

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 (70)

2023

Уральский государственный
горный университет

Известия Уральского государственного
горного университета
2023, вып. 2 (70)

Ural State
Mining University

News of the Ural State
Mining University
2023, issue 2 (70)



DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS



НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU



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 «УП УРАЛ-ПРЕСС»
«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

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

Ученый секретарь

ЕРОХИН Ю. В. – канд. геол.-минерал. наук, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия

Редакционная коллегия

МАКАРОВ А. Б. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет
АБАТУРОВА И. В. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ВАЛИЕВ Н. Г. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ГОЛИК В. И. – д-р техн. наук, проф., Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)
ГОРДЕЕВ В. А. – д-р техн. наук, проф., Кубанский государственный технологический университет
ГРЕВЦЕВ Н. В. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ГУМАН О. М. – д-р геол.-минерал. наук, проф., член Российской Академии Естествознания
ДАВЫДОВ В. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН
ДАШКО Р. Э. – д-р геолого-минералогических наук, проф., Санкт-Петербургский горный университет
ДУШИН В. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ЖАБКО А. В. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ЗОТОВ А. Н. – д-р техн. наук, проф., Уфимский государственный нефтяной технический университет
ИВАНОВ К. С. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН
ИГОЛКИНА Г. В. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН
КОЗЛОВ П. С. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН
МАЛИЧ К. Н. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН
МУРЗИН В. В. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН
НАУМОВ В. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Пермский государственный национальный исследовательский университет
ПАНЯК С. Г. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ПЕТРОВ Г. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН
ПИСЕЦКИЙ В. Б. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ПУЧКОВ В. Н. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН
СУНГАТУЛЛИН Р. Х. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Казанский (Приволжский) федеральный университет
ТАГИЛЬЦЕВ С. Н. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ТАЛАЛАЙ А. Г. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ХОМЕНКО В. П. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
ЩАПОВ В. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН
АМДУР А. М. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет
АПАКАШЕВ Р. А. – д-р хим. наук, проф., Уральский государственный горный университет
БОЯРСКИХ Г. А. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ЗАЙЦЕВ Д. В. – д-р физ.-мат. наук, проф., Уральский государственный горный университет
КРАСИКОВ С. А. – д-р хим. наук, проф., Уральский государственный горный университет
СИМИСИНОВ Д. И. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ПОТАПОВ В. Я. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ХАЗИН М. Л. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ИГНАТЬЕВА М. Н. – д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ГЛАЗЫРИНА И. П. – д-р экон. наук, канд. физ.-мат. наук, проф., Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
ДОРОШЕНКО Ю. А. – д-р экон. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
ДУШИН А. В. – д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет
ЛАРИЧКИН Ф. Д. – д-р экон. наук, проф., Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина ФИЦ КНЦ РАН
НАЗАРОВА З. М. – д-р экон. наук, проф., Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе

Члены международной редколлегии

АБДЕЛЬ ГАВАД А. Е. – Dr, Управление ядерных материалов, Каир, Египет
М. М. Ф. ГХОНЕИМ – асс. проф. геохимии, Агентство по атомной энергетике, Каир, Египет
МЕРКЛЕ Р. К. В. – Dr, Prof., Университет Претории, Претория, Южная Африка
САДОВЕНКО И. А. – д-р техн. наук, проф., Национальный горный университет, Днепр, Украина
БУИ С. Н. – Dr.-Ing., ассоц. проф., проректор, Ханойский университет горного дела и геологии, Ханой, Вьетнам
ВЕКСЛЕР Ю. А. – Dr.-Ing.habil, Prof., Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH, Дахау, Германия
ДРЕБЕНШТЕДТ К. – Prof., Dr.-Ing., Фрайбергская горная академия, Фрайберг, Германия
ИЛИАШ Н. – Dr of Technical Science, Prof., Петрошанский университет, Петрошань, Румыния
МОРКУН В. С. – д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе, Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина
САКСЕНХОФЕР Р. Ф. – Univ.-Prof., Mag.reg.nat., Dr.mont., Горный университет Леобена, Леобен, Австрия
ФЕРРЕРО А. М. – PhD, Туринский университет, Турин, Италия
СЯО Ф. – PhD, Prof., Хэйлунцзянский университет науки и технологии, Харбин, Китай
ТАМБОВЦЕВА Т. Т. – д-р экон. наук, ассоц. профессор, Рижский технический университет, Рига, Латвия
РАДА Е. К. – Dr, Prof., Университет Инсубрии, Варесе, Италия

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

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

Academic Secretary

Yu. V. EROKHIN, PhD (*Ekaterinburg, Russia, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry*)

Editorial board

A. B. MAKAROV, Dr, Prof., Ural State Mining University
I. V. ABATUROVA, Dr, Prof., Ural State Mining University
N. G. VALIEV, Dr, Prof., Ural State Mining University
V. I. GOLIK, Dr, Prof., North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)
V. A. GORDEEV, Dr, Prof., Kuban State Technological University
N. V. GREVTSEV, Dr, Prof., Ural State Mining University
O. M. GUMAN, Dr, Prof., member of Russian Academy of Natural Sciences
V. A. DAVYDOV, Dr, Prof., Bulashevich Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS
R. E. DASHKO, Dr, Prof., Saint Petersburg Mining University
V. A. DUSHUN, Dr, Prof., Ural State Mining University
A. V. ZHABKO, Dr, Prof., Ural State Mining University
A. N. ZOTOV, Dr, Prof., Ufa State Petroleum Technological University
K. S. IVANOV, Dr, Prof., The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS
G. V. IGOLKINA, Dr, Prof., Bulashevich Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS
P. S. KOZLOV, Dr, Prof., The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS
K. N. MALICH, Dr, Prof., The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS
V. V. MURZIN, The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS
V. A. NAUMOV, Dr, Prof., Perm State University
S. G. PANYAK, Dr, Prof., Ural State Mining University
G. A. PETROV, Dr, Prof., The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS
V. B. PISETSKIY, Dr, Prof., Ural State Mining University
V. N. PUCHKOV, Dr, Prof., The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS
R. Kh. SUNGATULLIN, Dr, Prof., Kazan (Volga region) Federal University
S. N. TAGIL'TSEV, Dr, Prof., Ural State Mining University
A. G. TALALAY, Dr, Prof., Ural State Mining University
V. P. KHOMENKO, Dr, Prof., Moscow State University of Civil Engineering
V. A. SHCHAPOV, Dr, Prof., Bulashevich Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS
A. M. AMDUR, Dr, Prof., Ural State Mining University
R. A. APAKASHEV, Dr, Prof., Ural State Mining University
G. A. BOYARSKIKH, Dr, Prof., Ural State Mining University
D. V. ZAITSEV, Dr, Prof., Ural State Mining University
S. A. KRASIKOV, Dr, Prof., Ural State Mining University
D. I. SIMISINOV, Dr, Prof., Ural State Mining University
V. Ya. POTAPOV, Dr, Prof., Ural State Mining University
M. L. KHAZIN, Dr, Prof., Ural State Mining University
M. N. IGNAT'EVA, Dr, Prof., Ural State Mining University
I. P. GLAZYRINA, Dr, Prof., Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of RAS
Yu. A. DOROSHENKO, Dr, Prof., Belgorod Shukhov State Technological University
A. V. DUSHIN, Dr, Prof., Ural State Mining University
F. D. LARICHKIN, Dr, Prof., Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”
Z. M. NAZAROVA, Dr, Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

International members

A. E. ABDEL GAWAD, Dr, Nuclear Materials Authority, *Cairo, Egypt*
M. M. F. GHONEIM, Assistant Professor, Nuclear Materials Authority, *Cairo, Egypt*
R. K. W. MERKLE, Dr, Prof., University of Pretoria, *Pretoria, South Africa*
I. A. SADOVENKO, Dr, Prof., National Mining University, *Dnepr, Ukraine*
X. N. BUI, Dr.-Ing., Assoc Prof., Vice Rector, Hanoi University of Mining and Geology, *Hanoi, Vietnam*
Ju. A. VEKSLER, Dr.-Ing.habil, Prof., Marco Systemanalyse und Entwicklung GbH, *Dachau, Germany*
C. DREBENSTEDT, Prof., Dr.-Ing., Technical University Bergakademie, *Freiberg, Germany*
N. ILIAS, Dr, Prof., Universitatea din Petrosani, *Petrosani, Romania*
V. S. MORKUN, Dr, Prof., Vice-Rector for scientific work, Kryvyi Rih National University, *Krivoy Rog, Ukraine*
R. F. SACHSENHOFER, Mag.rer.nat., Dr.mont., Univ.-Professor, University of Leoben, *Leoben, Austria*
A.-M. FERRERO, PhD, University of Turin, *Turin, Italy*
F. XIAO, PhD, Prof., Heilongjiang University of Science and Technology, *Harbin, China*
T. T. TAMBOVCEVA, Dr, Assoc Prof., Riga Technical University, *Riga, Latvia*
E. C. RADA, Dr, Prof., Insubria University, *Varese, Italy*

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Литостратиграфия и геологическая эволюция триасовых пород бассейна Пальмирид в Сирии**
Н. Моххамад, Н. Хамада, А. А. Тавиль, А. Абдулла,
А. Р. Аль-Тарбуш
(In English)
- Вольфраматы Боёвского вольфрамового месторождения (Южный Урал)**
В. С. Пономарев, Ю. В. Ерохин, В. В. Григорьев
(In English)
- Монацит из литиеносных пегматитов Липовского жильного поля, Средний Урал (состав и химическое датирование)**
(In English)
А. В. Захаров, В. В. Хиллер
- Ассоциация Fe–Ti оксидов в субщелочных долеритах массива Рай-Из (Полярный Урал)**
(In English)
П. Б. Ширяев, Н. В. Вахрушева, Е. А. Панкрушина
- Палеоклиматические условия накопления верхнеюрских и нижнемеловых высокоуглеродистых отложений Ульяновско-Саратовского прогиба (восток Русской плиты)**
К. И. Никашин, С. О. Зорина, В. С. Илясов,
И. В. Колчин
- Геофизические исследования ареала загрязнения подземных вод в пос. Верх-Нейвинский**
В. А. Шапов, А. К. Юрков, Г. А. Цай
- Распределение содержания платины в хромитовом и дунитовом типах руд Нижнетагильского массива (Средний Урал)**
Г. П. Дворник
- Влияние даек в массиве горных пород на устойчивость горной выработки в условиях действия гравитационно-тектонического поля напряжений**
А. Д. Куранов, П. В. Басалаева, В. С. Онуприенко
- Особенности минерального состава техногенных отложений урбанизированной среды на примере городов Уральского региона**
Е. О. Илгашева
- Разделение асбестовых концентратов в гидроциклоне**
Н. П. Косарев, В. Я. Потапов, А. В. Долганов,
В. В. Потапов
- Декарбонизация горной промышленности России**
М. Л. Хазин, Р. А. Апакашев

CONTENTS

EARTH SCIENCES

- 7 **Lithostratigraphy and geological evolution of Triassic rocks in the Palmyride Basin in Syria**
N. Mohammad, N. Hamada, A. A. Tawil, A. A. Abdullah,
A. R. Al-Tarboush
(In English)
- 18 **Tungstates of the Boyovskoye tungsten deposit (Southern Urals)**
V. S. Ponomarev, Yu. V. Erokhin, V. V. Grigor'ev
(In English)
- 24 **Monazite from lithium-bearing pegmatites of the Lipovskoye vein field, Middle Urals (composition and chemical dating)**
(In English)
A. V. Zakharov, V. V. Khiller
- 32 **Association of Fe–Ti oxides in subalkaline dolerites of the Rai-Iz massif (Polar Urals)**
(In English)
P. B. Shiryaev, N. V. Vakhrusheva, E. A. Pankrushina
- 40 **Paleoclimatic conditions during the accumulation of the upper jurassic and lower cretaceous organic carbon-rich deposits of the Ulyanovsk-Saratov trough (eastern Russian platform)**
K. I. Nikashin, S. O. Zorina, V. S. Ilyasov,
I. V. Kolchin
- 53 **Geophysical studies of the area of groundwater pollution in Verkh-Neyvinsky village**
V. A. Shchapov, A. K. Yurkov, G. A. Tsay
- 62 **Distribution platinum content in chromite and dunite type ores Nizhny Tagil massif (Middle Ural)**
G. P. Dvornik
- 72 **Influence of dikes in a rock mass on the stability of a mine working under the action of a gravitational-tectonic stress field**
A. D. Kuranov, P. V. Basalaeva, V. S. Onuprienko
- 81 **Features of the mineral composition of technogenic deposits of the urbanized environment using the example of the cities of the Ural region**
E. O. Ilgasheva
- 88 **Separation of asbestos concentrates in a hydrocyclone**
N. P. Kosarev, V. Ya. Potapov, A. V. Dolganov,
V. V. Potapov
- 98 **Decarbonization of the Russia mining industry**
M. L. Khazin, R. A. Apakashev

- Получение металлического магния на основе полиминеральных руд Калининградско-Гданьского солеродного бассейна**
 А. О. Гапчич, П. С. Шербань, О. Н. Летуновская, И. С. Новиков
- 107 **Production of metallic magnesium based on polymineral ores of the Kaliningrad-Gdansk salt basin**
 A. O. Gapchich, P. S. Shcherban', O. N. Letunovskaya, I. S. Novikov

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

ECONOMIC SCIENCES

- Экономическая оценка экосистемных услуг национального природного капитала**
 О. А. Логвиненко, М. Н. Игнатьева
 (In English)
- 121 **Economic assessment of ecosystem services of the national natural capital**
 O. A. Logvinenko, M. N. Ignat'eva
 (In English)
- Продуктивность труда как фактор повышения конкурентоспособности и жизнеспособности горнодобывающих предприятий**
 С. В. Росляков
- 128 **Labor productivity as a factor in increasing the competitiveness and viability of mining enterprises**
 S. V. Roslyakov
- Экономико-технологический подход к проектированию обустройства морских месторождений. Обзор зарубежных практик**
 Л. В. Пападмитриева, Д. В. Казаковцев
- 134 **Economic and technological approach to the design of offshore field development. Review of foreign practices**
 L. V. Papadmitrieva, D. V. Kazakovtsev
- К вопросу о привлечении инвестиций в мероприятия по повышению эффективности использования энергетических ресурсов**
 И. Ю. Полетаев
- 147 **On the issue of attracting investments in improving energy efficiency**
 I. Yu. Poletaev
- Природно-ресурсный потенциал региона: состояние и оценка**
 В. Г. Логинов
- 155 **Natural resource potential of the region: state and assessment**
 V. G. Loginov
- Вызовы и угрозы современному недропользованию на примере УрФО**
 И. Г. Полянская, В. В. Юрак, В. Е. Стровский
- 164 **Challenges and threats to modern subsoil use using the example of the Ural Federal District**
 I. G. Polyanskaya, V. V. Yurak, V. E. Strovskiy

ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ

DISCUSSION CLUB

- Золото верхних горизонтов Березовского рудного поля**
 А. В. Кузин
- 175 **Gold of the upper horizons of the Berezovsky ore field**
 A. V. Kuzin

ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА

HISTORY OF MINING

- Павел Иванович Кутюхин (1899–1962) и бывший кутюхинит (ныне кумтюбеит)**
 А. Г. Баранников, С. С. Потапов
- 180 **Pavel Ivanovich Kutjukhin (1899–1962) and former kutyukhinite (now kumtyubeite)**
 A. G. Barannikov, S. S. Potapov
- Исповедь врага народа**
 В. В. Филатов
- 187 **Confessions of an Enemy of the People**
 V. V. Filatov

Науки о Земле Earth sciences

UDC 551.7+550.8

<http://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-2-7-17>

Lithostratigraphy and geological evolution of Triassic rocks in the Palmyride Basin in Syria

Nosheen MOHAMMAD^{1,2*}Nadiya KHAMADA^{1,2**}Abd Azeez TAWIL^{2***}Alaa ABDULLAH^{3****}Abdul Rahim AL-TARBOUSH^{2,4*****}¹Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia²Damascus University, Damascus, Syria³Aleppo University, Aleppo, Syria⁴Ebla Petroleum Company, Damascus, Syria

Abstract

The purpose of the research. This research aims to study the lithostratigraphy and geologic evolution of the Kurrachine Dolomite Formation in the middle Triassic along the Palmyrian Belt Zone in Syria. Studying this formation in its northern and southern parts has shown that it consists of two lithostratigraphic members, where each of them includes a series of lithological units. The petrographical study of the components of these units shows that they are composed of four distinguished components: dolomitic limestones, clayey limestones, clay and anhydrites, pure or mixed and deposited in repeated harmonic layers, gathered mostly in neutral sedimentary sequences.

The relevance of the research. This scientific research can provide information about the sedimentary evolution and stratigraphic succession of the region and its historical development. In addition, it can provide insight into the relationships between different sedimentary layers, and mineral resources available in the basin and their potential for exploitation. This research can also lead to a better understanding of the ancient environment in the region.

Research methodology. Data was collected from a range of sources, including geological maps and cross-sections, drill core log data from nine gas wells in the field, field observations, and published research. The study area was divided into different lithostratigraphic units, and the geology of each was studied in detail. Attention was paid to the lithology, hydrocarbon content, structural features and other features of each unit. The data collected was then used to construct a geological history of the region, including its tectonic, sedimentary, and paleogeographic evolution. This information was then used to make inferences about the regional stratigraphic framework, as well as to make predictions about future geological evolution.

Results and conclusions. This article focuses on the lithostratigraphy, as well as the geological evolution, of Triassic rocks, specifically the Kurrachine Dolomite Formation in the Northeastern Palmyride Basin of Syria. Laboratory studies were conducted to explore the lithology and sedimentary facies of the formation. Results show that the Kurrachine Dolomite Formation is dominated by deposits of a limited lithological nature. It is limited to calcareous, limestone, dolomitic limestones, dolomite, shale, and clay rocks, with limited intrusions of anhydrite in the upper part. The sedimentary environment of the formation is interpreted as shallow-marine. All analysis reveals that the Kurrachine Dolomite Formation is mainly composed of Middle Triassic deposits. This indicates a change in the sedimentation dynamics in the Palmyride Basin during the Middle Triassic. The results of the study provide a better understanding of the geological evolution of the Palmyride Basin in Syria.

Keywords: Lithostratigraphy, Kurrachine Dolomite, Palmyrian, Dolomitic limestones, Syria.

✉ nosheen.g.mohammad@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3893-041X>

**nadia.m.hamada@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-3269-6842>


***abdazeez1101@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-9484-1493>

****alaa663108@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-0477-2062>

*****AbdTar0997@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-0916-3269>

Introduction

Syria primarily belongs to the Arabian plate's margin, northern section (Arabian Syria), in the vicinity of the active zone of collision with Eurasia from the Precambrian to the present. Syria holds a portion of the Levantine Plate (Levantine Syria) (fig. 1). The plate divides the faulting system of the Dead Sea (Levantine) [1]. Individualization of the Arabia plate impacted the Levant during the Neogene, resulting in the formation of the Dead Sea (or Levant) Fault. In the middle of the Cenozoic period, the Arab plate splits from the African plate [1, 2]. The plate's orientation and position, impacted by tectonic movements, have altered multiple times, as evidenced by climate oscillation, depositional conditions and a tectonic-structural setting with features of both passive and active borders (fig. 1, a) [2, 3]. The distribution of tectonic provinces and structural boundaries on the plate's northern border is mostly determined by Cenozoic tectonic events. The thrust belt and Zagros fold, which trend northwesterly, is now the most prominent barrier (west Iran and eastern Iraq) [4]. It accommodates Arabia's convergence with Eurasia through broad thrusting, folding, and crustal shortening. The west limit is defined by the sinistral Dead Sea fault system, which accommodates the differing northward migration of the Arabian and African plates caused by the opening of the Red Sea [1].

Syria has four major tectonic zones (fig. 1, b): the Palmyride fold belt zone, the Sinjar-Abd El Aziz uplift zone, the Euphrates Depression, and the Dead Sea Fault System. Only one – the Dead Sea Fault System – is a non-hydrocarbon producing zone [5]. Cumulatively, the best producer is the Mesopotamian foredeep, a regional-scale flexural depression that extends from Iraq into NE Syria.

The study region is in the middle Palmyrides. The Palmyrides are a great indicator of an intracontinental transpressive mountain belt and the most important formation in central Syria [1, 6, 7]. From the Anti-Lebanon Mountains and

the Dead Sea fault system, the Palmyrides strike N45E into the Euphrates Graben in the northeast, where they drop and vanish. The Palmyride mountain chain is 400 kilometers long and 100 kilometers broad, with a maximum elevation of around 1400 meters (fig. 1, b). The mountain belt is bounded by two structural highs, Alepo to the northwest and Rutbah to the southeast.

