения работоспособности горного оборудования // Уголь. 2008. Спец. вып. СУЭК. С. 77–78.
25. Паркинсон С. Н. Законы Паркинсона. Новейшая версия. М.: ООО «Попурри», 2014. 112 с.

Статья поступила в редакцию 13 мая 2019 г.

# Method of calculating the reserve of the working time of the coal producer staff for the purpose of its development

Vladimir Alekseevich GALKIN\*,  
 Aleksandr Mikhailovich MAKAROV\*\*,  
 Svyatoslav Igorevich ZAKHAROV\*\*\*,  
 Marina Nikolaevna POLESHCHUK\*\*\*\*

Research Institute of efficiency and safety of mining production, Chelyabinsk, Russia  
 Chelyabinsk Branch of the Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Chelyabinsk, Russia

**The relevance of the work.** Coal-mining enterprises of Russia have significantly improved their position in the market for the period of development of market relations. Compared to 1988, the year of maximum coal production in the USSR, labor productivity has increased 3.5 times. This is due to the increase in the unit capacity of mining and conveyor equipment. Thus, the average capacity of an excavator bucket increased by 3 times, the capacity of dump trucks – by 1.5-2.4 times. Upgrade of the capabilities was accompanied by the development of new technological parameters of production, which ensured an increase in the efficiency of the use of technology by 2.5-3.0 times. As a result, the lag in labor productivity in comparison with coal-mining enterprises of economically developed countries, such as the United States, decreased from 7.3 to 4.3 times. At the same time, there is an increase in social tension due to a gap in wage levels, which is almost equal to the lag in labor productivity. People don't want to live like that. They want to work hard, earn good money, and live well. To reduce the lag in the standard of living, it is necessary to increase wages, which cannot be achieved without an increase in labor productivity. The main means of solving this task is to reduce unproductive work and waste time for it. Accordingly, there is a need to identify the unproductive time of the staff, release it from the process while directing the released time to the development of production. For this, a method of calculating the reserves of working time is necessary.

**The purpose of the work:** to develop a methodology for calculating the working time reserves of coal-mining company staff; it can be the basis for purposeful elimination of the causes of unproductive use of time by supervisors, specialists, and workers; it can be also useful from the point of view of the released time to solve production development problems and diversify activities.

**Methodology and methods for carrying out work.** The identification, valuation, and use of reserves are based on the following provisions: 1) the required structure of working time is determined by the functional purpose of the position of the employee in the corporate structure of the enterprise; 2) the actual structure of working time is determined by the employee's understanding of his functional purpose, his qualifications, and responsibility. Estimation of reserves is carried out using the methods of structuring and decomposition of goals, structural and functional analysis, organizational modeling, analytical calculations.

**Results of the work and applicable scope.** The method has been developed for calculating the working time reserves of operating personnel, specialists and supervisors of a coal producer. The structure of time and the available reserves of working time of the staff of coal producers are given.

**Conclusion.** The developed methodology makes it possible to identify and evaluate the available reserves of working time for coal producers' staff, which is the basis for developing measures for the effective use of these reserves based on the development of production development functions and diversification of activities by staff.

**Keywords:** coal producer, staff, throughput time, working time reserve, development, activity diversification, calculation method.

## REFERENCES

1. Tarazanov I. G. 2019, Results of the coal industry in Russia in January – December 2018. *Ugol'* [Coal], no. 3, pp. 64–79. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-3-64-79>.
2. Official energy statistics from the US government. URL: <https://www.eia.gov>
3. Kuletskiy V. N., Zhunda S. V., Dovzhenok A. S., Galkin A. V., Poleshchuk M. N. 2018, Methods of improving the quality of labor processes: individual article. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], no. 9 (special issue no. 42), 40 p. (In Russ.)
4. Bureau of Labor Statistics. URL: [www.bls.gov/oes](http://www.bls.gov/oes)
5. Gerold S., Nocker M. 2018, More Leisure or Higher Pay? A Mixed-methods Study on Reducing Working Time in Austria. *Ecological Economics*, vol. 143, pp. 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.016>
6. Chenic (Cretu) A. S., Angelescu C., Miron A., Gheorghita A. R. 2013, Working Time – a Key Element of Health Workers, an Instrument of Labor Market Flexibility. The Situation of the Health System. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, vol. 93, pp. 1142–1147. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.004>
7. Pullinger M. 2014, Working time reduction policy in a sustainable economy: Criteria and options for its design. *Ecological Economics*, vol. 103, pp. 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.009>
8. Beckmann M., Cornelissen T., Kräkel M. 2017, Self-managed working time and employee effort: Theory and evidence. *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 133, pp. 285–302. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2016.11.013>
9. Osharov A. V. 2018, *Povysheniye tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti proizvodstva ugol'nogo razreza na osnove sovershenstvovaniya yego organizatsionnoy struktury* [Improvement the technical and economic efficiency of coal mine production based on the improvement of its organizational structure], PhD thesis, 05.02.22. Moscow, 127 p.
10. Korkina T. A. 2009, Management of investments to the staff of a coal producer: ends and means. *Ugol'* [Coal], no. 8, pp. 52–55. (In Russ.)
11. Kuletskiy V. N. 2013, *Razrabotka kompleksa resheniy po formirovaniyu ugol'nogo razreza novogo tekhniko-tehnologicheskogo urovnya* [Development of a set of solutions for the formation of a coal mine of a new technical and technological level], PhD thesis, 25.00.21. Chelyabinsk, 159 p.

\*✉ niiogr@list.ru

\*\*ID <https://orcid.org/0000-0002-2851-9221>

\*\*\*makarovam\_niiogr@mail.ru

\*\*\*\*ID <https://orcid.org/0000-0001-8985-734X>

\*\*\*svzakharov@bk.ru

\*\*\*\*ID <https://orcid.org/0000-0001-5616-1725>

\*\*\*\*\*m\_poleshuk@mail.ru

\*\*\*\*\*ID <https://orcid.org/0000-0002-8074-5293>

12. Kainov A. I. 2015, *Obosnovaniye sposobov i pokazateley gornykh rabot na ugol'nykh razrezakh s bol'shegruznym avtomobil'nym transportom* [Justification of methods and indicators of mining at coal mines with heavy-duty road transport], PhD thesis, 25.00.22. Chelyabinsk, 162 p.
13. 1994, *Otkrytye gornyye raboty* [Open pit mining], reference book, K. N. Trubetskoy, M. G. Potapov, Vinitskiy K. E., Melnikov N. N. et al. Moscow, 590 p.
14. Artemyev V. B., Kazakov S. A. 2015, Open pit mining 2006–2015: achievements and prospects. Open mining in the XXI century-1. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], no. 10 (special issue no. 45-1), pp. 7–20. (In Russ.)
15. Yasyuchenna S. V., Opanasenko P. I., Kuletskiy V. N., Kainov A. I., Popov D. V. 2013, Records as a way to identify and develop the potential of the excavating and automotive complex. *Ugol'* [Coal], no. 3, pp. 19–21. (In Russ.)
16. 2003, Regulations on the system of preventive maintenance of fixed assets of OAO SUEK. Moscow, 167 p.
17. Andreeva L. I. 2004, Methodology of formation of technical service of mining transport equipment at a coal producer: PhD thesis, 05.02.22, 297 p.
18. Galkina N. V., Makarov A. M. 2006, Imbalance of interests and responsibility are the main disincentive for the development of a coal producer. *Ugol'* [Coal], no. 9, pp. 7–9. (In Russ.)
19. 2001, *Analiz sushchestvuyushchey remontnoy bazy i razrabotka struktury i formy tekhnologicheskoy dokumentatsii dlya provedeniya kapital'nogo remonta dvigateley YAMZ-240 NM2* [Analysis of the existing repair base, development of the structure while forming technological documentation for the overhaul of the YaMZ-240 NM2 engines], research report No 20010058/2652. Phase I, OAO Kombinat Magnezit, SEC-opencast mining. Chelyabinsk, 100 p.
20. 2006, *Remontnoye proizvodstvo gornodobyyayushchego predpriyatiya: tekhnologiya, organizatsiya, ekonomika* [Repair production of a mining enterprise: technology, organization, economy]. Problems and solutions: materials of the meeting (30 Oct.-1 Nov. 2006). Chelyabinsk, 66 p.
21. Artemyev V. B., Volkov S. A., Galkin V. A., Makarov A. M., Zakharov S. I. 2019, Approaches to improving the competitiveness of a coal enterprise and its staff. *Ugol'* [Coal], no. 6, pp. 4–9.
22. Artemyev V. B., Kilin A. B. et al. 2016, Coal producer: supervisor and management: individual article, *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. Moscow, 47 p. (Ser. "Package of a mining engineer-supervisor", issue 31).
23. Artemyev V. B., Dobrovolsky A. I., Lisovsky V. V. et al. 2017, The role of a supervisor and staff in ensuring production safety: individual article, *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]. Moscow, 47 p. (Ser. "Package of a mining engineer-supervisor," issue 32).
24. Slyunkov V. N., Andreeva L. I., Dovzhenok A. S. 2008, Indicators of functioning of the system to ensure the health of mining equipment. *Ugol'* [Coal], special issue, pp. 77–78. (In Russ.)
25. Parkinson S. N. 2014, Parkinson's Laws. Latest version. Moscow, 112 p.

The article was received on May 13, 2019

# Нормирование трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия: принципы и методы

Оксана Анатольевна ЛАПАЕВА<sup>\*</sup>

Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства, Россия, Челябинск  
Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН, Россия, Челябинск

**Актуальность работы.** Рыночная экономика России и динамика процессов, происходящих в ней, проявляют сложные в теоретическом и практическом планах проблемы, решение которых в значительной мере определяет темпы и результаты развития горнодобывающих предприятий (ГДП), их жизнеспособность. В ряду таких проблем – нормирование трудовой деятельности работников предприятия, в значительной степени обеспечивающих результативность функционирования предприятия как социально-экономической системы в настоящее время и в перспективе. Исследования состояния и эффективности институтов, регулирующих трудовую деятельность работников на горнодобывающих предприятиях, позволили установить, что наименее адаптированной к динамике происходящих во внешней и внутренней среде функционирования предприятия изменений является система нормирования трудовой деятельности, сформированная в условиях административно-командной экономики для регулирования трудовых отношений. В результате нормирование из организующего фактора превращается в дезорганизующий – эта сложившаяся в практике работы большинства предприятий ситуация и предопределяет необходимость теоретического осмысливания и методологического обоснования принципов и методов нормирования трудовой деятельности работников в условиях перехода к новому организационно-технологическому укладу.

**Цель работы** – определение принципов и методов нормирования трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия, реализация которых в практике работы горнодобывающих предприятий обеспечит баланс интересов работников и работодателей, направленность трудовой деятельности на существенное повышение безопасности и эффективности труда.

**Методология и методы исследования.** В качестве основного метода исследования выбран анализ используемых в теории и практике нормирования трудовой деятельности работников ГДП принципов и методов, в основе которых дополнение применяемого в практике работы предприятий технико-технологического и организационного нормирования социально-экономическим нормированием трудовой деятельности работников.

**Результаты исследования.** Разработаны методологические принципы социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия. Разработан комплекс методов нормирования трудовой деятельности работников. Реализация разработанных методов в практике деятельности горнодобывающих предприятий подтверждена примерами.

**Выводы.** Предложенные принципы и методы социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия позволяют обеспечить требуемый для существенного повышения безопасности и эффективности труда уровень сопряженности интересов, целей, действий и результатов деятельности работников и работодателя, что подтверждается примерами их реализации на ряде горнодобывающих предприятий.

Статья носит дискуссионный характер.

**Ключевые слова:** норма, нормирование, трудовая деятельность работников, социально-экономическое нормирование, принципы, методы, горнодобывающее предприятие.

## B ведение

Имеющиеся в настоящее время отечественные и зарубежные методологические и методические разработки по нормированию трудовой деятельности работников, созданные и адаптированные за последние годы к изменениям в трудовой сфере деятельности промышленного предприятия, позволяют решать задачи нормирования деятельности практически всех категорий работников. Однако сложившаяся на горнодобывающих предприятиях практика их применения не обеспечивает требуемый для предприятия уровень безопасности и эффективности труда в силу того, что принципы и методы нормирования, заложенные в методиках анализа актуальности норм, их расчета и пересмотра, соответствуют парадигме организации труда, разработанной в период административно-командной экономики.

Основные характеристики этой организационной парадигмы и ее негативное влияние на организацию труда в современных условиях хозяйствования представлены и описаны В. Б. Бычинным, О. В. Забелиной [1].

1. Доминирующие технократические подходы к созданию организационных условий производительной деятельности, т. е. приспособление работника к технико-технологическим параметрам производства. Следствие – низкий уровень использования оборудования и труда; обеднение содержания труда, возрастание его монотонности, чрезмерной интенсификации труда и ухудшение его условий (психофизиологические последствия), формирование негативного отношения к труду (социальные последствия).

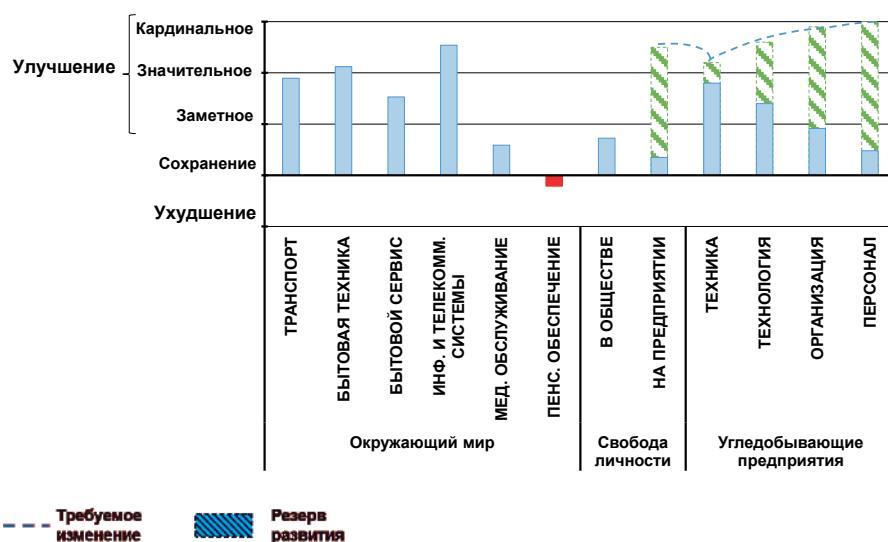
2. Преобладание несистемного подхода к организации труда, проявляющееся в решении задач ее совершенствования «в отрыве от проблем организации производства и управления, технического развития, совершенствования человеческого фактора». Следствие – принижение руководителями и специалистами предприятий роли организационных факторов роста эффективности производства и, соответственно, синергетического эффекта от взаимодействия всех элементов производства.

3. «Административно-командный тип управления организацией труда, подрывающий стимулирующую роль организации труда в активизации человеческого фактора производства».

Несоответствие «прежней» парадигмы как современным тенденциям развития техники, технологий и организации труда на горнодобывающих предприятиях, так и вектору развития внешней среды их функционирования, прежде всего, переходу на новый организационно-технологический уклад [2, 3] обостряет необходимость изменения системы производственных и трудовых отношений, механизма взаимодействия субъектов предприятия как социально-экономической системы [4].

\* lapaeva@yandex.ru

id <https://orcid.org/0000-0002-8840-3327>



**Рисунок 1. Изменения основных элементов внешней и внутренней среды функционирования угледобывающих предприятий 1977–2017 гг. (по результатам анкетирования 358 руководителей и специалистов предприятий)<sup>1</sup>.**

**Figure 1. Changes in the basic elements of the external and internal environment of operation of coal-mining enterprises during 1977–2017 (according to the results of the survey, 358 managers and experts of enterprises)<sup>1</sup>.**

Это несоответствие значительное и ощущается руководителями и специалистами ГДП, что подтверждается результатами их оценок изменений основных элементов внешней и внутренней среды функционирования предприятий (рис. 1).

Наиболее остро это несоответствие проявляется на уровне работников горнодобывающих предприятий (преимущественно рабочих) в сохраняющемся на протяжении более 20 лет разрыве между результатами и оплатой труда (рис. 2). Наблюдаемый разрыв является постоянным источником обострения трудовых отношений на предприятиях, недовольства работников уровнем заработной платы, снижения мотивации к более безопасному и эффективному труду, негативного отношения к нормированию труда и специалистам, его осуществляющим.

В результате производственные и экономические показатели деятельности большинства горнодобывающих предприятий России относительно зарубежных ниже. Это подтверждается результатами анализа тенденции развития отечественных предприятий горнодобывающей промышленности: разрыв с развитыми странами по показателям эффективности использования ресурсов постепенно сокращается, но остается существенным. В первую очередь это касается трудовых отношений: наблюдается отставание от мирового уровня по производительности труда в 5–7 раз и по уровню оплаты в 3–5 раз [6, 7]. Следует иметь в виду, что специфические особенности, характерные для горнодобывающих предприятий, одинаковы как в России, так и за рубежом, т. е. специфика предприятия не является главным фактором низкой производительности труда и высокой себестоимости продукции. Горнодобывающие предприятия, стремясь удовлетворить экономические и социальные потребности работников в текущем периоде, снижают наработанный потенциал жизнеспособности, что делает их стратегическое развитие не только неустойчивым, но и создает угрозу для экономического развития государства.

Сложившееся противоречие между необходимостью существенного повышения жизнеспособности на предприятиях горнодобывающей отрасли и отсутствием нормирования трудовой деятельности работников предприятий, адекватного этой цели, свидетельствует об актуальности разработки научно-методического инструментария для трансформации системы нормирования трудовой деятельности в части развития методологии и ее ключевых компонентов – принципов и методов.

### Результаты

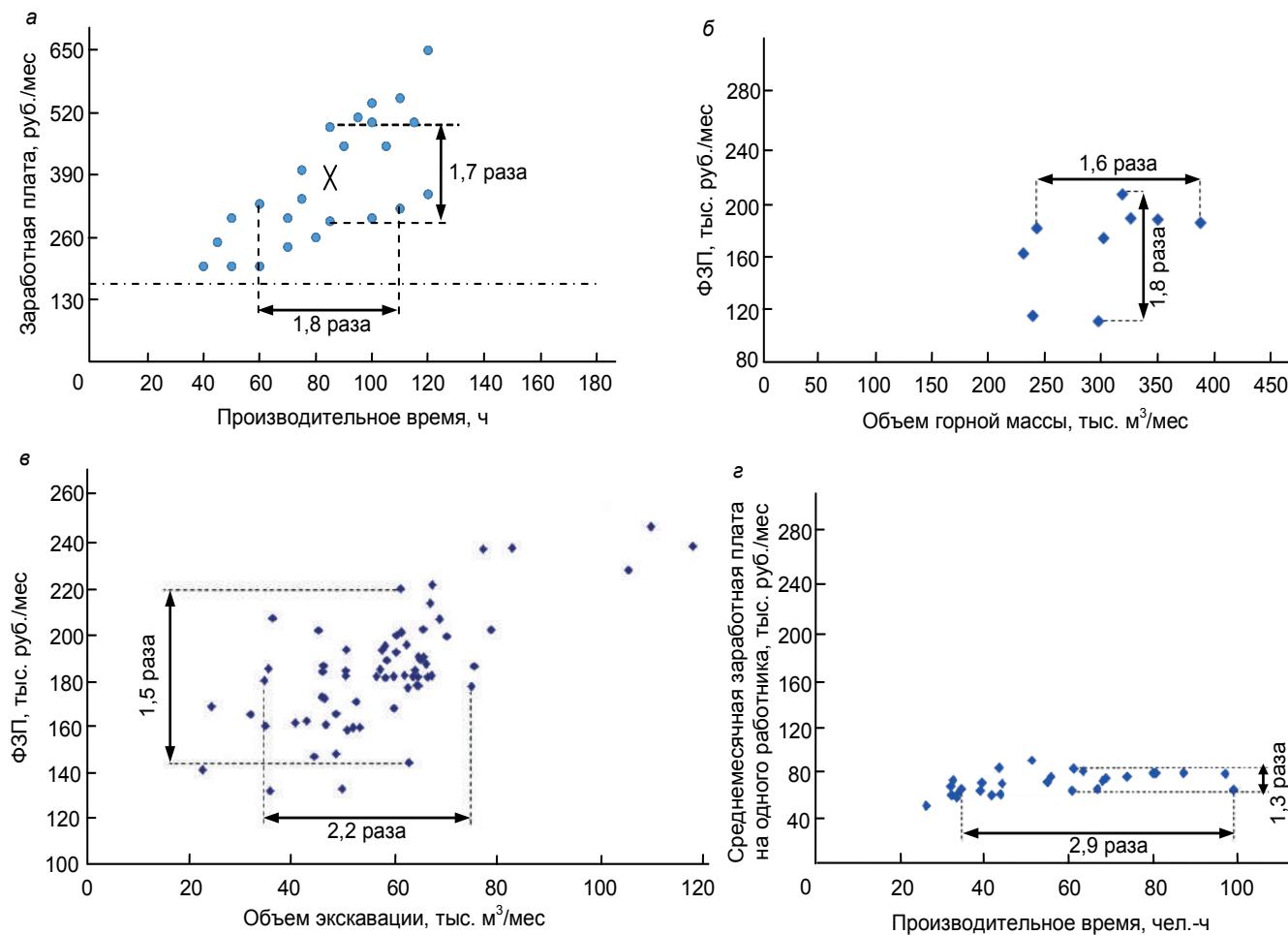
**Рабочая гипотеза исследования** заключается в том, что поддержание и своевременное регулирование параметров трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия достигается переходом от концепции, основанной преимущественно на технико-технологическом подходе к нормированию трудовой деятельности работников, к концепции социально-экономического нормирования.

**Принципы социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия**

Решения проблем и задач адаптации системы нормирования трудовой деятельности работников к современным требованиям экономики предприятия нашли свое отражение в научно-практических работах различных авторов. Основные рекомендации по изменению системы нормирования трудовой деятельности, предлагаемые ими, сводятся преимущественно к следующим формам:

- трансформация;
- санация;
- эволюция;
- совершенствование;
- изменение содержания функции, процесса и организации;
- совершенствование методик расчета норм труда [8–13].

<sup>1</sup> Из доклада В. А. Галкина на 13-й ежегодной конференции «Промышленная безопасность, экология, охрана и медицина труда в СУЭК. Итоги 2016 года. Задачи 2017 года».



**Рисунок 2. Связь результатов и оплаты труда рабочего горнодобывающих предприятий (1990–2012 гг.) [5].** а – водители автосамосвалов («Сорский молибденовый комбинат», 1990 г.); б – машинисты экскаваторов (ОАО «Разрез Тугнуйский», 2009 г.); в – машинисты экскаваторов (ОАО «ЕВРАЗ-КГОК», 2010 г.); г – машинисты экскаваторов (ОАО «Ковдорский ГОК», 2012 г.).

**Figure 2. Links of the results and remuneration of labor of mining enterprises (1990–2012) [5].** a – drivers of dump trucks ("Sorsk molybdenum plant", 1990); b – excavator drivers (OAO Razrez Tugnuytsky, 2009); c – excavator machinists (OAO EVRAZ-KGOK, 2010); d – excavator drivers (OAO Kovdorsky GOK, 2012).

Соглашаясь с авторами по поводу необходимости обеспечения соответствия состояния нормирования трудовой деятельности современным условиям и тенденциям в развитии теории и практики организации труда, необходимо рассмотреть и уточнить принципы нормирования труда. Принципы как одна из важных категорий теории и методологии нормирования труда являются предметом исследования таких ученых, как М. И. Бухалков [14], Б. М. Генкин, Н. Н. Литовченко [15], Ю. Г. Одегов, В. Б. Бычин и С. В. Малинин [16], Р. П. Колосова и Г. Г. Меликьян, И. М. Вашко [17], Ю. П. Кокин, В. Ф. Потуданская и Л. С. Горскина [18], Т. А. Коркина [19] и др.

Исследования показали, что в отечественной экономической литературе представлены различные подходы к определению принципов нормирования труда. Некоторые выдвигаемые авторами принципы совпадают, отдельные авторы выделяют и специальные. Кроме того, авторы рассматривают принципы нормирования труда работников и принципы функционирования системы нормирования труда по различным основаниям [14–19]. Систематизация основных подходов к определению принципов нормирования труда работников представлена в табл. 1.

Автор в статье не ставит цель дать оценку предлагаемым авторами принципов нормирования труда, а показать разнообразие подходов к выбору оснований для их определения. При определении принципов важно, чтобы их содержание учитывало тенденции в развитии рынка труда; тенденции развития и состояние трудовых отношений на предприятии; уровень технологии и организации труда работников с учетом отраслевых особенностей.

С учетом особенностей осуществления трудовой деятельности на горнодобывающем предприятии автором выделены основные принципы социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников, которые реализуются комплексно (табл. 2).

Разработанный комплекс методологических принципов социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников имеет универсальный характер, поскольку может применяться для любого промышленного предприятия. Использование разработанного комплекса методологических принципов позволяет своевременно и целенаправленно повышать качество трудовых процессов и вовлеченность в эту работу всех работников предприятия, осуществлять инновационные преобразования в рамках реализации стратегии предприятия и обеспечивать тем самым его высокую жизнеспособность.

**Таблица 1. Методологические принципы социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников ГДП.**  
**Table 1. Methodological principles of socio-economic rationing of the labor activity of ME employees.**

Принцип	Сущность
Дифференцированность норм трудовой деятельности	При определении норм трудовой деятельности должны учитываться различия основных характеристик как субъектов трудовой деятельности (потребности, цели, ответственность и интересы), так и системы их деятельности (функционалы, организация и технология производства, затраты и результаты труда)
Сопряженность основных характеристик субъекта трудовой деятельности и системы его деятельности	При определении, установлении и контроле норм трудовой деятельности должны учитываться взаимосвязь и взаимообусловленность нормообразующих факторов, характеризующих в социальном аспекте субъектов трудовой деятельности (потребности, цели, ответственность и интересы), в экономическом аспекте – их систему деятельности (функционалы, организация и технология производства, затраты и результаты труда)
Императивность норм трудовой деятельности	Установленные нормы трудовой деятельности должны иметь статус безусловности их исполнения всеми работниками предприятия – от директора до рабочего
Мотивирующая направленность норм трудовой деятельности	Нормы трудовой деятельности должны стимулировать и поддерживать поведенческую активность персонала в отношении повышения безопасности и эффективности производства на определенном уровне, обеспечивающем требуемый уровень конкурентоспособности предприятия и работника

### Методы социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия

Автор не рассматривает в качестве одной из задач исследования оценку эффективности используемых в практике нормирования труда методов установления норм, характеристики которых представлены во многих учебных изданиях, посвященных нормированию труда [13-17]. Нельзя не согласиться с авторами публикации [20], что «основными проблемами в настоящее время являются выбор, обоснование и применение конкретного метода установления норм, с необходимостью решения которых сталкиваются специалисты, занятые выполнением функций нормирования труда». В связи с этим в статье сделан акцент на исследовании и разработке методов социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников с точки зрения дополнения традиционно используемых методов методами, позволяющими учесть изменения в системе трудовых отношений, в содержании и способах организации труда.

Автор разделяет точку зрения [20] на понимание метода нормирования как совокупности приемов по определению необходимых затрат времени, анализу трудовых процессов, выявлению и учету релевантных нормообразующих факторов, использованию материалов наблюдений, проектированию рационального состава и содержания операции (функций), разработке нормативов и норм труда для работников различных уровней управления.

В научно-технической и справочной литературе встречаются следующие признаки систематизации методов нормирования труда:

- способ получения исходных данных о продолжительности выполнения операций;
- достоверность норм;
- степень обоснования;
- влияние нормообразующих факторов и др. [20].

Важно выбрать адекватные решаемым на практике задачам методы измерения и регулирования параметров трудовых процессов, трудового поведения, взаимоотношений и взаимодействия работников – субъектов социально-экономических систем различного масштаба (бригада, участок, цех, предприятие). Систематизация существующих в экономической литературе подходов к изучению развития предприятия как жизнеспособной социально-экономической системы позволила установить, что большинство авторов рассматривают его как циклический процесс [4, 21-23]. Известная закономерность циклического развития предприятия обуславливает и циклическость формирования институциональной среды, неотъемлемой частью которой является нормирование трудовой деятельности работников в целом и социально-экономическое нормирование трудовой деятельности в частности.

В циклическом процессе социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников выделены 6 этапов, характеризующих цикл нормирования деятельности работников (рис. 3). Включение в управляемическую деятельность персонала горнодобывающего предприятия социально-экономического нормирования как инструмента повышения эффективности и безопасности производства предприятия позволяет осуществлять ряд циклов для обеспечения достаточного уровня его жизнеспособности.

При формировании комплекса методов социально-экономического нормирования автор исходил из следующих положений:

- во-первых, методы должны обеспечивать реализацию основных принципов социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников;
- во-вторых, методы должны быть подобраны под конкретный компонент трудовой деятельности;
- в-третьих, методы должны обеспечивать циклическость процесса нормирования, т. е. эффективную реализацию каждого из его этапов (табл. 3).

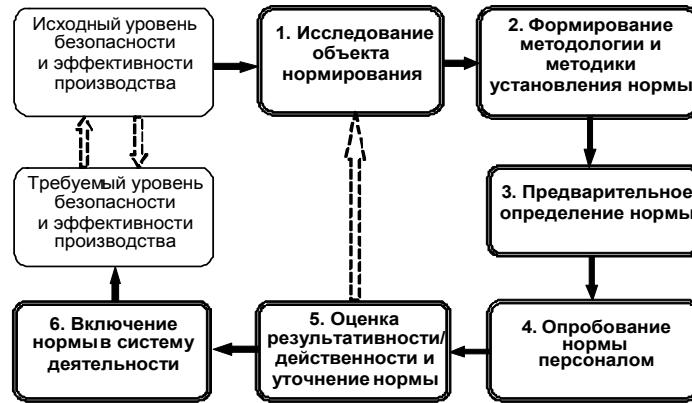
В структуре методов, приведенных на рис. 4, выделены две группы: методы, традиционно используемые в практике нормирования труда, и методы, адаптированные<sup>2</sup> к реализации на предприятии социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников как одного из видов управляемой деятельности.

<sup>2</sup> Подробное описание методов представлено в публикациях [24, 25].

**Таблица 2. Принципы нормирования труда (НТ), предлагаемые различными авторами.**  
**Table 2. The principles of performance standards (PS) proposed by various authors.**

Авторы							
Б. М. Генкин	Ю. Г. Одегов, В. Б. Бычин, С. В. Малинин	Р. П. Колосова, Г. Г. Меликьян	М. И. Бухалков	И. М. Вашко	Н. Н. Литовченко	В. Ф. Потуданская, Л. С. Горскина	Т. А. Коркина
Основная характеристика принципов							
Принципы НТ как основа разработки системы НТ	Принципы НТ	Принципы НТ	Принципы НТ	Принципы НТ	Принципы НТ	Принципы НТ как основа формиро- вания и развития системы НТ	Принципы нормировани я труда государст- венных (муниципаль- ных) служащих
Принципы							
Эффективность	Эффективность	Эффективность	Эффективность	Эффективность	Эффективность	Эффективность	Эффективность
Комплексность	Комплексность	Комплексность	Комплексность	Комплексность	Комплексность	Комплексность	Комплексность
Системность	Системность	Системность	Системность	Системность	Системность	Системность	Системность
Конкретность	Конкретность	Конкретность	Конкретность	Конкретность	Конкретность	Конкретность	Конкретность
Динамичность		Динамичность	Динамичность	Динамичность	Динамичность	Динамичность	Динамичность
Объективность			Объективность				Объективность
Групповая дифферен- циация	Групповая дифферен- циация	Групповая дифферен- циация			Групповая дифферен- циация		
		Равная напряженность	Равная напряженность				
	Прогрессив- ность	Прогрессив- ность		Прогрессив- ность	Прогрессив- ность	Прогрессив- ность	
	Всеобщность	Всеобщность		Всеобщность	Всеобщность	Всеобщность	
Легитимность					Правомерность	Легитимность	Легитимность
Удовлетворен- ность трудом					Гармонизация	Гармонизация	Баланс интересов
							Научность

Источник: дополнено и переработано автором по [18, 19].



**Рисунок 3. Цикл нормирования трудовой деятельности работников предприятия.**  
**Figure 3. The rationing cycle of labor activity of employees of the enterprise.**

#### Примеры реализации комплекса методов социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников на горнодобывающих предприятиях

Предприятия компании СУЭК активно и целенаправленно осуществляют работу с персоналом, направленную на привращение человеческого капитала, формирование коллективов сотрудников, понимающих и разделяющих ее цели и ценности, стремящихся к самореализации и повышению уровня профессионализма. Филиал АО «СУЭК-Красноярск» «Разрез «Бородинский» имени М. И. Щадова» является одним из предприятий компании, осваивающих методы социально-экономического нормирования деятельности персонала как на уровне производственных подразделений, так и на уровне предприятия в целом (табл. 4). Много внимания и времени уделяется работе с представлениями работников в части понимания ими необходимости повышения безопасности и эффективности труда как условия удовлетворения их социальных и экономических потребностей. Проведение трех циклов развивающей аттестации мастеров, механиков, начальников участков позволили повысить средний уровень мотивации работников относительно реализуемого ими функционала более чем в 4 раза, а уровень квалификации – в 1,4 раза.

**Таблица 3. Методы социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия.**

**Table 3. Methods of social and economic performance standards at the mining enterprise.**

Этап жизненного цикла разработки норм	Компоненты трудовой деятельности работника					Социальные и экономические результаты
	Социальные и экономические потребности и интересы (мотивы)	Социальные и экономические цели	Действия персонала (руководителей, специалистов, операторов)	Средства достижения цели и результатов деятельности		
Исследование объекта нормирования	Анкетирование Интервью Анализ структуры потребностей и интересов (мотивов)	Декомпозиция целей Позиционирование работника Бенчмаркинг Аудит планов и программ развития	Анкетирование Интервью Аудит функций Фотография рабочего дня Хронометраж	Анкетирование Организационно-технологический аудит рабочих процессов по обеспеченному материальными, нематериальными и неосозаемыми активами	Анкетирование Интервью Оценка уровня жизнеспособности	
Формирование методологии и методики установления нормы	Экспертная оценка Анализ теоретической и методической базы Факторный анализ Сетевое планирование	Экспертная оценка Анализ теоретической и методической базы Факторный анализ Сетевое планирование SWOT-анализ	Экономико-математическое моделирование Экспертная оценка Анализ теоретической и методической базы Факторный анализ Сетевое планирование SWOT-анализ	Экономико-математическое моделирование Экспертная оценка Анализ теоретической и методической базы Факторный анализ Сетевое планирование SWOT-анализ	Экспертная оценка Анализ теоретической и методической базы Сетевое планирование	
Предварительное определение нормы	Оценка и бенчмаркинг качества трудовой жизни Экономико-математическое моделирование Экспертная оценка норм	Экономико-математическое моделирование Экспертная оценка норм Декомпозиция целей	Моделирование функций, взаимосвязей, взаимодействия Экспертная оценка норм Бенчмаркинг функций	Экономико-математическое моделирование Хронометраж Экспертная оценка норм	Экономико-математическое моделирование Хронометраж Экспертная оценка норм Бенчмаркинг жизнеспособности	
Опробование нормы работником	Моделирование действий, условий и закрепление их в договоренностях Стажировка	Моделирование действий, условий и закрепление их в договоренностях Стажировка Личная инициатива Структурно-функциональное моделирование	Моделирование действий, условий и закрепление их в договоренностях Стажировка Эксперимент	Эксперимент Перекрестный аудит Обмен опытом по формированию и использованию материальных, нематериальных и неосозаемых активов	Эксперимент Стажировка Личная инициатива Организационное проектирование	
Оценка результативности/действенности и уточнение нормы	Мониторинг действий, условий и результатов Анкетирование Интервью Экспертная оценка	Мониторинг действий, условий и результатов Экспертная оценка	Мониторинг действий, условий и результатов Анкетирование Интервью Экспертная оценка Фотография рабочего дня Хронометраж	Мониторинг действий, условий и результатов Анкетирование Интервью Экспертная оценка Фотография рабочего дня Хронометраж	Мониторинг результатов Анкетирование Интервью Экспертная оценка	
Включение нормы в систему деятельности	Визуализация Структурно-функциональное моделирование Развивающая аттестация Методы развития корпоративной культуры (декларирование, ценностное регулирование) Оплата труда	Визуализация Развивающая аттестация Организационное проектирование Программирование развития	Стандартизация и регламентация функций и взаимодействия	Рейтинги Развивающая аттестация Стандартизация Регламентация Визуализация Методы управления рисками с учетом опасных производственных ситуаций (ОПС)	Хозрасчет Визуализация Развивающая аттестация KPI Методы управления рисками с учетом ОПС Программирование развития	

Анализ результатов работы с персоналом разреза «Бородинский» за последние 5 лет показал, что применение комплекса методов социально-экономического нормирования привело к росту нематериальных и неосязаемых активов. На рис. 5 представлено изменение приоритетов в работе руководителей и специалистов с факторами, определяющими качество производственного процесса, которое обуславливает уровень безопасности и эффективности производства и, как следствие, – жизнеспособность предприятия.

Результатом реализации методов социально-экономического нормирования трудовой деятельности на одном из угледобывающих предприятий Хакасии является повышение качества нормирования и планирования труда водителей автосамосвалов в увязке с системой оплаты труда. Актуальность этой работы была вызвана следующей сложившейся ситуацией: для стопроцентного выполнения нормы выработки в зависимости от расстояния и высоты транспортирования водителю требовалось от 7,5 до 9,5 производительных часов работы в смену, а в системе учета результатов эта разница не фиксировалась. Это привело к появлению «выгодных» и «невыгодных» маршрутов. Для обеспечения равной напряженности норм выработки после обсуждения выявленных недостатков в нормах с водителями автосамосвалов они были пересмотрены и утверждены на уровне 10 производительных часов в смену. Это позволило повысить тесноту связи результатов и оплаты труда, повысить среднемесячный и максимальный уровень заработной платы (рис. 6).

Опробование разработанного подхода к нормированию трудовой деятельности работников в практике работы горнодобывающих предприятий показало, что ощутимые результаты от социально-экономического нормирования трудовой деятельности достигаются в течение 5–7 лет при условии концентрации усилий управленческого персонала предприятия и компании. Таким образом, использование методов социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников на ряде горнодобывающих предприятий позволяет сделать вывод, что оно, по сути, является

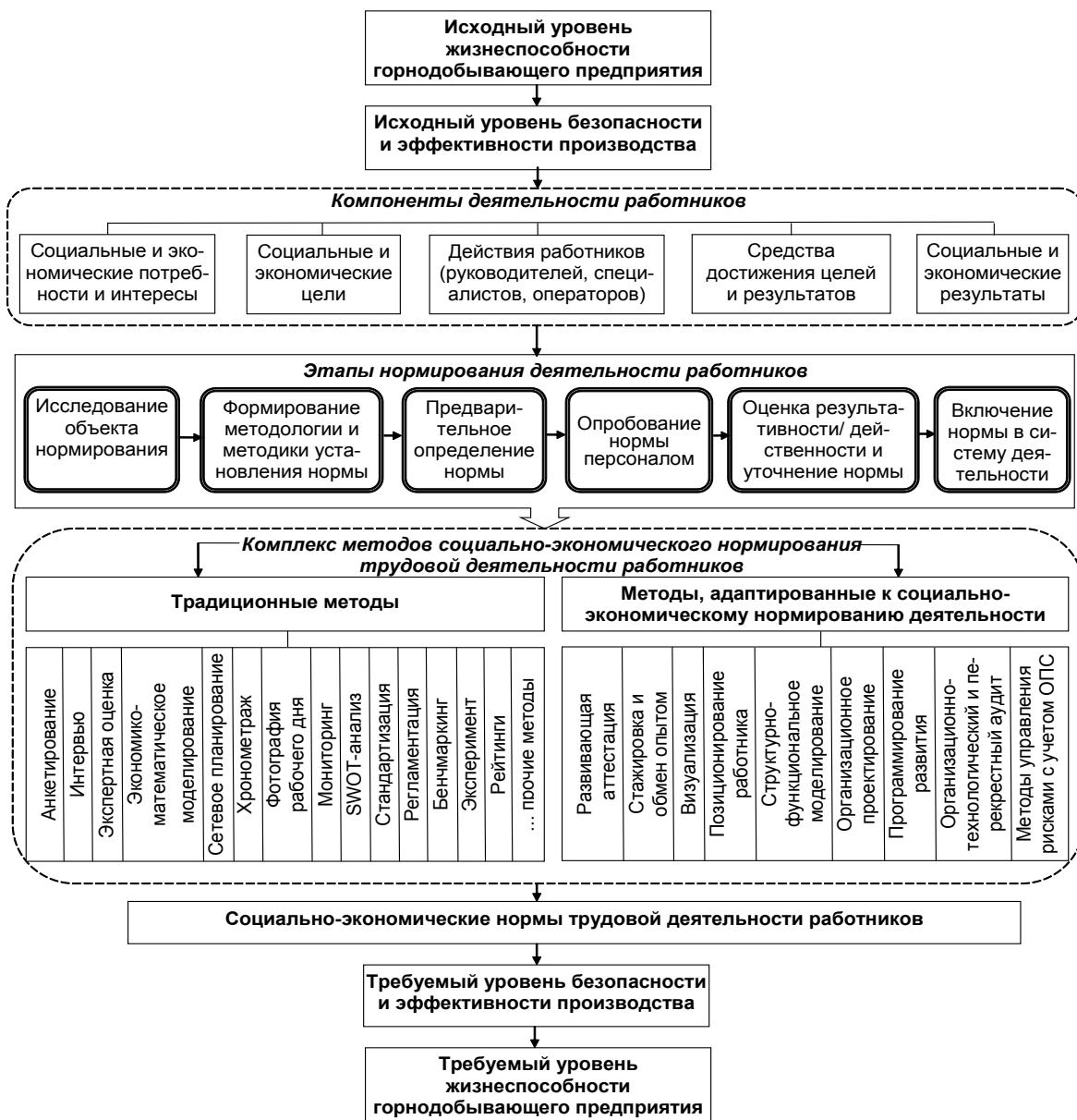


Рисунок 4. Структурная схема методов социально-экономического нормирования трудовой деятельности работников горнодобывающего предприятия [24].

Figure 4. The block scheme of the methods of socio-economic rationing of performance standards at the mining enterprise [24].

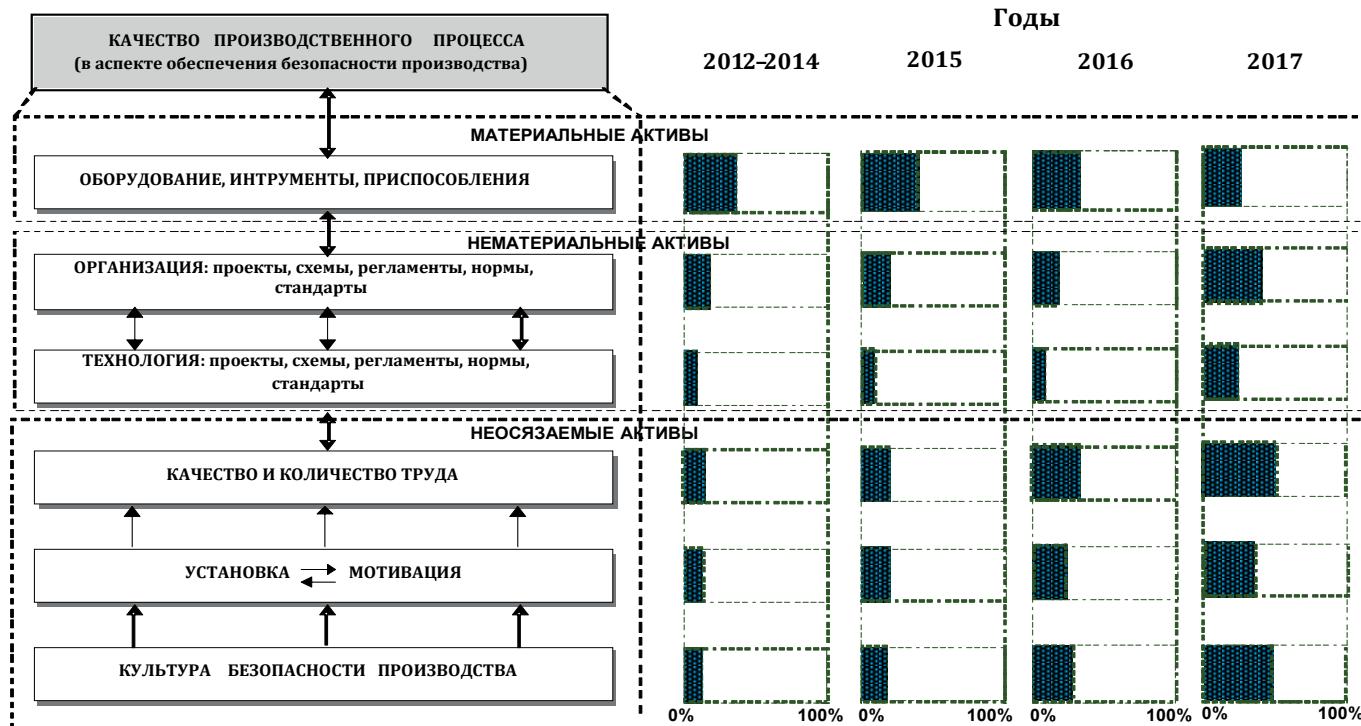
**Таблица 4. Примеры реализации методов социально-экономического нормирования деятельности персонала в Филиале АО «СУЭК-Красноярск» «Разрез «Бородинский» имени М. И. Щадова» (2012–2017 гг.)<sup>3</sup>**  
**Table 4. Examples of the implementation of methods of socio-economic performance standards at the branch of AO SUEK Krasnoyarsk, Borodinsky open-pit mine named after M. I. Shchadov (2012–2017)<sup>3</sup>**

Этап нормиро-вания	Объекты нормирования – компоненты деятельности персонала				
	Социальные и экономические по-требности и интересы	Социальные и экономические цели	Действия работников (руководителей, специалистов, операторов)	Средства достижения цели и результатов дея-тельности	Социальные и экономические результаты
Исследование объекта нормирования	<b>Анкетирование</b> работников по факторам, влияющим на безопасность и эффективность производства <b>Оценка связи ре-зультатов работы и оплаты труда</b> бригад вскрышного и добывчного участков, <b>баланса интересов</b> работника и работодателя по участку бульдозерной техники	<b>Позиционирова-ние предприятия</b> в среде функционирования <b>Аудит личных планов развития</b> работников и программ развития подразделений	<b>Анкетирование ма-стеров и механиков</b> о структуре своего времени и расхода ресурсов <b>Самофотографии</b> рабочего дня заместителями начальников участков, мастерами <b>Хронометражи ра-боты</b> экскаваторов вскрышного участка, бригад энергоучастка	<b>Организационно-технологический ау-дит</b> качества рабочих процессов по уровню их организованности и технологичности	<b>Оценка результатов реализации этапов развития предприятия</b> (1950–2014 г.г.) и реализуемых стратегий развития с позиции обеспечения жизнеспособности
Формирование методологии и методики установления нормы	<b>Факторный анализ</b> стратегий развития предприятия с позиции удовлетворения потребностей и интересов его субъектов	<b>Позиционирова-ние работников</b> (мастера, меха-ники, заместите-ли начальников участков, началь-ники участков) в отношении целей своего развития и развития предприятия <b>Анализ теорети-ческой и мето-дической базы</b> разработки стратегии развития предприятия с позиции удовлетворения социальных и экономических целей	<b>Анализ теоретиче-ской и методической базы</b> повышения качества взаимодействия персонала <b>Факторный анализ</b> качества ведения горных работ <b>Экспертная оценка</b> качества рабочих про-цессов и персонала в аспекте обеспечения безопасности труда; структуры функционала ОТиЗ	<b>Факторный анализ</b> качества производственного процесса <b>Экономико-матема-тическое модели-рование</b> результатов повышения качества производственного процесса	<b>Анализ теоретиче-ской и методической базы</b> обеспечения жизнеспособности на основе повышения качества производственного процесса <b>Экспертная оценка</b> критериев и показателей качества производственного процесса
Предварительное определение нормы	–	–	<b>Моделирование</b> производственного взаимодействия при выполнении норм выработки экскаваторами вскрышного участка	<b>Хронометраж</b> работы экскаваторов вскрышного участка <b>Экспертная оценка</b> уровня напряженности норм производительности экска-ваторов вскрышного участка	<b>Экономико-матема-тическое моделиро-вание</b> норм производительности экскаваторов на вскрышном участке
Опробование нормы персоналом	<b>Согласование па-спорта норм выра-ботки</b> экскаваторов вскрышного участка с бригадирами, мастерами и начальни-ком участка <b>Стажировка работ-ников</b> на передовых зарубежных пред-приятиях	<b>Моделирование</b> действий, условий выполнения паспортов норм выработки экскаваторов вскрышного участка, подготовка предложений по изменениям норм	<b>Оценка</b> мастерами и рабочими уровня риска выполнения операций по критериям вероятности и тяжести последствий	<b>Перекрестный аудит</b> безопасности труда на производственных участках <b>Обмен опытом</b> по орга-низации эффективного взаимодействия между участниками на аналитико-модели-рующих семинарах в НИИОГР	<b>Стажировка</b> работни-ков на передовых зар-убежных предприятиях

<sup>3</sup> Источник: разработано автором. В реализации методов принял непосредственное участие канд. техн. наук О. И. Черских, работающий на момент выполнения исследования в должности главного инженера.