The study area is located north of the city of Palmyra, 70 km away from it in the Twenan field. It is one of the important structures with high hydrocarbon potential, as it contains two important formations (Kurrachine Dolomite and Butma). The field is an oil and gas producing complex with an area of 33 (km²) belonging to the North Palmyra unit. Where The Twenan (TW) oil and gas field located to the southwest of the oil and gas-producing Akram structure, and it is located east of the gas-producing AlKhashabiya structure. The field is an elongated fold that takes a direction (northeast, southwest) interrupted by several main faults that take the direction of installation and divide it into blocks in addition to faults perpendicular to the direction of the main faults, which increases the complexity of the structure.

During the Neogene, the Red Sea opened, the Dead Sea Fault System activated, the Eastern Mediterranean opened, convergence and obduction occurred in southern Turkey and Iran, and the Arabian and Eurasian Plates collided. The sediments from the Palmyrides depocenter were raised and inverted into their present condition. The region is still in the compressional phase. The procedure should be separated into at least three stages [8, 9].

The first uplift was detected at the end of the Cretaceous (~65 Ma), the second uplift and local onlap occurred during the mid-Eocene, and the final and most important uplifting phase began approximately 20 Ma ago (Early Miocene) and is currently active [7]. This most recent uplifting was essential because it most likely constitutes a watershed moment in the

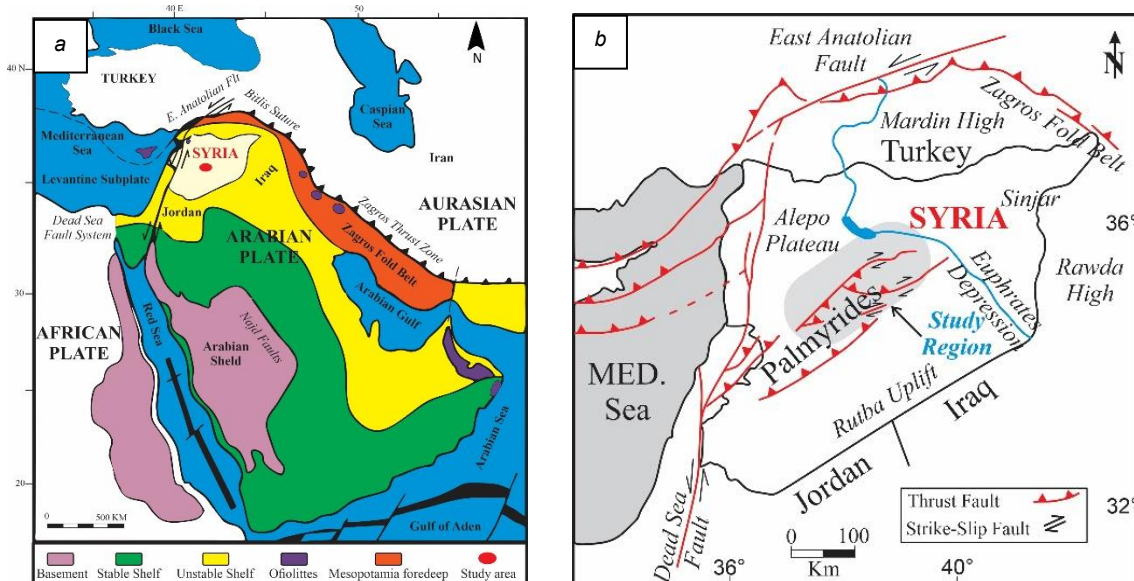


Figure 1. Map of the study region and nearby tectonic features: a – Regional tectonic setting of the northern Arabian Platform (modified from [1]); b – Syria's primary structural components (modified from [4])

Рисунок 1. Карта района исследования и близлежащих тектонических особенностей: а – региональная тектоническая обстановка северной части Аравийской платформы (с изменениями из [1]); б – основные структурные компоненты Сирии (с изменениями из [4])

history of Syrian terrains. Folding, reverse faulting, and tiny block rotation along multiple strike slip faults were all part of the inversion process.

Palmyrides split into northern and southern Palmyrides because of the differing tectonic types, which are separated by the regional Jihar fault and the Al Daww depression [10]. The north Palmyrides are composed of large, reasonably symmetric anticlines with reversal faults that descend into the belt's core along its southern and northern sides. The Salamieh and Homs depressions are on the northern side, while the Jihar fault is on the southern side. In the middle are two structural blocks, Bishri and Bilas. The Bilas block is a strike-slip duplex structure that is limited on the south by the Jihar dextral strike-slip fault and on the north by the Bishri dextral strike-slip fault. Jihar fault is one of the most important strike-slip fault systems in Palmyrides, dividing the SW and NE Palmyrides [11]. The fault has been traced over 200 kilometers in an ENE direction, with an average of 1000 meters of elevation. Al Daww depression is a form of intramountain basin that constitutes a depocenter from the Miocene to the present. More than 5 000 m of Mesozoic and 6 000 m of Paleozoic deposits lie in the depression.

Research materials and methods

In this paper, lithostratigraphy has been used to analyze the geological evolution of a region. To do this, data were col-

lected from a range of sources, including geological maps and cross-sections, drill core log data from 9 gas wells in the field, field observations, and published research. The study area was divided into different lithostratigraphic units, and the geology of each was studied in detail (fig. 2, a, b). Attention was paid to the lithology, hydrocarbon content, structural features, and other features of each unit. The data collected was then used to construct a geological history of the region, including its tectonic, sedimentary, and paleogeographic evolution. This information was then used to make inferences about the regional stratigraphic framework, as well as to make predictions about future geological evolution.

In this field, 23 wells were drilled, the most important in terms of oil (TW-1, TW-2, TW-3, TW-10, TW-11) (fig. 2, b) while the most important in terms of gas (TW-101, TW-104, TW-105). It turns out that this field constitutes an important oil and gas field. The TW-1 well was drilled in order to test and determine the oil potentials of the formations produced in the neighboring fields of different ages, such as the Marqada formation from the Carboniferous, Kurrachine Dolomite from the Middle Triassic and Haramon of the Jurassic.

Lithostratigraphic analysis is an important part of geological research, and it can be conducted through the use of much geological software. In this scientific research we have

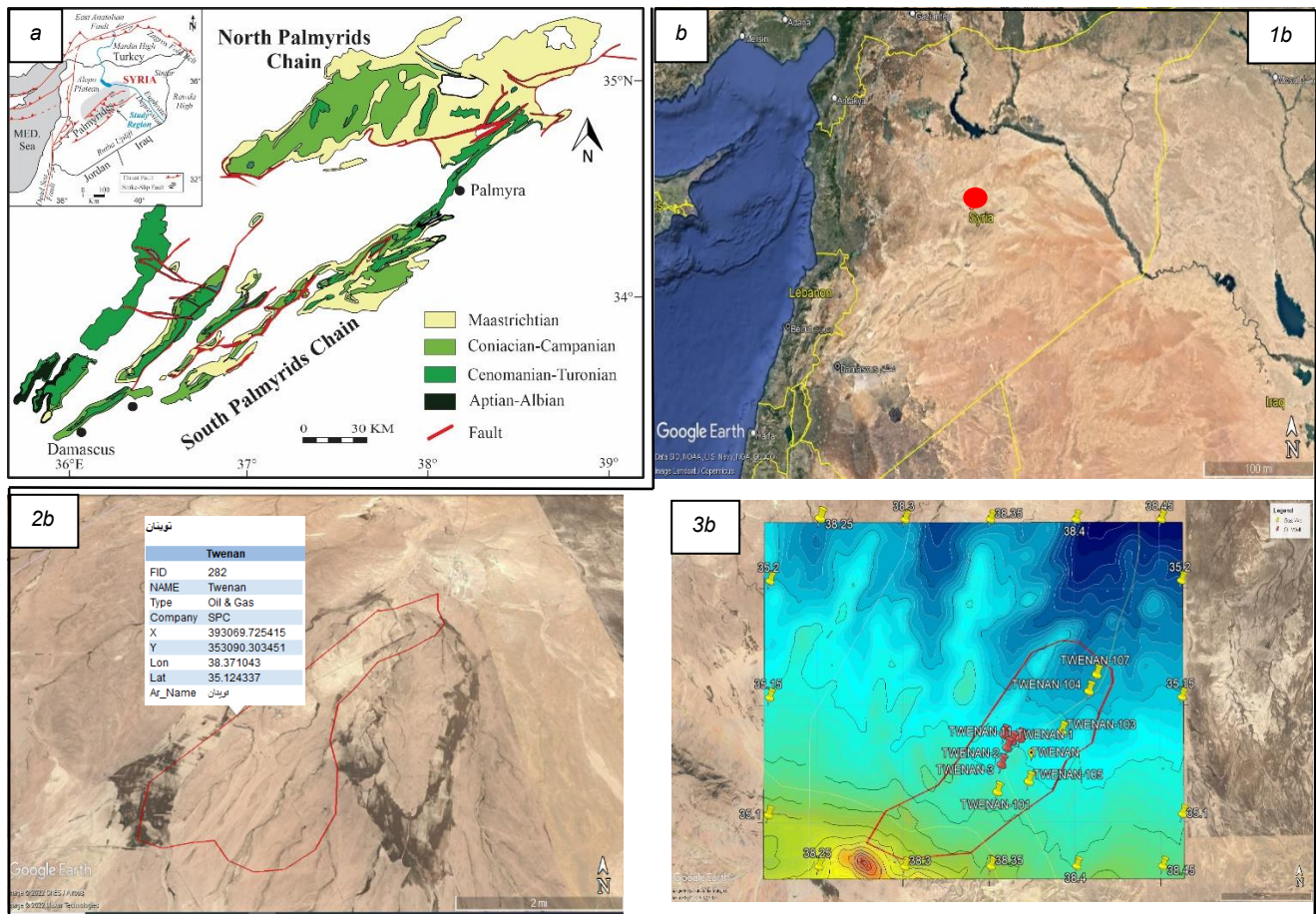


Figure 2. Location map of the study area: a – The Cretaceous outcrops of the Palm Rides (modified from [12]); b – Google Earth map of the study area showing: 1b – the study area with the red circle, 2b – boundary of the field, 3b – oil and gas wells in the field
Риснок 2. Карта расположения района исследований: а – меловые обнажения Палм-Райдс (с изменениями из [12]); б – карта Google Earth изучаемой территории, на которой показаны: 1б – изучаемая территория с красным кружком, 2б – граница месторождения, 3б – нефтяные и газовые скважины месторождения

used many software programs like interactive petrophysics IP, Petrel and Google Earth. This type of software products allows us to easily identify and map out lithostratigraphic units and can also analyze the geologic relationships between different types of rocks and sedimentary strata. By using these software packages, we can quickly and accurately identify and analyze the different layers of a rock formation to better understand its history.

Geophysical well logs data was acquired from various oil and gas wells across the region of interest. The logs data included gamma ray, resistivity, sonic, density, and neutron logs (fig. 4, a). The lithostratigraphic analysis was performed using Gamma Ray log curves and well log correlation. Gamma Ray log curves were used to identify the major lithological units. Cross-well correlation was used to identify the lithostratigraphic units in the neighboring wells. The boundaries of different lithostratigraphic units were determined by comparing the gamma ray logs and well log curves from the neighboring wells. The interpreted lithostratigraphic units were mapped and analyzed in order to understand the sedimentary architecture.

Results and discussion

The Kurrachine Dolomite Formation of the Palmyride Basin in Syria is an important area of investigation for geologists and other scientists because it is considered to be a key area of Triassic sedimentary rocks [13]. This formation is composed mostly of dolomite and limestone and is located in the Triassic rocks in the middle of the Palmyride Structure, a large fault system in the uppermost part of the Palmyride Basin (fig. 3). This formation is important because it provides insight into the depositional environment of the Triassic period.

This study of the Lithostratigraphy and geological evolution of Triassic rocks in the Palmyride Basin in Syria has revealed a complex sequence of events that took place during the Triassic period. The Kurrachine Dolomite Formation is a Triassic deposit made up of dolomite, limestone, shale and sandstone. It represents a shallow marine depositional environment that was likely deposited in the paleogeographic depression in the Palmyride Basin.

Petrographic analysis of the Kurrachine Dolomite Formation in the Palmyride Basin in Syria revealed that the dolomite is generally fine- to medium-grained and composed of a variety of minerals, including calcite, quartz, anhydrite and pyrite (fig. 4, 6). The dolomite has a wide range of porosity from 0 to 15%. The mean porosity is 4.1%. Petrographic analysis also showed that the dolomite contained abundant secondary porosity, which is mostly matrix-supported. Calcite is the dominant cementing mineral, with rare occurrences of anhydrite and pyrite. The dolomite has a wide range of permeability, with the highest values being observed in the zone of secondary porosity. The dolomite is generally less permeable than sandstone. Overall, the petrographic of the Kurrachine Dolomite Formation in the Palmyride Basin in Syria reveals that it is fine- to medium-grained and composed of a variety of minerals (fig. 4, b).

The stratigraphic sequences are characterized by sedimentary structures such as lamination, ripple marks, and load casts. These features suggest that the Kurrachine Dolomite Formation was deposited in a near-shore environment and then subjected to multiple episodes of tidal, storm, and/or wave action (fig. 4).

The Kurrachine Dolomite Formation in the Palmyride Basin in Syria has a depositional environment that is composed mostly of shallow marine carbonates, but also includes characteristic features of a fluvial system. The majority of the formation is composed of limestone, dolomite, and sandstone beds, with minor shale siltstone (fig. 5). These sediments were deposited in shallow water environments with fluctuations in water depth, likely due to episodes of increased sedimentation and tectonically induced subsidence. These fluctuations would influence the sediment composition, with deeper water areas having a higher proportion of fine-grained sediment.

The presence of biogenic limestone and dolomite in the Kurrachine Dolomite Formation indicates periods of anoxic bottom water, which is indicative of a shallow, low-energy marine depositional environment. The presence of sandstone beds in the formation suggests that there were episodes of fluvial activity, which provided the source of the coarser-grained sed-

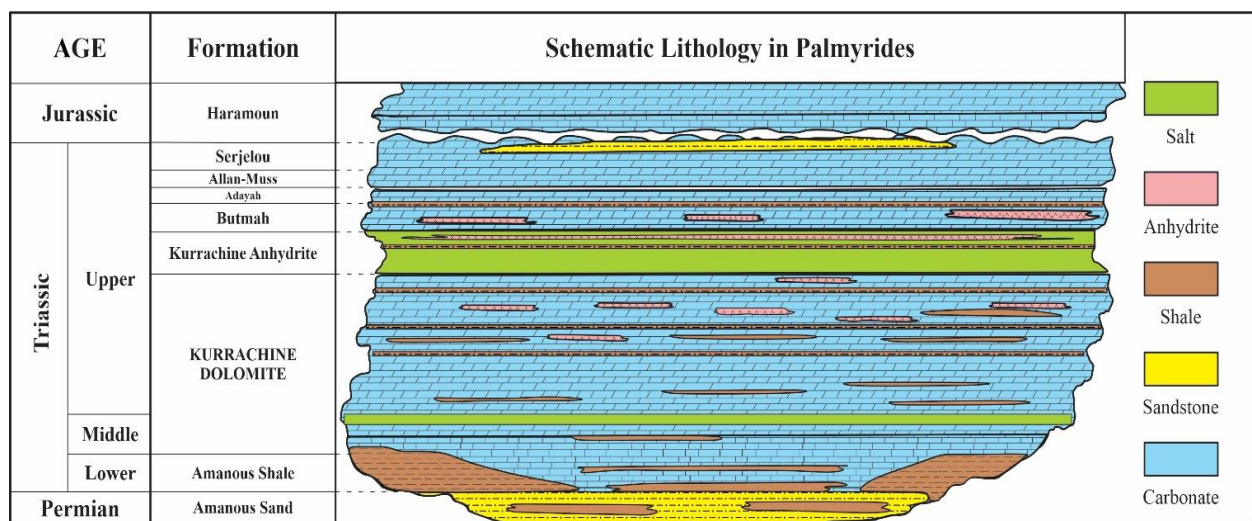


Figure 3. Lithostratigraphic units and Schematic Lithology in Palmyrides (modified from [14])
 Рисунок 3. Литостратиграфические единицы и схематическая литология в Пальмирадах (с изменениями из [14])

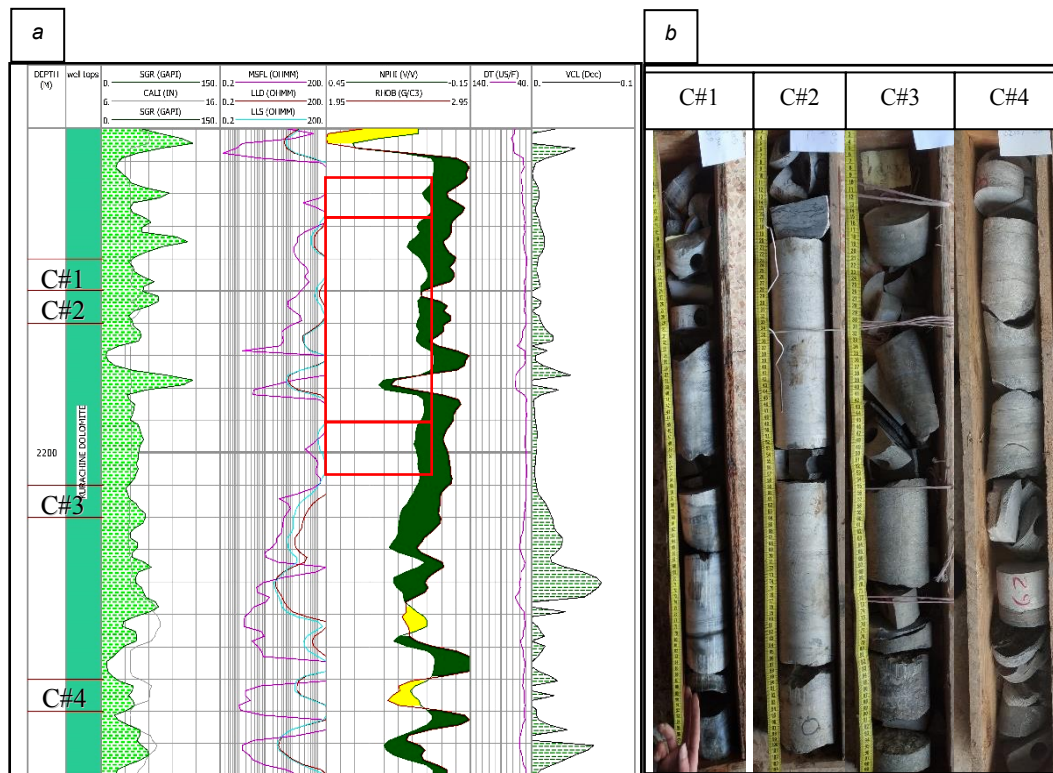


Figure 4. Logging evaluation with Core view in Kurrachine dolomite formation in the TW-105: a – well logs (gamma ray, resistivity, porosity, Sonic and their interpretation in the volume of clay) by interactive petrophysics IP software; b – The photos of cores in different lithology of Kurrachine dolomite formation in the well TW-105: C#1 the interval from 2194 m to 2195 m, C#2 the interval from 2195 m to 2196 m, C#3 the interval from 2201 m to 2202 m, C#4 the interval from 2207 m to 2208 m. Where these intervals are described as containing clay layers at the bottom, followed by dolomitic facies interspersed with thin layers of calcareous rocks in its upper part, and then ending with an anhydrite facies

Рисунок 4. Оценка каротажа с просмотром керна в доломитовой формации Куррачин в скважине TW-105: а – каротажные диаграммы (гамма-каротажи, электросопротивление, пористость, акустика и их интерпретация в объеме глины) с помощью интерактивного программного обеспечения IP для изучения горных пород; б – фотографии керна в разной литологии доломитовой формации Куррачин в скважине TW-105: C#1 интервал с 2194 м до 2195 м, C#2 интервал с 2195 м до 2196 м, C#3 интервал от 2201 м до 2202 м, C#4 интервал от 2207 м до 2208 м. Эти интервалы описываются как содержащие глинистые прослои в нижней части, за которыми следуют доломитовые фации с вкраплениями маломощных прослоев известняковых пород в верхней части, заканчивающиеся ангидритовой фацией

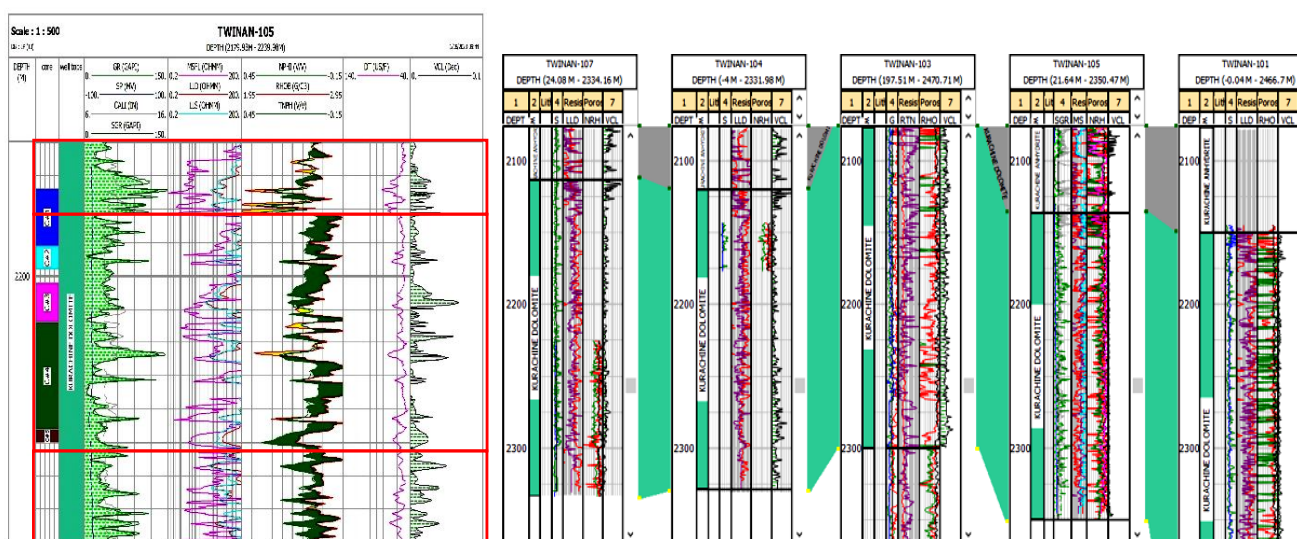


Figure 5. Logging characterization of the Kurrachine dolomite formation in the TW-105 well and correlation with other wells by interactive petrophysics IP software

Рисунок 5. Каротажная характеристика доломитовой формации Куррачин в скважине TW-105 и корреляция с другими скважинами с помощью интерактивного программного обеспечения IP для изучения горных пород

iment. The presence of fossils indicates that this environment was also home to a diverse marine fauna. Overall, the depositional environment of the Kurrachine Dolomite Formation in the Palmyride Basin was composed of shallow marine carbonates, with intermittent.

The detailed petrographical study of the Kurrachine Dolomite formation in the various structures of the study area, based on the microscopic and electron microscopic description of the fragments and rock core, and the interpretation of the associated well geophysical records, and with the help of previous descriptions carried out by the Syrian Oil Company or other foreign companies (fig. 5, 6), led to the following inferences: On the one hand, the formation consists of three lithostratigraphic members that are distinct by their facies, fossil content, and responses to borehole geophysical records. On the other hand, the formation is dominated by deposits of a limited lithological nature. It is limited to calcareous, limestone, dolomitic limestones, dolomite, shale and clay rocks, with limited intrusions of anhydrite in the upper part.

The sediments of the formation are distributed in the form of alternations or repeated successions consisting of decime-

ter to metric layers and sometimes decameter layers applied horizontally or semi-horizontally. This distribution does not reflect clear gradual developments on the well records. Some of the sediments in some sub-units tend to move from clay or clay-calcareous rocks to dolomitic calcareous rocks. Dolomite is rich in anhydrite, reflecting negative regression sequences. This rule may sometimes be reversed to turn those sequences into positive transgressions (fig. 5).

Clay materials are clastic in origin and are found in two shale patterns in the form of decimetric continuity between calcareous layers or normal in the form of transitional layers between calcareous and calcareous clay rocks. It is also sometimes found scattered in limestone or dolomitic rocks. Calcareous rocks are soft micrite rocks (of the type mudstone or weakstone) and may sometimes be biomicrite, but they are devoid of inorganic granular components.

In the formation Dolomitic rocks are (dolomicrite – dolomicrosparite) rocks with crystals of small or sometimes medium dimensions; It results from the recrystallization of the primary micrite material in an early or contemporary form of sedimentation, or it is related to the dolomite epigenesis.

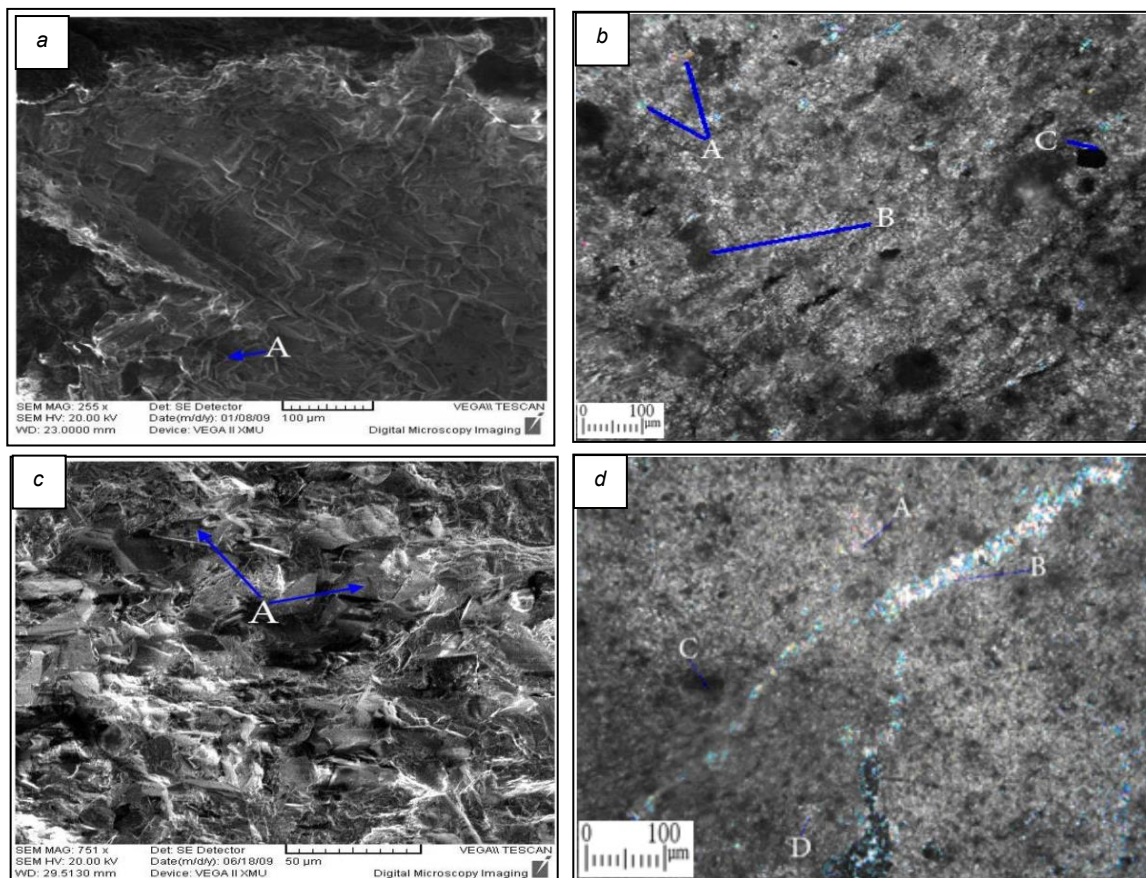


Figure 6. Some microfacies of limestone deposits in the Kurrachine dolomite formation: a – (TW-105) 2208-2207.5 m: Euhedral dolomite exhibits well-developed crystal faces; b – (TW-105) 2212-2211 m: Mixed clays with anhydrite and pyrite in millimeter dimensions. A: Anhydrite; B: Clay; C: Pyrite; c – (TW-105) 2218-2217 m: Micrite with crystals of dolomite. A: Dolomite; d – (TW-105) 2218-2217 m: Partially and partially cracked dolomitic micrite. A: Anhydrite; B: Crack filled with anhydrite; C: Clay; D: Dolomite

Рисунок 6. Некоторые микрофации отложений известняков доломитовой формации Куррачин: а – (TW-105) 2208-2207,5 м: идиоморфный доломит с хорошо развитыми гранями кристаллов; б – (TW-105) 2212-2211 м: глины, смешанные с ангидритом и пиритом в миллиметровых размерах. А: ангидрит; Б: глина; С: пирит; в – (TW-105) 2218-2217 м: микрит с кристаллами доломита. А: доломит; д – (TW-105) 2218-2217 м: частично растрескавшийся доломитовый микрит. А: ангидрит; Б: трещина заполнена ангидритом; С: глина; Д: доломит

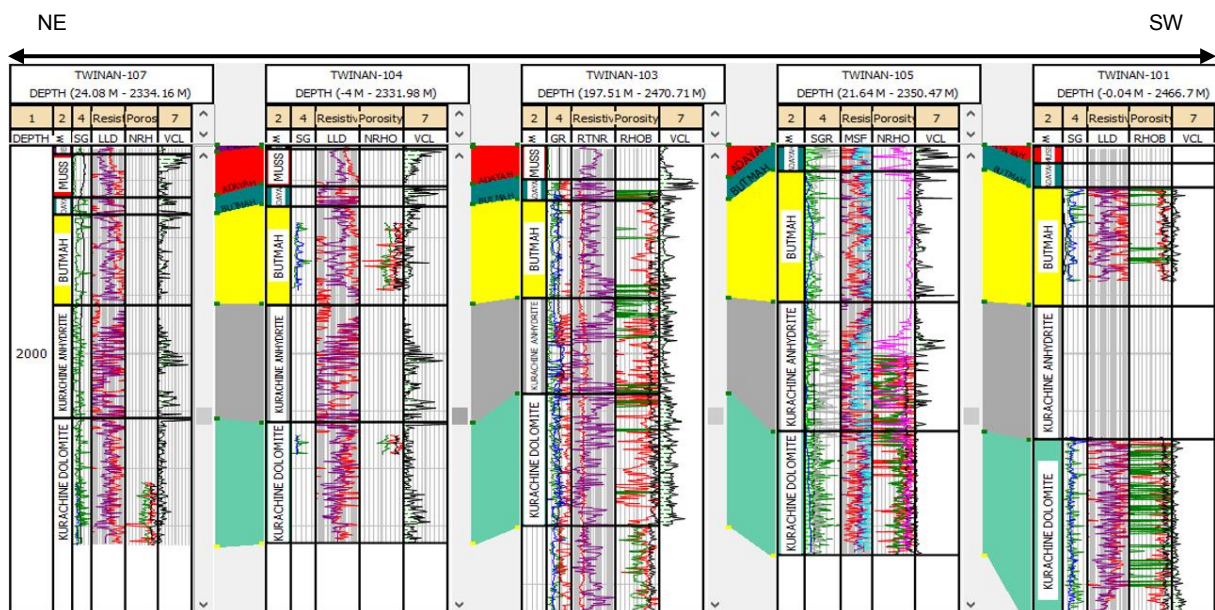


Figure 7. NE-SW correlation of well logs showing the identified formation (Kurrachine dolomite) across the five gas wells. The results of correlation were obtained from the analysis of well log data by interactive petrophysics IP software

Рисунок 7. Корреляция СВ-ЮЗ каротажных диаграмм, показывающая идентифицированную формацию (куррачинский доломит) по пяти газовым скважинам. Результаты корреляции были получены из анализа каротажных данных с помощью интерактивного программного обеспечения IP для изучения горных пород

Anhydrite sediments occupy an important place in the formation; They appear as large, clear crystals that grow in the form of thin interferences or clumps within the dolomitic rocks. The sediments, especially the calcareous ones, contain a significant proportion of crystallized pyrite (fig. 5, 6).

The correlation process aims to compare the Kurrachine Dolomite formation at all the points that were studied in the northern Palmyra fold range, and to understand the facies changes experienced by the members, units and subunits of the formation along the study area in terms of thickness and different facies. As a result, a comparison was made between a group of reference wells for the compositions that were previously studied, starting from the southwest towards the northeast (fig. 7), and they are: (TW-101, TW-105, TW-103, TW-104, TW-109) by well logs record: gamma ray, resistivity, sonic, density, and neutron logs.

The comparison process between the wells of the studied area led to the following (fig. 7): first, the formation kept its divisions between all wells into three members (lower, middle and upper). The members also kept their divisions in units and subunits that can be compared from one well to another. Second, the thickness of the members and units of this formation differed from one well to another, with a slight variation in their facies.

The Palmyrides Basin in Syria is a region that has experienced an incredibly complex geological evolution. It has been shaped by both tectonic and erosional processes, leading to a highly diverse region of sedimentary rocks and structures. The basin is considered to be a rift basin, likely formed during the Late Cretaceous period, resulting in a variety of sedimentary deposits, including shale, limestone and sandstone [15] (fig. 8).

In the Paleozoic, the Palmyrides Basin was a passive margin, with sedimentation taking place mainly in an intracratonic basin. During the Mesozoic, it started to transition into an

active margin, associated with the opening of the Neo-Tethys Ocean. This transition was accompanied by the southward drift of the Arabian Plate, leading to the creation of the Palmyrides Basin (fig. 8, a).

In the Cenozoic, the basin experienced uplift and erosion, leading to the formation of the Palmyrides Mountains. This uplift and erosion also led to the deposition of deep-water sediments in the basin, forming the distinctive Palmyrides Formation.

The Palmyrides Basin in Syria is an area of geological interest due to its complex history of formation and evolution. The Palmyrides Basin is part of the Syrian Desert, which is located in the Fertile Crescent, an area approximately encircling the eastern Mediterranean Sea. The Palmyrides Basin is a structural and sedimentary basin that is made up of thick-bedded limestone and marl formations, creating an undulating topography.

The Palmyrides Basin is thought to have formed in response to the collision of the Arabian and African plates, which created the Levant-Syria-Palestine-Arabian Arc. This collision caused the Palmyrides Basin to be uplifted and folded, resulting in the formation of rugged mountains and hills. The basin also experienced a period of tectonic activity, which caused further upliftment and resulted in an even more rugged landscape (fig. 8, b).

The Palmyrides Basin has experienced multiple phases of sedimentary deposition throughout its evolution. During the Miocene, a period of regional tectonic upliftment, shallow marine sediments were deposited in the basin. This resulted in the formation of siliclastic sandstones, conglomerates and limestone deposits. Over time, these deposits were buried beneath further sedimentary deposits, such as the marl deposits which are now visible in the Palmyrides Basin.

Today, the Palmyrides Basin is a unique area of geological diversity, where the effects of millions of years of tectonic and

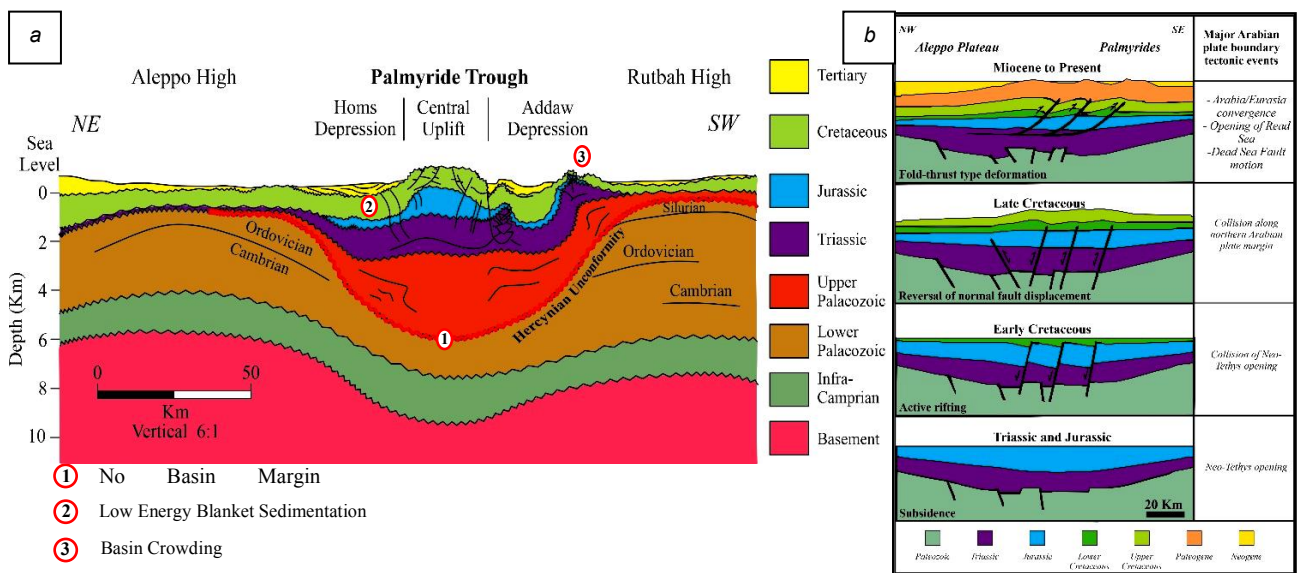


Figure 8. Schematic Palmyra cross section: a – Cross section of the Palmyride Trough (modified from [16]); b – Schematic NW-SE cross sections illustrating the development of the intraplate Palmyride fold belt, from bottom to top; with a related major Arabian plate boundary tectonic event (modified from [7])

Риснок 8. Схематический разрез Пальмиры: а – разрез Пальмиридского прогиба (с изменениями из [16]); б – схематические разрезы с северо-запада на юго-восток, иллюстрирующие развитие внутриплитного складчатого пояса Пальмирид; снизу вверх, с соответствующим крупным тектоническим событием на границе Аравийской плиты (изменено из [7])

erosional processes can be seen. It is a region of great geological importance, providing scientists with insight into the evolution of a rift basin.

Conclusions

The northeastern part of Palmyride is one of the important structures with high hydrocarbon potential, as it contains two important Triassic formations (Kurrachine Dolomite and Butmah). The formation comprises three lithostratigraphic members that are distinct by their facies, sediments, and responses to borehole geophysical records.

Many possible carbonate reservoir intervals can be found in the Triassic deposits. In the Palmyrides, the fractured carbonates of the Middle-Late Triassic Kurrachine Dolomite Formation represent major gas and oil reserves.

The Kurrachine Dolomite Formation is one of the important formations in the middle Triassic that make up the stratigraphic column in the northern Palmyra fold range. The formation is bordered by two possible hiatuses that separate the two formations that host it: the overlying Kurrachine anhydrite formation and the underlying Amanus shell formation.

REFERENCES

1. Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A. K., Sawaf T. 2001, Tectonic and geologic evolution of Syria. *GeoArabia*, vol. 6, no. 4, pp. 573–616. <https://doi.org/10.2113/geoarabia0604573a>
2. Homberg C., Bachmann M. 2010, Evolution of the Levant margin and western Arabia Platform since the Mesozoic: introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 341, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1144/SP341.1>
3. Metwalli M. H., Philip G., Moussly M. M. 1974, Petroleum-bearing formations in northeastern Syria and northern Iraq. *AAPG Bulletin*, vol. 58, no. 9, pp. 1781–1796. <https://dx.doi.org/10.1306/83D919AC-16C7-11D7-8645000102C1865D>
4. Litak R. K., Barazangi M., Beauchamp W., Seber D., Brew G., Sawaf T., Al-Youssef W., 1997. Mesozoic-Cenozoic evolution of the intraplate Euphrates fault system, Syria: implications for regional tectonics. *Journal of the geological society*, vol. 154, no. 4, pp. 653–666. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.154.4.0653>
5. Sawaf T., Al-Saad D., Gebran A., Barazangi M., Best J. A., Chaimov T. A., 1993. Stratigraphy and structure of eastern Syria across the Euphrates depression. *Tectonophysics*, vol. 220, issues 1-4, pp. 267–281. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90235-C](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90235-C)
6. Ponikarov V. P. 1966, The Geological Map of Syria Scale 1 : 200 000, Sheet I-37-XV (Tudmor): Explanatory notes. Damascus: Syrian Arab Republic, Ministry of Industry.
7. Chaimov T. A., Barazangi M., Al-Saad D., Sawaf T., Gebran A. 1992, Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from seismic stratigraphy in the southwestern intracontinental Palmyride fold-thrust belt, Syria. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 104, no. 6, pp. 704–715. [https://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1992\)104%3C0704:MACDIF%3E2.3.CO;2](https://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1992)104%3C0704:MACDIF%3E2.3.CO;2)
8. Barrier E., Machhour L., Blaizot M. 2014, Petroleum systems of Syria. *AAPG Memoir*, vol. 106, pp. 335–378. <https://doi.org/10.1036/13431862M1063612>
9. Brew G., Best J., Barazangi M., Sawaf T. 2003, Tectonic evolution of the NE Palmyride mountain belt, Syria: the Bishri crustal block. *Journal of the Geological Society*, vol. 160, no. 5, pp. 677–685. <https://doi.org/10.1144/0016-764902-161>
10. McBride J. H., Barazangi M., Best J., Al-Saad D., Sawaf T., Al-Otri M., Gebran A. 1990, Seismic reflection structure of intracratonic Palmyride fold-thrust belt and surrounding Arabian platform, Syria. *AAPG Bulletin*, vol. 74, no. 3, pp. 238–259.
11. Caron C., Mouty M. 2007, Key elements to clarify the 110 million year hiatus in the Mesozoic of eastern Syria. *GeoArabia*, vol. 12, no. 2, pp. 15–36. <https://doi.org/10.2113/geoarabia120215>
12. Ghanem H., Mouty M., Kuss J. 2012, Biostratigraphy and carbon-isotope stratigraphy of the uppermost Aptian to Upper Cenomanian strata of the South Palmyrides, Syria. *GeoArabia*, vol. 17, no. 2, pp.155–184. <https://doi.org/10.2113/geoarabia1702155>
13. Hips K., Árgyelán G. B. 2007, Controls on diagenesis of the Triassic Kurrachine Dolomite, Syria. *GeoArabia*, vol. 12, no. 2, pp. 41–64. <https://doi.org/10.2113/geoarabia120241>
- 14 N. Mohammad et al. Lithostratigraphy and geological evolution of Triassic rocks in the Palmyride Basin in Syria//Известия УГГУ. 2023. Вып. 2 (70). С. 7–17. DOI 10/21440/2307-2091-2-7-17

14. Lučić D., Ivković Z., Foršek G., Takač D., Bubnić J., Koch G. 2010, Depositional sequences and palynology of Triassic carbonate-evaporite platform deposits in the Palmyrides, Syria. *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 329, no. 1, pp. 43–63. <https://doi.org/10.1144/SP329.3>
15. Vulama I. 2011, Source Rock Potential and Petroleum Systems of the Triassic and Paleozoic Successions of the Hayan Block, Central Syrian Palmyrides. *International Journal of Geophysics and Geochemistry*, vol. 2, no. 3, pp. 80–91.
16. Wood B. G. M. 2015, Rethinking post-Hercynian basin development: Eastern Mediterranean region. *GeoArabia*, vol. 20, no. 3, pp. 175–224. <https://doi.org/10.2113/geoarabia2003175>

The article was received on April 01, 2023

Литостратиграфия и геологическая эволюция триасовых пород бассейна Пальмирид в Сирии

Ношин МОХАММАД^{1,2*}

Надия ХАМАДА^{1,2**}

Абд Азиз ТАВИЛЬ^{2***}

Алаа АБДУЛЛА^{3****}

Абдул Рахим АЛЬ-ТАРБУШ^{2,4*****}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Республика Татарстан, Россия

²Дамасский университет, Дамаск, Сирия

³Университет Алеппо, Алеппо, Сирия

⁴Нефтяная компания «Эбла», Дамаск, Сирия

Аннотация

Цель исследования. Исследование направлено на изучение литостратиграфии и геологической эволюции доломитовой формации Куррачин в среднем триасе вдоль зоны Пальмирского пояса в Сирии. Изучение этой формации в ее северной и южной частях показало, что она состоит из двух литостратиграфических пачек, каждая из которых включает ряд литологических единиц. Петрографическое изучение компонентов толщ показывает, что они состоят из четырех выделенных компонентов: доломитовых известняков, глинистых известняков, глины и ангидритов, чистых или смешанных, отложенных в повторяющихся гармонических слоях и собранных в основном в нейтральных осадочных толщах.