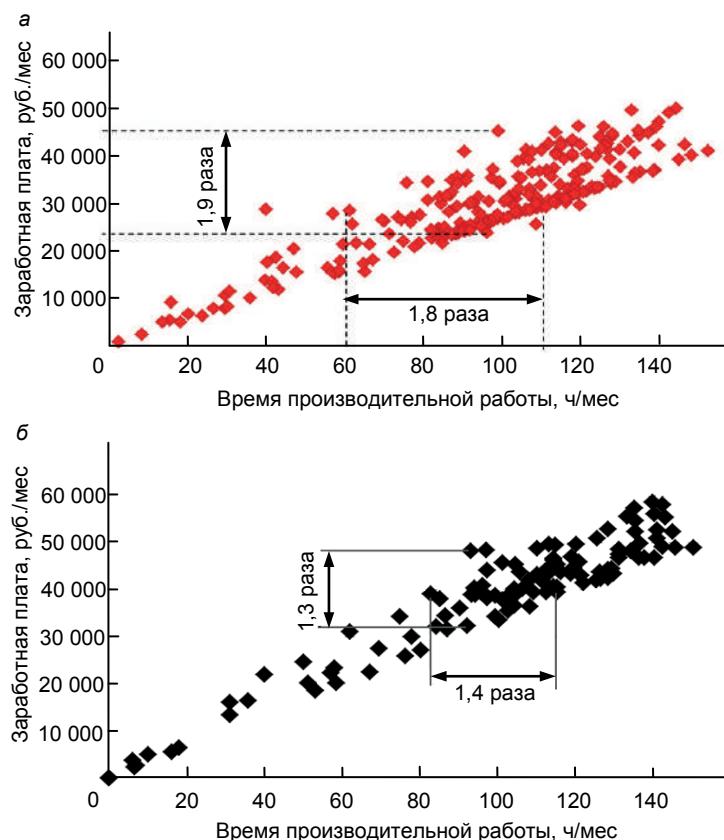
Этап нормирования	Объекты нормирования – компоненты деятельности персонала				
	Социальные и экономические потребности и интересы	Социальные и экономические цели	Действия работников (руководителей, специалистов, операторов)	Средства достижения цели и результатов деятельности	Социальные и экономические результаты
Оценка результативности/действенности и уточнение нормы	–	<b>Мониторинг</b> хода подготовки к развивающей аттестации, хода выполнения оргпроектов по повышению уровня организации труда на участках	<b>Экспертная оценка</b> мастерами и рабочими уровня риска выполнения операций по критериям вероятности и тяжести последствий <b>Фотография</b> рабочего дня и <b>хронометраж</b> выполнения операций	<b>Мониторинг изменения мотивации и квалификации</b> работников, прошедших обучение для повышения своего профессионализма	<b>Мониторинг результатов реализации</b> личных обязательств и организационных проектов <b>Экспертная оценка</b> качества личных обязательств, организационных проектов
Включение нормы в систему деятельности	<b>Экспертная оценка</b> уровня мотивации и квалификации работников <b>Поощрение</b> работников и руководителей участков, работники которых успешно прошли развивающую аттестацию	<b>Представление (визуализация)</b> результатов развивающей аттестации в корпоративных средствах массовой информации (ТВ, газета) <b>Разработка организационных проектов</b> по улучшению качества рабочих процессов на участках	<b>Разработка стандартов и регламентов</b> безопасного выполнения операций и рабочих процессов <b>Повышение работника</b> профессионализма в части научно-методической квалификации, участия в научно-практических конференциях	<b>Ведение системы рейтингов</b> результатов деятельности участков, мастеров и механиков <b>Подготовка и проведение ежегодной развивающей аттестации</b> линейного персонала	<b>Визуализация ОПС</b> по основным производственным участкам <b>Развивающая аттестация</b> мастеров, механиков, заместителей начальников и начальников участков <b>Планирование производства</b> с учетом мер по устранению ОПС

**Факторы, определяющие качество производственного процесса**



**Рисунок 5. Изменение приоритетов в работе с факторами, определяющими качество производственных процессов на разрезе «Бородинский» (2012–2017 гг.)**

**Figure 5. Changing priorities in working with factors determining the quality of production processes at the Borodinsky open-pit mine (2012–2017).**



**Рисунок 6. Связь количества производительных часов работы и заработной платы водителей автосамосвалов [26]. а – «старая» система оплаты труда (январь – май 2014 г.); б – «новая» система оплаты труда (август – сентябрь 2015 г.)**

**Figure 6. The link of the number of productive hours of work and wages of drivers of dump trucks [26]. a – “old” wage system (January – May 2014); b – “new” wage system (August – September 2015).**

инструментом управления развитием предприятия, необходимым для повышения его жизнеспособности в условиях возрастающей динамики социально-экономической среды.

#### Заключение

Основу методологии социально-экономического нормирования труда для работников горнодобывающего предприятия составляют определение, установление и контроль меры сопряженности социальных и экономических нормообразующих факторов, характеризующих как субъектов трудовой деятельности (потребности, интересы, цели, действия, средства достижения целей, результаты), так и систему их деятельности (функционалы, организация и технология производства, результаты и затраты труда). Такое понимание содержания социально-экономического нормирования труда для работников и его роли в обеспечении жизнеспособности предприятия позволяет руководителю использовать как традиционные, так и адаптированные методы нормирования в качестве эффективного инструмента установления и регулирования параметров трудовых процессов и особенно – контроля результатов труда работников в аспектах безопасности и эффективности. Реализация принципов и методов социально-экономического нормирования труда для работников позволила на ряде горнодобывающих предприятий обеспечить приращение нематериальных и неосозаемых активов – ключевых факторов жизнеспособности работников и предприятия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бычин В. Б., Забелина О.В. Организация труда в промышленности: анализ тенденций развития // Вестник ТвГУ. Сер. «Экономика и управление». 2013. Вып. 21. С. 135–141.
2. Килин А. Б., Азев В. А., Костарев А. С., Баев И. А., Галкина Н. В. Эффективное развитие угледобывающего производственного объединения: практика и методы / под ред. В. Б. Артемьева. М.: Горная книга, 2019. 280 с.
3. Коркина Т. А., Лапаева О. А. Организационно-технологический уклад: сущность, понятие и роль в развитии угледобывающего предприятия // Вестник ЧелГУ. Сер. «Управление». 2015. Вып. 10. № 1 (356). С. 71–76.
4. Мартынов А. В. Системная трансформация экономики и общества: российский выбор. М.: ЛЕНАД, 2016. 208 с.
5. Алексенко В. С., Акшенцев Ф. И., Браун О. Б., Дьяконов А. В., Коркина Т. А., Лапаева О. А., Яблонских Н. В., Жуков А. Л., Захаров С. И., Макарова В. А. Модели повышения эффективности и безопасности производства посредством совершенствования организации и оплаты труда // Отд. статья ГИАБ. 2012. № 4. 52 с. (Сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». Вып. 18.)
6. Макаров А. М. Структурный потенциал организации производства // ГИАБ. 2015. № S1-2. С. 232–239; Открытые горные работы в XXI веке-2: ГИАБ (отд. вып. № 45-2). М.: Горная книга, 2015. 368 с.
7. Korkina T. A., Zakharov S. I., Golovanov E. V., Aliukov S. V. Development of organizational-economic relations as a condition of enterprise viability // Proceedings of the 30<sup>th</sup> International Business Information Management Association Conference: Vision 2020: Sustainable Economic development, Innovation Management, and Global Growth. November 2017. Р. 1662–1669.
8. Захаров А. Д. Развитие системы нормирования труда персонала организаций сферы услуг: дис. ... канд. экон. наук. М., 2012. 162 с.
9. Милян А. Н. Нормирование труда управленческого персонала на промышленных предприятиях: дис. ... канд. экон. наук. Омск, 2011. 185 с.
10. Сластникова И. В. Нормирование управленческого труда в экономических службах банков: дис. ... канд. экон. наук. Омск, 2002. 242 с.

11. Пикалин Ю. А. Организация и нормирование труда в системе управления персоналом: теоретические и методологические аспекты: дис. ... д-ра экон. наук. М., 2003. 268 с.
12. Бартунаев Л. Р. Трансформация системы нормирования труда в условиях рыночной экономики: вопросы теории и практики: дис. ... д-ра экон. наук. М., 2005. 294 с.
13. Одегов Ю. Г., Галиахметов Р. А., Малинин С. В., Бабынина Л. С., Федоров Ю. В., Галиахметова М. Р., Фоминых Р. Л. Нормирование труда: от теории к практике применения на современном предприятии. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2016. 600 с.
14. Бухалков М. И. О принципах научного нормирования труда // Нормирование и оплата труда в промышленности. 2011. № 1. С. 8–15.
15. Литовченко Н. Н. Нормирование труда как объективная мера затрат труда и элемент организации заработной платы // Социально-трудовые отношения в современной России: проблемы и решения / под ред. д-ра экон. наук, проф. А. А. Разумова. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2016. 280 с.
16. Одегов Ю. Г., Бычин В. Б., Малинин С. В. Нормирование труда. Bookre. URL: <http://bookre.org/reader?file=630693&pg=18>
17. Вашко И. М. Организация и охрана труда. URL: <http://gigabaza.ru/doc/68149-p3.html>
18. Потуданская В. Ф., Горскина Л. С. Еще раз о принципах нормирования труда // Экономика труда. 2017. Т. 4, № 3. С. 197–208. <https://doi.org/10.18334/et.4.3.38201>
19. Коркина Т. А. Особенности нормирования труда в государственных и муниципальных учреждениях на современном этапе // Ключевые элементы развития человеческого потенциала, экономики и обеспечения экономической безопасности: сборник статей Междунар. науч.-практ. конф. (16 марта 2018 г.). Челябинск, С. 129–134.
20. Малинин С. В., Бахтизина А. Р., Старцев Г. Н. Методы нормирования труда в системе координат современного производства // Вестник УГГУ. Наука, образование, экономика. Сер. «Экономика». 2016. № 3 (17). С. 90–101.
21. Lengnick-Hall C. A., Beck T. E., Lengnick-Hall M. L. Developing a capacity for organizational resilience through strategic human resource management // Humane Resource Management Review. 2011. Vol. 21, № 3. P. 243–255.
22. Annarelli A., Nonino F. Strategic and operational management of organizational resilience: current state of research and future directions // Omega. 2016. Vol. 62. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.08.004>
23. Olusola O. Oduntan, Park N. Enterprise Viability Model: Extending Enterprise Architecture Frameworks for Modeling and Analyzing Viability under Turbulence // Journal of Enterprise Transformation. 2012. Vol. 2, Issue 1. P. 1–25. <https://doi.org/10.1080/19488289.2011.650279>
24. Коркина Т. А., Конакова О. В., Куксенко К. С., Лапаева О. А., Яблонских Н. В., Социально-экономическое нормирование деятельности персонала горнодобывающего предприятия: содержание и методы // Изв. УГГУ. 2018. Вып.1 (49). С. 123–128. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-1-123-128>
25. Яковлев В. Л., Азев В. А., Макаров А. М. Внутрипроизводственное планирование в условиях инновационного развития угледобывающего предприятия. Челябинск: АБРИС, 2019. 164 с.
26. Попов Д. В., Мухин Ф. К., Скребкова С. Ф., Блинов Г. Г., Немцова Т. В. Организационные способы повышения производительности труда водителей автосамосвалов // ГИАБ. 2015. № 11. С. 169–178; Управление развитием угледобывающего производственного объединения: ГИАБ (спец. вып. 62). М.: Горная книга, 2015.

Статья поступила в редакцию 23 мая 2019 г.

# Performance standards of workers of a mining enterprise: ground rules and methods

Oksana Anatol'evna LAPAEVA\*

Research Institute of efficiency and safety of mining production, Chelyabinsk, Russia  
Chelyabinsk Branch of the Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Chelyabinsk, Russia

**Relevance of the work.** The market economy of Russia and the dynamics of its processes are complex issues from theoretical and practical points of view, the solution of which largely determines the pace and results of the development of mining enterprises (ME), their viability. One of those problems is performance standards of workers of a mining enterprise, which largely ensure the effectiveness of the functioning of the enterprise as a socio-economic system at present and in the near future. Studies of the state and efficiency of institutions regulating the labor activity of workers in mining enterprises have established that the system of performance standards for labor activity formed in the state-run economy for regulating labor relations is least adapted to the dynamics of changes occurring in the external and internal environment of the enterprise. As a result, performance standards turn into a disruptive factor (it is a running practice of most enterprises) that determines the need for theoretical understanding and methodological substantiation of the principles and methods of regulatory actions for workers' labour in the transition to a new organizational and technological structure.

**The purpose of the work** is to determine the principles and methods of performance standards of workers of a mining enterprise, the implementation of which at mining enterprises will provide a balance of interests of workers and employers, focus of work on a significant increase in safety and efficiency of work.

**Methodology and research methods.** We chose an analysis of principles and methods as the main method of research; it is used in theory and practice of rationing the labor activity of ME employees based on the socio-economic rationing of the labor activity of workers added to the technical, technological and organizational rationing.

**Research results.** Some methodological principles of socio-economic regulation of labor activities of workers of the mining enterprise were developed. A set of methods for rationing the labor activity of workers has been developed. The implementation of the developed methods at a mining enterprise is confirmed by examples.

**Conclusion.** The proposed principles and methods of social and economic rationing of labor activities of workers of a mining enterprise allow to provide the required level of conjugacy of interests, goals, actions and results of activities of employees required for a substantial increase in safety and labor efficiency, which is confirmed by examples of their implementation in a number of mining enterprises.

This paper is debatable.

**Keywords:** norm, rationing, labor activity of employees, socio-economic performance standards, principles, methods, mining enterprise.

## REFERENCES

1. Bychin V. B., Zabelina O. V. 2013, Labor organization in industry: analysis of development trends. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta* [Herald of Tver State University], Series Economics and management, issue 21, pp. 135–141. (In Russ.)
2. Kiliin A. B., Azev V. A., Kostarev A. S., Baev I. A., Galkina N. V. 2019, *Effektivnoye razvitiye ugledobyyayushchego proizvodstvennogo ob'yedineniya: praktika i metody* [Effective development of coal mining industrial group: policies and actions]. Ed. by V. B. Artemyev. Moscow, 280 p.
3. Korkina T. A., Lapaeva O. A. 2015, Institutionally waves of innovation: essence, concept and role in the development of a coal mining enterprise. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Chelyabinsk State University], issue 10, no. 1 (356), pp. 71–76. (In Russ.)
4. Martynov A. V. 2016, *Sistemnaya transformatsiya ekonomiki i obshchestva: rossiyskiy vybor* [Systemic transformation of the economy and society: Russian choice]. Moscow, 208 p.
5. Alekseenko V. S., Akhshentsev F. I., Brown O. B., Diyakonov A. V., Korkina T. A., Lapaeva O. A., Yablonskikh N.V., Zhukov A. L., Zakharov S.I., Makarova V. A. 2012, Models of increasing the efficiency and safety of production through improving the organization and remuneration of labor. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten* (nauchno-tehnicheskii zhurnal) [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], no. 4, 52 p. (Ser. Package of a mining engineer-supervisor, issue 18).
6. Makarov A. M. 2015, Structural potential of production organization. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten* (nauchno-tehnicheskii zhurnal) [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], no. S1-2, pp. 232–239. (In Russ.); 2015, Open pit mining in the 21st century-2, *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten* (nauchno-tehnicheskii zhurnal) [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], individual article no. 45-2). Moscow, 368 p.
7. Korkina T. A., Zakharov S. I., Golovanov E. V., Aliukov S. V. 2017, Development of organizational-economic relations as a condition of enterprise viability. Proceedings of the 30<sup>th</sup> International Business Information Management Association Conference: Vision 2020: Sustainable Economic development, Innovation Management, and Global Growth. November, pp. 1662–1669.
8. Zakharov A. D. 2012, The development of the performance standards system in organizations of the service industry: PhD thesis, 162 p.
9. Miyadin A. N. 2011, Performance standards for executives at industrial enterprises: PhD thesis, 185 p.
10. Slastnikova I. V. 2002, *Normirovaniye upravlencheskogo truda v ekonomicheskikh sluzhbakh bankov* [Administrative performance standards in the economic services of banks], PhD thesis, 242 p.
11. Pikalov Yu. A. 2003, *Organizatsiya i normirovaniye truda v sisteme upravleniya personalom: teoreticheskiye i metodologicheskiye aspekty* [Performance standards in the personnel management system: theoretical and methodological aspects], PhD thesis. Moscow, 268 p.
12. Bartunaev L. R. 2005, *Transformatsiya sistemy normirovaniya truda v usloviyakh rynochnoy ekonomiki: voprosy teorii i praktiki* [Transformation of the labor valuation system in a market economy: theory and practice issues], PhD thesis. Moscow, 294 p.
13. Odegov Yu. G., Galiakhmetov R. A., Malinin S. V., Babynina L. S., Fedorov Yu. V., Galiakhmetova M. R., Fominykh R. L. 2016, *Normirovaniye truda: ot teorii k praktike primeneniya na sovremennom predpriyatiy* [Performance standards: from theory to practice in modern enterprise]. Izhevsk, 600 p.
14. Bukhalkov M. I. 2011, About the principles of scientific performance standards. *Normirovaniye i oplata truda v promyshlennosti* [Rationing and wages in industry], pp. 8–15. (In Russ.)
15. Litovchenko N. N. 2016, *Normirovaniye truda kak ob'yektivnaya mera zatrata truda i element organizatsii zarabotnoy platy* [Labor regulation as an objective measure of labor costs and an element of the organization of wages]. Social and labor relations in modern Russia: problems and solutions. Ed. prof. A. A. Razumov. Moscow, 280 p.

\*✉ lapaeva@yandex.ru

ID <https://orcid.org/0000-0002-8840-3327>

16. Odegov Yu. G., Bychin V. B., Malinin S. V. *Normirovaniye truda* [Performance standards]. Bookre. URL: <http://bookre.org/reader?file=630693&pg=18>
17. Vashko I. M. *Organizatsiya i okhrana truda* [Organization and labor protection]. URL: <http://gigabaza.ru/doc/68149-p3.html>
18. Potudanskaya V. F., Gorskina L. S. 2017, About the principles of the valuation of labor once again. *Ekonomika truda* [Labor Economics], vol. 4, no. 3, pp. 197–208 (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/et.4.3.38201>
19. Korkina T. A. Features of labor valuation in state and municipal institutions at the present stage. Key elements of human development, economics, and economic security: collection of papers of the International scientific and practical conference (March 16, 2018). Chelyabinsk, pp. 129–134.
20. Malinin S. V., Bakhtizina A. R., Startsev G. N. 2016, Methods of rationing of labor in the coordinate system of modern production. *Vestnik UGNTU* [Bulletin USPTU], Science, education, economics. Series no. 3 (17), pp. 90–101. (In Russ.)
21. Lengnick-Hall C. A., Beck T. E., Lengnick-Hall M. L. 2011, Developing a capacity for organizational resilience through strategic human resource management. *Humane Resource Management Review*, vol. 21, no. 3, pp. 243–255.
22. Annarelli A., Nonino F. 2016, Strategic and operational management of organizational resilience: current state of research and future directions. *Omega*, vol. 62, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.08.004>
23. Olusola O., Oduntan, Park N. 2012, Enterprise Viability Model: Extending Enterprise Architecture Frameworks for Modeling and Analyzing Viability under Turbulence. *Journal of Enterprise Transformation*, vol. 2, issue 1, pp. 1–25. <https://doi.org/10.1080/19488289.2011.650279>
24. Korkina T. A., Konakova O. V., Kuksenko K. S., Lapaeva O. A., Yablonskikh N. B., 2018, Socio-economic regulation of the staff activities of the mining enterprise: support and methods. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 1 (49), pp. 123–128 (In Russ.). <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-1-123-128>
25. Yakovlev V. L., Azev V. A., Makarov A. M. 2019, *Vnutriproizvodstvennoye planirovaniye v usloviyakh innovatsionnogo razvitiya ugledobyvayushchego predpriyatiya* [Internal planning in terms of the innovative development of a coal-mining enterprise]. Chelyabinsk, 164 p.
26. Popov D. V., Mukhin F. K., Skrebkova S. F., Blinov G. G., Nemtsova T. V. 2015, Organizational ways for improving labour efficiency of drivers of dump trucks. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten* (nauchno-tehnicheskii zhurnal) [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], no. 11, pp. 169–178 (In Russ.); 2015, Management of development of coal mining industrial group: *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten* (nauchno-tehnicheskii zhurnal) [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)], special issue 62. Moscow, 312 p.

The article was received on May 23, 2019

# Особенности системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных районах Урала

Татьяна Анатольевна ЛЕБЕДЕВА\*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Россия, Новосибирск

**Актуальность** совершенствования методологии и принципов системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных районах состоит в отражении в более полной мере общественной значимости природно-ресурсного потенциала лесных земель, который подвергается существенной трансформации при промышленном освоении территории, в т. ч. при освоении ресурсов нефти.

**Целью** исследования является совершенствование методологии системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных районах Урала в соответствии с современными положениями концепции экологически устойчивого развития территории.

**Методология** системного мониторинга базируется на концепции экологически устойчивого развития территории (биотической регуляции окружающей среды), учете широкопространственных и долговременных последствий, математическом моделировании природных объектов, явлений и процессов, совмещении процедур сбора и обработки информации с алгоритмами прогноза и принятия решений.

**Результаты и их применение.** Рассмотрены функции системного мониторинга лесных ландшафтов: мониторинг состояния лесных ландшафтов фиксирует изменение параметров лесных ресурсов, среодоформирующих и средозащитных функций; мониторинг использования – контроль целевого и функционального использования, тенденций и динамики использования природно-ресурсного потенциала; мониторинг прогнозирования – формирование моделей природных объектов, явлений и процессов. Изложены основные научно-технологические принципы системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных регионах: фиксация и сбор показателей, их накопление и систематизация, представление информации в соответствии с особенностями лесных ландшафтов – классификатором таких участков, прогнозирование изменения параметров лесопокрытых ландшафтов в промышленных районах. Установлены возможные типы лесовосстановительных смен древостоеов на лесопокрытых ландшафтах в промышленных районах. Приведены результаты комплексной эколого-экономической оценки по данным системного мониторинга растительного покрова (лесов) на территории Собственно-Качканарского месторождения железных руд, подлежащего коренной трансформации (вырубка древостоеов).

**Ключевые слова:** промышленные районы, системный мониторинг, методология, научно-технологические принципы, природные объекты, экологические функции, эколого-экономическая оценка.

## Bведение

Развитие промышленных районов Урала связано, в первую очередь, с недропользованием. Все существующие горнопромышленные производства расположены среди лесопокрытых ландшафтов и в течение длительного функционирования оказали существенное трансформирующее влияние на окружающие природные экосистемы [1–3]; их дальнейшая производственная деятельность будет вызывать более сложные воздействия на окружающую среду из-за наличия уже накопленных загрязнений и трансформаций. Все планы дальнейшего развития горнодобывающих и перерабатывающих промышленных комплексов на Урале [4–6] оказываются связанными с необходимостью более детального учета экологических последствий в условиях современных природных, экономических и социальных вызовов и рисков [7–10].

Лесопокрытые ландшафты составляют часть территорий лесных земель, которые включают и участки, не покрытые лесной растительностью (вырубки, гари, погибшие лесонасаждения). Системный мониторинг лесопокрытых ландшафтов в общем виде [11–13] представляет собой многоцелевую информационную систему наблюдений, оценки и прогнозирования, состоящую из мониторинга:

- состояния лесных ландшафтов;
- использования лесных ландшафтов;
- прогнозов состояния и использования лесных ландшафтов.

Достоверная информация для прогнозирования состояния лесопокрытых ландшафтов основывается на обязательном знании о прошлом состояния лесных экосистем (о параметрах, характеристиках и индикаторах коренных типов леса на конкретных территориях).

Необходимость совершенствования методологии и научно-технических принципов системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных регионах вызвана следующими причинами:

– возрастающей экологической значимостью лесных экосистем как основы биотической регуляции на данной территории (трансформация лесных земель ведет к нарушению гидрологического режима территорий, разрушению почв, деградации коренной флоры и фауны) [14];

– незаменимостью лесных экосистем как главного поглотителя и нейтрализатора промышленных загрязнений воздуха, почвы, воды на техногенно освоенной территории Среднего Урала (в год в атмосферу поступают 1,6–1,9 млн т загрязненных вод);

– растущими интересами землепользователей (природопользователей) в переводе лесных земель лесного фонда в земли иных категорий (на Урале, главным образом, в земли промышленности и в земли транспорта);

– недостаточным существующим научно-методическим обеспечением системного мониторинга и земельно-оценочных работ по лесным землям, не отражающим в полной мере общественную (не только с позиций индивидуальных землепользователей) значимость природно-ресурсного потенциала этих земель;

– несоответствием мониторинговых и оценочных работ по лесным землям в настоящее время современным положениям концепции устойчивого развития территории.

\*✉ taranova.ebk@bk.ru



**Рисунок 1. Цель и функции системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных регионах.**  
**Figure 1. Purpose and functions of system monitoring of forested areas in industrial regions.**

## Методы

Схема функций системного мониторинга лесных земель в промышленных регионах приведена на рис. 1.

Методология системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных районах базируется:

- на фундаментальных научных положениях концепции экологически устойчивого развития территорий [15, 16], основой которых является биотическая регуляция окружающей природной среды [17, 18];
- учете широкопространственных и долговременных последствий недропользования в промышленных регионах;
- математическом моделировании природных объектов [19–26], явлений [22] и процессов [23] в пространстве (динамика соотношений древостоеов по породному составу и типам лесовосстановления в производных лесах) и во времени (изменения биометрических и биопродукционных параметров лесных земель), позволяющем ввести временной масштаб в прогнозирование состояния лесных экосистем;
- совмещении процедур сбора и обработки данных с моделями структурных элементов лесных экосистем и с алгоритмами прогноза и принятия решений [24] в сфере недропользования в промышленных регионах.

## Результаты

Основные научно-технологические принципы системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных регионах, учитывающие степень трансформации природных (лесных) объектов, изменения природных явлений в лесных экосистемах и изменения характера лесообразовательных процессов на трансформированных территориях, включают:

- фиксацию и сбор показателей лесопокрытых ландшафтов; перечень основных натуральных показателей экологического потенциала (средоформирующих функций) лесопокрытых ландшафтов (табл. 1);
- накопление и систематизацию показателей лесопокрытых ландшафтов (примеры полученных гистограмм изменения высоты (относительной) древостоеов и текущих приростов по запасу древесины на Среднем Урале отражены на рис. 2, 3);
- представление информации по лесопокрытым ландшафтам в соответствии с особенностями промышленных территорий (система классификаторов участков лесных ландшафтов при системном мониторинге приведена в табл. 2);
- прогнозирование изменения параметров лесных ландшафтов в промышленных регионах (возможные типы лесовосстановительных смен по группам типов леса (сосняков) даны в табл. 3).

**Таблица 1. Натуральные показатели средоформирующих функций лесопокрытых ландшафтов.**  
**Table 1. Physical indicators of the environment-forming functions of forested areas.**

Средоформирующие функции лесопокрытых ландшафтов	Натуральные показатели функций (качественные и количественные)
Поддержание состава воздуха атмосферы	Средние периодические приrostы древесины. Коэффициенты соизмерения прироста фитомассы отдельных компонентов лесонасаждений. Способность поглощать CO <sub>2</sub> и выделять O <sub>2</sub> . Коэффициенты, корректирующие эту способность. Объемный вес древесины
Водоохранно-водорегулирующая	Показатели атмосферных осадков. Средние многолетние показатели речного стока. Высота древостоеов. Коэффициенты, корректирующие рельеф водосбора, породу деревьев, возраст лесонасаждения, его полноту и бонитет
Климатоформирующая	Скорость ветра, температура и влажность воздуха и почвы, испарение влаги с поверхности почвы и количество заморозков, накопление снега
Средозащитные функции (воздухочистительная, почвозащитная, водоочистительная)	Минимальная ширина защитных зон (полос) леса. Способность лесной растительности поглощать из атмосферы газообразные, аэрозольные загрязнения и пыль. Способность напочвенного покрова и воды задерживать загрязнения. Способность лесной растительности противостоять водной эрозии почв

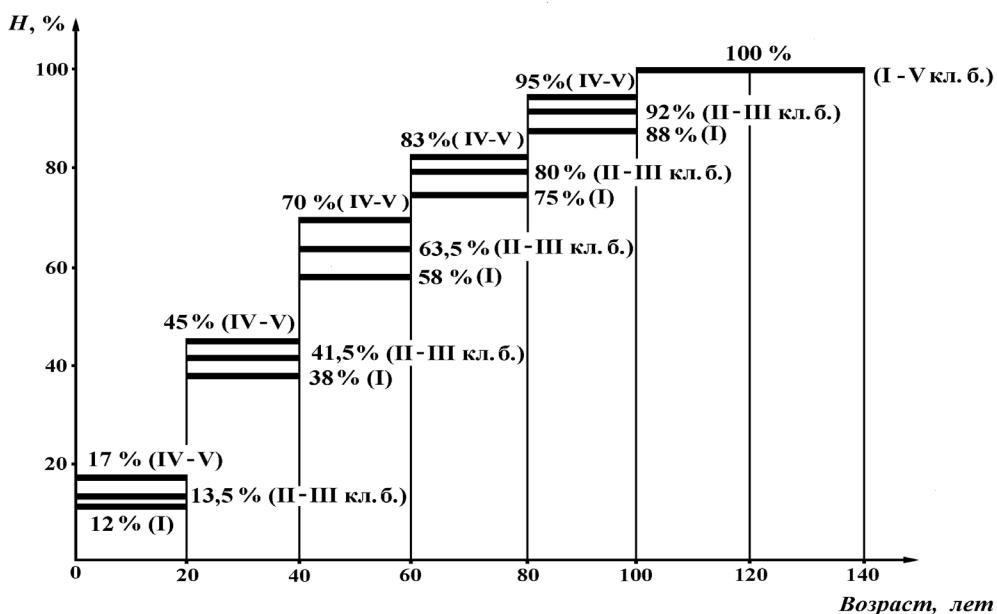


Рисунок 2. Гистограммы изменения относительной высоты хвойных лесонасаждений на Среднем Урале по классам возраста (после обработки данных Н. В. Костина [25], А. В. Тюрина [26], Е. П. Смоловогова [27]).

Figure 2. Bar graphs of changes in the relative height of coniferous forest plantations in the Middle Urals by age classes (after processing by N. V. Kostin [25], A. V. Tyurin [26], E. P. Smolongov [27]).

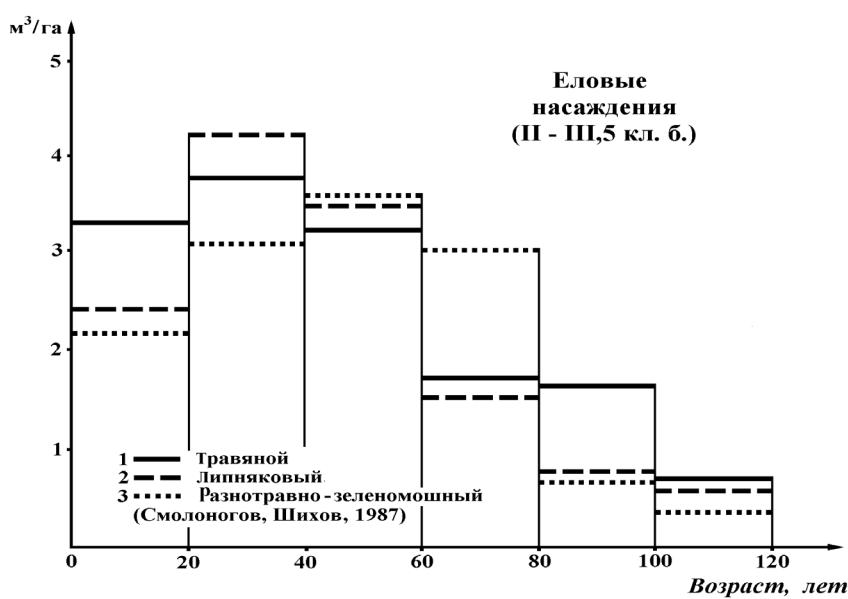


Рисунок 3. Гистограммы изменения текущих периодических приростов по запасу древесины в ельниках Среднего Урала (по исходным данным Е. П. Смоловогова [27], М. И. Гальперина [28]).

Figure 3. Bar graphs of changes in the current periodic growing stock increment of wood in the spruce grove of the Middle Urals (according to the initial data of E. P. Smolongov [27], M. I. Galperin [28]).

Результаты системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов являются базой для последующей комплексной оценки таких земельных участков. В табл. 4 представлены результаты расчёта по данным системного мониторинга и комплексной эколого-экономической оценке растительного покрова (лесных экосистем) на территории планируемой разработки Собственно-Качканарского месторождения железных руд, подлежащего коренной трансформации (вырубка древостоеv).

Использована шкала кадастровой стоимости лесных земель из Постановления Правительства Свердловской области № 1276-ПП<sup>1</sup> с учетом коэффициентов инфляции за период 1999–2018 гг.

<sup>1</sup>О кадастровой оценке лесов Свердловской области: постановление Правительства Свердловской области № 1276-пп от 04.11.1999 г.

**Таблица 2. Система классификаторов участков лесопокрытых ландшафтов при системном мониторинге.**  
**Table 2. The system of classifiers of forested areas with system monitoring.**

Категории земель	Виды функционального использования лесных участков	Природные (лесные блага)	Виды эффектов		
			Начальный	Промежуточный	Конечный
Земли сельскохозяйственного назначения	Эксплуатационные леса	Лесные ресурсы	Круглые лесоматериалы	Пиломатериалы	Здания, сооружения
	Заросшие сельхозугодия	Поглощение CO <sub>2</sub> Выделение O <sub>2</sub>			
Земли населенных пунктов	Рекреационные (зеленые) зоны	Средообразующие функции (климат, почва)	Рекреационные нагрузки	–	Уровень заболеваемости населения Продолжительность жизни
	Лесопарки	Средозащитные функции (воздух, вода, почва)			
Земли лесного фонда	Эксплуатационные леса	Средообразующие функции (климат, почва)	Крупные лесоматериалы: щепа, дрова	Пиломатериалы, плиты, целлюлоза	Здания, сооружения, дома, мебель, бумага, картон
	Защитные леса: виды защитных лесов	Средозащитные функции (воздух, вода, почва)	Рекреационные нагрузки		Уровень заболеваемости населения

**Таблица 3. Возможные типы лесовосстановительных смен древостоев на лесопокрытых ландшафтах в промышленных районах (использованы данные Б. П. Колесникова [29], Е. П. Смолоногова [27], Р. П. Исаевой [30]).**

Table 3. Possible types of reafforestation shifts of growing stock on forested areas in industrial regions (data from B. P. Kolesnikov [29], E. P. Smolonogov [27], R. P. Isaeva [30]).

Группа типов леса	Сосняки		Ельники	
	С подростом предварительной генерации	Без подроста предварительной генерации	С подростом предварительной генерации	Без подроста предварительной генерации
Брусничная	1	2; 3	–	–
Ягодниковая	1	2; 3	1; 3	3; 4; 5
Липняковая	1; 3	4; 5	3	5
Разнотравная	1; 3	4; 5	3	4; 5
Травяно-зеленомошная	1; 3	4; 5	1; 3	3; 4; 5
Мшисто-хвошовая	1; 3	4; 5	1; 3	4; 5
Сфагновая, травяно-болотная	1; 3	4; 5	3	4; 5

Примечание. Условные обозначения типов лесовосстановительных смен: 1 – условно-коренные хвойные из подроста предварительной генерации; 2 – условно-коренные хвойные при последующем возобновлении; 3 – коротко-производные лиственные; 4 – длительно-производные лиственные; 5 – устойчиво-производные лиственные.

Note. Legend of types of reafforestation shifts: 1 – nominally primary coniferae from the young growth of preliminary generation; 2 – primary coniferae with subsequent renewal; 3 – short-term secondary deciduous; 4 – secondary permanent deciduous; 5 – secondary sustained deciduous.

**Таблица 4. Комплексная эколого-экономическая оценка растительного покрова (лесов) на территории Собствено-Качканарского месторождения железных руд.**

Table 4. Comprehensive ecological feasibility study of cover crop (forests) whithin the territory of the Sobstvenno-Kachkanarsky iron ore deposit.

Преобладающая порода древостоя	Площадь, га	Стоимость, млн руб.			Всего
		лесных ресурсов	средоформирующих функций леса	социальных функций леса	
Горные леса					
сосна	1000	22	158	–	180
ель	300	5,5	36,5	–	42
береза	200	3,5	18,5	–	24
Кедровники (кедр)	250	20	70	–	90
Зеленая зона, г. Качканар	4				
сосна	–	12	60	72	144
ель	100	2	12	14	28
береза	250	4	20	36	60
<i>Итого</i>	2500	69	–	122	568

### **Заключение**

Таким образом, методология системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных районах основывается на биотической регуляции окружающей среды, учете широкопространственных и долговременных последствий природопользования, моделировании природных объектов, явлений и процессов, совмещении процедур сбора и обработки информации данных с алгоритмами прогноза. Научные принципы системного мониторинга включают фиксацию и сбор показателей лесных ландшафтов, их накопление и систематизацию, представление информации в системе классификаторов и прогнозирование изменяемых параметров. Обоснованная методология и разработанные принципы системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов могут быть использованы при решении практических задач устойчивого землепользования в промышленных регионах при освоении ресурсов недр.

*Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433.*

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Вершинина Е. Ю. Кузнецова А. В. Экологические требования к организации горнодобывающей деятельности: российский и международный подходы // Изв. вузов. Горный журнал. 2011. № 11. С. 154–159.
2. Игнатьева М. Н., Литвинова А. А. Экологизация социально-экономического подхода к освоению природных ресурсов // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 3. С. 57–62.
3. Антонинова Н. Ю., Чайкина Г. М., Рыбникова Л. С., Шубина Л. А., Фельдман А. Л. Геоэкологические проблемы земле- и водопользования на месторождениях Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 1. С. 89–92.
4. Душин А. В., Пахомов В. П. Перспективы формирования сырьевой базы научноемких отраслей // Материалы 14-й науч.-практ. конф. Ханты-Мансийск, 2013. Т. 2. С. 125–133.
5. Ильин С. А., Коваленко В. С., Пастухин Д. В. Открытые горные работы на Урале: настоящее и будущее // Горный журнал. 2013. № 2. С. 95–100.
6. Корнилов С. В., Лаптев Ю. В., Кантемиров В. Д. Стратегия освоения месторождений полезных ископаемых Приполярного Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 7. С. 30–37.
7. Замолодчиков Д. Г. Антропогенные и естественные компоненты динамики температуры на территории России // Использование и охрана природных ресурсов России. 2013. № 1. С. 36–42.
8. Шполянская Н. А. Устойчивость вечной мерзлоты к глобальным изменениям климата // Использование и охрана природных ресурсов. 2013. № 6. С. 37–41.
9. Quiggin J. *Zombie Economics. How dead ideas walk among us*. Princeton: Princeton University Press, 2010. 288 р.
10. Global Wealth 2017: The Year in Review. URL: <https://www.creditsuisse.com/corporate/en/research/research-institute/global-wealth-report.html>
11. Исаев А. С. Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы. М.: Наука, 2002. 453 с.
12. Каевицер В. И., Крапивин В. Ф., Потапов И. И. Экономически эффективная информационно-моделирующая технология мониторинга лесных экосистем и оценка их роли в изменении климата // Экономика природопользования. 2015. № 4. С. 57–61.
13. Лебедева Т. А. Мониторинг трансформации лесных земель на Среднем Урале // ИнтерэксоГеоСибирь: сб. материалов XII междунар. науч. конф. Новосибирск: СГУГИТ, 2016. С. 176–181.
14. Колсалапов О. В., Игнатьева М. Н. Экологически устойчивое недропользование: понятие, основополагающие принципы // Изв. вузов. Горный журнал. 2019. № 2. С. 79–89.
15. The report of the United Nations on the environment and development, Rio de Janeiro, on June 3–14, 1992, vol. I, Resolutions adopted at the Conference. [http://undocs.org/ru/A/CONF.15/26/REV.1\(VOL.1\)](http://undocs.org/ru/A/CONF.15/26/REV.1(VOL.1))
16. The report at the world summit on sustainable development. Johannesburg, South Africa. 2002. URL: <http://docs.ctnd.ru/document/901893000>
17. Горшков В. Г. Структура биосферных потоков энергии // Ботанический журнал. 1980. № 11. С. 1579–1590.
18. Vitousek P. M., Ehrlich P. R., Ehrlich A. E., Matson P. A. Human appropriation of the products of photosynthesis // BioScience. 1986. Vol. 36, issue 6. С. 368–373. <https://doi.org/10.2307/1310258>
19. Mayer H. The vertical distribution of the net radiation budget within a spruce forest in summer // Meteorology and Atmospheric Physics. 1981. Vol. 29, № 4. Р. 381–392. <https://doi.org/10.1007/BF02263313>
20. Sellers P. J. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration // Int. J. Remote Sens. 1985. № 6. Р. 1335–1372.
21. Takanao A., Yasushi Y. Estimation of latent heat flux in forest areas by ASTER data // Proceedings of the Conference of the Remote Sensing Society of Japan. 2006. Vol. 41. Р. 311–312.
22. Tunick A. A radiation and energy budget algorithm for forest canopies // Meteorology and Atmospheric Physics. 2006. Vol. 91, № 1–4. Р. 237–246.
23. Лебедева Т. А. Трубина Л. К. Модели лесных земель как базовые блоки геоинформационных систем мониторинга в землепользовании // Вестник СГУГИТ. 2017. Т. 22, № 1. С. 178–189.
24. Lebedeva T. A., Kopylova Yu.Yu. Prediction and decision-making algorithms in system monitoring of forest lands. URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/iscfec-18>.
25. Костин Н. В., Иванов В. Ф., Животовский В. В. Производительность еловых насаждений на автотрофных почвах разного механического состава // Теория лесообразовательного процесса. Красноярск, 1991. С. 75–76.
26. Тюрин А. В., Науменко Н. М., Воронцов П. В. Лесная вспомогательная книжка. М.: Лесная промышленность, 1956. 532 с.
27. Смолоногов Е. П. Лесообразовательный процесс и проблемы лесной типологии // Лесообразовательный процесс на Урале и в Зауралье. Екатеринбург, 1996. С. 4–25.
28. Гальперин М. И., Николин А. А. Ландшафтная таксация лесопарковых насаждений. Свердловск: УФАН СССР. 136 с.
29. Колесников Б. П. Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесообразовательные условия и типы лесов Свердловской области (практическое руководство). Свердловск: Изд-во ИЭРИЖ, 1973. 176 с.
30. Исаева Р. П. Экологизация систем ведения лесного хозяйства – основа рационального лесопользования // Наука и оборонный комплекс – основные ресурсы Российской модернизации. Екатеринбург, 2002. С. 508–510.

*Статья поступила в редакцию 28 мая 2019 г.*

# Features of system monitoring of forested areas in industrial regions of the Urals

Tat'yana Anatol'evna LEBEDEVA<sup>\*</sup>

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

**Relevance of the work:** The relevance of improving the methodology and principles of system monitoring of forested areas in industrial regions is to reflect more fully the social significance of the natural-resource potential of forest land, which undergoes a significant transformation during industrial development of the territory, including the development of subsoil resources.

**The purpose** of the study is to improve the methodology of system monitoring of forested areas in industrial regions of the Urals in accordance with the current situation of environmentally sustainable development of the territory.

**The system monitoring methodology** is based on the concept of environmentally sustainable development of territories (biotic regulation of the environment), taking into account spatial and long-term effects, mathematical modeling of natural objects, phenomena, and processes, combining information collection and processing procedures with forecast and decision-making algorithms.

**Results and their application.** The functions of system monitoring of forested areas are considered: monitoring of the state of forested areas fixes changes in the parameters of forest resources, environment-forming, and environmental functions; monitoring of use – monitoring of target and functional use, trends and dynamics of the use of natural resource potential; monitoring forecasting – the formation of models of natural objects, phenomena and processes. The main scientific and technological principles of system monitoring of forested areas in industrial regions are outlined: fixation and collection of indicators, their accumulation, and systematization, presentation of information in accordance with the characteristics of forested areas (classifier of such sites), forecasting changes in the parameters of forested areas in industrial regions. The possible types of reforestation shifts of growing stock on forested areas in industrial regions are established. The results of a comprehensive environmental and economic assessment are given according to the system monitoring of cover crop (forests) whithin the territory of the Sobstvenno-Kachkanarsky iron ore deposit, which ought to be radically transformed (clearance of growing stock).

**Keywords:** industrial regions, system monitoring, methodology, scientific and technological principles, natural objects, environmental functions, environmental and economic assessment.

*This paper was prepared with the support and within the framework of the The Russian Foundation for Basic Research grant No 17-06-00433.*

## REFERENCES

1. Vershinina E. Yu. Kuznetsova A. V. 2011, Environmental requirements for the organization of mining activities: Russian and international approaches. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 11, pp. 154–159. (In Russ.)
2. Ignat'eva M. N., Litvinova A. A. 2015, Ecologization of the social and economic approach to the development of natural resources. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 3, pp. 57–62. (In Russ.)
3. Antoninova N. Yu., Chaikina G. M., Rybnikova L. S., Shubina L. A., Feldman A. L. 2012, Geocological problems of land and water use in the Ural fields. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 1, pp. 89–92. (In Russ.)
4. Dushin A. V., Pakhomov V. P. 2013, *Perspektivny formirovaniya syr'evoy bazy naukoyemkikh otrasley* [Prospects for the formation of the resource base of high-tech industries]. Proceeding of the 14th research/practice conference. Khanty-Mansiysk, vol. 2, pp. 125–133.
5. Il'in S. A., Kovalenko V. S., Pastikhin D. V. 2013, Open pit mining in the Urals: present and future. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], no. 2, pp. 95–100. (In Russ.)
6. Kornilkov S. V., Laptev Yu. B., Kantemirov V. D. 2013, The strategy for the development of mineral deposits of the Subpolar Urals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7, pp. 30–37. (In Russ.)
7. Zamolodchikov D. G. 2013, Anthropogenic and natural components of temperature dynamics in Russia. *Ispol'zovaniye i okhrana prirodykh resursov Rossii* [Use and protection of natural resources of Russia], pp. 36–42. (In Russ.)
8. Shpolyanskaya N. A. 2013, Steadiness of permafrost to global climate change. *Ispol'zovaniye i okhrana prirodykh resursov Rossii* [Use and protection of natural resources of Russia], no. 6, pp. 37–41. (In Russ.)
9. Quiggin J. 2010, *Zombie Economics. How dead ideas walk among us*. Princeton: Princeton University Press, 288 p.
10. Global Wealth 2017: The Year in Review. URL: <https://www.w.w.creditsuisse.com/corporate/en/research/research-institute/global-wealth-report.html>
11. Isaev A. S. 2002, *Monitoring biologicheskogo raznoobraziya lesov Rossii: metodologiya i metody*. [Monitoring of forest biological diversity in Russia: methodology and methods]. Moscow, 453 p.
12. Kaevtser V. I., Krapivin V. F., Potapov I. I. 2015, Cost-effective information-modeling technology for monitoring forest ecosystems and assessing their role in climate change. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Economics of nature use], no. 4, pp. 57–61. (In Russ.)
13. Lebedeva T. A. 2016, Monitoring the transformation of forest land in the Middle Urals. IntyerekspoGyeo-Sibiria, collection of papers of XII international scientific conference. Novosibirsk, p. 176–181.
14. Kosolapov O. V., Ignatieva M. N. 2019, Environmentally sustainable subsoil use: concept, fundamental principles. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2, pp. 79–89. (In Russ.)
15. 2002, The report of the United Nations on the environment and development, Rio de Janeiro, on June 3–14, 1992, vol. I, Resolutions adopted at the Conference. [http://undocs.org/ru/A/CONF.15/26/REV.1\(VOL.I\)](http://undocs.org/ru/A/CONF.15/26/REV.1(VOL.I))
16. The report at the world summit on sustainable development. Johannesburg, South Africa. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901893000>
17. Gorshkov V. G. 1980, Structure of biospheric energy flows. *Botanicheskii Zhurnal* [Botanic journal], pp. 1579–1590. (In Russ.)
18. Vitousek P. M., Ehrlich P. R., Ehrlich A. E., Matson P. A. 1986, Human appropriation of the products of photosynthesis. *BioScience*, vol. 36, issue 6, pp. 368–373. <https://doi.org/10.2307/1310258>
19. Mayer H. 1981, The vertical distribution of the net radiation budget within a spruce forest in summer. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 29, no. 4, pp. 381–392. <https://doi.org/10.1007/BF02263313>
20. Sellers P. J. 1985, Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *Int. J. Remote Sens.*, no. 6, pp. 1335–1372.
21. Takao A., Yasushi Y. 2006, Estimation of latent heat flux in forest areas by ASTER data. Proceedings of the Conference of the Remote Sensing Society of Japan, vol. 41, pp. 311–312.