Актуальность исследования. Данное научное исследование предоставляет информацию об эволюции осадочных пород и стратиграфической последовательности региона и его историческом развитии. Кроме того, оно может дать представление о взаимосвязях между различными осадочными слоями и минеральными ресурсами, доступными в бассейне, и их потенциале для разработки. Исследование также дает возможность лучше понять особенности древней окружающей среды в регионе.

Методы исследования. Данные были собраны из ряда источников, включая геологические карты и разрезы, данные каротажа керна из девяти газовых скважин на месторождении, полевые наблюдения и опубликованные исследования. Район исследования был разделен на различные литостратиграфические единицы и геология каждой из них была подробно изучена. Внимание уделялось литологии, углеводородному составу, особенностям строения и другим особенностям каждой пачки. Собранные данные затем использовались для построения геологической истории региона, включая его тектоническую, осадочную и палеогеографическую эволюцию. Затем эта информация использовалась для выводов о региональной стратиграфической структуре, а также для прогнозов будущей геологической эволюции.

Результаты и выводы. Статья посвящена литостратиграфии, а также геологической эволюции триасовых пород, в частности доломитовой формации Куррачин в северо-восточном бассейне Пальмирид в Сирии. Были проведены лабораторные исследования по изучению литологии и осадочных фаций формации. Результаты показывают, что в доломитовой формации Куррачин преобладают месторождения ограниченной литологической природы. Здесь представлены известняки, доломитовые известняки, доломиты, сланцы и глинистые породы с ограниченными интрузиями ангидрита в верхней части. Осадочная среда формации интерпретируется как мелководно-морская. Весь анализ показывает, что доломитовая формация Куррачин в основном состоит из отложений среднего триаса. Это указывает на изменение динамики осадконакопления в бассейне Пальмирид в течение среднего триаса. Результаты исследования позволяют лучше понять геологическую эволюцию бассейна Пальмирид в Сирии.

Ключевые слова: литостратиграфия, куррачинские доломиты, пальмирские известняки, доломитовые известняки, Сирия.

✉ nosheen.g.mohammad@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3893-041X>


** nadia.m.hamada@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-3269-6842>


*** abdazeez1101@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-9484-1493>

**** alaa663108@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-0477-2062>

***** AbdTar0997@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0000-0916-3269>

ЛИТЕРАТУРА

1. Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A. K., Sawaf T. Tectonic and geologic evolution of Syria. // *GeoArabia*. 2001. Vol. 6. No. 4. P. 573–616. <https://doi.org/10.2113/geoarabia0604573a>
2. Homberg C., Bachmann M. Evolution of the Levant margin and western Arabia Platform since the Mesozoic: introduction. // Geological Society, London, Special Publications. 2010. Vol. 341. P. 1–8. <https://doi.org/10.1144/SP341.1>
3. Metwalli M. H., Philip G., Moussly M. M. Petroleum-bearing formations in northeastern Syria and northern Iraq. // *AAPG Bulletin*. 1974. Vol. 58. No. 9. P. 1781–1796. <https://dx.doi.org/10.1306/83D919AC-16C7-11D7-8645000102C1865D>
4. Litak R. K., Barazangi M., Beauchamp W., Seber D., Brew G., Sawaf T., Al-Youssef W. Mesozoic-Cenozoic evolution of the intraplate Euphrates fault system, Syria: implications for regional tectonics. // *Journal of the geological society*. 1997. Vol. 154. No. 4. P. 653–666. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.154.4.0653>
5. Sawaf T., Al-Saad D., Gebran A., Barazangi M., Best J. A., Chaimov T. A. Stratigraphy and structure of eastern Syria across the Euphrates depression. // *Tectonophysics*. 1993. Vol. 220, issues 1-4. P. 267–281. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90235-C](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90235-C)
6. Ponikarov V. P. The Geological Map of Syria Scale 1 : 200 000, Sheet I-37-XV (Tudmor): Explanatory notes. Damascus: Syrian Arab Republic, Ministry of Industry, 1966.
7. Chaimov T. A., Barazangi M., Al-Saad D., Sawaf T., Gebran A. Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from seismic stratigraphy in the southwestern intracontinental Palmyride fold-thrust belt, Syria. // *Geological Society of America Bulletin*. 1992. Vol. 104. No. 6. P. 704–715. [https://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1992\)104%3C0704:MACDIF%3E2.3.CO;2](https://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1992)104%3C0704:MACDIF%3E2.3.CO;2)
8. Barrier E., Machhour L., Blaizot M. Petroleum systems of Syria. // *AAPG Memoir*. 2014. Vol. 106. P. 335–378. <https://doi.org/10.1036/13431862M1063612>
9. Brew G., Best J., Barazangi M., Sawaf T. Tectonic evolution of the NE Palmyride mountain belt, Syria: the Bishri crustal block. // *Journal of the Geological Society*. 2003. Vol. 160. No. 5. P. 677–685. <https://doi.org/10.1144/0016-764902-161>
10. McBride J. H., Barazangi M., Best J., Al-Saad D., Sawaf T., Al-Otri M., Gebran A. Seismic reflection structure of intracratonic Palmyride fold-thrust belt and surrounding Arabian platform, Syria. // *AAPG Bulletin*. 1990. Vol. 74. No. 3. P. 238–259.
11. Caron C., Mouty M. Key elements to clarify the 110 million year hiatus in the Mesozoic of eastern Syria. // *GeoArabia*. 2007. Vol. 12. No. 2. P. 15–36. <https://doi.org/10.2113/geoarabia120215>
12. Ghanem H., Mouty M., Kuss J. Biostratigraphy and carbon-isotope stratigraphy of the uppermost Aptian to Upper Cenomanian strata of the South Palmyrides, Syria. // *GeoArabia*. 2012. Vol. 17. No. 2. P. 155–184. <https://doi.org/10.2113/geoarabia1702155>
13. Hips K., Árgyelán G. B. Controls on diagenesis of the Triassic Kurrachine Dolomite, Syria. // *GeoArabia*. 2007. Vol. 12. No. 2. P. 41–64. <https://doi.org/10.2113/geoarabia120241>
14. Lučić D., Ivković Z., Foršek G., Takač D., Bubnić J., Koch G. Depositional sequences and palynology of Triassic carbonate-evaporite platform deposits in the Palmyrides, Syria. // Geological Society, London, Special Publications. 2010. Vol. 329. No. 1. P. 43–63. <https://doi.org/10.1144/SP329.3>
15. Vulama I. Source Rock Potential and Petroleum Systems of the Triassic and Paleozoic Successions of the Hayan Block, Central Syrian Palmyrides. // *International Journal of Geophysics and Geochemistry*. 2011. Vol. 2. No. 3. P. 80–91.
16. Wood B. G. M. Rethinking post-Hercynian basin development: Eastern Mediterranean region. // *GeoArabia*. 2015. Vol. 20. No. 3. P. 175–224. <https://doi.org/10.2113/geoarabia2003175>

Статья поступила в редакцию 01 апреля 2023 года

Tungstates of the Boyovskoye tungsten deposit (Southern Urals)

Vladimir Sergeevich PONOMAREV^{1*}

Yuriy Viktorovich EROKHIN^{1**}

Valeriy Vasil'evich GRIGOR'EV^{2***}

¹The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural Geological Museum of the Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The relevance of the work is due to the need for a mineralogical study of tungsten deposits in the Ural region, which have been mined since the end of the 19th century.

The purpose of the work is the diagnostics and detailed description of tungstates from the Boyovskoye tungsten deposit located on the border of the Chelyabinsk and Sverdlovsk regions in the Southern Urals.

Analytical studies were carried out in the Laboratory of Physical and Chemical Research Methods of the Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, Ekaterinburg. The chemical composition of minerals was analyzed in polished sections on a CAMECA SX 100 microanalyzer. Measurement conditions: accelerating voltage 15 kV, current 150 nA, electron beam diameter 2 μm. The pressure in the sample chamber is $2 \cdot 10^{-4}$ Pa. The spectra were obtained on tilted wave spectrometers; the intensity was measured from analytical lines. Standard samples: scheelite, wolframite, galena, rutile and chromite. Raman spectra of minerals were obtained using a LabRam HR Evolution spectrometer (Horiba Scientific). A red laser, 532 nm, was used for analysis.

As a result of the work, new data on the chemical composition of hubnerite and scheelite were obtained and their Raman spectra were presented. For the first time for the Boyovskoye tungsten deposit, a reliable diagnosis and description of lead tungstate – stolzite was made. The mineral was found in samples with veined quartz in association with muscovite, fluorite, hubnerite and scheelite. It fills cracks and voids in hubnerite, rarely overgrows scheelite or fills cracks in scheelite. It is a later mineral in relation to hubnerite and scheelite. Its chemical composition contains impurities of manganese, calcium, iron and titanium. The stolzite found by us is a mineral of the oxidation zone and, most likely, was formed due to the weathering of wolframite and galena, which is also present in quartz veins.

Keywords: hubnerite, scheelite, stolzite, Boyovskoye tungsten deposit, Southern Urals.

Introduction

The Boyovskoye tungsten deposit is located 9.4 km northwest of the village of Bagaryak in the Kasli district of the Chelyabinsk region in the Southern Urals. The deposit has been developed since the end of the 19th century. The geology of the Boyovskoye deposit is well studied [1]. In the central block of the deposit, the largest wolframite-quartz veins up to 40 cm thick are located, which have a sublatitudinal strike and dip to the south at angles from 60 to 90° and are confined to the body of gabbro-dolerites. Less powerful quartz veins are found in amphibolites in the western part of the ore field. In addition to quartz, veins along the walls contain muscovite, fluorite, beryl and pyrite. Wolframite is mainly found in selvages, forming fine-grained aggregates in association with beryl. On the edges along the veins, secondary changes in the host rocks are noted in the form of muscovitization, the development of quartz, fluorite, and pyrite [2]. In 1957, ore-bearing beryl-fluorite-muscovite metasomatites, which are greisens, were discovered at the Boyovskoye deposit during prospecting and exploration for tungsten-beryllium mineralization [3].

More deposits of beryllium ores were later found. Beryl-fluorite-muscovite metasomatites form 5 ore bodies of complex morphology, which contain beryl, phenakite, wolframite, and scheelite [4]. In terms of tungsten reserves, the Boyovskoye deposit is classified as a small artisanal deposit, and in terms of beryllium reserves it is classified as a large deposit, but with a low content of beryllium oxide [2]. At the Boyovskoye deposit, N. A. Grigoriev first discovered two rare minerals: glucine [5] and uralolite [6]. At present, the deposit is not mined and consists of overgrown numerous ditches up to several meters deep (fig. 1).

The mineralogy of the deposit is poorly studied. This paper presents new data on the chemical composition and Raman spectroscopy of hubnerite, scheelite and the first reliable description of stolzite.

Research methodology

Analytical studies were carried out in the Laboratory of Physical and Chemical Research Methods of the Institute of Geology and Geochemistry, UB RAS, Ekaterinburg. The chem-

✉ p123v@yandex.ru

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

**erokhin-yu@yandex.ru

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

***vagrigroriev@yandex.ru



Figure 1. A ditch with a depleted quartz vein. Boyovskoye deposit, photo 2020

Рисунок 1. Канавка с отработанной кварцевой жилой. Боевское месторождение, фото 2020 г.

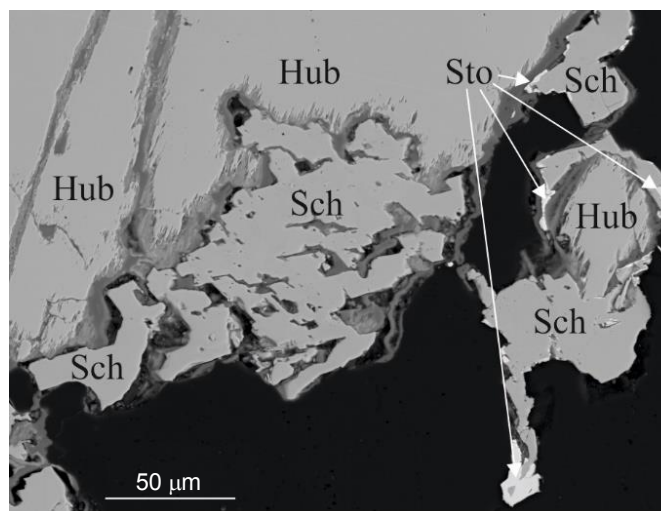


Figure 2. Scheelite (Sch) and stolzite (Sto), growing on hubnerite (Hub). Polished thin section. BSE photo

Рисунок 2. Шеелит (Sch) и штольцит (Sto), нарастающие на гюбнерит (Hub). Полированный шлиф. BSE-фото

ical composition of minerals was analyzed in polished sections on a CAMECA SX 100 microanalyzer, analyst I. A. Gottman. Raman spectra of minerals were obtained using a LabRam HR Evolution spectrometer (Horiba Scientific), analyst E. A. Pankrushin. To excite the minerals, a red laser – 532 nm was used.

Research results

The samples found by us in numerous ditches and dumps at the Boyovskoye deposit are represented by fragments of quartz veins with tungsten mineralization. According to microprobe analysis, we have identified three tungstates: hubnerite, scheelite, and a mineral corresponding to the chemical composition of $PbWO_4$. To date, two dimorphic minerals with such a chemical composition are known, the first is tetragonal stolzite (β - $PbWO_4$) and the second is monoclinic raspite (α - $PbWO_4$).

Hubnerite is the most common tungstate at the deposit. According to the literature, in the Boyovsko-Biktimirovskaya zone of quartz-hubnerite deposits such as Boyovskoe, Karasevskoe, Porokhovskoe, etc., hubnerite occurs in quartz veins up to 25 cm thick in the form of small grains, columnar crystals and nests in association with muscovite, fluorite, pyrite, rarely sphalerite, galena, chalcopyrite and beryl. It is noted that hubnerite is partially replaced by scheelite in patches [7]. The literature [8] gives the chemical composition of the hubnerite of the Boyovskoe deposit, wt. %: FeO 4.50; MnO 19.79; WO_3 75.70; total 99.99. Hubnerite was found by us in the form of clusters of grains and separate fissured individuals (fig. 2, 3) in fragments of veined milky-white quartz. The color of the mineral is dark brown, translucent in thin chips in red. The size of hubnerite individuals encountered by us is up to 2 cm. The mineral is characterized by a stable chemical composition (table 1, an. 1–10). Of the impurities in the mineral, an admixture of FeO from 3.61 to 7.70 wt. % is noted, which corresponds to 0.16–0.34 formula units in the crystal chemical formula of hubnerite. Up to 0.12 wt. % TiO_2 is noted as an insignificant impurity. The Raman spectrum of the mineral (fig. 4) fully corresponds to the hubnerite standard.

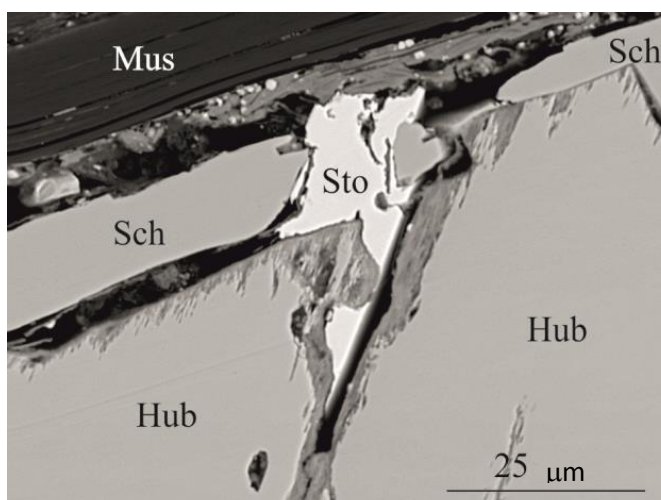


Figure 3. Stolzite (Sto) intergrown with hubnerite (Hub) and scheelite (Sch). Mus – muscovite. Polished thin section. BSE photo

Рисунок 3. Штольцит (Sto) в сростании с гюбнеритом (Hub) и шеелитом (Sch). Mus – мусковит. Полированный шлиф. BSE-фото

Scheelite at the Boyovskoye deposit was discovered by P. V. Eremeev in 1867 [9]. It is often observed in the wall-vein muscovite-fluorite greisens [1]. It forms pseudomorphs along hubnerite and associates with fluorite, muscovite, pyrite, sometimes galena, sphalerite, and chalcopyrite [7]. We found scheelite in samples with veined quartz, hubnerite, muscovite, fluorite, pyrite, and galena. Thin sections show traces of hubnerite dissolution and its replacement by scheelite (fig. 2). The mineral is painted in beige color. It forms grains of irregular and isometric shape up to 1 cm. The chemical composition of scheelite (table 1, an. 11–20) sometimes contains impurities of chromium (up to 1.21 wt. % Cr_2O_3) and titanium (up to 0.15 wt. % TiO_2). In general, the composition of the mineral studied by us from the Boyovskoye deposit is close to that of scheelites from other Ural objects. The Raman spectrum of the mineral (fig. 5) fully corresponds to the scheelite standard.