\* [taranova.ekb@bk.ru](mailto:taranova.ekb@bk.ru)

22. Tunick A. 2006, A radiation and energy budget algorithm for forest canopies. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 91, no. 1-4, pp. 237–246.
23. Lebedeva T. A. Trubina L. K. 2017, Forest land models as basic blocks of geoinformation monitoring systems in land use. *Vestnik SGUGiT* [Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies], vol. 22, no. 1. pp. 178–189. (*In Russ.*)
24. Lebedeva T. A., Kopylova Yu.Yu. Prediction and decision-making algorithms in system monitoring of forest lands. URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/iscfec-18>.
25. Kostin N. V., Ivanov V. F., Zhivotovsky V. V. 1991, *Proizvoditel'nost' yelovykh nasazhdenny na avtotrofnykh pochvakh raznogo mekhanicheskogo sostava* [Productivity of spruce plantations on autotrophic soils of different texture]. Theory of forest formation process. Krasnoyarsk, pp. 75–76.
26. Tyurin A. V., Naumenko N. M. Vorontsov P. V. 1956, Forest supplemental book. Moscow, 532 p.
27. Smolonogov E. P. 1996, *Lesoobrazovatel'nyy protsess i problemy lesnoy tipologii* [Forest formation process and problems of forest typology]. Forest formation process in the Urals and in the Trans-Urals. Ekaterinburg, pp. 4–25.
28. Galperin M. I., Nikolin A. A. Landscape taxation of forest-park plantations. Sverdlovsk, 136 p.
29. Kolesnikov B. P., Zubareva R. S., Smolonogov E. P. 1973, Forest formation conditions and types of forests of the Sverdlovsk region (practitioner guide). Sverdlovsk, 176 p.
30. Isayeva R. P. 2002, *Ekologizatsiya sistem vedeniya lesnogo khozyaystva – osnova ratsional'nogo lesopol'zovaniya* [Greening forest management systems is the basis for sustainable forest management]. Science and defense complex – the main resources of the Russian modernization. Ekaterinburg, pp. 508–510.

The article was received on May 28, 2019

# История горного дела

## Владимир Николаевич Авдонин (1925–2017) и авдонинит<sup>1</sup>

Владимир Иванович ЕРМОЛЕНКО\*,  
Юрий Алексеевич ПОЛЕНОВ\*\*,  
Виталий Николаевич ОГОРОДНИКОВ\*\*\*  
\*ermwl@mail.ru  
\*\*polenov\_yu@mail.ru  
\*\*\*fgg\_gl@m.ursmu.ru

Уральский государственный горный университет

Vladimir Ivanovich YERMOLENKO\*,  
Yuriy Alekseyevich POLENOV\*\*,  
Vitaliy Nikolayevich OGORODNIKOV\*\*\*  
\*ermwl@mail.ru  
\*\*polenov\_yu@mail.ru  
\*\*\*fgg\_gl@m.ursmu.ru

Ural State Mining University

### Vladimir Nikolaevich Avdonin (1925–2017) and avdoninite

This paper describes the history of the discovery of avdoninite and its distinctive features. The mineral is named after Avdonin V. N., the Ural mineralogist. He made a significant contribution to the study of exogenous processes in the pyrite deposits being developed. Vladimir Nikolaevich Avdonin is a participant of the Great Patriotic War, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Honorary Worker of Higher Education of Russia, a member of the All-Russian Mineralogical Society, award holder named after O. E. Claire; he was presented with government awards and the medal of the All-Russian Mineralogical Society.

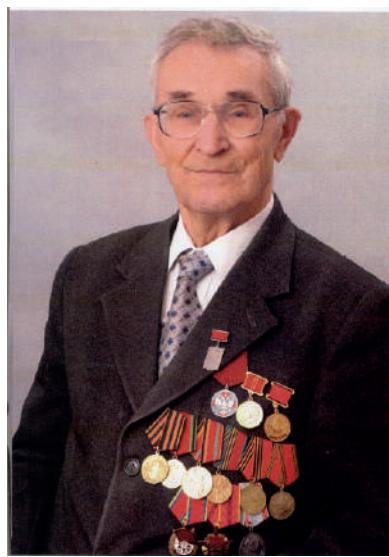
**Keywords:** avdoninite, V. N. Avdonin, exogenous processes, minerals, Ural Geological Museum.

В работе описана история открытия авдонинита и его отличительные признаки. Минерал назван авдонинитом по имени уральского минералога В. Н. Авдонина, внесшего существенный вклад в изучение экзогенных процессов на разрабатываемых колчеданных месторождениях. Владимир Николаевич Авдонин – участник Великой Отечественной войны, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, почетный работник высшего образования России, член Всероссийского минералогического общества, лауреат премии им. О. Е. Клерса, награжден правительственными наградами и медалью Всероссийского минералогического общества.

**Ключевые слова:** авдонинит, В. Н. Авдонин, экзогенные процессы, минералы, Уральский геологический музей.

**В**ладимир Николаевич Авдонин родился 10 июня 1925 г. в селе Петровка Лубенского района Мордовии, что недалеко от Саранска, в крестьянской семье. В 1933 г. он вместе с семьей переехал в Свердловск. В школьные годы Володя, как он сам вспоминал, с увлечением собирал в окрестностях города красивые камешки, посещал минералогический кружок Дворца пионеров. С детства мечтал стать геологом [1].

В 1942 г. после окончания 9 класса школы № 67 Владимир поступил в Свердловский горный институт (СГИ), но вскоре был призван в Красную Армию – шла Великая Отечественная война. В апреле 1943 г. был направлен в Киевское военно-медицинское училище. Оно было эвакуировано с Украины в начале Великой Отечественной войны и располагалось в то время в здании Уральского лесотехнического института (г. Свердловск). По окончании училища, в первых числах мая 1945 г., младший лейтенант медицинской службы В. Н. Авдонин с дипломом фельдшера в кармане прибыл в расположение штаба 2-го Белорусского фронта в г. Штеттин (Польша). Началась его медицинская карьера в должности ассистента аптеки в одном из госпиталей 2-й танковой армии в г. Везенберг



Владимир Николаевич Авдонин (2010 г.)

<sup>1</sup>Продолжение серии статей проекта «Минералогия в лицах». См.: А. В. Шубников (1887–1970) и шубниковит (Изв. УГГУ, № 1(49), 2018. С. 140–146); В. П. Шуйский (1935–2000) и шуйскит (Изв. УГГУ, № 2(50), 2018. С. 157–161); Ю. С. Кобяшев (1935–2009) и кобяшевит (Изв. УГГУ, № 3(51), 2018. С. 165–175); Анатолий Филиппович Бушмакин (1947–1999) и бушмакинит (Изв. УГГУ, № 4(52), 2018. С. 152–157); Святослав Несторович Иванов (1911–2003) и святославит (Изв. УГГУ, № 1(53), 2019. С. 171–177).



B. N. Авдонин (1945 г.)

земли Мекленбург (Германия). А закончилась в должности начальника аптеки и старшего фельдшера 73-го гвардейского механизированного полка 3-й ударной армии г. Бург, недалеко от Магдебурга. После демобилизации можно было продолжить медицинское образование, имея отличный аттестат об окончании медучилища и четырехлетний опыт работы на медицинском поприще. Но детское увлечение геологией и минералогией оказалась сильнее, и 21-летний Володя вернулся в Свердловский горный институт.

Сразу по окончании института в 1952 г. В. Н. Авдонина пригласили на кафедру минералогии и кристаллографии, возглавляемую в то время профессором Г. Н. Вертушковым, на должность ассистента. Он преподавал студентам геологоразведочного факультета практическую минералогию и кристаллографию. По свидетельствам многочисленных учеников, его учебные курсы и практические занятия отличались высоким мастерством и профессионализмом. О своем опыте преподавания минералогии Владимир Николаевич подробно рассказал в книге «О камнях», вышедшей в 2011 г. в издательстве Уральского государственного горного университета. Вся трудовая деятельность Владимира Николаевича с 1952 по 2017 г. прошла в одной организации, а именно в Свердловском горном институте, в последующем УГИ, УГГГА, УГГУ [2].

В 1980 г. Владимир Николаевич в соавторстве с Г. Н. Вертушковым разработал методическое руководство для практических занятий по минералогии – «Таблицы для определения минералов по физическим и химическим свойствам», опубликованное в издательстве «Недра» в двух изданиях – в 1980 и 1992 гг.

Всю свою жизнь Владимир Николаевич вел научную работу. Один из первых объектов его исследований – минералы редкометалльных месторождений Ильмено-Вишневогорского комплекса Среднего и Южного Урала. По результатам этих исследований Владимир Николаевич защитил в 1960 г. кандидатскую диссертацию на тему «Минералогия Увильдинской щелочной полосы на Урале».

В 1967 г. В. Н. Авдонин избирается деканом геологоразведочного факультета Свердловского горного института. Он успешно проработал в этой должности два срока. В 1980-х гг., еще работая на кафедре минералогии СГИ, В. Н. Авдонин много времени посвятил изучению процессов новейшего минералообразования на колчеданных месторождениях Урала и на свинцово-цинковом месторождении Текели в Казахстане. Изучение вторичных минералов, образовавшихся при окислении сульфидных руд, всегда привлекало внимание горняков и геологов в связи с проблемами подземных эндогенных колчеданных пожаров, представляющих большую опасность при эксплуатации месторождений такого типа [1].

Перейдя на работу в Уральский геологический музей в возрасте 62 лет, Владимир Николаевич и здесь быстро нашел, как он сам однажды выразился, свою «золотую жилу» и стал ее разрабатывать [1].

Внимательно знакомясь с каменным материалом из витрин и запасников музея, он пытливо выискивал неизвестные ему минералы и детально их изучал. Не обошел своим вниманием Владимир Николаевич и драгоценные камни. Для их более точной и экспрессной диагностики им совместно с М. Ф. Василевской, сотрудницей Уральского геологического музея, был усовершенствован метод импульсной катодолюминесценции (ИКЛ), характеризующийся высокой информативностью для рубина, сапфира, изумруда, топаза, хризоберилла и других самоцветов, на что был получен патент «Определение подлинности драгоценного камня».

Наиболее значимой и плодотворной была деятельность В. Н. Авдонина в Уральском геологическом музее как великолепного знатока уральских минералов, талантливого популяризатора минералогии, истории минералогических знаний и геологических исследований на Урале. Здесь раскрылся в полной мере его научный потенциал, приобретенный за долгие годы кропотливого труда. Накопленные материалы и знания оформились в виде очень интересных, познавательных и исторически достоверных научно-популярных монографий. В 2002 г. вышла первая работа «Очерки об уральских минералах». Она была написана совместно с профессором Ю. А. Поленовым, директором Уральского геологического музея, и посвящена 65-летию Горного института и 65-летию самого музея. Книга выдержала два



С музеинным экспонатом

**В. Н. Авдонин – один из первооткрывателей нового минерала гидроксилклиногумита**

"Вполне естественно: музей – это не кафедра, здесь и распорядок, и ритм, и содержание другие, но я быстро нашел свою «золотую жилу» и стал ее разрабатывать. Приятно вспомнить: рассматривая витрину, мы с Ю. А. Поленовым (в то время директором Уральского геологического музея) обратили внимание на минерал. Чем-то он нас привлек... Нашиими сомнениями и догадками мы поделились

с профессором Э. М. Спиридовоновым (МГУ, г. Москва). Тщательная экспертиза – и вот результат: минерал новый и получил название «гидроксилклиногумит». А ведь «обиженный» нашим невниманием, он только в витрине музея находился более 40 лет. Надо заметить: такие случаи в минералогической практике нередки" (Авдонин, 2011).

При изучении минералогии знаменитых минеральных копей (Шишимских, Назымских и Кувашских гор Юго-Западного Урала (Ахматовская, Зеленцовская и др.) в

любезно предоставленном В. Н. Авдониным из экспозиции Уральского геологического музея образце «хондродитового» кальцифира из Зеленцовской копи был обнаружен низкофтористый клиногумит с преобладанием OH-группы в дополнительной анионной позиции. Ранее подобный клиногумит, но с повышенным содержанием титана, в 1950 г. описывался в Зеленцовской копи И. Д. Борман-Старынкевичем и В. С. Мясниковым. Новый минерал в 1999 г. получил название гидроксилклиногумит ( $Mg_9(SiO_4)_4(OH)_2$ ) [4].



В центре ведущий минералог мира Карл Гуго Штрунц (Германия), справа В. Н. Авдонин, слева Ю. А. Поленов.  
2-я международная конференция «Музеи и минералы» (Венгрия, Будапешт, 1996 г.)



Научный вдохновитель и редактор Владимир Николаевич Авдонин (в центре) с известным автором книг «Камни Урала» Владиславом Борисовичем Семеновым (слева) и коллекционером минералов Владимиром Андреевичем Пелепенко (справа).  
Екатеринбург, Музей камня В. А. Пелепенко, 2005

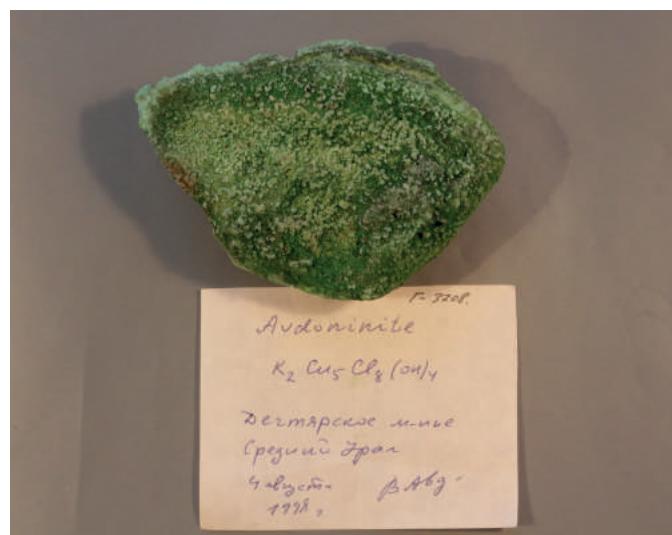


Открытие Уральского геологического музея



Сотрудники кафедры минералогии Свердловского горного института, 1973 год. Крайний справа В. Н. Авдонин

издания (второе появилось в 2004 г.). В ней рассказывается в интересной и доступной форме об истории открытия на Урале 102 новых минералов. Ученый Совет и Президиум Всероссийского Минералогического общества присудили авторам «Очерков...» медаль Минералогического общества как лучшей работе 2003 г. в России по популяризации минералогии. В 2003 г. в серии «Родной Урал» был издан большой иллюстрированный альбом «Сокровища Каменного пояса», познакомивший читателей с минералогическими богатствами Урала из собрания Уральского геологического музея. Издание было подготовлено коллективом сотрудников музея, текст же книги написан в основном В. Н. Авдониным. Альбом стал очень популярным среди коллекционеров, любителей минералов и природы Урала. В 2008–2010 гг. В. Н. Авдонин тесно сотрудничал с известным и популярным на Урале периодическим журналом «Уральский следопыт», где представлял рубрику Уральского геологического музея «Камни Урала». Почти в каждом номере журнала в эти годы появлялись очень интересные и содержательные статьи о наиболее известных и значимых для нашего региона минералах, принесших ему славу одного из богатейших минеральными ресурсами районов Земли. В. Н. Авдонин успешно сочетал работу в музее с другими видами деятельности. Долгие годы он являлся экспертом по культурным ценностям при Управлении Росохранкультуры по Уральскому региону, проводя экспертизы предметов минералогии и петрографии. Он был постоянным участником минералогических выставок «Минерал-Шоу», проводящихся в г. Екатеринбурге, консультировал уральских любителей камня и коллекционеров [2].



Кристаллы авдонинита на породе. Образец 11 × 9 × 3 см



Авдонинит

### Памяти Учителя и друга

Хорошо помню тот период работы Владимира Николаевича на кафедре минералогии Свердловского горного института, когда я учился в СГИ (1964–1969). С каким интересом и увлеченностью занимались мы, студенты 2–3 курсов специальности РМ-1 (Геология и разведка месторождений редких и радиоактивных металлов), изучением простых форм на деревянных моделях и идеальных природных кристаллах на занятиях по кристаллографии! С не меньшим вниманием слушали мы лекции по этому, казалось довольно скучному предмету, которые читал нам Владимир Николаевич. Он же вместе с Владимиром Ивановичем Якшиным, в ту пору деканом геологоразведочного факультета и доцентом кафедры минералогии, дважды в неделю вели у нашей группы практические занятия по минералогии. С каким мастерством и профессионализмом были организованы эти занятия! На них никогда не было скучно, и большинство из нас ждали их с большим нетерпением. На столько эти занятия были интересны, познавательны и полезны. На каждой двухчасовой «паре» студенты получали по 1–2 небольшому невзрачному кусочку неизвестного, как правило, редкого минерала. Они должны были с помощью простейших подручных предметов (нож, стекло, фарфоровая пластинка) и приспособлений (луна, магнитная стрелка, паяльная трубка, спиртовка, платиновая проволочка и набор химикатов) определить редкий минерал, например эвксениит, самар-

скит, чевкинит, колумбит и т. п. Пользоваться можно было при этом лишь «Практическим руководством по минералогии» Н. А. Смолянинова.

Довольно часто Владимир Николаевич приносил на занятия хорошо образованные природные кристаллы и дружи разночных минералов из собственной коллекции или собрания кафедры минералогии. Этим он хотел, по-видимому, привить будущим геологам любовь и интерес к камню. Но однажды достаточно крупный идеально образованный черный блестящий кристалл кассiterита с месторождения Иультин (Чукотка),пущенный по рядам в аудитории, к нему не вернулся. Найти пропажу не удалось. По-видимому, «любовь к камню» у кого-то из студентов поборола собственную совесть. Но Владимир Николаевич не отступил от своей методики проведения занятий, и мы продолжали осваивать курс минералогии на конкретном практическом природном материале. Эту методологию изучения минералогии в Свердловском горном институте В. Н. Авдонин унаследовал от своего учителя Константина Константиновича Матвеева, основателя кафедры минералогии и петрографии СГИ и Уральского геологического музея. Об этом Владимир Николаевич очень подробно рассказывает в своей книге «О камнях», вышедшей в 2011 г. в издательстве Уральского государственного горного университета. Знания, приобретенные нами на этих занятиях, до сих пор в нашей памяти, и многое вспоминается сегодня, спустя полвека.

Будучи деканом геологоразведочного факультета СГИ,

Владимир Николаевич показал себя не только строгим преподавателем и администратором, но и заботливым и надежным старшим товарищем, готовым всегда прийти на помощь. Вспоминается такой эпизод из нашей студенческой жизни. Весной 1969 г. мы, пятеро студентов 5 курса, будучи уже дипломниками, отправились в сложный категорийный («четверка») поход на Приполярный Урал в район гор Манарага и Народная. Разумеется, поход был согласован не только с Маршрутно-квалификационной комиссией Клуба туристов г. Свердловска, но и с деканатом геологоразведочного факультета и выпускающей кафедрой РМ-1. Сложные погодные условия в районе путешествия не позволили нам уложиться в график движения и в планируемые сроки, и мы вернулись в родной институт с опозданием на 3–4 дня. Возможности предупредить институт о задержке не было. В ректорате начали уже подумывать об организации поисков нашей группы на Севере. Когда же мы вернулись домой целые и невредимые, встал вопрос о нашем отчислении из института за нарушение дисциплины. И тут за нас горой вступился наш декан Владимир Николаевич Авдонин. Нас оставили в институте, позволили защитить дипломные работы. Мы отделались снижением на один балл итоговой оценки на защите, а Владимир Николаевич, как он мне потом поведал, получил за нас от ректората строгий выговор с «занесением».

Владимир Иванович Ермоленко, выпускник СГИ 1969 г.

У авдонинита долгая и сложная история. Свердловский горный институт силами сотрудников кафедры минералогии проводил договорные работы по проблематике борьбы с подземными пожарами совместно с научно-исследовательским институтом «Унипромед» на уже отработанных медноколчеданных месторождениях Среднего и Южного Урала. Летом 1988 г. в старом отвале Дегтярского месторождения старший научный сотрудник лаборатории по борьбе с подземными пожарами «Унипромеди» Т. В. Авдонина – дочь Владимира Николаевича – обнаружила вторичный минерал зеленого цвета, предварительно определив его как «атакамит», так как в его составе было много меди и хлора [1].

Первое детальное исследование гидроксихлорида меди и калия было выполнено А. Ф. Бушмакиным и Л. Ф. Баженовой (1998) на материале из образца, найденного в 1990 г. В. Г. Кориневским в зоне техногенеза Блявинского месторождения (Оренбургская область, Урал). Образец массой 340 г представлял собой псевдоморфозу по металлическому изделию, сложенную в основном новым гидроксихлоридом калия и меди с примесями митчерлихита, атакамита, нанокита и других хлоридов меди. Минерал назвали авдонинитом в честь В. Н. Авдонина, оценив его существенный вклад в изучение экзогенных процессов на разрабатываемых колчеданных месторождениях. К сожалению, техногенное происхождение этих образцов помешало тогда признанию авдонинита «полноправным» минеральным видом [3].

Таковым он стал позднее, после находки в фумарольных эксгалаляциях вулкана Толбачик на Камчатке. Здесь природное происхождение материала не вызывают сомнения, и по заявке Н. В. Чуканова, М. Н. Мурашко, А. Е. Залова и А. Ф. Бушмакина в 2005 г. авдонинит был утвержден Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации как самостоятельный минеральный вид [4]. Однако между данными этих авторов и результатами, полученными ранее А. Ф. Бушмакиным и Л. Ф. Баженовой, имелись значимые расхождения, и решить эту проблему было невозможно, поскольку кристаллическая структура авдонинита оставалась неизвестной. Она была расшифрована десятилетием позже, тоже на образце с Толбачика. Таким образом, минерал «обрел» корректную формулу  $K_2Cu_5Cl_8(OH)_4 \cdot 2H_2O$  и характеристику своего атомного строения лишь в 2015 г. в результате исследования, проведенного И. В. Пековым, С. В. Кривовичевым, Н. В. Чукановым, В. О. Япаскуром и Е. Г. Сидоровым [5].

Новый минерал образует плохо образованные короткопризматические и толстотаблитчатые кристаллники яркого салатно-зеленого цвета размером до 0,2 мм. Наблюдаемые формы (001) и (100). Хрупкий, твердость по шкале Мооса 3, обладает совершенной спайностью по (001). Излом ступенчатый. Чешуя светло-зеленая, блеск стеклянный.

Авдонинит оптически нейтральный, двуосный;  $N_p = 1,669$ ,  $N_m = 1,688$ ,  $N_g = 1,707$ ,  $2V = -90^\circ$ . Дисперсия не наблюдается. Плоскость совершенной спайности совпадает с плоскостью оптических осей.

Плотность, измеренная волюметрическим методом, составляет 3,03 г/см<sup>3</sup>, вычисленная плотность равна 3, обобщенная г/см<sup>3</sup>. При нагревании до 900 °C на воздухе плавится и испаряется, теряя 71 % веса. В холодной воде медленно разлагается. В разбавленной соляной кислоте растворяется без газовыделения [6].

Как можно видеть, история исследования авдонинита оказалась непростой и растянулась более чем на четверть века.