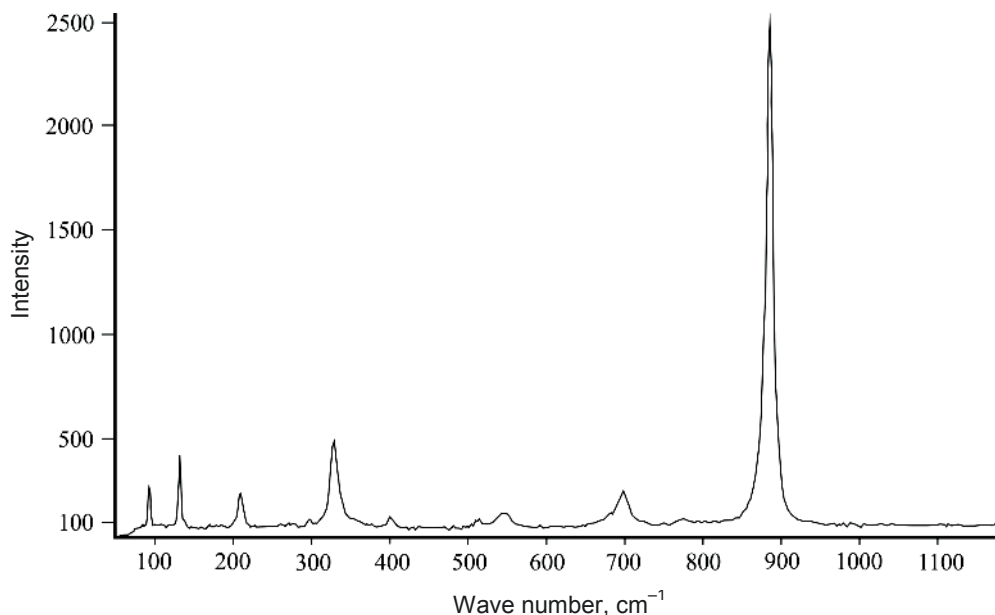


Figure 4. Raman spectrum of hubnerite
Рисунок 4. Рамановский спектр гюбнерита

Table 1. Chemical composition of tungstates from the Boyovskoye deposit, wt. %
Таблица 1. Химический состав вольфраматов из Боёвского месторождения, мас. %

Analysis number	Oxides							Total	Formulas	
	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	WO ₃	FeO	MnO	PbO	CaO			
									<i>Hubnerite</i>	
1	–	0,03	77,37	3,61	18,78	–	0,02	99,81	(Mn _{0,85} Fe _{0,16}) _{1,01} W _{1,00} O ₄	
2	0,02	–	77,80	3,85	18,73	–	0,01	100,41	(Mn _{0,84} Fe _{0,17}) _{1,01} W _{1,00} O ₄	
3	–	0,02	77,87	4,39	18,05	–	0,01	100,34	(Mn _{0,81} Fe _{0,19}) _{1,00} W _{1,00} O ₄	
4	0,12	–	77,13	3,87	18,84	–	0,02	99,98	(Mn _{0,85} Fe _{0,17}) _{1,02} W _{0,99} O ₄	
5	0,08	–	77,06	3,69	18,88	0,07	0,02	99,80	(Mn _{0,85} Fe _{0,16}) _{1,01} W _{0,99} O ₄	
6	0,04	0,05	77,56	3,90	18,60	–	0,05	100,20	(Mn _{0,83} Fe _{0,17}) _{1,00} W _{0,99} O ₄	
7	–	0,04	76,91	4,11	18,65	–	0,04	99,75	(Mn _{0,84} Fe _{0,18}) _{1,02} W _{0,99} O ₄	
8	–	–	76,87	7,70	15,43	–	–	100,00	(Mn _{0,68} Fe _{0,34}) _{1,03} W _{0,99} O ₄	
9	–	–	76,73	6,97	16,29	–	–	99,99	(Mn _{0,73} Fe _{0,31}) _{1,04} W _{0,99} O ₄	
10	–	–	76,91	6,87	16,22	–	–	100,00	(Mn _{0,73} Fe _{0,30}) _{1,03} W _{0,99} O ₄	
									<i>Scheelite</i>	
11	–	0,03	81,25	0,01	0,01	0,03	19,43	100,76	Ca _{1,04} W _{0,99} O ₄	
12	–	–	80,98	–	0,01	–	19,21	100,20	Ca _{1,04} W _{0,99} O ₄	
13	0,15	1,21	79,99	0,00	–	0,02	19,29	100,66	Ca _{1,03} (W _{0,96} Cr _{0,05}) _{1,01} O ₄	
14	–	–	80,88	0,03	0,01	–	–	19,52	100,44	Ca _{1,05} W _{0,98} O ₄
15	–	–	80,62	–	–	–	–	19,38	100,00	Ca _{1,05} W _{0,98} O ₄
16	0,07	0,27	81,06	0,02	0,01	–	19,49	100,92	Ca _{1,04} (W _{0,98} Cr _{0,01}) _{0,99} O ₄	
17	–	–	81,08	0,06	0,01	0,01	19,30	100,46	Ca _{1,04} W _{0,99} O ₄	
18	–	–	80,31	0,20	–	–	19,50	100,01	(Ca _{1,05} Fe _{0,01}) _{1,06} W _{0,98} O ₄	
19	–	–	80,20	0,25	0,37	–	19,18	100,00	(Ca _{1,04} Mn _{0,02} Fe _{0,01}) _{1,07} W _{0,98} O ₄	
20	–	–	79,64	0,35	–	–	20,02	100,01	(Ca _{1,08} Fe _{0,01}) _{1,09} W _{0,97} O ₄	
									<i>Stolzite</i>	
21	0,02	–	51,77	0,04	–	48,76	0,15	100,74	(Pb _{1,03} Ca _{0,01}) _{1,04} W _{0,99} O ₄	
22	0,07	0,02	51,16	–	0,02	48,51	0,04	99,82	Pb _{1,04} W _{0,98} O ₄	
23	–	0,04	52,33	0,06	–	48,56	0,04	101,03	Pb _{1,02} W _{0,99} O ₄	
24	0,08	0,01	51,77	0,10	0,03	48,38	0,04	100,41	(Pb _{1,02} Fe _{0,01}) _{1,03} W _{0,99} O ₄	
25	0,09	0,03	50,56	–	0,03	49,97	–	100,68	Pb _{1,07} W _{0,97} O ₄	
26	–	0,04	51,72	0,03	0,03	48,78	0,27	100,87	(Pb _{1,03} Ca _{0,02}) _{1,05} W _{0,98} O ₄	
27	–	0,02	52,25	–	0,02	48,31	0,15	100,75	(Pb _{1,02} Ca _{0,01}) _{1,03} W _{0,99} O ₄	
28	–	–	50,20	0,32	–	49,48	–	100,00	(Pb _{1,06} Fe _{0,02}) _{1,08} W _{0,98} O ₄	
29	–	–	50,26	0,54	0,74	48,13	0,33	100,00	Pb _{1,11} W _{0,96} O ₄	
30	–	–	50,39	–	–	49,61	–	100,00	Pb _{1,07} W _{0,98} O ₄	

Note: Empirical formulas of minerals are based on 4 oxygen atoms.

Примечание: эмпирические формулы минералов рассчитаны на 4 атома кислорода.

Stolzite at the Boyovskoye deposit, as mentioned by P. V. Pokrovsky [9] was first described in 1954 by M. N. Albov [10]. When studying that article, it turned out that the description of the mineral is given without mentioning the place of the

find. Perhaps this is due to the fact that the description of ore objects of strategically important metals was classified in those years. This implies the fact that *stolzite* from the Boyovskoye deposit was not described in the open press. We found the mineral

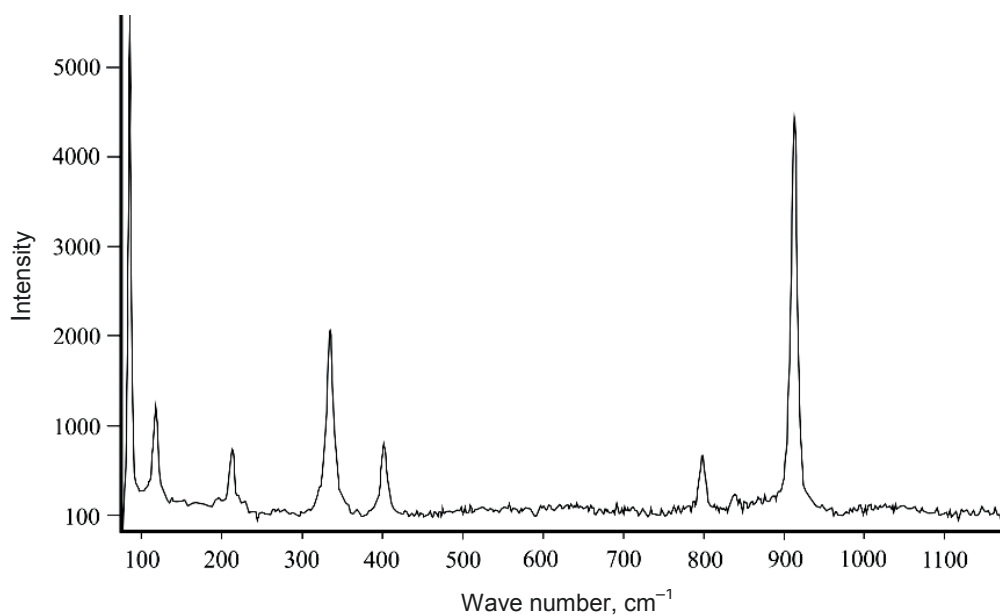


Figure 5. Raman spectrum of scheelite
Рисунок 5. Рамановский спектр шеелита

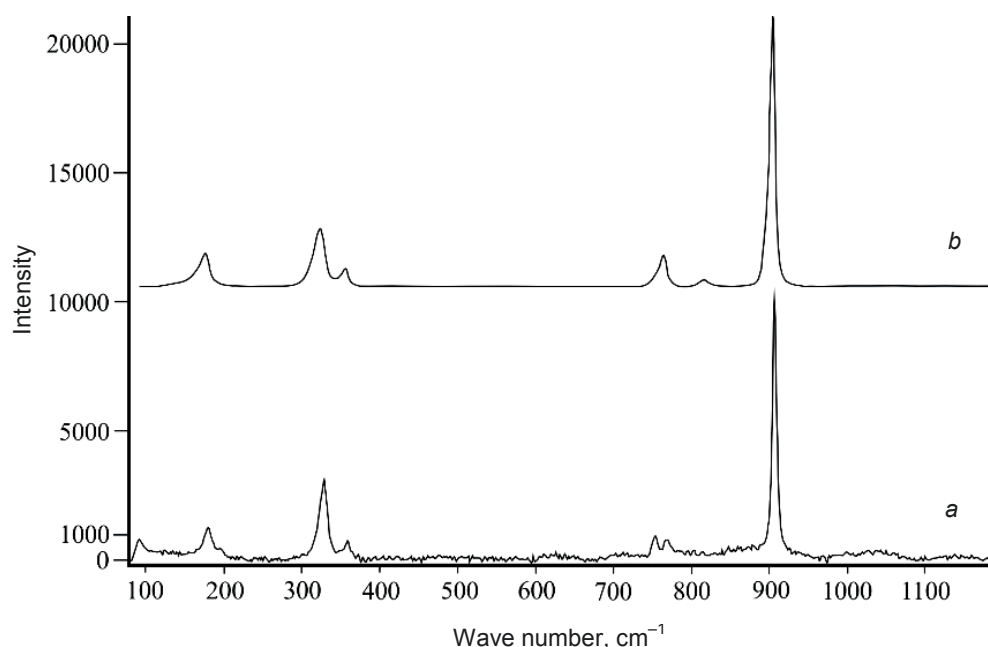


Figure 6. Raman spectrum of stolzite from the Boyovskoye deposit (a) and reference (b)
Рисунок 6. Рамановский спектр штольцита из Боёвского месторождения (а) и эталона (б)

in samples with veined quartz in association with muscovite, fluorite, hubnerite, and scheelite. It fills cracks and voids in hubnerite, rarely overgrows scheelite or fills cracks in scheelite (fig. 2, 3). Stolzite is painted light beige. The size of isometric grains of the mineral does not exceed 25 μm , and in cracks in hubnerite it can reach 180 μm . It is a later mineral in relation to hubnerite and scheelite. The chemical composition of the mineral (table 1, an. 21–30) contains impurities: manganese (up to 0.74 wt. % MnO), calcium (up to 0.33 wt. % CaO), iron (up to 0.54 wt. % FeO) and titanium (up to 0.09 wt. % TiO_2). The obtained Raman spectrum of the mineral (fig. 6) completely coincides with the reference spectrum of stolzite from the Reef mine in Arizona (USA) [11].

In the Urals, stolzite is known from the Balkanskoye deposit, where it occurs in the hypergenesis zone in calcite and quartz-calcite scheelite-bearing nests in skarns. Stolzite with an admixture of CaO 0.78 wt. % is described at the Buranovskoye tungsten deposit in the Southern Urals, where it develops along scheelite, forming rims around it [12]. At the Trebiatskoye deposit, stolzite was found in a quartz vein among serpentinites. At the Pervomaiskoye gold deposit, stolzite is found in clayey mass in the voids of a quartz vein and at the Bersuatskoye deposit in the Southern Urals, in voids in quartz with wolframite [9, 13]. It has been noted among quartz crystals at the Pelingichi crystal-bearing de-

posit in the Subpolar Urals [14], as well as at the Torgovskoye deposit in cracks in quartz and on scheelite and limonite crystals [15] and at the Astafievskoye crystal-bearing deposit [7]. The stolzite found by us is a mineral of the oxidation zone and, most likely, was formed due to the weathering of wolframite and galena, which are present in quartz veins.

The employees of the IGG UB RAS performed the work within the framework of the state task of the IGG of the UB RAS, no. reg. 123011800014-3.

Conclusions

Thus, we have obtained new data on the mineralogy of tungstates from the Boyovskoye tungsten deposit. The chemical composition of hubnerite and scheelite has been studied, and their Raman spectra have also been obtained. For the first time, a reliable diagnosis and description of lead tungstate – stolzite was made for the Boyovskoye deposit.

REFERENCES

1. Rundkvist D. V., Chistyakov N. E. 1960, On the beryl-fluorite-muscovite type of mineralization. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of ore deposits], no. 2, pp. 44–52. (*In Russ.*)
2. Zoloev K. K. [et al.] 2004, Minerageny and deposits of rare metals, molybdenum, tungsten in the Urals. Ekaterinburg, 336 p. (*In Russ.*)
3. Rundkvist D. V., Denisenko V. K., Pavlova I. G. 1971, Greisen deposits (ontogeny and phylogeny). Moscow, 328 p. (*In Russ.*)
4. Korovko A. V., Dvoeglazov D. A., Kuzovkov G. N. et al. 2015, State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000. Second edition. Series Sredneural'skaya. Sheet O-41-XXXII. Explanatory note. Moscow, 275 p. (*In Russ.*)
5. Grigoriev N. A. 1963, Glucin is a new mineral of beryllium. *Zapiski VMO* [Notes of the All-Russian Mineralogical Society], part 92, issue 6, pp. 691–696. (*In Russ.*)
6. Grigoriev N. A. 1964, Uralolith – a new mineral. *Zapiski VMO* [Notes of the All-Russian Mineralogical Society], part 93, issue 2, pp. 156–162. (*In Russ.*)
7. 2007, Mineralogy of the Urals. Oxides and hydroxides. Ekaterinburg; Miass, part 2, 288 p. (*In Russ.*)
8. Boldyrev A. K., Liski E. Ya. 1929, Separation of Russian tungstates Fe and Mn into mineral species. *Zapiski RMO* [Notes of the Russian Mineralogical Society], no. 2, pp. 239–247. (*In Russ.*)
9. Pokrovsky P. V. 1961, Stolzite. *Trudy Gorno-geologicheskogo instituta UFAN SSSR* [Proceedings of the Mining and Geological Institute UB USSR], issue 56, pp. 53–60. (*In Russ.*)
10. Albov M. N. 1954, Stolzite formation in the oxidation zone. *Zapiski VMO* [Notes of the All-Russian Mineralogical Society], part 83, issue 2, pp. 148–150. (*In Russ.*)
11. Crane M., Frost R. L., Williams P. A., Klopogge J. T. 2002, Raman spectroscopy of the molybdate minerals chillagite (tungsteinian wulfenite-I4), stolzite, scheelite, wolframite and wulfenite. *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 33, issue 1, pp. 62–66. <http://dx.doi.org/10.1002/jrs.820>
12. Kasatkin A. V., Kuznetsov A. M., Arzamastsev N. A. 2022, Ore minerals of the Buranovsky tungsten deposit (Southern Urals). *Mineralogiya* [Mineralogy], vol. 8, no. 3, pp. 23–46. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2022-8-3-2>
13. Kobayashv Yu. S. 2006, List of minerals of the Urals (types and varieties). *Ural'skiy geologicheskij zhurnal* [Ural Geological Journal], no. 2 (50), pp. 1–265. (*In Russ.*)
14. Eshkin V. Yu. 1962, Stolzite from a crystal-bearing deposit in the Subpolar Urals. *Zapiski VMO* [Notes of the All-Russian Mineralogical Society], part 91, issue 2, pp. 207–211. (*In Russ.*)
15. Yushkin N. P., Bushueva E. B., Pavlov L. P. 1969, Mineralogical outline of the oxidation zone of the Torgovskoye bismuth-molybdenum-tungsten deposit in the Subpolar Urals. *Trudy Instituta geologii Komi filiala AN SSSR* [Proceedings of the Institute of Geology of the Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR], issue. 13, pp. 41–70. (*In Russ.*)

The article was received on March 01, 2023

Вольфраматы Боёвского вольфрамового месторождения (Южный Урал)

Владимир Сергеевич ПОНОМАРЕВ^{1*}

Юрий Викторович ЕРОХИН^{1**}

Валерий Васильевич ГРИГОРЬЕВ^{2***}

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

²Уральский геологический музей Уральского государственного горного университета, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность работы обусловлена необходимостью минералогического изучения вольфрамовых месторождений Уральского региона, отработка которых осуществлялась с конца XIX в.

Целью работы является диагностика и детальное описание вольфраматов из Боёвского вольфрамового месторождения, расположенного на границе Челябинской и Свердловской областей на Южном Урале.

Аналитические исследования выполнены в лаборатории физико-химических методов исследования Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург. Химический состав минералов проанализирован в полированных шлифах на микроанализаторе СAMEСА SX 100. Условия измерения: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока 150 нА, диаметр пучка электронов 2 мкм. Давление в камере образцов $2 \cdot 10^{-4}$ Па. Спектры получены на наклонных волновых спектрометрах, измерение интенсивности проводилось по аналитическим линиям. Стандартные образцы: шеелит, вольфрамат, галенит, рутил и хромит. Рамановские спектры минералов получены с помощью спектрометра LabRam HR Evolution (Horiba Scientific). Для анализа использовался красный лазер – 532 нм.

В результате работы получены новые данные о химическом составе гюбнерита и шеелита и приведены их рамановские спектры. Впервые для Боёвского вольфрамового месторождения сделана достоверная диагностика и описание вольфрамата свинца – штольцита. Минерал был найден в образцах с жильным кварцем в ассоциации с мусковитом, флюоритом, гюбнеритом и шеелитом. Выполняет трещины и пустоты в гюбнерите, реже обрастает шеелит или заполняет трещины в шеелите. Он является более поздним минералом по отношению к гюбнериту и шеелиту. В его химическом составе отмечаются примеси марганца, кальция, железа и титана. Штольцит, найденный нами, является минералом зоны окисления и скорее всего образовался за счет выветривания вольфрамита и галенита, которые также присутствуют в кварцевых жилах.

Ключевые слова: гюбнерит, шеелит, штольцит, Боёвское вольфрамовое месторождение, Южный Урал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рундквист Д. В., Чистяков Н. Е. О берилл-флюорит-мусковитовом типе минерализации // Геология рудных месторождений. 1960. № 2. С. 44–52.
2. Минералогия и месторождения редких металлов, молибдена, вольфрама Урала / К. К. Золоев [и др.]. Екатеринбург: МПР РФ, ГУПР по Свердловской области, ИГГ УрО РАН, ОАО УГЭС, 2004. 336 с.
3. Рундквист Д. В., Денисенко В. К., Павлова И. Г. Грейзеновые месторождения (онтогенез и филогенез). М.: Недра, 1971. 328 с.
4. Коровко А. В., Двоеглазов Д. А., Кузовков Г. Н. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Изд. второе. Сер. Среднеуральская. Лист О-41-XXXII: объяснит. записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 275 с.
5. Григорьев Н. А. Глюцин – новый минерал бериллия // Записки ВМО. 1963. Ч. 92. Вып. 6. С. 691–696.
6. Григорьев Н. А. Уралолит – новый минерал // Записки ВМО. 1964. Ч. 93. Вып. 2. С. 156–162.
7. Минералогия Урала. Оксиды и гидроксиды. Екатеринбург; Миасс: УрО РАН, 2007. Ч. 2. 288 с.
8. Болдырев А. К., Лиски Э. Я. Разделение русских вольфраматов Fe и Mn на минеральные виды // Записки РМО. 1929. № 2. С. 239–247.
9. Покровский П. В. Штольцит // Труды Горно-геологического института УФАИ СССР. 1961. Вып. 56. С. 53–60.
10. Альбов М. Н. Образование штольцита в зоне окисления // Записки ВМО. 1954. Ч. 83. Вып. 2. С. 148–150.
11. Crane M., Frost R. L., Williams P. A., Klopogge J. T. Raman spectroscopy of the molybdate minerals chillagite (tungsteinian wulfenite-14), stolzite, scheelite, wolframite and wulfenite // Journal of Raman Spectroscopy. 2002. Vol. 33. Issue 1. P. 62–66. <http://dx.doi.org/10.1002/jrs.820>
12. Касаткин А. В., Кузнецов А. М., Арзамасцев Н. А. Рудные минералы Бурановского вольфрамового месторождения (Южный Урал) // Минералогия. 2022. Т. 8. № 3. С. 23–46. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2022-8-3-2>
13. Кобяшев Ю. С. Список минералов Урала (виды и разновидности) // Уральский геологический журнал. 2006. № 2 (50). С. 1–265.
14. Эшкин В. Ю. Штольцит из хрусталеносного месторождения Приполярного Урала // Записки ВМО. 1962. Ч. 91. Вып. 2. С. 207–211.
15. Юшкин Н. П., Бушуева Е. Б., Павлов Л. П. Минералогический очерк зоны окисления Торговского висмут-молибден-вольфрамового месторождения на Приполярном Урале // Труды Института геологии Коми филиала АН СССР. 1969. Вып. 13. С. 41–70.