### Труды В. Н. Авдонина, изданные по результатам работы в СГИ–УГГГА–УГГУ

#### Научные монографии

1. Вертушков Г. Н., Авдонин В. Н. Таблицы для определения минералов по физическим и химическим свойствам. М.: Недра, 1980. 295 с.
2. Вертушков Г. Н., Авдонин В. Н. Таблицы для определения минералов по физическим и химическим свойствам б/справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1992. 489 с.
3. Поленов Ю. А., Авдонин В. Н., Тюлькин В. Г. Уральский геологический музей: путеводитель. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. 30 с.
4. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Очерки об уральских минералах. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. 412 с.
5. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Очерки об уральских минералах. 2-е изд., доп. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004. 419 с.
6. Дементьев И. В., Поленов Ю. А., Авдонин В. Н., Тюлькин В. Г., Бурлаков Е. В. Сокровища Каменного пояса. Екатеринбург: Независимый институт материальной культуры, 2003. 144 с.
7. Нурмухаметов Ф. М., Тюлькин В. Г., Поленов Ю. А., Авдонин В. Н. Уральский геологический музей: путеводитель. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. 22 с.
8. Филатов В. В., Авдонин В. Н., Соколова А. И., Поленов Ю. А. История создания и становления Уральского геологического музея. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 276 с.
9. Авдонин В. Н. О камнях... Екатеринбург: Изд-во ООО «Уральский следопыт». 2011. 144 с. (В книге собраны очерки о 16 минеральных видах, опубликованные в журнале «Уральский следопыт» в 2007–2010 годах)

#### Научные статьи

1. Авдонин В. Н. Апатит из сульфидно-кварцевых жил Березовского месторождения // Труды СГИ. 1956. Вып. 26. С. 107–109.
2. Вертушков Г. Н., Авдонин В. Н. Метасоматические изменения серпентинитов в «слюдиты» около кварцевой жилы горы Хрустальной на Урале // ЗВМО. 1957. Вып. 1. С. 65–71.
3. Авдонин В. Н. Эволюция окислительного процесса в зоне обрушения Красногвардейского месторождения // Изв. вузов. Горный журнал. 1973. № 11. С. 6–11.
4. Авдонин В. Н., Молошаг В. Г., Федорова Т. В. Сульфиды цинка (госларит, бойлеит, ганингит) в техногенной зоне окисления Дегтярского месторождения // Материалы к минералогии рудных районов Урала: сб. статей. Свердловск. УрО АН СССР, 1988. С. 121–126.
5. Поленов Ю. А., Авдонин В. Н. Уральский геологический музей // Изв. вузов. Горный журнал. 1993. № 11. С. 163–173.
6. Авдонин В. Н. Минералогия меди на Урале // Изв. вузов. Горный журнал. 1994. № 5. С. 13–24.
7. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Уральские самородки золота – неповторимые произведения природы // Изв. вузов. Горный журнал. 1994. № 6. С. 1–4.
8. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Минералогия никеля на Урале // Изв. вузов. Горный журнал. 1996. № 8/9. С. 16–23.
9. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А., Бурлаков Е. В. Der goldene Gigant Rublands: Beresowsk // Lapis. 1997. № 7/8. 13 с.
10. Поленов Ю. А., Авдонин В. Н., Бурлаков Е. В. Das geologische Museum von Jekaterinburg im Urals // Lapis. 1997. № 7/8. 3 с.
11. Гекимянц В. М., Соколова Е. В., Спиридовон Э. М. и др. Гидроксилклиногумит  $Mg_9(SiO_4)_4(OH, F)_2$  – новый минерал из группы гуммита // Материалы Уральской летней минералогической школы-99. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1999. С. 255–260.
12. Гекимянц В. М., Соколова Е. В., Спиридовон Э. М., Авдонин В. Н. и др. Гидроксилклиногумит  $Mg_6(SiO_4)_4(OH, F)_2$  – новый минерал из группы клиногумита // ЗВМО. 1999. № 5. С. 35–39.
13. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Золото на Урале // Изв. вузов. Горный журнал. 2000. № 3. С. 260–270.
14. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Минералы железа на Урале // Изв. вузов. Горный журнал. 2006. № 3. С. 139–148.
15. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Минералогия Урала XX века в именах преподавателей СГИ–УГГУ // Изв. вузов. Горный журнал. 2007. № 3. С. 129–134.
16. Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Вклад Урала в минеральное разнообразие земной коры. «Горные... музеи в XXI веке». Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. С. 5–15.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГГ УрО РАН (гос. регистрация № ААА-А18-118052590030-2).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авдонин В. Н. О камнях... Екатеринбург: Изд-во ООО «Уральский следопыт», 2011. 144 с.
2. Ермоленко В. И. Владимир Николаевич Авдонин – памяти учителя и друга // Минералогический Альманах. 2018. Т. 23. Вып. 2. С. 34–37.
3. Бушмакин А. Ф., Баженова Л. Ф. Авдонинит  $K_2Cu_5Cl_8(OH)_4$  – новый минерал из зоны техногенеза уральских колчеданных месторождений // Уральский минералогический сборник. 1998. № 8. С. 32–39.
4. Гекимянц В. М., Соколова Е. В., Спиридовон Э. М. и др. Гидроксилклиногумит  $Mg_9(SiO_4)_4(OH, F)_2$  – новый минерал из группы гуммита // Материалы Уральской летней минералогической школы-99. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1999. С. 255–260.
5. Пеков И. В., Кривовичев С. В., Чуканов Н. В., Япаскур В. О., Сидоров Е. Г. Авдонинит: новые данные, кристаллическая структура и уточненная формула  $K_2Cu_5Cl_8(OH)_4 \cdot 2H_2O$  // Записки РМО. 2015. № 3. С. 55–69.
6. Чуканов Н. В., Мурашко М. Н., Задов А. Е., Бушмакин А. Ф. Авдонинит  $K_2Cu_5Cl_8(OH)_4 \cdot H_2O$  – новый минерал из вулканических эксгалаляций и зоны техногенеза колчеданных месторождений // Записки РМО. 2006. № 3. С. 38–42.

## Works by V. N. Avdonin published during his work at the Ural State Mining University

## Research monographs

1. Vertushkov G. N., Avdonin V. N. 1980, *Tablitsy dlya opredeleniya mineralov po fizicheskim i khimicheskim svoystvam* [Tables for the determination of minerals by physical and chemical properties]. Moscow, 295 p.
2. Vertushkov G. N., Avdonin V. N. 1992, *Tablitsy dlya opredeleniya mineralov po fizicheskim i khimicheskim svoystvam* [Tables for the determination of minerals by physical and chemical properties], reference book, revised and enlarged edition. Moscow, 489 p.
3. Polenov Yu. N., Avdonin V. N., Tyulkina V. G. 2000, Ural Geological Museum, guide. Ekaterinburg, 39 p.
4. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 2002, *Ocherki ob ural'skikh mineralakh* [Feature-stories about the Ural minerals]. Ekaterinburg, 412 p.
5. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 2004, *Ocherki ob ural'skikh mineralakh* [Feature-stories about the Ural minerals], revised and enlarged edition. Ekaterinburg, 419 p.
6. Dement'ev I. V., Polenov Yu. N., Avdonin V. N., Tyulkina V. G., Burlakov E. V. 2003, *Sokrovishcha Kamennogo poyasa* [Treasures of the Stone Belt]. Ekaterinburg, 144 p.
7. Nurmukhametov F. M., Tyulkina V. G., Polenov Yu. N., Avdonin V. N. 2007, Ural Geological Museum, guide. Ekaterinburg, 22 p.
8. Filatov V. V., Avdonin V. N., Sokolova A. I., Polenov Yu. A. 2003, *Istoriya sozdaniya i stanovleniya Ural'skogo geologicheskogo muzeya* [The history of creation and formation of the Ural Geological Museum]. Ekaterinburg, 276 p.
9. Avdonin V. N. 2011, *O kamnyakh...* [About the stones ...]. Ekaterinburg, 144 p. (This book contains feature-stories about 16 mineral species published in the journal called Ural Pathfinder in 2007–2010.)

## Scientific papers

1. Avdonin V. N. 1956, Apatite from sulfide-quartz veins of the Berezovskiy field. *Trudy SG* [Proceedings of the mining institute], Issue 26, p. 107–109. (In Russ.)
2. Vertushkov G. N., Avdonin V. N. 1957, Metasomatic changes of serpentinites in "mica" near the quartz vein of the Khrustal'naya mountain in the Urals. *Zapiski RMO* [Proceedings of RMS], issue 1, pp. 65–71. (In Russ.)
3. Avdonin V. N. 1973, Evolution of the oxidation process in the zone of collapse of the Krasnogvardeiskoe field. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 11, pp. 6–11. (In Russ.)
4. Avdonin V. N., Moloshag V. G., Fedorova T. V. 1988, *Sul'fidy tsinka (gosalarite, boyleite, ganingite) v tekhnogennoy zone okisleniya Degtyarskogo mestorozhdeniya* [Zinc sulfides (gosalarite, boyleite, ganingite) in the technogenic oxidation zone of the Degtyarskiy deposit]. Proceedings for the mineralogy of the ore regions of the Urals: collection of papers. Sverdlovsk, pp. 121–126.
5. Polenov Yu. N., Avdonin V. N. 1993, Ural Geological Museum. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 11, pp. 163–173. (In Russ.)
6. Avdonin V. N. 1994, Copper mineralogy in the Urals. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 5, pp. 13–24. (In Russ.)
7. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 1994, Ural gold nuggets are the unique works of nature. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 6, pp. 1–4. (In Russ.)
8. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 1996, Nickel mineralogy in the Urals. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 8/9, pp. 16–23. (In Russ.)
9. Avdonin V. N., Polenov Yu. A., Burlakov E. V. 1997, Der goldene Gigant Rublands: Beresowsk. *Lapis*, no. 7/8, 13 p.
10. Polenov Yu. N., Avdonin V. N., Burlakov E. 1997, Das geologische Museum von Jekaterinburg im Ural. *Lapis*, no. 7/8, 3 p.
11. Gekimyants V. M., Sokolova E. V., Spiridonov E. M., et al. 1999, *Gidrosiliklinogummit Mg<sub>9</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH, F)<sub>2</sub> – novyy mineral iz gruppy gummita* [Hydroxylclinohumite Mg<sub>9</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH, F)<sub>2</sub> – a new mineral from the gummit group]. Proceedings of the Ural Summer Mineralogical School-99. Ekaterinburg, pp. 255–260.
12. Gekimyants V. M., Sokolova E. V., Spiridonov E. M., Avdonin V. N., et al. 1999, Hydroxylclinohumite Mg<sub>6</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH, F)<sub>2</sub> – a new mineral from the group of clinohumite. *Zapiski RMO* [Proceedings of RMS], no. 5, pp. 35–39. (In Russ.)
13. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 2000, Gold in the Urals. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 3, p. 260–270. (In Russ.)
14. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 2006, Iron minerals in the Urals. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 3, pp. 139–148. (In Russ.)
15. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 2007, The mineralogy of the Urals of the 20th century in the names of the teachers of the mining institute. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 3, pp. 129–134. (In Russ.)
16. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 2007, *Vklad Urala v mineral'noye raznoobrazhiye zemnoy kory* [The contribution of the Urals to the mineral diversity of the earth's crust]. "Rock... museums in the XXI century". Ekaterinburg, pp. 5–15.

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (state registration number is AAAA-A18-118052590030-2).

## REFERENCES

1. Avdonin V. N. 2011, *O kamnyakh...* [About the stones ...]. Ekaterinburg, 144 p.
2. Yermolenko V. I. 2018, *Vladimir Nikolayevich Avdonin – pamjati uchitelya i druga* [Vladimir Nikolaevich Avdonin – to the memory of the teacher and friend]. Mineralogical Almanac, vol. 23, issue 2, pp. 34–37.
3. Bushmakov A. F., Bazhenova L. F. 1998, *Avdoninit K<sub>2</sub>Cu<sub>5</sub>Cl<sub>8</sub>(OH)<sub>4</sub> – novyy mineral iz zony tekhnogeneza ural'skikh kolchedannikh mestorozhdeniy* [Avdoninit K<sub>2</sub>Cu<sub>5</sub>Cl<sub>8</sub>(OH)<sub>4</sub> is a new mineral from the technogenesis zone of the Ural pyrite deposits]. Ural Mineralogical Collection, no. 8, pp. 32–39.
4. Gekimyants V. M., Sokolova E. V., Spiridonov E. M., et al. 1999, *Gidrosiliklinogummit Mg<sub>9</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH, F)<sub>2</sub> – novyy mineral iz gruppy gummita* [Hydroxylclinohumite Mg<sub>9</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>(OH, F)<sub>2</sub> – a new mineral from the gummit group]. Proceedings of the Ural Summer Mineralogical School-99. Ekaterinburg, pp. 255–260.
5. Pekov I. V., Krivichev S. V., Chukanov N. B., Yapaskurt V. O., Sidorov E. G. 2015, Avdoninite: new data, crystal structure and refined formula K<sub>2</sub>Cu<sub>5</sub>Cl<sub>8</sub>(OH)<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O. *Zapiski RMO* [Proceedings of RMS], no. 3, pp. 55–69. (In Russ.)
6. Chukanov N. V., Murashko M. N., Zadov A. E., Bushmakov A. F. 2006, Avdoninite K<sub>2</sub>Cu<sub>5</sub>Cl<sub>8</sub>(OH)<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O is a new mineral from volcanic exhalations and a zone of technogenesis of pyrite deposits. *Zapiski RMO* [Proceedings of RMS], no. 3, pp. 38–42. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 26 февраля 2019 г.

# Формирование мусульманских общин в горнозаводских поселениях Урала и Сибири в конце XIX – начале XX в.

Алексей Николаевич СТАРОСТИН\*

Уральский государственный горный университет,  
Россия, Екатеринбург  
\*alisheria@mail.ru

Aleksey Nikolaevich STAROSTIN\*

Ural State Mining University,  
Ekaterinburg, Russia  
\*alisheria@mail.ru

## The formation of Muslim communities in the mining settlements of the Urals and Siberia in the late XIX – early XX century

This paper discusses the complex process of the formation of Muslim communities in mining and industrial settlements at factories, mines, and railway stations of the Urals and Siberia in the late XIX-early XX centuries; this process is associated with the labor migration of Tatar and Bashkir peasants from the Volga and Ural regions to the Urals and Siberia in connection with the growth of mineral production, processing, industrial production, railway construction, and undermanned enterprises. On the basis of archival documents, the analysis of the actions of Tatar and Bashkir peasants who were in labor migration is carried out; the aim is to recreate faith institutions that are customary for themselves at the new place of their stay: mosque, mektebe school, official imam. All these were associated with overcoming various obstacles in the form of restrictions established by Russian legislation, and the temporary nature of the employment of Muslim workers as well. The study also reflects the interaction of representatives of Muslim communities with state authorities, businessmen and factory owners, Orthodox and Muslim faith institutions in addressing these issues. The processes of transformation of the ethno-confessional landscape of industrial settlements that took place a hundred years ago and influenced their modern appearance are described.

**Keywords:** industry, prayer house, mosque, imam, Ural, Siberia, Muslims.

В статье рассматривается сложный процесс формирования мусульманских общин в горнозаводских и промышленных поселениях при заводах, шахтах, рудниках и железнодорожных станциях Урала и Сибири в конце XIX – начале XX вв., связанный с трудовой миграцией татарских и башкирских крестьян из Поволжья и Приуралья на Урал и в Сибирь в связи с ростом объемов добычи полезных ископаемых, их переработки, промышленного производства, железнодорожного строительства и потребности предприятий в рабочих руках. На основе архивных источников проводится анализ действий татарских и башкирских крестьян, находившихся трудовой миграции, с целью воссоздания на новом месте своего пребывания привычных для себя конфессиональных институтов: мечети, примечетской школы – мектебе, официального имама, что было связано с преодолением различных препятствий в виде ограничений, установленных российским законодательством, и временным характером занятости мусульманских рабочих. В исследовании также отражается взаимодействие представителей мусульманских общин с органами государственной власти, предпринимателями и заводовладельцами, православными и мусульманскими религиозными учреждениями в решении данных вопросов. Описываются процессы трансформации этноконфессионального ландшафта промышленных поселений, происходившие сто лет назад и повлиявшие на их современный облик.

**Ключевые слова:** промышленность, молитвенный дом, мечеть, имам, Урал, Сибирь, мусульмане.

**C**егодня никого не удивишь наличием мечетей в таких старинных промышленных центрах Урала и Сибири, как Нижний Тагил, Серов, Златоуст, Миасс, Анжеро-Судженск и многих других. Эти культовые объекты стали привычной частью конфессионального ландшафта данных городов, и мало кто задается вопросом, а когда же они здесь появились и почему? Между тем ответ на этот вопрос является собой малоизвестную, но значимую страницу истории горнодобывающей и металлургической промышленности Урало-Сибирского региона.

### Появление мусульман на заводах и копях Урала и Сибири

В середине XIX в. большинство мусульман Урала и Сибири проживали в деревнях. Подполковник Х. Мозель, описавший в этот период нравы и обычай тюркского населения Пермской губернии, в частности, отмечал, что в 1860 г. на территории губернии насчитывалась 161 мечеть, причем все они располагались в сельской местности и все были деревянными, за исключением одной, построенной из камня [1]. Прошло всего 60 лет, и к середине 1920-х гг. на территории Пермской губернии насчитывалось уже 338 мечетей, из которых 10 (3%) располагались в городах, а 24 (7%) – в поселениях, возникших вокруг заводов, железнодорожных станций, шахт и копей, иначе говоря, в промышленных поселениях. Об этом свидетельствуют сведения исторического источника «Ведомость о числе приходов и духовных лиц разных губерний» [2] Оренбургского Магометанского духовного собрания (далее ОМДС), составленного в начале XX в., данные которой были обработаны и подсчитаны нами с помощью методов статистического анализа [3].

Что же произошло в этот период? Прежде чем дать ответ на этот вопрос, необходимо сказать несколько слов о том, как имперское законодательство регламентировало вопрос строительства мечетей. Казанский исследователь И. К. Загидуллин указывает на то, что императорскими указами от 22.06.1744 г. и 23.08.1756 г. разрешалось строительство одной мечети в населенном пункте, если численность мусульман - мужчин находилась в пределах от 200 до 300 ревизских душ. В 1835 г. данная цифра была снижена до 200 ревизских душ. Исследователь отмечает: «По мере отдаления от последней X ревизии (1858 г.) этот норматив становился анахронизмом» (в связи с возросшим количеством лиц, занимающихся отхожими промыслами), поэтому в соответствии с законом от 15.12.1886 г. этот норматив был скорректирован на 200 мусульман - мужчин, проживающих в населенном пункте или, как тогда говорили,

«наличных душ мужского пола» [4]. Это же минимальное значение было закреплено в п. 1. ст. 155 «Устава строительного» 1900 г. Также в ст. 158 «Устава строительного» содержалось следующее условие, соблюдение которого требовалось для строительства мусульманского храма: «От построения мечети не может произойти соблазна в вере для христиан и новокрещенных татар, живущих вместе с магометанами» [5]. Это требование присутствовало в российском законодательстве еще с XVIII в., поэтому на разрешение построить мечеть в населенном пункте со смешанным составом населения должно было дать согласие местное епархиальное начальство, поскольку православие в то время имело статус государственной религии.

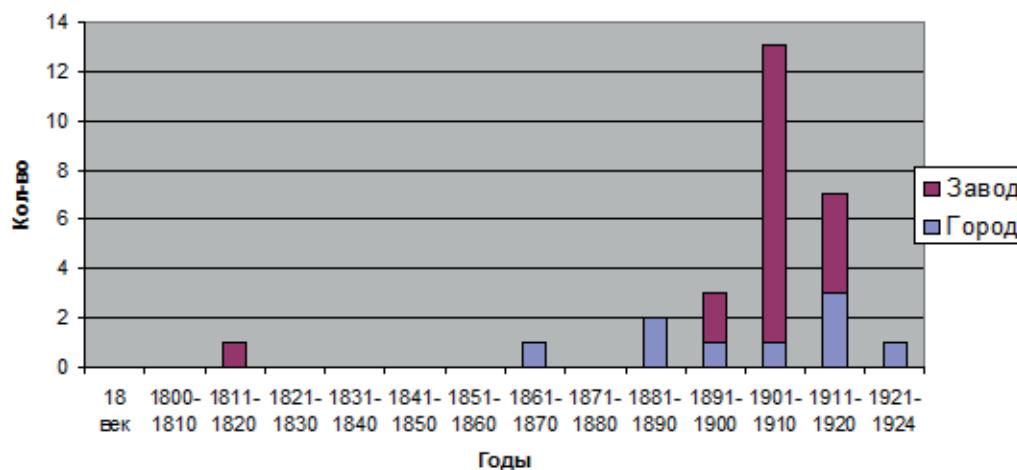
Согласно установленному порядку верующим, желавшим возвести мечеть, следовало организовать общий сход, на котором составлялся «общественный приговор». В данном документе содержалось обоснование необходимости строительства мечети в конкретном населенном пункте и выражалось согласие верующих на финансовое обеспечение строительства и последующего содержания религиозного объекта, а также лиц духовного звания при нем. Эта бумага отсыпалась в ОМДС, которое рассматривало «общественный приговор» и, находя изложенные в документе аргументы заслуживающими уважения, переправляло его в губернскоеправление конкретного региона со своей положительной резолюцией. Так же в строительное отделение губернскогоправления мусульманская община высыпала чертеж и фасад будущего культового сооружения, которые должны были быть согласованы губернскими властями. Лишь после этого можно было начинать строительство [6].

В связи с высокой рождаемостью количествомусульман постепенно возрастало, поэтому требовались новые мечети, и в сельских населенных пунктах, особенно в районах компактного проживания мусульман на Южном и Среднем Урале и в Сибири, проблем с их открытием, как правило, не возникало, потому что требуемые 200 душ имелись. Были даже такие деревни, где было по нескольку мечетей: например, по 4 культовых объекта было в дер. Большая Ока Красноуфимского уезда, Красноярова Осинского уезда, Караболка Екатеринбургского уезда, а сразу 5 мечетей – в дер. Кунашак Шадринского уезда Пермской губернии. А вот в промышленных поселениях, где со второй половины XIX в. начали складываться мусульманские общины, открыть мечети и молитвенные дома было большой проблемой, в первую очередь, из-за малочисленности мусульманского населения – редко где имелось нужное количество в 200 мужчин.

В то же время количество населенных пунктов на Урале и в Сибири, где ранее не было мусульман, и где во второй половине XIX в. они начали появляться, стремительно возрастало. Переселяясь в города и промышленные поселения, возникавшие при заводах, шахтах, рудниках и железнодорожных станциях Урала и Сибири, мусульмане начали по нескольким причинам: это обезземеливание и социальное расслоение крестьян, урбанизационные процессы и трудовая миграция. Эта миграция была обусловлена увеличением количества новых добывающих и перерабатывающих производств в Урало-Сибирском регионе, которым нужны были рабочие руки, строительством новых железнодорожных магистралей, в первую очередь, Транссибирской железной дороги и вспомогательных железнодорожных путей, связывающих с Транссибом города, заводы и предприятия, находящиеся в стороне. Это позволило многократно увеличить объемы вывозимой в Центральную Россию готовой продукции, сделанной на предприятиях Урала и Сибири, а также нарастить поставки топлива и сырья на предприятия. Так же развитие железнодорожного транспорта облегчило миграцию рабочей силы из районов Поволжья и Приуралья на Урал и в Сибирь. Наряду с русскими рабочими сотни татар и башкир стали наниматься на горнорудные и металлургические предприятия, как на основные, так и на вспомогательные работы (заготовка дров, углежжение, лесосплав, перевозка грузов на конной тяге и пр.).

#### Общины в промышленных поселениях Южного и Среднего Урала

Одной из самых первых на Урале мусульманских община в промышленном поселении стала мусульманская община Кушвинского завода Верхотурского уезда [7]. Точное время возникновения общины неизвестно. Самое первое архивное дело, обнаруженное нами, датируется 26 февраля 1836 г. и является рапортом муллы Кушвинского завода С. Токмурзина в ОМДС о незаконном сожительстве мастерового Бугамета Азизигитова с женой Азизбекою Мугалеевой, у которых имелось пятеро детей. Случайным образом выяснилось, что муж с женой являются родственниками и Бугамет двадцать лет назад уговорил Азизбеку «уехать тайным образом от прежнего мужа» в Кушвинский завод. Поскольку речь в деле идет о событиях 20-летней давности, то о присутствии мусульман на Кушвинском заводе



История возникновения мечетей в городах и промышленных поселениях Пермской губернии, вд.

можно говорить, по крайней мере, с 1810-х гг. [8]. В 1849 г. там было открыто мусульманское одноклассное училище, в котором преподавал Шарафутдин Яхнев. Хотя община была немногочисленной. Самая ранняя метрическая книга, обнаруженная нами, датируется 1867 г. и свидетельствует о том, что в поселке при Кушвинском заводе находились 51 мужчина и 32 женщины исламского вероисповедания [9], к 1900 г. община так и оставалась очень малочисленной – в этот период в поселке Кушвинского завода проживало всего 43 мусульманина и 41 мусульманка [2]. Но данная община является исключением из общего правила: во-первых, она возникла в начале XIX века, а во-вторых, мы не можем пока объяснить, как мусульманам удалось открыть самостоятельный приход при несоблюдении нормативной численности прихожан. Вероятно, в момент возникновения там проживало более 200 мусульман, но впоследствии их численность почему-то уменьшилась.