Статья поступила в редакцию 01 марта 2023 года

✉ p123v@yandex.ru

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

**erokhin-yu@yandex.ru

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

***vagrigoiev@yandex.ru

Monazite from lithium-bearing pegmatites of the Lipovskoye vein field, Middle Urals (composition and chemical dating)

Anatoliy Vladimirovich ZAKHAROV*
Vera Vital'evna KHILLER**

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

Abstract

The relevance of the research is due to the need to improve the method of chemical dating as applied to high-thorium accessory minerals, which are difficult to study by isotope research methods.

Purpose of the research is to study the chemical composition of monazite from lithium-bearing granite pegmatites of the Lipovskoye vein field and to determine their age.

Research methodology. The quantitative analysis of the chemical composition of monazite was performed on a CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer (IGG UB RAS, Ekaterinburg). Measurement conditions: accelerating voltage 15 kV, current strength 250 nA, electron beam diameter 2 μm . The pressure in the sample chamber is $2 \cdot 10^{-4}$ Pa. The spectra were obtained on tilted wave spectrometers, the intensity was measured using analytical lines: Th *Ma*, U *Mb*, Pb *Ma*, Y *La*, Si *Ka*, Ca *Ka*, P *Ka*, Ce *La*, La *La*, Pr *Lb*, Nd *La*, Sm *Lb*, Dy *La*, Gd *Lb*. Standard samples: ThO₂, UO₂, Pb₂P₂O₇, diopside, synthetic rare-earth phosphates. The intensity measurement time at the peak for Th is 180 s, U is 100 s, and Pb is 500 s (240 s on one and simultaneously 260 s on another spectrometer), for Y and Si 20 s each, for the other elements 10 s; on the background – two times less. The detection limits for Th, U, and Pb in monazite are 290, 350, and 64 ppm, respectively. The oxygen content was determined under the assumption of the stoichiometry of the composition.

Results. It has been established that monazite belongs to the cerium variety and is characterized by high contents of thorium (ThO₂ up to 23.6 wt. %) and uranium (UO₂ up to 2.5 wt. %). At the same time, cheralite-type isomorphism is realized in phosphate. In a closed Th–U–Pb-system ($\beta = 0.92\text{--}0.97$), according to the results of chemical dating (according to 20 analyses), monazite-(Ce) shows a weighted average age of 243 ± 7 Ma. When plotting the dependence (ThO₂ + UO₂^{eq}) – PbO, the points fall on one isochrone. Calculation of the age from the slope of the isochron gave a dating of 242 ± 17 Ma, MSWD = 0.21, probability = 1.00.

Conclusion. It has been established that accessory monazite from lithium-bearing granitic pegmatites of the Lipovskoye vein field (Middle Urals) is of Triassic age. Apparently, this dating shows the time of the secondary transformation of lithium-bearing granitic pegmatites, which are often tectonized, and in some places even boudinaged.

Keywords: monazite-(Ce), lithium-bearing granitic pegmatites, chemical dating, Lipovskoye vein field, Middle Urals.

Introduction


Granite pegmatites of the Lipovskoe vein field are located on the eastern slope of the Middle Urals (70 km northeast of Ekaterinburg and 5 km west of the village of Lipovskoye). The world-famous and already developed manifestation of pink tourmalines (rubellites) is associated with them. Pegmatites are confined to a gently sloping synclinal structure sandwiched between three large granite massifs – Murzinsky (from the northwest), Aduisky (from the southwest) and Sokolovsky (from the east). The syncline itself is composed of metamorphic rocks of the Proterozoic age, which is dominated by various gneisses, shales, and amphibolites [1, 2]. Separate bodies of serpentinites and marbles are also noted here, which are usually tectonically interspersed with each other in the melange zone. The well-known and also depleted Lipovskoye deposit of silicate-nickel ores is associated with karst marbles and weath-

ering crusts of serpentinites. Granite vein bodies are widespread within the Lipovskoye pegmatite field and are usually represented by intragranite, lithium-bearing and plagioclase (desilicite) types. Moreover, the latter develop and replace intragranitic pegmatites, which cut through blocks of serpentinites. Despite the abundance of lithium-bearing veins in this area and their relatively good mineralogical state of knowledge [2–6], it turned out that no age dating was given for them.

Structure and zoning of lithium-bearing pegmatites of Lipovskoye

Lithium-bearing pegmatites within the Lipovskoye vein field occur exclusively in serpentinites. The dip angle of different veins of this type, as a rule, varies from 40° to 90°, and their thickness varies from 0.3 to 1.5 m, and these bodies are often subject to tectonic influences. In the described

✉ zakharov-zav@yandex.ru

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

**hilvervit@mail.ru

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

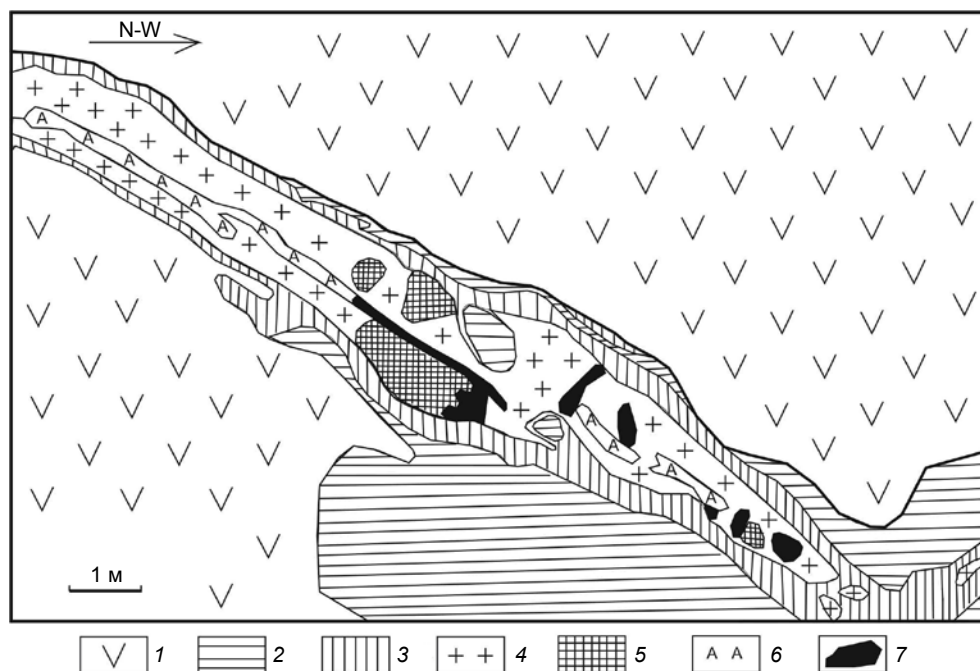


Figure 1. Structure of the Toporkov pegmatite vein (according to [7] with our additions): 1 – serpentine; 2 – disintegrated serpentine; 3 – zone of quartz-muscovite-montmorillonite aggregate; 4 – fine- and medium-pegmatoidal pegmatite (with individuals up to 10 cm); 5 – block microcline; 6 – quartz-muscovite-albite aggregate; 7 – lepidolite-albite aggregate

Рисунок 1. Строение пегматитовой жилы Топоркова (по [7] с нашими дополнениями): 1 – серпентинит; 2 – дезинтегрированный серпентинит; 3 – зона кварц-мусковит-монтмориллонитового агрегата; 4 – пегматит мелко- и среднепегматоидный (с индивидами до 10 см); 5 – блоковый микроклин; 6 – кварц-мусковит-альбитовый агрегат; 7 – лепидолит-альбитовый агрегат

lithium-bearing veins, the following zones are distinguished (from the periphery to the center): 1. Fine pegmatoid microcline-albite with individuals up to 5 cm; 2. Medium pegmatoid microcline-albite with individuals up to 10 cm; 3. Small-block microcline (microcline-perthite); 4. Lepidolite-albite; 5. Granular albite; 6. Small block quartz. The selected zones are very unevenly distributed along the veins. If the first zone can be traced along the strike of the veins quite constantly, then the rest of the zones are distinguished in separate joints of the veins, which have a large thickness. The shape of these zones is nests and lenses. Another fifth zone, usually located in the center of the vein, can be traced more or less often.

Below is a detailed description of two veins of this type of pegmatite.

The Toporkov vein occupies the western part of the Sherlovaya Kop manifestation, which has been mined since the discovery of rubellites at Lipovskoye. This is the only vein described more or less in detail in the literature [2]. Pegmatite has a lenticular structure with the development of an aplitoid microcline-albite aggregate at the edges, and block zones of quartz, microcline, and a lepidolite-albite aggregate with disseminated elbaite are noted in the center (fig. 1).

The described vein was complicated by late tectonic movements, as a result of which a lenticular structure arose. The general strike of the vein is meridional with a bend of its northern end to the northwest, and the southern end to the south-southeast. The total length of the vein, counting with the pinch sections, is 42 m. The western dip is 43–50°. The maximum thickness of the vein is 1.5 m, the average is 1.0 m. The wedging out of the vein along the strike is gradual and, at the

same time, it branches into several apophyses, traced in the form of lenses and nests in the near-contact quartz-muscovite-montmorillonite rock. The vein is wedged out in the fall and in the uprising. Its contacts with host rocks are sharp and tectonic. Here, relics of host rocks of various shapes are often wedged into the body of the vein.

The Sibiryachka vein was discovered in 2005 in the western part of the northern quarry (no. 6 according to the numbering of the former Lipovskoye mine). It is represented by a pegmatite vein, having a plate-like shape, the thickness of the body does not exceed 30–40 cm, with a northeast strike and a dip at an angle of 60° to the northwest (fig. 2).

Several cavities with pink tourmalines and blue topazes were unearthed in the vein. The pegmatite has a rather distinct albeit asymmetric zoning (fig. 3). Three zones were distinguished in it from the edge to the center: pegmatoid (with a crystal size of 5–10 cm), block (with significant albitization of potassium feldspar), and central with lepidolite-albite aggregate. The central zone was characterized by the development of cavities with semiprecious mineralization. But, as in the Toporkov vein, the identified zones are very unevenly and fragmentarily distributed within the entire vein body.

At the moment, within the Lipovskoye ore field, only three lithium-bearing pegmatites are available for study, two veins have spoil heaps of a nickel mine, and about a dozen veins, uncovered in the sides of quarries, went under water when the workings were flooded. Thus, in the Lipovskoye vein field, in a relatively small area of several km², there is a significant accumulation of lithium-bearing pegmatites, the potential ore content of which has yet to be assessed.



Figure 2. Appearance of the Sibiryachka pegmatite vein at the time of development. Quarry no. 6, Lipovskoye vein field. Photo by M. P. Popov, 2005

Рисунок 2. Внешний вид пегматитовой жилы Сибирячка в момент разработки. Карьер № 6, Липовское жильное поле. Фото М. П. Попова, 2005 г.

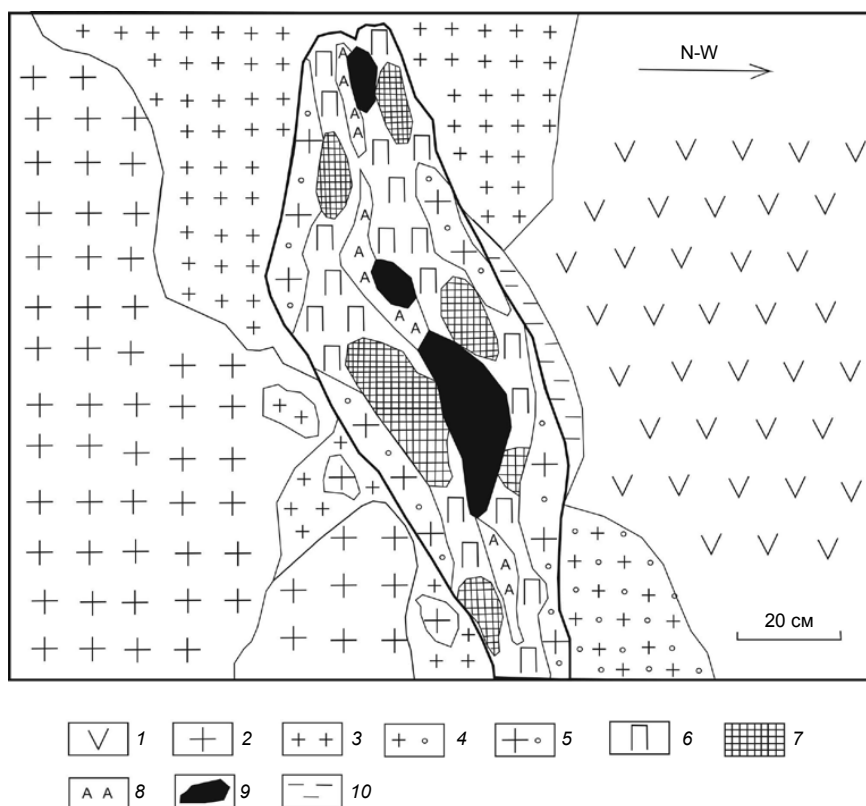


Figure 3. Scheme of the structure of the pegmatite vein Sibiryachka (according to the oral description of S. Z. Smirnov provided in the Rezhevsky reserve) with simplifications of the authors: 1 – serpentinite; 2 – medium to coarse-grained pegmatite; 3 – fine-grained two-mica gneissic leucogranite; 4 – granite-aplite with garnet, tourmaline and muscovite; 5 – fine pegmatoidal pegmatite (with individuals up to 5 cm) with schorl, muscovite, garnet and blue beryl; 6 – medium pegmatoidal pegmatite (with individuals up to 10 cm), mineral composition is the same as in the previous zone, but lepidolite and verdelite occur and in some places with albitization of potassium feldspar; 7 – block pegmatite (mineral composition, as in the previous zone, but with more significant albitization of potassium feldspar); 8 – quartz-mica-albite complex; 9 – quartz-lepidolite-albite complex with miarols (the latter include topaz, albite, colored tourmaline, quartz, potassium feldspar, lepidolite); 10 – chlorite-phlogopite rock

Рисунок 3. Схема строения пегматитовой жилы Сибирячка (по устному описанию С. З. Смирнова, предоставленному в Режевской заказник) с упрощениями авторов: 1 – серпентинит; 2 – пегматит от средне- до крупнозернистого; 3 – мелкозернистый двуслюдяной гнейсовидный лейкогранит; 4 – гранит-аплит с гранатом, турмалином и мусковитом; 5 – пегматит мелкопегматоидный (с индивидами до 5 см) с шерлом, мусковитом, гранатом и голубым бериллом; 6 – пегматит среднепегматоидный (с индивидами до 10 см), минеральный состав, как и в предыдущей зоне, но встречаются лепидолит и верделит и местами с альбитизацией КПШ; 7 – блоковый пегматит (минеральный состав, как и в предыдущей зоне, но с более существенной альбитизацией КПШ); 8 – кварц-слюдисто-альбитовый комплекс; 9 – кварц-лепидолит-альбитовый комплекс с миаролами (в состав последних входят топаз, альбит, цветной турмалин, кварц, КПШ, лепидолит); 10 – хлорит-флогопитовая порода

Research methodology

Quantitative analysis of the chemical composition of monazite was carried out on a CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer (IGG UB RAS, Ekaterinburg). Polished sections were made from pieces of rock, then sprayed with a thin layer of carbon. Measurement conditions: accelerating voltage 15 kV, current strength 250 nA, electron beam diameter 2 μm . The pressure in the sample chamber is $2 \cdot 10^{-4}$ Pa. The spectra were obtained on tilted wave spectrometers, the intensity was measured using analytical lines: Th *Ma*, U *Mb*, Pb *Ma*, Y *La*, Si *Ka*, Ca *Ka*, P *Ka*, Ce *La*, La *La*, Pr *Lb*, Nd *La*, Sm *Lb*, Dy *La*, Gd *Lb*. Standard samples: ThO₂, UO₂, Pb₂P₂O₇, diopside, synthetic rare-earth phosphates. The intensity measurement time at the peak for Th is 180 s, U is 100 s, and Pb is 500 s (240 s on one and simultaneously 260 s on another spectrometer), for Y and Si 20 s each, for the other elements 10 s; on the background - two times less. The detection limits for Th, U, and Pb in monazite are 290, 350, and 64 ppm, respectively. The oxygen content was determined under the assumption of the stoichiometry of the composition. The theoretical and practical substantiation of the chemical dating method using X-ray microprobe analysis is giv-

en in numerous publications on this topic [8, 9], including one of the authors [10, 11]. The main condition of this method is that the mineral did not lose radiogenic lead during evolution (i. e., the Th–U–Pb system was closed), all lead in the mineral was formed due to the decay of thorium and uranium.

Results and discussion

Accessory monazite is often found in lithium-bearing granitic pegmatites of the Lipovskoye vein field. Rare earth phosphate forms euhedral crystals, about 100 μm in length, often having radioactive yards in the form of a cheralite rim, and is located in the interstices of tourmaline (elbaite) grains in a lepidolite “boiler” (fig. 4). According to the chemical composition, rare earth phosphate belongs to the cerium variety (table 1) and is characterized by high contents of thorium (ThO₂ up to 23.6 wt. %) and uranium (UO₂ up to 2.5 wt. %). It is known that for thorium and uranium impurities in monazite, the huttonite (Th⁴⁺(U⁴⁺) + Si⁴⁺ → REE³⁺ + P⁵⁺) and (or) cheralite (Th⁴⁺(U⁴⁺)+Ca²⁺(Sr²⁺, Ba²⁺, Pb²⁺) → 2REE³⁺) type of isomorphism is realized. From the available analyzes of the chemical composition of monazite, it can be argued that the cheralite type of isomorphism is realized in phosphate.

Table 1. Chemical composition of monazite from Li-bearing veins of Lipovskoye wt. %
Таблица 1. Химический состав монацита из литиеносных жил Липовки, мас. %

Oxides	Analysis number									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P ₂ O ₅	30,37	30,37	30,23	30,20	29,85	30,08	29,90	29,86	29,90	30,09
ThO ₂	22,20	21,06	19,75	20,92	21,04	20,12	20,16	19,79	20,54	19,86
UO ₂	2,37	2,39	2,54	2,15	2,07	2,48	1,91	1,90	2,45	2,52
SiO ₂	0,33	0,36	0,38	0,43	0,40	0,40	0,39	0,36	0,41	0,40
Ce ₂ O ₃	15,68	15,95	16,06	16,81	17,08	15,73	17,52	18,14	15,67	16,03
La ₂ O ₃	6,23	6,13	6,15	6,88	7,06	6,24	7,29	7,30	6,21	6,22
Nd ₂ O ₃	7,15	7,34	7,52	7,39	7,31	7,47	7,53	7,44	7,44	7,48
Pr ₂ O ₃	1,88	2,10	2,13	2,09	2,12	2,15	2,21	2,21	2,09	2,01
Sm ₂ O ₃	3,84	4,07	4,27	3,69	3,66	4,10	3,69	3,79	3,89	3,97
Gd ₂ O ₃	2,53	2,61	2,76	2,30	2,07	2,65	2,24	2,16	2,66	2,91
Dy ₂ O ₃	0,73	0,90	1,01	0,73	0,70	0,92	0,72	0,69	0,89	0,97
Y ₂ O ₃	2,38	2,60	2,89	1,99	1,97	2,90	1,90	1,90	2,80	2,93
PbO	0,31	0,30	0,29	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,29	0,29
CaO	4,67	4,28	4,14	4,35	4,35	4,25	4,19	4,13	4,21	4,17
<i>Total</i>	100,67	100,47	100,11	100,21	99,93	99,77	99,91	99,92	99,44	99,85

Oxides	Analysis number									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P ₂ O ₅	30,22	30,05	29,91	30,02	29,74	29,55	29,47	29,78	29,62	30,09
ThO ₂	22,43	22,36	21,97	22,32	22,45	21,97	19,99	21,31	23,60	19,71
UO ₂	2,40	2,37	2,34	2,38	2,27	2,29	1,95	1,95	2,19	2,53
SiO ₂	0,35	0,35	0,36	0,35	0,50	0,36	0,38	0,44	0,52	0,39
Ce ₂ O ₃	15,55	15,48	15,69	15,30	15,40	15,88	17,82	16,70	14,89	16,11
La ₂ O ₃	5,85	6,18	6,15	6,07	6,00	6,32	7,23	7,13	6,07	6,30
Nd ₂ O ₃	7,03	6,92	7,09	7,14	7,15	7,15	7,53	7,32	6,94	7,59
Pr ₂ O ₃	1,92	2,04	1,94	1,86	1,98	2,00	2,04	1,88	1,99	2,00
Sm ₂ O ₃	3,69	3,85	3,68	3,58	3,88	3,52	3,91	3,56	3,69	4,03
Gd ₂ O ₃	2,39	2,50	2,37	2,36	2,65	2,33	2,18	2,32	2,37	2,94
Dy ₂ O ₃	0,83	0,77	0,72	0,80	0,82	0,83	0,77	0,70	0,73	0,91
Y ₂ O ₃	2,37	2,40	2,30	2,35	2,55	2,26	1,94	1,98	2,20	2,92
PbO	0,31	0,32	0,30	0,30	0,31	0,30	0,26	0,28	0,31	0,29
CaO	4,66	4,63	4,59	4,64	4,45	4,59	4,14	4,45	4,73	4,18
<i>Total</i>	100,01	100,20	99,43	99,47	100,16	99,36	99,62	99,80	99,85	100,00

Note: IGG UB RAS, CAMECA SX 100 microanalyzer, analyst V. V. Khiller.