Если проанализировать данные о времени возникновения мусульманских общин в промышленных поселениях в Пермской губернии, то мы увидим, что большая часть из них возникли в 1890–1910-е гг., причем на годы первой русской революции приходится наибольшее число возникших общин. И это не случайно, ведь к началу XX в. на Урале уже насчитывалось 4 тысячи рабочих-татар и башкир. Люди, прибывшие из разных мест, но говорившие на одном языке и исповедовавшие одну религию, естественным образом старались держаться друг друга, чем заметно отличались от остальной массы рабочих. Главными внешними отличиями были слабое знание русского языка, особенности гигиены, питания и молитвы [10]. В связи с этим понятно желание мусульманских рабочих обустроить на новом месте своего пребывания жизнь в соответствии с предписаниями своей религии: организовать мечеть или молитвенный дом, открыть школу-мектеб, чтобы обучать своих детей в соответствии с традициями своей веры, пригласить имама, который давал бы религиозные наставления. Однако чаще всего эти сообщества мусульман, образовавшиеся в промышленных поселениях, были немногочисленными, поэтому за неимением необходимых 200 душ мужского пола не могли официально зарегистрировать приход. В связи с этим жителям нескольких заводских поселков приходилось объединяться в один приход, как это сделали верующие Лобвинского, Лялинского и Сосьвинского заводов, которых духовно окормлял имам из г. Верхотурья, где была официально зарегистрирована община и имелся молитвенный дом [11]. Верхотурский имам Хикматулла Ганеев (1887–?), ранее занимавшийся торговлей фруктами и бакалейными товарами [12], с определенной периодичностью посещал эти заводские поселки, отстоящие друг от друга на несколько десятков верст.

В схожем положении оказывались и многие мусульманские общины промышленных поселений Оренбургской и Уфимской губерний, расположенные на территории современной Челябинской области. Так, имам-хатыб молитвенного дома на Аполлинариевском прииске Мухаметсадык Сагидеев (ныне г. Пласт) после официальной регистрации прихода 12.06.1906 г. также духовно окормлял рабочих на золотых приисках Кочкиарской и Кособродской систем. Мусульмане Кусинского завода Златоустовского уезда на рубеже веков сумели организовать для себя молитвенный дом, но собственного имама не имели и были вынуждены периодически приглашать к себе имама мечети д. Каскиной 2-й Айлинской волости того же уезда, к приходу которого относились. Каждый приезд имама длиной в 18 верст и обратно «создавал для них огромные неудобства, требовал затрат времени и денег». Имам молитвенного дома в поселке при Саткинском заводе Салихъян Тагиров, возглавлявший в 1899 г. приход вначале в качестве «прикомандированного» ОМДС, а затем и постоянного имама, также обслуживал и население ближайшей округи, в частности, заводской поселок при Бакальском казенном руднике, находящийся за 22 версты от Саткинского завода, что отнимало у священнослужителя очень много времени. Самостоятельный приход мусульмане Бакальского рудника смогли организовать только после революции 1917 г. [13].

Именно по этой причине – дальность расстояния и редкий приезд священнослужителя – стал основанием для мусульман заштатного города Алапай Пермской губернии (современный Алапаевск) обратиться в ОМДС с письменной просьбой о разрешении постройки собственного молитвенного дома. Местные мусульмане, бывшие крестьяне, по преимуществу прибывшие из Казанской и Уфимской губерний для работы на Алапаевском заводе, выбрали в качестве своего представителя крестьянина Азалевской волости Свияжского уезда Казанской губернии Галиуллу Файзуллина 1849 г. р., который и составил вышеуказанное письмо. В документе, написанном 12.11.1907 г., желание построить молитвенный дом объясняется тем, что «в городе этом и его окрестностях проживает много магометан, а самая близкая к ним мечеть и духовные лица находятся в Кушвинском заводе за 200 вёрст, почему крайне нуждаются в богослужениях и требоотправлениях» [6]. Соответствующее разрешение на постройку молельного дома было дано в 1908 г. Пермским губернским правлением указом № 4419 от 29.07.1908.

В Пермской губернии на Богословском медном руднике мечеть было разрешено построить 02.03.1907, на Шуркинском прииске – 26.02.1907, в Песчанке Троицкого прииска молитвенный дом появился 26.02.1907, на Нижне-Тагильском заводе молитвенный дом появился 30.09.1909... [2]. Также там были образованы самостоятельные приходы с собственным штатом духовенства. Вообще в первое десятилетие XX в. была открыта половина (12 из 24) мечетей и молитвенных домов в Пермской губернии.

Чем же объяснить столь бурный рост? На это десятилетие приходится первая русская революция, во время которой мусульмане проявляли высокую общественно-политическую активность в борьбе за улучшение своего правового положения. В частности, в 1905 г. была создана первая всероссийская исламская партия «Иттифак аль-Муслимин» (Согласие мусульман), представители которой в составе партии «kadetov» приняли участие в выборах в Государственную Думу и образовали в ней «мусульманскую фракцию» в составе 22 депутатов (1-я Государственная Дума). Мощным стимулом к увеличению просьб к властям об открытии новых мечетей и образованию самостоятельных приходов стал Именной Высочайший Указ Правительствующему Сенату «Об укреплении начал веротерпимости», подписанный Николаем II, и одноименное Высочайшее утвержденное Положение Комитета министров от 17.04.1905 г. В пп. А) п.1 ст. X. второго документа содержалось требование предоставить особому совещанию о веротерпимости без предварительного сношения с ведомствами законопроекты «о сооружении молитвенных домов иноверных

исповеданий». Наряду с пп. 11 и 12 о разрешении возобновить работу закрытых прежде церквей и молитвенных домов и об упрощенном порядке открытия новых молитвенных помещений для всех христианских исповеданий, в императорском указе имелось обещание об улучшении правового статуса мусульман [14]. Этим и воспользовались мусульмане Урала и Сибири, открыв приходы в малолюдных общинах. В 1910-х гг. началась реакция на первую русскую революцию, сопровождавшаяся пересмотром политики правительства Российской империи в отношении мусульманских подданных, также началась I мировая война, в связи с чем количество открываемых мечетей серьезно сократилось.

Появление мечетей в промышленных поселениях Урала было связано с необходимостью удовлетворять повседневные нужды рабочих мусульманского вероисповедания. «Имеем суждение о наших духовных потребностях, проживая вдали от магометанских приходов, мы не имеем возможности отправлять свои молитвенные обряды при молитве во время наших постов, при рождении младенцев, при погребении умерших магометан, — писали в общественном приговоре 170 мусульман Егоршинских каменноугольных копей Ирбитского уезда Пермской губернии. — Все эти требы у нас частовременны, магометанского духовенства среди нас нет, поэтому, имея настоятельную нужду в направлении духовных религиозных обрядов, мы единогласно высказали желание — построить в селении Егоршинских копей молитвенный дом» [15].

Мусульмане обращались с просьбой об открытии молитвенного дома или мечети в промышленном поселке, в первую очередь, к администрации предприятий, которые, как правило, помогали войти в сношение с губернскими властями. Так что даже малочисленность общины зачастую не являлась причиной для того, чтобы не удовлетворить прошение мусульман. Нередко сама администрация предприятия помогала мусульманам с помещением или брала на себя некоторую часть расходов по содержанию молитвенного помещения и духовного лица, либо создавала необходимые условия для аккумуляции необходимых средств. Например, в письме в ОМДС от 16.11.1906 г. Управление Богословского горного округа уведомляло муфтият о том, что мусульмане рудника «Шахты» и Управление договорились о том, что с их ежемесячного заработка будет удерживаться 0,5 копеек с рубля для вознаграждения труда имама и его помощника, а также на содержания школы — мектеба. В свою очередь само Управление Богословского горного округа выделило 2000 руб. на строительство мечети и дома имама [16]. Администрация Егоршинских каменноугольных копей Ирбитского уезда на безвозмездной основе предоставила мусульманам помещение для организации в нем молитвенного дома и назначила имаму заработную плату в размере 25 руб. в месяц [15]. В Алапаевске «мечеть построили жертвователи и благодетели со стороны Алапаевского завода», — с удовлетворением писал в ОМДС представитель мусульманской общины Г. Файзуллин [6]. Аналогичным образом на Южном Урале золотопромышленник Гавриил Ермолаевич Подвинцов построил для своих татарских и башкирских работников мусульманский молитвенный дом на Аполлинариевском прииске, вблизи поселка Кочкинского (ныне г. Пласт Челябинской области) [13]. Из данных примеров видно, что уральские предприятия довольно часто брали на себя финансовые издержки по организации и обустройству молитвенных помещений для рабочих, исповедовавших ислам, поскольку сами рабочие не имели средств на это.

Однако так было далеко не везде. В поселке Надеждинского завода (современный г. Серов Свердловской области) мусульмане построили мечеть на собственные средства, а на просьбы верующих, поступавшие в 1910–11 гг. о выделении денег на «содержание мечети, ремонт, отопление, освещение» и др. нужды, администрация предприятия отвечала отказом [17].

Формирование бюджета на строительство и содержание храма иногда происходило следующим образом: члены мусульманских общин обращались с просьбой к администрации предприятия удерживать из их жалования ежемесячно определенную сумму, вследствие чего формировался необходимый капитал, шедший затем на содержание мечети и духовных лиц [18]. Иногда находились добрые люди из числа состоятельных членов общины, которые передавали под религиозные нужды уже имевшиеся здания либо строили новые. К примеру, состоятельный мусульманин из д. Сафаджай Симбирской губернии Шиап (Шихаб) Вахитов пожертвовал мусульманам Нижнетагильского завода дом на Ветохиной улице, д. 18 для организации в нем мечети. Он руководствовался тем, что значительная часть мусульман были его земляками — выходцами из Симбирской и Нижегородской губерний [19].

В процессе развития заводских поселений и расширения производства образовывались и весьма крупные мусульманские общины. К их числу относятся уже упомянутые общины Нижнетагильского и Надеждинского заводов, а также общины г. Миасс и Златоуст на Южном Урале. На Нижнетагильском заводе мусульманская община начала формироваться в конце XIX в. из уроженцев Симбирской губернии, устраивавшихся на завод и рудники в качестве чернорабочих. Часть татар поступила на службу к купцам, и с течением времени превратилась в мелких торговцев [10]. В архивных источниках по истории мусульман Надеждинского завода (ныне г. Серов Свердловской области), где проживало больше 1000 мусульман, среди активистов мусульманской общины встречаются: рабочие, мелкие торговцы, подрядчики определенных цехов, редко — представители интеллигенции [20]. В Златоусте мусульманская община была небольшой, в первой половине 1890-х гг. там проживало около 70 мусульманских семей. Большинство татарских поселенцев в городе были выходцами с правобережной Горной стороны Волги, из Цивильского и Свияжского уездов Казанской губернии, а башкирское население стекалось в город на заработки из различных деревень самого Златоустовского уезда Уфимской губернии. Но к 1897 г. численность общины значительно возросла. По данным Первой всеобщей переписи населения Российской империи 1897 г., в Златоусте проживало 456 мусульман (2,3 % от общей численности), в том числе татар — 277 и башкир — 179. Как отмечает оренбургский исследователь Д. Н. Денисов, к 1902 г. «в Златоусте проживало постоянно 227 мужчин, исповедовавших ислам, и временно еще около 300, в том числе 219 рабочих казенного завода и оружейной фабрики, 33 нижних чина в четырех ротах 214-го Мокшанского резервного батальона, 11 человек в златоустовских местной и конвойной командах, 10 служащих городской полиции. Кроме того, от 50 до 85 мусульман ежегодно прибывали со всего уезда в Златоустовскую земскую больницу, а среди заключенных

**Среднее количество прихожан мечетей Пермской губернии в 1900 г. с разбивкой по уездам и типам населенных пунктов, чел.**

Уезд, тип поселения	Деревня (муж/жен)	Город (муж/жен)	Промышленное поселение (муж/жен)
Верхотурский	Нет	Н.д./Н.д.	130/30
Екатеринбургский	196/172	170/148	Н.д./Н.д.
Ирбитский	Нет	Н.д./Н.д.	118/44
Красноуфимский	226/202	Н.д./Н.д.	Нет
Кунгурский	125/113	Н.д./Н.д.	Нет
Осинский	253/224	207/185	Нет
Пермский	310/287	450/211	416/160
Соликамский	Нет	Н.д./Н.д.	77/38
Чердынский	Нет	Н.д./Н.д.	Н.д./Н.д.
Шадринский	291/247	210/190	Нет

в местной тюрьме было до 30 мусульман, которые также нуждались в духовном наставлении и отправлении религиозных обрядов, предписанных шариатом» [21]. В поселке Миасского медеплавильного завода большинство членов мусульманской общины, которая в начале XX века превышала 1000 чел., работали на металлургическом производстве и в горнодобывающей промышленности, занимались наемными и поденными работами, сельским хозяйством, торговлей [22].

Такие общины развивались подобно городским мусульманским общинам губернских и уездных центров [23, 24], создавая свойственные для городов институты, например, в Нижнем Тагиле было создано «Нижне-Тагильское мусульманское культурно-экономическое и благотворительное общество» (район деятельности Нижне-Тагильский завод и Верхотурский уезд, внесено в реестр Пермского губернского по делам об обществах присутствия 10.07.1909) [19] и библиотека-читальня для мусульман [25]. Ахун г. Миасс Салахутдин Сахибзадович Баширов (29.09.1862 – после 1923) организовал типографическое предприятие, которое выпускало светскую и религиозную печатную продукцию (в частности, мусульманские календари), часть прибыли от данного бизнеса шла на содержание мечети (от которой до сего дня остался только минарет) и мектебе [26]. В Надеждинске действовало сразу две мечети [27].

Однако для всех общин промышленных поселений вне зависимости от численности мусульман была характерна гигантская гендерная диспропорция – количество мужчин многократно превышало количество женщин (см. таблицу).

Анализируя данные таблицы, обратим внимание на то, что везде количество мужчин превышает количество женщин. На селе, конечно, разница небольшая – число колеблется в пределах 20 человек в пользу мужчин, в городах эта разница более заметна, например, в Перми в начале XX века количество женщин в 2,5 раза меньше количества мужчин. Но особенно велика гендерная диспропорция в промышленных поселениях – где-то количество мужчин превышает количество женщин в 2, а где-то в 4 раза. Это свидетельствует о недавнем времени образования общин в промышленных поселениях и их неустойчивом характере: немногим мужчинам удалось прочно встать на ноги на новом месте, чтобы перевести свою семью.

#### Общины в промышленных поселениях Сибири

Все указанные тенденции были в полной мере характерны и для промышленных поселений Сибири. К примеру, на территории современной Кемеровской области, до революции входившей в состав Томской губернии, к этому типу относятся мусульманские общины Анжерских и Судженских каменноугольных копей. Пос. Анжерка и Судженка возникли в 1897–1898 гг. в ходе строительства ж/д магистрали и разработки угольных месторождений. На месторождении требовалась рабочие руки, и в данные поселки устремились мигранты из числа безземельных и малоземельных крестьян, в т. ч. татары. В 1910 г. на Анжерских копях насчитывалось 78 мужчин и 74 женщины из поволжских татар-переселенцев, а через два года образован приход с молитвенным домом. Указным имамом значился Х. Ш. Мухаметов, утвержденный Томским губернским управлением 4.10.1912 г. В обоих поселках мусульманами без официального разрешения были организованы две мектебе. В 1914 г. они выявлены властями и закрыты, поскольку там «ведут агитацию о необходимости сплочения мусульман вокруг школ в ущерб государственным интересам». В 1915–1916 гг. мектебе вновь были открыты, но уже по разрешению властей [2, 28, 29]. Перед революцией в шахтерских поселках насчитывалось уже около одной тысячи поволжских и сибирских татар [29].

Аналогичным образом в марте 1913 г. в Уфу было направлено прошение об открытии пятивремянной мечети на Берикульских и Александровских рудниках Мариинского горного округа, где с середины XIX в. добывали золото (современный пос. Берикуль Тисульского района Кемеровской области). Ходатайство направили 202 мусульманина мужского пола. Рассмотрев дело, ОМДС направило ходатайство Томскому губернскому управлению о разрешении на постройку мечети, т. к. «просители за неимением вообще в Мариинском Горном Округе мечетей, терпят большую нужду в богослужениях и тем более в отправлении разного рода треб... постройку соборной мечети на Берикульском руднике Мариинского Горного Округа за многочисленностью проживающих там магометан и не имевшем в районе этого Округа вообще мечети, Магометанско Духовное Собрание считает необходимым» [30].

Но эту мечеть открыть не успели, помешали революционные события. А вот их коллеги – золотодобытчики из пос. Придорожный Златогорской волости Мариинского уезда оказались более успешными [31]. В 1914 г. они обратились с ходатайством в ОМДС о строительстве соборной мечети и образовании самостоятельного прихода. В деле имеется

интересная приписка: «Окружной благочинный донес, что постройка мечети в поселке Придорожном опасности для окружающего православного населения в религиозном плане не представляет. Закон: ст. 156 XII ч. Устава Строительного – сооружение в магометанских приходах мечетей допускается в том только случае, если от построения мечети не может произойти соблазн в вере для живущих вместе с магометанами христиан и новокрещеных татар» [32]. Поскольку нарушения закона не было и благочинный сообщал, что никому из христиан «соблазна» новая мечеть не произведет, мусульмане получили разрешение на постройку мечети. В 1916 г. при посредничестве заведующего 1-го золотоискового подразделения, чиновника особых поручений Туринева мусульмане обратились к Томскому губернатору с ходатайством о разрешении проведения сбора пожертвований «среди магометанского населения Томской губернии и гор. Томска на постройку мечети», поскольку «имеющийся у них в настоящее время молитвенный дом мал и приходит в ветхость» [33]. Однако от исполняющего должность Томского вице-губернатора пришел ответ об отказе в удовлетворении этой просьбы: «Я не признал возможным возбудить перед Министром Внутренних Дел ходатайство о разрешении им сбора пожертвований среди магометанского населения Томской губернии на постройку мечети в пос. Придорожном, так как Министерство таковые ходатайства отклоняет ввиду особых обстоятельств переживаемого времени, требующих исключительного напряжения денежных средств населения» [33]<sup>1</sup>. Однако даже в условиях I Мировой войны мусульмане пос. Придорожный все же смогли построить мечеть.

Мусульмане активно работали не только на шахтах и рудниках, но и на строительстве Транссибирской магистрали. В 1896 г. благодаря железнодорожному инженеру-изыскателю Гарину-Михайловскому, обосновавшему мостовой переход через реку Обь не через Томск, а южнее, через деревню Кривошеково, находящуюся в 80 км от губернского центра, Транссиб прошел южнее. Ответвление на город Томск от Транссиба было организовано в глухой тайге. Поэтому образовавшуюся узловую станцию стали называть «Томск-Таежный», а позднее просто «Тайга». Весной 1907 г. от 250 мусульман, проживавших в поселке при станции «Тайга», обратились в Управление государственными имуществами Томской губернии «с ходатайством об отводе в пос. «Тайга» казенного участка земли под постройку мечети». В начале мая данное письмо губернские власти переслали в ОМДС с вопросом «не имеется ли препятствий к разрешению постройки мечети в названном поселке, и является ли необходимость в таковой». Уже в конце мая из ОМДС пришел ответ: «Ввиду изложенного Магометанское Духовное Собрание определяет: уведомить Томского губернатора, что к разрешению постройки мечети в поселке при станции «Тайга», Сибирской железной дороги, со стороны Магометанского Духовного Собрания препятствий не имеется, и что постройку в названном поселке мечети, за многочисленностью там магометан, Духовное Собрание считает необходимой» [34]<sup>2</sup>. Аналогичным образом Духовное собрание позднее выдало разрешение на строительство мечети на соседней железнодорожной станции Юрга [2]. Таким образом, сразу на двух железнодорожных станциях в Томской губернии – Тайга и Юрга – были предприняты попытки организации мусульманских общин, но не завершены в силу революционных событий и происходивших в стране общественно-политических преобразований.

К аналогичным мусульманским общинам промышленных поселений можно отнести и мечеть на Николаевском заводе Иркутской губернии, с ходатайством о постройке которой мусульмане обратились в ОМДС и к губернским властям в 1898 г. [35], мечеть на станции Хайлар Китайско-Восточной железной дороги, разрешение на постройку которой было получено в 1914 г. [36], и ряд других.

#### Выходы

Подводя итог проведенного исследования, можно констатировать, что после великих реформ императора Александра II, вследствие процесса обезземеливания крестьянства, начавшегося промышленного бума и интенсивного железнодорожного строительства, где требовалась рабочие руки, сотни татарских и башкирских крестьян из Поволжья и Приуралья стали отправляться на заработки на Урал и в Сибирь, где нанимались в качестве рабочих и селились в промышленных поселениях при заводах, шахтах, рудниках и железнодорожных станциях. Люди, прибывшие из разных мест, но говорившие на одном языке и исповедовавшие одну религию, естественным образом старались держаться друг друга, чем заметно отличались от остальной массы рабочих. Главными внешними отличиями были слабое знание русского языка, особенности гигиены, питания и молитвы. Структура поселковых мусульманских общин серьезно отличалась от традиционной сельской общины. Это выражалось в многократном преобладании мужчин над женщинами, преобладании мужчин трудоспособного возраста, времененным характером их проживания и немногочисленностью.

Естественным желанием мусульманских рабочих было обустроить на новом месте своего пребывания жизнь в соответствии с предписаниями своей религии: организовать мечеть или молитвенный дом, открыть школу - мектеб, чтобы обучать своих детей в соответствии с традициями своей веры, пригласить имама, который давал бы религиозные наставления. Однако чаще всего эти сообщества мусульман, образовавшиеся в промышленных поселениях, были немногочисленными, поэтому за неимением необходимых 200 душ мужского пола не могли официально зарегистрировать приход.

В этом случае либо жители нескольких поселков объединялись в один приход и получали возможность периодически приглашать имама, либо прикреплялись к ближайшему населенному пункту, где была мечеть, но оба варианта были неудобными как для общины, так и для имама из-за дальности расстояний и значительных временных и финансовых затрат.

После либерализации государственной религиозной политики вследствие революции 1905–1907 гг. многие, даже немногочисленные общины, смогли официально зарегистрировать приход. Зачастую владельцы предприятий помогали решать административные возможности, за счет собственных средств организовать и содержать

<sup>1</sup>НА РБ. Ф. И-295. Оп. 6. Д. 1536. Л. 1-1об.

<sup>2</sup>Там же.

молитвенное помещение, иногда оплачивали услуги имама. Но чаще рабочие, исповедующие ислам, сами несли затраты по содержанию культового сооружения и духовных лиц, прося администрацию предприятий удерживать из их заработка часть средств на оплату данных расходов.

Крупные общины в таких промышленных поселениях, как Мотовилихинский, Нижнетагильский, Надеждинский, Златоустовский и Миасский заводы, где численность мусульман превышала 500 и даже 1000 человек, развивались по сценарию городских мусульманских общин: образовывали компактные поселения в рамках городской локации (их русские жители называли «татарскими деревнями» или «татарскими слободами»), организовывая благотворительные и просветительские учреждения, учебные заведения, коммерческие предприятия, доход от которых шел на религиозные нужды.

Во втором десятилетии XX в. мусульманские общины в промышленных поселениях Урала и Сибири стали уже весьма заметным явлением. Их численность перевалила за несколько десятков. Однако, поскольку приход объединял уроженцев различных регионов страны, в мусульманских общинах промышленных поселений не сформировалось устойчивых традиций, характерных для села. Поэтому процесс их ликвидации в годы Советской власти на Урале проходил значительно легче, чем в деревнях.

В то же время образование мусульманских общин в промышленных поселениях, многие из которых впоследствии стали городами, обусловило начало трансформации исламского ландшафта Урала и Сибири с сельско-городской. Появление в промышленных поселках татарского и башкирского населения, которое только увеличивалось в советские годы вследствие добровольных и принудительных миграций, способствовало формированию поликультурного пространства этих населенных пунктов. А сохранение, пусть даже на семейно-бытовом уровне исламской обрядности в годы советского атеизма, позволило достаточно быстро восстановить деятельность мусульманских общин после распада СССР.