In the well-known work [12], the parameter $\beta = (\text{Si} + \text{Ca}) / (\text{Th} + \text{U} + \text{Pb})$, which characterizes the degree of charge compensation of $\text{Th}^{4+}(\text{U}^{4+})$ impurities, was considered as an indicator of the closedness of the Th–U–Pb system of monazite: when it is close to unity, the system is considered closed. For monazite from lithium-bearing veins, the parameter $\beta = 0.92\text{--}0.97$, which indicates the closed nature of the system and means the possibility of a correct assessment of the age of the mineral.

According to the results of chemical dating (according to 20 analyses), monazite-(Ce) shows a weighted average age of 243 ± 7 Ma, MSWD = 0.09, probability = 1.00 (fig. 5, a). When plotting the dependence $\text{ThO}_2^* - \text{PbO}$, the points fall on one isochrone. Here $\text{ThO}_2^* = (\text{ThO}_2 + \text{UO}_2^{\text{eq}})$, where UO_2^{eq} is the urani-

um content recalculated to the equivalent thorium content capable of producing the same amount of lead during the lifetime of the system if the U–Pb and Th–Pb age values are equal. Calculation of the age from the slope of the isochron gives a dating of 242 ± 17 Ma, MSWD = 0.21, probability = 1.00 (fig. 5, b).

As mentioned above, no dating of the Lipovskoye lithium-bearing pegmatites has been carried out so far. In most cases, the issue of age was not even discussed in publications [2], and in some works it was casually indicated that pegmatites are related to the surrounding Upper or Late Paleozoic granites [5]. Relatively recently, we obtained the age of formation of the most common classical granite pegmatites in the Lipovskoye vein field. A three-mineral (by monazite, uraninite, and coffinite) isochrone of 266.4 ± 2.6 Ma was constructed for them using the chemical dating method [11]. At the same time, it is obvious that the lithium-bearing pegmatites of the Lipovskoye vein field were formed somewhat later than the classical granitic pegmatites, the formation of which took place in the Middle Permian. This follows not only from the obtained geochronological data, but also from visual geological observations, where it is clear that vertically lying lithium-bearing pegmatites often “rest” against screening gently sloping classical pegmatites.

Our dating of accessory monazite (243 ± 7 Ma) is somewhat surprising, since it is believed that magmatism did not exist in this area later than 255–250 Ma [13]. In addition, recently, we presented the first data on argon-argon dating of the same Li-bearing pegmatites of Lipovskoye, which showed an age of 254 Ma [14]. Apparently, the Triassic dating of monazite shows the time of the secondary transformation of lithium-bearing granitic pegmatites, which are often tectonized, and in some places even boudinaged. Within the Murzinko-Aduisky complex, pegmatites often contain not only Permian dates, but also Triassic ages [15, 16]. It is likely that they arose as a result of tectonic-magmatic activation, the influence of which was widely manifested due to the large Susansky tectonic fault, framing most of the eastern contact of the Aduisky and Murzinsky granite massifs. In any case, the Triassic ages of

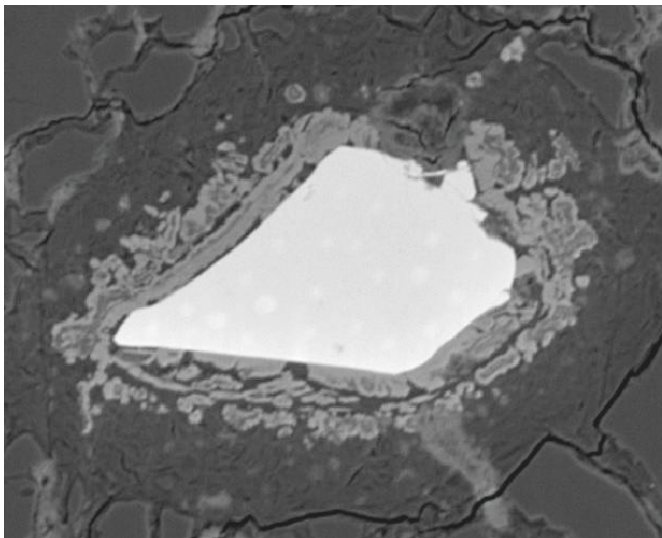


Figure 4. An individual of monazite-(Ce), up to 200 μm in size, with a rim composed of a cheralite aggregate. BSE photo, CAMECA SX 100

Рисунок 4. Индивид монацита-(Ce) размером до 200 мкм с оторочкой, сложенной агрегатом чералита. BSE-фото, CAMECA SX 100

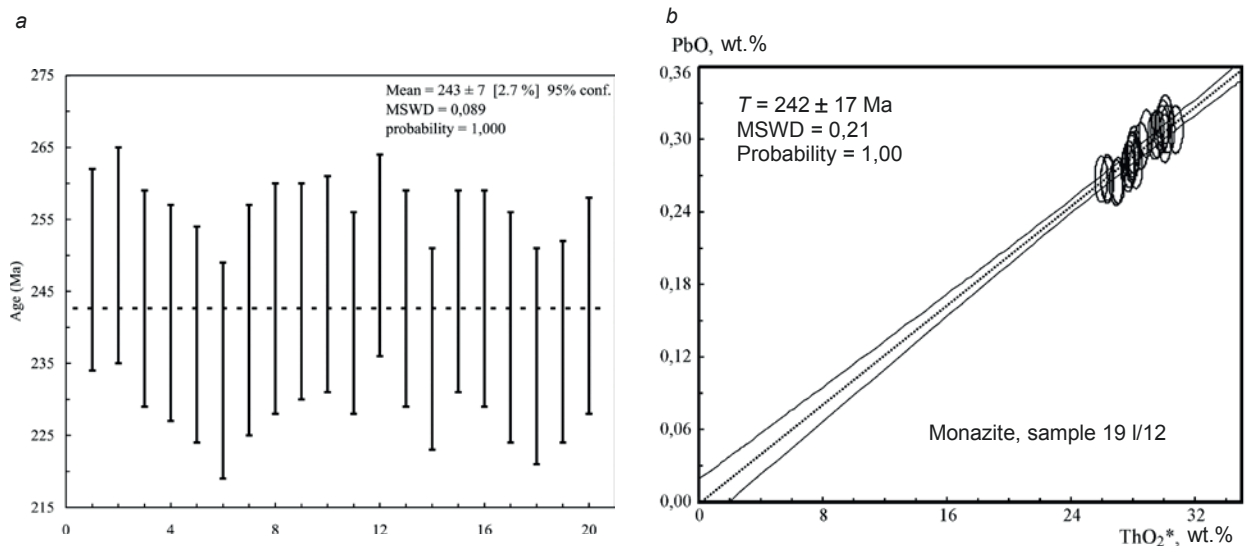


Figure 5. Weighted average age (a) and isochrone (b) for monazite
Рисунок 5. Средневзвешенный возраст (а) и изохрона (б) по монациту

rocks or minerals for a given study area were often mentioned in various publications [16–18].

Conclusions

Thus, we have studied in detail accessory monazite from lithium-bearing granitic pegmatites of the Lipovskoye vein field (Middle Urals). According to the chemical composition, the mineral belongs to monazite-(Ce). Using chemi-

cal dating, point U–Th–Pb ages of monazite were obtained, which together give a weighted average age of 243 ± 7 Ma (MSWD = 0.09) and an isochrone of 242 ± 17 Ma (MSWD = 0.21). Apparently, this Triassic date indicates the time of the secondary transformation of lithium-bearing granitic pegmatites, which are often tectonized, and in some places even boudinaged.

The authors are grateful to Ph.D. Yu. V. Erokhin for help in the research.

The work was carried out within the framework of the state task of the IGG, UB RAS, no. reg. 123011800014-3.

REFERENCES

1. Emlin E. F., Vakhrusheva N. V., Kainov V. I. 2002, Semi-precious stripe of the Urals: Rezh state natural and mineralogical reserve: Guide. Ekaterinburg; Rezh, 156 p. (*In Russ.*)
2. Pekov I. V., Memetova L. R. 2008, Minerals of granite pegmatites of Lipovka, Middle Urals. *In the world of minerals. Mineralogical almanac*, vol. 13, pp. 7–44. (*In Russ.*)
3. Erokhin Yu. V., Zakharov A. V. 2011, Polychrome tourmalines and lepidolite from rare-metal granitic pegmatites of the Lipovsky vein field (Middle Urals). Yearbook-2010. Proceedings of the IGG UB RAS, issue 158, pp. 135–139. (*In Russ.*)
4. Zakharov A. V., Erokhin Yu. V., Khiller V. V. 2018, New fluorine-containing minerals from lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka (Middle Urals). *Vestnik Ural'skogo otdeleniya RMO* [Bulletin of the Ural branch of the Russian Metallurgical Society], no. 15, pp. 72–79. (*In Russ.*)
5. Serdyuchenko D. P., Bolshakova T. N., Cherepivskaya G. E. 1984, Tourmalines from pegmatites and granites of Lipovka in the Urals. *Zapiski VMO* [Proceedings of the All-Russian Mineralogical Society], part 113, issue 4, pp. 478–485. (*In Russ.*)
6. Zakharov A. V. 2019, Fluor-elbaite, fluoronatromicrolite and fluorcalciomicrolite from lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka (Middle Urals). *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], no. 4 (56), pp. 19–24. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-4-19-24>
7. Mironov A. I., Kazantsev A. Z. 1972, Report on detailed exploration work carried out by the Rezh nickel plant at the Lipovsky rubellite deposit in 1968–1970. Rezh, 70 p. (*In Russ.*)
8. Montel J.-M., Foret S., Veschambre M., Nicollet C., Provost A. 1996, Electron microprobe dating of monazite. *Chemical Geology*, vol. 131, issues 1–4, pp. 37–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(96\)00024-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(96)00024-1)
9. Suzuki K., Adachi M. 1991, Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th–U–total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime. *Geochemical Journal*, vol. 25, pp. 357–376. <https://doi.org/10.2343/geochemj.25.357>
10. Popova V. I., Khiller V. V., Erokhin Yu. V., Popov V. A. 2010, Monazites of late granitic pegmatites of the Ilmensky Mountains: chemical dating of the age of zonal-sectoral crystals. *Novyye dannyye o mineralakh* [New data on minerals], issue 45, pp. 72–78. (*In Russ.*)
11. Khiller V. V., Erokhin Yu. V., Zakharov A. V., Ivanov K. S. 2014, Th–U–Pb dating of granite pegmatites from the Lipovskoe ore field (Urals) for three minerals. *Doklady AN* [Reports of the Academy of Sciences], vol. 455, no. 2, pp. 216–219. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.7868/S0869565214080210>
12. Suzuki K., Kato T. 2008, CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data. *Gondwana Research*, vol. 14, issue 4, pp. 569–586. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.01.005>
13. Smirnov V. N., Ivanov K. S. 2019, Structural connections between the Urals and Western Siberia: a common stage of formation at the Permian–Triassic boundary. *Doklady AN* [Reports of the Academy of Sciences], vol. 488, no. 3, pp. 294–297. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.31857/S0869-56524883294-297>
14. Smirnov V. N., Ivanov K. S., Travin A. V., Zakharov A. V., Erokhin Yu. V. 2022, ^{40}Ar – ^{39}Ar dating of pegmatites in the Murzinsko-Aduisky region (Middle Urals): results and their geological interpretation. *Litosfera* [Lithosphere], vol. 22, no. 5, pp. 612–623. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-612-623>
15. Votyakov S. L., Shchapova Yu. V., Khiller V. V. 2011, Crystal chemistry and physics of radiation-thermal effects in a number of U–Th-containing minerals as a basis for their chemical microprobe dating. Ekaterinburg, 336 p. (*In Russ.*)
16. Smirnov V. N., Ivanov K. S., Krasnobaev A. A., Bushlyakov I. N., Kaleganov B. A. 2006, Results of K–Ar dating of the Aduisky granite massif (eastern slope of the Middle Urals). *Litosfera* [Lithosphere], no. 2, pp. 148–156. (*In Russ.*)
17. Bidny A. S., Baksheev I. A., Popov M. P. 2011, Rb–Sr systematics of beryl-containing mica in the eastern exocontact of the Murzinsko-Aduisky granite complex (Urals). *Litosfera* [Lithosphere], no. 6, pp. 141–145. (*In Russ.*)
18. Popov V. S., Bogatov V. I., Petrova A. Yu., Belyatsky B. V. 2003, Age and possible sources of granites of the Murzinsko-Aduisky block, Middle Urals: Rb–Sr and Sm–Nd isotope data. *Litosfera* [Lithosphere], no. 4, pp. 3–18. (*In Russ.*)

The article was received on March 01, 2023

Монацит из литиеносных пегматитов Липовского жильного поля, Средний Урал (состав и химическое датирование)

Анатолий Владимирович ЗАХАРОВ*
Вера Витальевна ХИЛЛЕР**

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

Аннотация

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования метода химического датирования в применении к высокотермическим акцессорным минералам, которые сложно изучать изотопными методами исследования.

Цель работы – исследование химического состава монацита из литиеносных гранитных пегматитов Липовского жильного поля и определение их возраста.

Методология исследования. Количественный анализ химического состава монацита выполнен на электронно-зондовом микроанализаторе САМЕСА SX 100 (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). Условия измерения: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока 250 нА, диаметр пучка электронов 2 мкм. Давление в камере образцов $2 \cdot 10^{-4}$ Па. Спектры получены на наклонных волновых спектрометрах, измерение интенсивности проводилось по аналитическим линиям: Th *Ma*, U *Mb*, Pb *Ma*, Y *La*, Si *Ka*, Ca *Ka*, P *Ka*, Ce *La*, La *La*, Pr *Lb*, Nd *La*, Sm *Lb*, Dy *La*, Gd *Lb*. Стандартные образцы: ThO₂, UO₂, Pb₂P₂O₇, диопсид, синтетические фосфаты РЗЭ. Время измерения интенсивности на пике для Th – 180 с, U – 100 с и Pb – 500 с (240 с на одном и одновременно 260 с на другом спектрометре), для Y и Si по 20 с, для остальных элементов 10 с; на фоне – в два раза меньше. Пределы обнаружения Th, U и Pb в монаците 290, 350 и 64 г/т соответственно. Содержание кислорода определялось в предположении о стехиометрии состава.

Результаты. Установлено, что монацит относится к цериевой разновидности и характеризуется высокими содержаниями тория (ThO₂ до 23,6 мас. %) и урана (UO₂ до 2,5 мас. %). При этом в фосфате реализуется чералитовый типа изоморфизма. В замкнутой Th–U–Pb-системе ($\beta = 0,92–0,97$) по результатам химического датирования (по данным 20 анализов) монацит-(Ce) показывает средневзвешенный возраст 243 ± 7 млн лет. При построении зависимости (ThO₂ + UO₂^{экв})–PbO точки ложатся на одну изохрону. Расчет возраста по углу наклона изохроны дал датировку 242 ± 17 млн лет, СКВО = 0,21, вероятность равна 1,00.

Выводы. Установлено, что акцессорный монацит из литиеносных гранитных пегматитов Липовского жильного поля (Средний Урал) имеет триасовый возраст. По всей видимости, эта датировка показывает время вторичного преобразования литиеносных гранитных пегматитов, которые часто тектонизированы, а местами даже разлинзованы.

Ключевые слова: монацит-(Ce), литиеносные гранитные пегматиты, химическое датирование, Липовское жильное поле, Средний Урал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емлин Э. Ф., Вахрушева Н. В., Кайнов В. И. Самоцветная полоса Урала: Режевской государственной природно-минералогический заказник: путеводитель. Екатеринбург; Реж, 2002. 156 с.
2. Пеклов И. В., Меметова Л. Р. Минералы гранитных пегматитов Липовки, Средний Урал // В мире минералов. Минералогический альманах. 2008. Т. 13. С. 7–44.
3. Ерохин Ю. В., Захаров А. В. Полихромные турмалины и лепидолит из редкометальных гранитных пегматитов Липовского жильного поля (Средний Урал) // Ежегодник-2010: труды ИГГ УрО РАН, 2011. Вып. 158. С. 135–139.
4. Захаров А. В., Ерохин Ю. В., Хиллер В. В. Новые фторсодержащие минералы из литиеносных гранитных пегматитов Липовки (Средний Урал) // Вестник УрО РМО. 2018. № 15. С. 72–79.
5. Сердюченко Д. П., Большакова Т. Н., Черепивская Г. Е. Турмалины из пегматитов и гранитов Липовки на Урале // Записки ВМО. 1984. Ч. 113. Вып. 4. С. 478–485.
6. Zakharov A. V. Fluor-elbaite, fluoronatromicrolite and fluorcalciomicrolite from lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka (Middle Urals) // Известия УГГУ, 2019. № 4 (56). С. 19–24. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-4-19-24>
7. Миронов А. И., Казанцев А. З. Отчет о детальных разведочных работах, проведенных Режевским никелевым заводом на Липовском рубеллитовом месторождении в 1968–1970 годах. Реж: Режевской никелевый завод. Фонды Уралгеолкома, 1972. 70 с.
8. Montel J.-M., Foret S., Veschambre M., Nicollet C., Provost A. Electron microprobe dating of monazite // Chemical Geology. 1996. Vol. 131. Issues 1–4. P. 37–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(96\)00024-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(96)00024-1)
9. Suzuki K., Adachi M. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th–U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime // Geochemical Journal. 1991. Vol. 25. Issue 5. P. 357–376. <https://doi.org/10.2343/geochemj.25.357>

✉ zakharov-zav@yandex.ru

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

**hilvervit@mail.ru

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

10. Попова В. И., Хиллер В. В., Ерохин Ю. В., Попов В. А. Монациты поздних гранитных пегматитов Ильменских гор: химическое датирование возраста зонально-секториальных кристаллов // Новые данные о минералах, 2010. Вып. 45. С. 72–78.
11. Хиллер В. В., Ерохин Ю. В., Захаров А. В., Иванов К. С. Th–U–Pb-датирование гранитных пегматитов Липовского рудного поля (Урал) по трем минералам // Докл. АН. 2014. Т. 455. № 2. С. 216–219. <https://doi.org/10.7868/S0869565214080210>
12. Suzuki K., Kato T. CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data // Gondwana Research. 2008. Vol. 14. Issue 4. P. 569–586. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.01.005>
13. Смирнов В. Н., Иванов К. С. Структурные связи Урала и Западной Сибири: единый этап формирования на границе перми и триаса // Докл. АН. 2019. Т. 488. № 3. С. 294–297. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524883294-297>
14. Смирнов В. Н., Иванов К. С., Травин А. В., Захаров А. В., Ерохин Ю. В. ^{40}Ar – ^{39}Ar датирование пегматитов Мурзинско-Адуйского района (Средний Урал): результаты и их геологическая интерпретация // Литосфера. 2022. Т. 22. № 5. С. 612–623. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-5-612-623>
15. Вотяков С. Л., Шапова Ю. В., Хиллер В. В. Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в ряде U–Th-содержащих минералов как основа для их химического микронзондового датирования. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. 336 с.
16. Смирнов В. Н., Иванов К. С., Краснобаев А. А., Бушляков И. Н., Калеганов Б. А. Результаты K–Ar датирования Адуйского гранитного массива (восточный склон Среднего Урала) // Литосфера. 2006. № 2. С. 148–156.
17. Бидный А. С., Бакшеев И. А., Попов М. П. Rb–Sr систематика бериллсодержащих слюдитов в восточном экзоконтакте Мурзинско-Адуйского гранитного комплекса (Урал) // Литосфера. 2011. № 6. С. 141–145.
18. Попов В. С., Богатов В. И., Петрова А. Ю., Беяцкий Б. В. Возраст и возможные источники гранитов Мурзинско-Адуйского блока, Средний Урал: Rb–Sr и Sm–Nd изотопные данные // Литосфера. 2003. № 4. С. 3–18.