*Статья подготовлена в рамках реализации проекта «Локальные мусульманские общины горнозаводских поселений Урало-Сибирского региона» при поддержке стипендийной программы для молодых исламоведов благотворительного фонда «Закят» и ЦРО «Духовное управление мусульман Москвы».*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мозель Х. Материалы для географии и статистики России: Пермская губерния. В 2-х т. Т. 2. СПб.: Типография Ф. Персона, 1861. 814 с.
2. Национальный архив Республики Башкортостан (далее НА РБ) Ф. И-295. Оп. 2, д. 8.
3. Павлинова Р. Н., Старостин А. Н., Ярков А. П. Мусульманские общины Азиатской части Российской империи в середине XIX – начале XX в.: по материалам учетных ведомостей ОМДС. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. 490 с.
4. Загидуллин И. К. Пятивремянные и соборные (джами) мечети в округе Оренбургского магометанского духовного собрания //Мечети в духовной культуре татарского народа (XVIII в. – 1917 г.) Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Казань, 25.04.2006 г. Казань: Ин-т истории им. Ш. Марджани АН РТ, 2006. С. 93–123.
5. Полный свод законов Российской империи. Кн. 3. Т. XII. Ч. I.
6. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 6. Д. 1466.
7. Старостин А., Бикбов Р. Мечеть г. Кушва // Ислам на Урале: энциклопедический словарь / сост. А. Н. Старостин, отв. ред. Д. З. Хайретдинов. М.-Н. Новгород: ИД «Медина», 2009. С. 192–193.
8. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 3. Д. 1402.
9. Государственный архив Свердловской области. Ф. 6. Оп. 12. Метрическая книга Кушвинского завода за 1867 г.
10. Загидуллин И. К. Махалля в промышленных поселениях в Европейской части России и Сибири (XIX–начало XX в.) // Татарские мусульманские приходы в Российской империи: материалы науч.-практ. конф. (г. Казань, 27–28 сент. 2005 г.). Казань : Ин-т истории АН РТ, 2006. С. 66–100.
11. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 6. Д. 4185.
12. Государственный архив Пермского края Ф. 65. Оп. 5. Д. 104.
13. Денисов Д. Н. Мусульманские молитvenные дома в промышленных поселках Южного Урала (конец XIX–начало XX века) // Вестник ЧГУ. 2009. № 37 (175). История. Вып. 36. С. 137–141.
14. Ислам и мусульмане Южного Урала в историко-правовом пространстве России: Сборник законодательных актов, постановлений и распоряжений центральных и региональных органов власти и управления XX–XXI веках / автор-сост. А. Б. Юнусова, археограф М.Ю. Абсалямов. Уфа: ГУП РБ УПК, 2009. 384 с.
15. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 6. Д. 4191.
16. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 6. Д. 1150. Л. 1-2.
17. НА РБ. Ф. 187. Оп. 1. Д. 412. Л. 186.
18. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 6. Д. 1150. Л. 1.
19. Государственный архив Пермского края (далее ГАПК). Ф. 65. Оп. 5 Д. 104. Л. 29–31; Л. 135–140.
20. НА РБ. Ф. 187. Оп. 1. Д. 412.
21. Денисов Д. Н. Мусульманская община Златоуста в конце XIX–начале XXI веков // Вестник ЧГУ. 2009. № 16 (154). С. 83.
22. Денисов Д. Н. Мусульманская община Миасса в конце XIX–начале XXI веков // Вестник ЧГУ. 2009. № 32 (170). С. 105.
23. Главацкая Е. М., Старостин А. Н. Мусульманская община Екатеринбурга во второй половине XIX – начале XX вв.: численность и институты // Известия Уральского федерального университета. Серия 2. Гуманитарные науки. 2016. Т. 18. № 4 (157). С. 244–253.
24. Бибарсов И.А., Старостин А. Н. Исламские и татаро-башкирские учебные заведения Перми в конце XIX–первой половине XX века // Minbar. Islamic Studies. 2018. Т. 11. № 1. С. 38–51.
25. Главацкая Е. М., Ошуева Н. С., Старостин А. Н. Мусульманская община Нижнего Тагила в конце XIX – начале XXI в. // Фаизхановские чтения. Материалы восьмой ежегодной всероссийской научно-практической конференции «Фаизхановские чтения» / НКАТНО, ДУМНО, НИИ им. Х. Фаизханова; под общ. ред. Д. В. Мухетдинова. Нижний Новгород: Издательский дом «Медина», 2012. С. 94–103.
26. Азamatов Д. Д. Из истории мусульманской благотворительности. Вакуфы на территории Европейской части России и Сибири в конце XIX–начале XX вв. Уфа: Изд. Башкирского ун-та, 2000. 102 с.
27. Старостин А. Н. Панисламизм на Урале или эпизод из истории мусульман Надеждинского завода. URL: <https://islamrf.ru/news/culture/history/22824>
28. Государственный архив Томской области (далее ГАТО). Ф. 3. Оп. 67. Д. 104; Д. 327.
29. Рабочий класс Сибири в дооктябрьский период. Новосибирск, 1982.
30. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 6. Д. 3427. ЛЛ. 5-17.
31. ГАТО. Ф.3. Оп. 77. Д. 62.
32. ГАТО. Ф. 170. Оп. 7. Д. 454.

33. ГАТО. Ф. 3. Оп. 77. Д. 302. Л. 2.  
 34. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 6. Д. 1536.  
 35. НА РБ. Ф. И-295. Оп. 3. Д. 15593.  
 36. Ф. И-295 Оп. 6. Д. 3303.

## REFERENCES

1. Moselle H. 1861, *Materialy dlya geografii i statistiki Rossii: Permskaya guberniya* [Materials for geography and statistics of Russia. Perm province], in 2 vol., vol. 2. Saint-Petersburg, 814 p.
2. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Reg. 2, d. 8.
3. Pavlinova R. N., Starostin A. N. , Yarkov A. P. 2018, *Musul'manskiye obshchiny Aziatskoy chasti Rossiyskoy imperii v seredine XIX – nachale XX v.* [Muslim communities of the Asian part of the Russian Empire in the middle of the XIX – early XX century], according to the materials of inventory logs of Orenburg Muslim Spiritual Assembly. Kazan, 490 p.
4. Zagidullin I. K. 2006, *Pyativremennyye isobornyye (dzhami) mecheti v okrige Orenburgskogo magometanskogo dukhovnogo sobraniya. Mecheti v dukhovnoy kul'ture tatarskogo naroda (XVIII v. – 1917 g.)* [Five-time and cathedral (jami) mosques in the district of the Orenburg Muslim Spiritual Assembly. Mosques in the spiritual culture of the Tatar people (XVIII century – 1917)]. Proceedings of the All-Russian research/practice conference. Kazan, pp. 93–123.
5. Corpus juris of the Russian Empire. B. 3, vol. XII, part I.
6. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Register 6. D. 1466.
7. Starostin A., Bikov R. 2009, *Mechet' g. Kushva. Islam na Urale* [Mosque of Kushva. Islam in the Urals]: encyclopedic dictionary. A. N. Starostin, ed. by D. Z. Khairedinov. Nizny Novgorod, p. 192–193.
8. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Reg. 3. D. 1466.
9. State Archive of the Sverdlovsk region. F. 6. Reg. 12. Register of the Kushvinsky plant for 1867.
10. Zagidullin I. K. 2006, *Makhallya v promyshlennykh poseleniyakh v Yevropeyskoy chasti Rossii i Sibiri (XIX – nachalo XX v.). Tatarskiye musul'manskiye prikhody v Rossiyskoy imperii* [Mahalla in industrial settlements in the European part of Russia and Siberia (XIX – early XX century)]. Tatar Muslim parishes in the Russian Empire. Proceedings of the All-Russian research/practice conference. Kazan, pp. 66–100.
11. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Register 6. D. 4185.
12. State archive of the Perm Krai F. 65. Reg. 5. D. 104.
13. Denisov D.N. Muslim prayer houses in industrial settlements of the Southern Urals (late XIX – early XX centuries). *Vestnik CHGU* [Bulletin of the Cherepovets State University]. History, issue 36, pp. 137–141. (In Russ.)
14. 2009, *Islam i musul'mane Yuzhnogo Urala v istoriko-pravovom prostranstve Rossii* [Islam and Muslims of the Southern Urals in the historical and legal framework of Russia], collection of legislative acts, decrees, and orders of central and regional authorities and management of the XX–XXI centuries, A. B. Yunusova, M. Yu. Absalyamov, archaeographer. Ufa, 384 p.
15. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Reg. 6. D. 4191.
16. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Register 6. D. 1150. Sheet 1-2.
17. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. 187. Reg. 1. D. 412. Sheet 186.
18. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Register 6. D. 1150. Sheet 1.
19. The State archive of the Perm Krai (SAPK). F. 65. Reg. 5 d. 104. Sh. 29-31; Sh. 135-140.
20. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. 187. Reg. 1. D. 412.
21. Denisov D. N. 2009, Muslim community of Zlatoust in the late XIX – early XXI centuries. *Vestnik CHGU* [Bulletin of the Cherepovets State University], no. 16 (154), pp. 83. (In Russ.)
22. Denisov D. N. 2009, Muslim community of Miass in the late XIX – early XXI centuries. *Vestnik CHGU* [Bulletin of the Cherepovets State University], no. 32 (170), pp. 105. (In Russ.)
23. Glavatskaya E. M., Starostin A. N. 2016, The Muslim community of Ekaterinburg in the second half of the XIX and early XX centuries: numerical strength and institutions. *Izvestiya Ural'skogo federal'nogo universiteta* [Izvestia. Ural Federal University Journal. Series 2. Humanities and Arts], Series 2. Humanities, vol. 18, no. 4 (157), pp. 244–253. (In Russ.)
24. Bibarsov I. A., Starostin A. N. 2018, Islamic and Tatar-Bashkir institutions of learning of Perm in the late XIX – first half of the XX century. Minbar. Islamic Studies, vol. 11, no. 1, pp. 38–51.
25. Glavatskaya E. M., Oshueva N. S., Starostin A. N. 2012, *Musul'manskaya obshchina Nizhnego Tagila v kontse XIX – nachale XXI v.* [Muslim community of Nizhny Tagil in the late XIX – early XXI century], Faizkhanov readings. Proceedings of the eighth annual All-Russian research/practice conference called Faizkhanov readings. Ed. by Mukhedinov D. V. Nizhny Novgorod, pp. 94–103.
26. Azamatov D. D. 2000, *Iz istorii musul'manskoy blagotvoritel'nosti. Vakufy na territorii Yevropeyskoy chasti Rossii i Sibiri v kontse XIX–nachale XX vv.* [From the history of Muslim charity. Waqfs in the European part of Russia and Siberia in the late XIX – early XX centuries], 102 p.
27. Starostin A. N. Pan-Islamism in the Urals or an episode from the history of Muslims Nadezhinsky plant. URL: <https://islamrf.ru/news/culture/history/22824>
28. State archive of the Tomsk region (SATR). F. 3. Register 67. D. 104; D. 327.
29. The working class of Siberia in the pre-October period. Novosibirsk, 1982.
30. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Register 6. D. 3427. Sheet 5-17.
31. SATR. F. 3. Register 77. D. 62.
32. SATR F. 170. Register 7. D. 454.
33. SATR. F. 3. Register 77. D. 302. Sheet 2.
34. National Archives of the Republic of Bashkortostan. F. Fl-295. Register 6. D. 1536.
35. National Archives of the Republic of Bashkortostan. Fl-295. Reg. 3 D. 15593.
36. F. I-295 Reg.6. D. 3303.

Статья поступила в редакцию 11 мая 2019 г.

## Уважаемые авторы!

Журнал «Известия УГГУ» публикует результаты научных исследований российских и зарубежных авторов на русском или английском языках.

К рассмотрению принимаются рукописи, снабженные следующими необходимыми компонентами.

**1. Текст статьи на русском или английском языке (либо двуязычный) в электронном виде.** Статьи принимаются на электронную почту редакции: [iuggu-journal@yandex.ru](mailto:iuggu-journal@yandex.ru) либо при помощи электронной редакции на сайте [iuggu.ru](http://iuggu.ru). Не допускается направление в редакцию статей, уже публиковавшихся или посланных на публикацию в другие журналы. Необходимо указывать номер УДК.

**2. Аннотация и ключевые слова.** Объем аннотации должен составлять 200–250 слов, ключевых слов должно быть не менее 5. По аннотации читатель должен определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации. Стоит воздержаться от второстепенной информации и выражать мысли возможно более лаконично.

**В аннотации должны быть четко прописаны: актуальность, цель работы, метод или методология проведения работы, результаты работы и область их применения; выводы (при необходимости).**

**Текст статьи должен быть структурирован в соответствии с аннотацией и содержать конкретные разделы: введение, результаты и их применение, выводы (при необходимости), заключение.**

Перевод аннотации, ключевых слов и списка литературы на английский язык осуществляется авторами, только если они уверены в качестве перевода, если же нет – перевод осуществляется редакцией. Перевод с помощью электронных переводчиков не принимается.

**3. Список литературы** на русском и английском языках. Ссылки на источники должны идти в тексте по порядку – 1, 2, 3. В тексте ссылки заключаются в квадратные скобки. Количество ссылок в тексте должно соответствовать количеству источников литературы в списке. Упоминания ГОСТ, СНиП, правил безопасности, нормативных, законодательных и других документов, отчетов о НИР, а также ссылок на неофициальные источники в Интернете необходимо приводить в тексте статьи или в сносках, не вынося в список литературы. Обязательно отражение в статье мирового опыта по рассматриваемому вопросу, список литературы должен содержать современные зарубежные статьи (не ранее 2013 года издания). Список литературы должен содержать не менее 15 источников, из которых должно быть не более 2 собственных работ автора. Наличие в списке литературы учебников, учебных и методических пособий, указаний по курсовому и дипломному проектированию, конспектов лекций для студентов не допускается.

При оформлении списка литературы у ВСЕХ публикаций, имеющих DOI (особенно это касается иностранных публикаций), эти DOI должны быть указаны (в виде гиперссылок). Пример оформления: 10. Henry D.J., Novák M., Hawthorne F.C., Ertl A., Dutrow B.L., Uher P., Pezzotta F. Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals // American Mineralogist. 2011. Vol. 96. P. 895–913. <https://doi.org/10.2138/am.2011.3636>. Ссылки должны быть работающие!

**4. Сведения об авторах.** Необходимо указать для каждого автора на русском и английском языках ФИО, должность, учennуу степень и звание, место работы (учебы) с указанием полного почтового адреса, контактный e-mail, контактный телефон, номер ORCID ID (аккаунт ORCID обязательно должен содержать информацию о месте работы автора и актуализированный перечень публикаций).

**5. Экспертное заключение о возможности опубликования.** В сканированном или распечатанном виде.

**6. Согласие на обработку персональных данных.** Можно как прислать в сканированном виде, так и принести в редакцию. Бланк можно взять в редакции.

Плата за публикацию с авторами научно-технических статей, включая аспирантов, в порядке общей очереди не взимается.

### Оформление статей

1. Редактор Microsoft Word, гарнитура Minion Pro. Поля документа: левое 2 см, остальные – 1,5 см. Кегль 10, одинарный интервал. Абзацный отступ 0,63. Страницы нумеруются. Не допускаются пробелы между абзацами.

2. В тексте допускаются только общепринятые сокращения слов. Все сокращения в тексте, рисунках, таблицах должны быть расшифрованы.

3. Формулы должны быть набраны в редакторе Microsoft Equation и пронумерованы, если в тексте имеются ссылки на них. При наборе формул и текста латинские буквы выделяют курсивом, а русские, греческие и цифры – прямым шрифтом. Кегль шрифта в формулах должен совпадать с кеглем шрифта основного текста. Тригонометрические знаки ( $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\tg$ ,  $\arcsin$  и т. д.), знаки гиперболических функций ( $\sh$ ,  $\ch$ ,  $\th$ ,  $\cth$  и т. д.), обозначения химических элементов ( $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Na}$  и т. д.), некоторые математические термины ( $\lim$ ,  $\ln$ ,  $\arg$ ,  $\grad$ ,  $\const$  и т. д.), числа или критерии ( $\text{Re}$  – Рейнольдса и т. д.), названия температурных шкал ( $^{\circ}\text{C}$  – градусы Цельсия и т. д.) набираются прямым шрифтом.

4. Физические единицы приводятся в системе СИ.

### Графический материал

Рисунки, карты, чертежи предоставляются в электронном и бумажном виде, в цветном и/или черно-белом исполнении. Изображения должны быть четкими, контрастными. Таблицы и схемы должны быть пригодными для правки. Таблицы и схемы, сканированные как изображения, не принимаются.

На картах обязательно указывается масштаб. На чертежах, разрезах, картах должно быть отражено минимальное количество буквенных и цифровых обозначений, а их объяснение – в подрисуночных подписях. Ксерокопии и сканированные ксерокопии фотографий не принимаются. Рисунки с нечитаемыми или плохо читаемыми надписями, с подписями «от руки», слишком тонкими линиями не принимаются.

Подрисуночная подпись должна быть набрана 8 кеглем, основной текст в таблице – 8 кеглем, шапка таблицы – 8 кеглем. Гарнитура текста в рисунках и таблицах – Arial, кегль 8.

Все статьи подлежат двойному слепому рецензированию, мнение рецензента всегда доводится до сведения автора.

### Примеры оформления списка литературы

#### Монографии

Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. 280 с.

#### Статьи в периодических изданиях

Абатурова И. В., Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия месторождений Урала в скальных массивах // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 6. С. 160–168.

#### Авторефераты, диссертации

Овечкина О. Н. Оценка и прогноз изменения состояния геологической среды при техногенном воздействии зданий высотной конструкции в пределах города Екатеринбурга: автореф. ... дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2013. 24 с.

Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем: дис. ... канд. техн. наук. М.: МИФИ, 2007. 170 с.

#### Зарубежные исследования

Hudson J. A. The Scattering of Elastic Waves by Granular Media. Quart Journal Mech. and Applies Math. 1968. Vol. XXI. Pt. 4. pp. 487–502.

#### Сетевые источники

Биржевой навигатор. URL: <http://stock-list.ru/natural-gas.html>

## Памятка для авторов

Научный журнал не может (и не должен) развиваться только силами редакции. Поэтому, предъявляя новые требования к себе, мы предъявляем их и к авторам, которые хотят публиковаться в нашем журнале.

Требования к оформлению высыпаемых рукописей мы публикуем на нашем сайте, а также на последней странице каждого нового выпуска. Здесь мы не будем повторять все это, лишь расскажем о нововведениях, которые нам представляются наиболее важными.

**Аннотация.** Как на русском, так и на английском языках аннотации сейчас принимаются только расширенные – не менее 200 слов. Делается это для того, чтобы читатель (в том числе иностранный) мог в считанные минуты понять, о чем данная статья и представляет ли она для него интерес.

**Список литературы.** К сожалению, публикации в советских журналах традиционно отличались от иностранных меньшим числом источников. Кроме того, отечественные ученые зачастую не утружддают себя изучением иностранных публикаций на интересующую тему. Также часты использования в качестве источников различных учебников, методичек и пр. Все это значительно снижает уровень публикаций. Поэтому мы взяли за правило рекомендовать авторам расширять список литературы до 10–15 источников с обязательным использованием современных зарубежных публикаций. Исключения возможны, но они должны быть обоснованными.

**DOI.** Помимо ставшего уже привычным для авторов присваиваемого каждой статье номера УДК, начиная со второго номера 2016 года каждой статье в обязательном порядке присваивается номер DOI.

DOI (англ. Digital object identifier) – классификатор цифрового объекта для создания постоянных гиперссылок, которые позволяют сохранять информацию о конкретной статье в сети Интернет, даже если изменилась структура сайта, где эта статья изначально была сохранена.

Проще говоря, номер DOI позволяет научной статье гарантированно открываться и быть доступной для поиска в сети, что совершенно необходимо для того, чтобы статья могла цитироваться с помощью Интернета, не затрудняя авторов поисками ее в библиотеках и архивах – своего рода дань современным ИТ-технологиям.

Редакцией «Известий УГГУ» заключен договор с Некоммерческим партнерством «Национальный Электронно-Информационный консорциум» (НП НЭИКОН), которое предоставляет в России посреднические услуги по присвоению DOI от регистрационного агентства (DOI Registration Agency) CrossRef. Это самый современный центр регистрации Международной организации документации, основной задачей которого является организация доступа пользователей к первичным публикациям, содержащим научный контент, и содействие коллективной работе издателей по всему миру. Этую кооперативную справочную систему сейчас используют большинство научных журналов в мире.

DOI обязательно указывается при цитировании статьи. В журнале «Известия УГГУ» DOI сейчас присваивается каждой вновь вышедшей статье. Также номер DOI может быть присвоен любой из статей, которые ранее публиковались в нашем журнале – но уже не в обязательном порядке, а по желанию авторов. Для желающих достаточно сделать заявку в редакцию.

**Качество перевода.** Нас не устраивает перевод аннотаций (и уж тем более – статей) с помощью электронных переводчиков. Если вы не уверены в своем переводе, лучше обратитесь за помощью в редакцию. Лучше не предоставить никакого перевода, чем перевод низкого качества.

**Качество рисунков.** Рисунок должен оставаться качественным при увеличении. Не забывайте о том, что статья будет опубликована не только в бумажной, но и в электронной версии.

**Качество текстов.** При рассмотрении рукописи авторитет и заслуги автора статьи во внимание не принимаются – только качество присланного текста. Для этого введено двойное слепое рецензирование.

**Слепое рецензирование.** Два рецензента оценивают качество статьи, не зная, кто ее автор. В случае, если рецензент узнает автора, то рукопись автоматически передается другому рецензенту – из числа экспертов, сотрудничающих с журналом. Делается это для того, чтобы личные отношения не влияли на качество рецензии. Автор также не знает своего рецензента.

Помимо этого, правила публикации текстов предполагают их разнообразие. Поэтому **недопустима публикация двух статей одного автора в одном номере журнала**. То же правило распространяется и на соседние номера. Так мы поддерживаем разнообразие тем и авторов, исключая превращение журнала в издание, где постоянно публикуется десяток одних и тех же авторов. Исключение составляют статьи вне научных разделов, а также статьи, продолжающиеся из номера в номер. В качестве альтернативы публикации в нашем журнале мы можем предложить автору опубликоваться в другом журнале, с которым у нас заключен договор по обмену статьями.

**Очередь.** Сроки публикации зависят от количества (и качества) статей, предложенных редакции. Если статей много, они публикуются в порядке очередности, однако редакция оставляет за собой право печатать вне очереди те из них, которые считает наиболее значимыми.

Автор должен также подписать согласие на использование редакцией журнала "Известия УГГУ" его персональных данных.

**На обложке:** фото авдонинита – гидроксихлорида калия и меди с примесями митчерлихита, атакамида, нантокита и других хлоридов меди – минерала, найденного на уже отработанных медноколчеданных месторождениях Среднего и Южного Урала.

**On the cover:** the photo of avdoninite – hydroxychloride potassium and copper with impurities of mitcherlihite, atacamite, nantokite and other copper chlorides – a mineral found in the already exhausted copper-sulphide deposits of the Middle and South Urals.

## Редакция выражает благодарность за помощь в работе журнала

**Баранникову** Александру Григорьевичу – д-ру геол.-минерал. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);  
**Боярских** Геннадию Алексеевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);  
**Карстен** Луизе – Dr. rer. nat. (Ганновер, Германия);  
**Кожушко** Герману Георгиевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);  
**Козину** Владимиру Зиновьевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);  
**Корнилкову** Сергею Викторовичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);  
**Сурневу** Виктору Борисовичу – д-ру физ.-мат. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);  
**Тимухину** Сергею Андреевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);  
**Филиппову** Сергею – Dr. rer. nat. (Ганновер, Германия);  
**Хальфину** Марату Нурмухамедовичу – д-ру техн. наук, профессору (Новочеркасск, Россия)

### Редакция

Главный редактор Косарев Н. П.

Заместитель главного редактора Шорин А. Г.

Ответственный секретарь Георгиева Н. В.

Редактор Фишман Ю. П.

Переводчик Алферова А. М.

Верстка Шориной Э. В.

Корректура, оформление рисунков Пихтовниковой О. Г.

Идея обложки Васфиловой И. С.

Подписано в печать 15.06.2019. Дата выхода в свет – 22.06.2019.

Формат 60 × 84/8. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 21,27. Тираж 120 экз. Заказ № 20

Цена свободная

Почтовый адрес издателя и учредителя: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,

ФГБОУ ВО "Уральский государственный горный университет"

Редакция: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, к. 3142

Тел.: (343)283-05-60

E-mail: iuggu-journal@yandex.ru

<https://iuggu.ru>

Отпечатано в типографии "Для Вас":

620073, г. Екатеринбург, ул. Розы Люксембург, д. 52а, оф. 3