Статья поступила в редакцию 1 марта 2023 года

Association of Fe–Ti oxides in subalkaline dolerites of the Rai-Iz massif (Polar Urals)

Pavel Borisovich SHIRYAEV^{1,2*}

Nadezhda Vladimirovna VAKHRUSHEVA^{1,2**}

Elizaveta Alekseevna PANKRUSHINA^{1***}

¹The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The relevance of the research. Subalkaline dolerites, Fe–Ti oxides of which were studied in this work, occur within the largest deposits of chromium ores of the Rai-Iz massif. The study of the material composition and age of these rocks was carried out by the authors for the first time.

The purpose of the research is to reveal the patterns of changes in the chemical composition of the main accessory minerals of rocks – titanomagnetite and ilmenite, and on the basis of the obtained data to evaluate the conditions for the formation of subalkaline dolerites of the massif.

Research methodology. The chemical compositions of minerals were determined using microprobe analysis on a CAMECA SX 100 and scanning electron microscopy on a Jeol JSM-6390LV setup with an INCA Energy 450 X-Max 80 energy dispersive attachment. Raman spectra were obtained on a LabRam HR 800 Evolution spectrometer equipped with an Olympus BX-FM microscope. The studies were carried out at the “Geoanalyst” center for the collective use of scientific equipment of the IGG, UB RAS.

Results. The typomorphism of the chemical composition of titanomagnetite and ilmenite has been established for petrographic varieties of dolerites allocated on the massif. The T–fO₂ parameters of dolerite formation were estimated and compared with metaultramafites. It is shown that titanomagnetite in amphibole dolerites undergoes maghemitization. The highest temperatures (1076–1126 °C) are recorded in pyroxene dolerites. The oxygen fugacity in these rocks is FMQ +0.6–+1 units. Hyalodolerite from the chilled margin of the pyroxene dolerite dike gives a temperature of 811–818 °C and an oxygen fugacity of 1.8 units above FMQ. The compositions of the associated ilmenite and titanomagnetite from amphibole dolerites correspond to fO₂ = –2–0 units relative to FMQ and temperature 580–720 °C. The trend of change in T–fO₂ parameters shows that the injection of the mafic melt occurred under conditions of metamorphism of ore-bearing ultramafic rocks.

Conclusions. The formation of dolerite veins occurred under conditions of ultramafic rock metamorphism. The increased fugacity of oxygen at a relatively low temperature led to the maghemitization of titanomagnetite, rather than to the redistribution of components in the magnetite-ilmenite paragenesis.

Keywords: titanomagnetite, ilmenite, oxythermobarometry, subalkaline dolerites, chromitites, ultramafic rocks, Rai-Iz, Polar Urals.

Introduction

For the first time, subalkaline dolerites among the ultramafic rocks of the Rai-Iz massif were diagnosed by A. N. Zavaritsky as a vein hornblende diabase [1]. In subsequent years, during the geological study of the massif, these rocks were considered as dolerites and gabbrodolerites of the Middle-Upper Paleozoic diabase complex and did not attract the attention of researchers. We carried out detailed studies of the composition and age of these rocks [2, 3]. During the geological study of the southern part of the Rai-Iz massif, we found that dolerite dikes are localized near the main deposits of chromium ore – Tsentralnoye, Zapadnoye, no. 214. This allowed us to make an assumption about a possible genetic relationship between subalkaline dolerites and chromitites.

The purpose of this research is to reveal the patterns of changes in the chemical composition of the main accessory minerals of the rocks, titanomagnetite and ilmenite, and evaluate the conditions for the formation of subalkaline dolerites of the massif.

Research methodology

The chemical compositions of minerals were determined using microprobe analysis (CAMECA SX 100 setup, analysts I. A. Gottman, V. A. Bulatov) and scanning electron microscopy (Jeol JSM-6390LV setup with INCA Energy 450 X-Max 80 energy dispersive attachment, analyst L. V. Leonova) at the IGG UB RAS. Raman spectroscopy studies were carried out on a LabRam HR 800 Evolution spectrometer equipped

✉ Shiryayev@igg.uran.ru

**vakhrusheva@igg.uran.ru

***pankrushina@igg.uran.ru

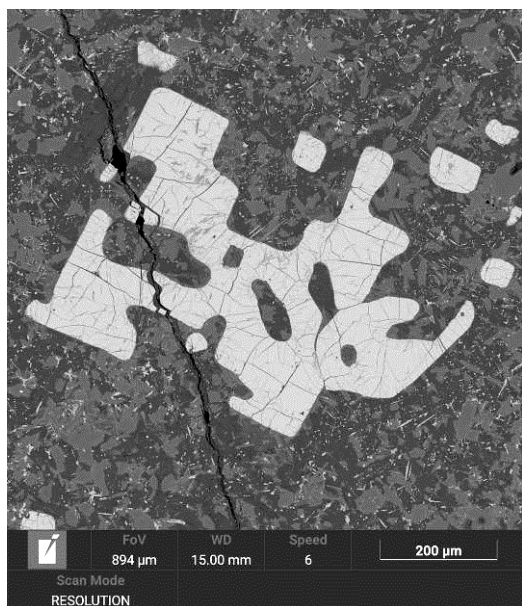


Figure 1. Titanomagnetite in pyroxene dolerite. BSE photo

Рисунок 1. Титаномагнетит в пироксеновом долерите. BSE-фото

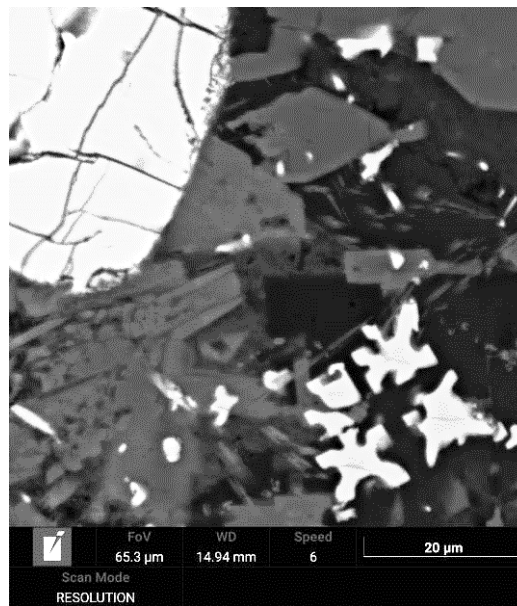


Figure 2. Ilmenite (right) and titanomagnetite (left) in pyroxene dolerite. BSE photo

Рисунок 2. Ильменит (справа) и титаномагнетит (слева) в пироксеновом долерите. BSE-фото

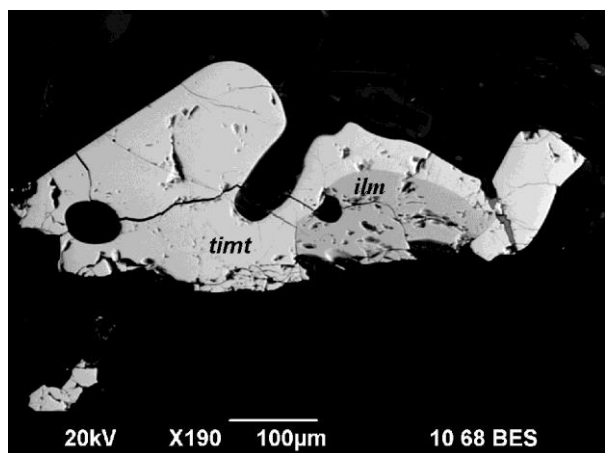


Figure 3. Titanomagnetite (*timt*) intergrown with ilmenite (*ilm*) in hyalodolerite. BSE photo

Рисунок 3. Титаномагнетит (*timt*) в сростании с ильменитом (*ilm*) в гиалодолерите. BSE-фото

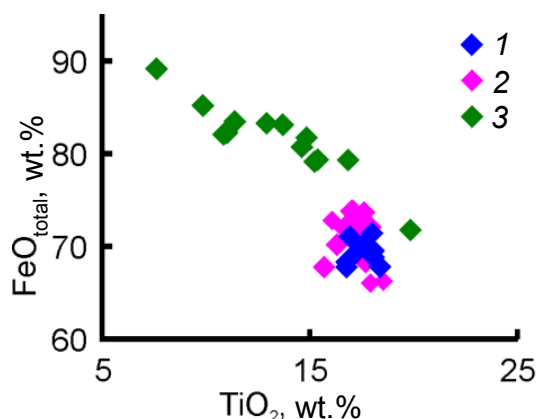


Figure 4. Ratio of TiO₂ and total FeO in titanomagnetite from dolerites of the Rai-Iz massif: 1 – hyalodolerite; 2 – pyroxene dolerite; 3 – amphibole dolerite

Рисунок 4. Соотношение TiO₂ и суммарного FeO в титаномагнетите из долеритов массива Рай-Из: 1 – гиалодолерит; 2 – пироксеновый долерит; 3 – амфиболовый долерит

with an Olympus BX-FM microscope (IGG UB RAS, analyst E. A. Pankrushina).

Results

The investigated dolerites are divided into three petrographic varieties: hyalodolerites, pyroxene dolerites and amphibole dolerites. Hyalodolerites are developed at the contact of a dike of pyroxene dolerites with host metaultramafites [3]. Ore minerals in dolerites are represented mainly by titanomagnetite and ilmenite; pyrite, rare grains of chrome spinel and hematite are present in smaller amounts in the rocks.

Titanomagnetite is found in hyalodolerite and pyroxene dolerite, samples were taken east of the Zapadnoye deposit, as well as in amphibole dolerite, samples were taken west of deposit no. 214, upper reaches of the brook Vizuvshor. Mineral grains have a size of 100–200 microns and isometric, of-

ten octahedral shape. Edges and vertices of octahedrons are smoothed. The grains contain abundant silicate inclusions, which are either volcanic glass (in hyalodolerite) or rock-forming minerals, as well as pyrite (fig. 1–3). The amount of titanomagnetite in the rock does not exceed 1%. In reflected light with an analyzer in titanomagnetite, weak anisotropy and inhomogeneous extinction are observed.

The recalculation of the chemical analyzes of titanomagnetite was carried out according to the method of Lindsley and Spencer [4]. The content of the ulvospinel end-member (X_{usp}) and the amount of FeO and Fe₂O₃ were calculated (table 1). Each of the studied rock varieties is characterized by a specific chemical composition of titanomagnetite. The contents of the main components in titanomagnetite from hyalodolerite and pyroxene dolerite are similar (fig. 4). The highest content of

TiO₂ was found in a grain of titanomagnetite, which forms an inclusion in a plagioclase phenocrystal from pyroxene dolerite. Titanomagnetites from hyalodolerite differ from those from pyroxene dolerites by higher MgO content and lower MnO content (table 1).

Titanomagnetites from amphibole dolerites are mainly represented by individual, corroded relics of grains saturated with thin ilmenite lamellae (fig. 6, 7). In chemical composition, they differ from titanomagnetite from hyalodolerites and pyroxene dolerites by a statistically higher content of FeO = 71.1–89.9 wt. %, and low TiO₂ = 1.5–19.8 wt. % (fig. 3).

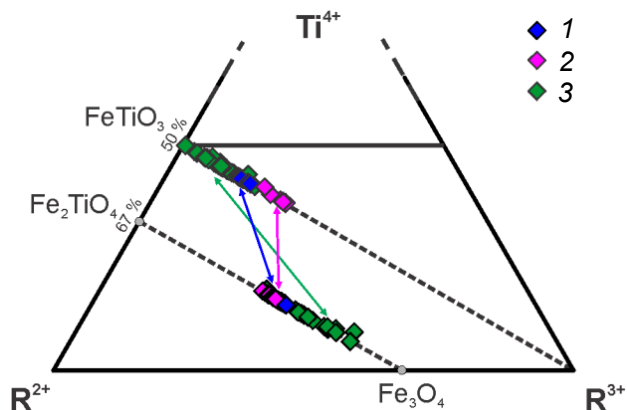


Figure 5. Diagram of compositions of titanium minerals from subalkaline dolerites of the Rai-Iz massif. The arrows show the parageneses of ilmenite and titanomagnetite from the samples; R²⁺, R³⁺ are the sum of divalent and trivalent cations that make up the mineral

Рисунок 5. Диаграмма составов минералов титана из субщелочных долеритов массива Рай-Из. Стрелками показаны парагенезисы ильменита и титаномагнетита из образцов; R²⁺, R³⁺ – сумма двухвалентных и трехвалентных катионов, входящих в состав минерала

The content of impurities in the mineral: V₂O₃ = 0.5–1 wt. % and MnO = 0–0.6 wt. %, the amount of MgO is below the sensitivity of the method. Microinclusions of titanomagnetite in grains of clinopyroxene from these rocks (fig. 4, lower part of the frame) correspond in composition to those from pyroxene-plagioclase dolerites.

Titanomagnetite from relic grains found in amphibole dolerites is characterized by a lower amount of ulvospinel end-member – 28–48%. Low contents of the component are observed mainly in the marginal parts of the grains, but occasionally also occur in the inner ones. The RO–R₂O₃–TiO₂ diagram (fig. 5) shows that individual compositions of titanomagnetites from this rock deviate from the magnetite-ulvospinel line towards an increase in the content of ferric iron. Such a trend in the change in the chemical composition indicates maghemitization of the mineral [9, 10]. The figurative points of the compositions of the other studied titanomagnetites are located along the magnetite-ulvospinel line. Raman spectroscopy revealed hematite lines in relic grains of titanomagnetite from amphibole dolerite (fig. 8).

Ilmenite is present in all studied varieties of dolerites. Its content is on average in the range of 1–3%. In hyalodolerite, a single mineral grain about 120 μm in size was found, which forms an intergrowth with a titanomagnetite crystal (fig. 3). In full-crystalline dolerites, the mineral is isolated in the form of skeletal microlites, the size of which varies in the range from 3–5 to 10–30 μm in elongation (fig. 2), which form an increased dissemination in the rock matrix. In pyroxene dolerites, ilmenite microlites form intergrowths with titanomagnetite grains. Some samples of amphibole dolerites contain relic grains of titanomagnetite with ilmenite lamellae (fig. 7), while ilmenite lattices filled with titanite are widely developed, remaining in place of replaced grains of titanomagnetite (fig. 6).

In reflected light, the mineral is distinctly anisotropic. The grains show polysynthetic twinning. The recalculation of

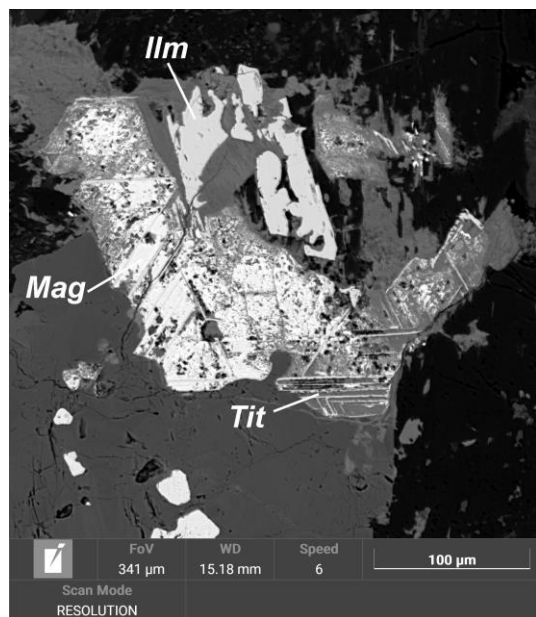


Figure 6. Ilmenite (Ilm), titanomagnetite (Mag), and titanite (Tit) segregation forms in amphibole dolerite. BSE photo

Рисунок 6. Формы выделения ильменита (Ilm), титаномагнетита (Mag) и титанита (Tit) в амфиболовом долерите. BSE-фото

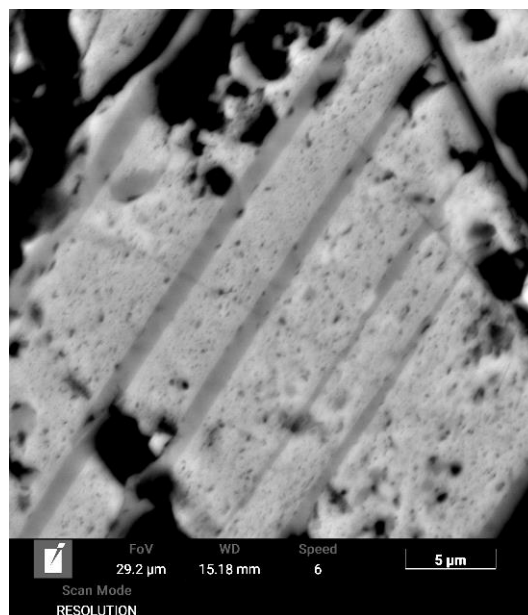


Figure 7. Fragment of a grain of titanomagnetite with ilmenite lamellae and fine microinclusions of silicates (?). BSE photo

Рисунок 7. Фрагмент зерна титаномагнетита с ламеллами ильменита и тонкими микровключениями силикатов (?). BSE-фото

Table 1. Chemical composition of titanomagnetite, wt. %
Таблица 1. Химический состав титаномагнетита, мас. %

Component	Analysis number								
	1c	1ed	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	0,10	0,16	1,71	0,12	0,47	0,18	0,13	0,11	0,10
TiO ₂	18,07	17,12	16,80	17,50	17,90	17,06	17,77	17,59	16,99
V ₂ O ₃	0,54	0,48	0,47	0,53	0,46	0,45	0,46	0,43	0,43
Cr ₂ O ₃	–	0,04	0,05	0,02	0,03	0,10	0,05	0,10	0,05
Al ₂ O ₃	3,73	3,60	3,45	3,75	3,86	3,83	3,95	3,71	3,69
FeO	69,56	69,06	67,79	70,04	66,06	73,76	71,73	73,54	73,87
NiO	–	0,08	0,04	–	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01
MnO	0,36	0,48	0,42	0,40	1,08	0,93	0,95	0,94	0,94
ZnO	–	–	0,04	0,09	0,65	0,32	0,41	0,10	0,13
MgO	4,51	4,93	5,73	4,64	0,14	0,06	0,02	0,10	0,13
CaO	0,03	0,32	0,09	0,07	0,19	0,03	0,05	0,01	0,06
<i>Total</i>	96,90	96,27	96,59	97,16	90,88	96,74	95,55	96,65	96,40
<i>Formula units calculated for 3 cations</i>									
Ti	0,487	0,463	0,458	0,470	0,535	0,477	0,504	0,493	0,476
Cr	–	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,002	0,003	0,001
V	0,016	0,014	0,014	0,015	0,015	0,013	0,014	0,013	0,013
Al	0,158	0,153	0,147	0,158	0,181	0,168	0,175	0,163	0,162
Fe	2,086	2,076	2,052	2,092	2,195	2,295	2,260	2,290	2,304
Ni	–	0,002	0,001	–	0,001	0,001	0,001	0,001	–
Mn	0,011	0,015	0,013	0,012	0,036	0,029	0,030	0,030	0,030
Zn	–	–	0,001	0,002	0,019	0,009	0,011	0,003	0,004
Mg	0,241	0,264	0,309	0,247	0,008	0,003	0,001	0,005	0,007
Ca	0,001	0,012	0,003	0,003	0,008	0,001	0,002	0,001	0,002
U _{sp} , %	52,0	49,5	48,7	50,2	58,6	51,6	54,6	53,0	51,3
Fe ₂ O ₃ , %	31,53	33,47	33,83	32,93	24,28	30,44	28,00	29,53	30,70
FeO, %	41,16	38,90	37,31	40,38	43,99	46,09	46,27	46,69	45,96

Note: an. 1–4 – hyalodolerite, an. 5–9 – pyroxene dolerite; c is the center, ed is the edge of the grain.
 Примечание: ан. 1–4 – гиалодолерит, ан. 5–9 – пироксеновый долерит; ц – центр, кр – край зерна.

the chemical analyzes of ilmenite was carried out according to the method [11]. Ilmenites from dolerites of each type have characteristic features of the chemical composition (table 2). The change in the ratio of the main mineral components – titanium and iron, is well illustrated by a triangular diagram (fig. 5). The highest content of the hematite component is characteristic of the mineral from pyroxene dolerite, where X_{Hem} averages 24–25%. In ilmenites from hyalodolerites, the content of the hematite end-member is lower than in the pyroxene dolerites associated with them and averages 14–17%. A characteristic feature of ilmenites from hyalodolerite is a high content of MgO = 5.85–6 wt. %, while in other varieties of dolerites the amount of the component does not exceed 0.1 wt. %. In ilmenite from amphibole dolerites, X_{Hem} is the lowest and is within 5–11%.

The amount of hematite component in the studied ilmenites is at the level characteristic of the mineral from volcanic rocks. The content of X_{Hem} in the range of 20–30% is typical for calc-alkaline basalts, and lower X_{Hem} = 0–20% is typical for tholeiite basalts [5, 12].

When comparing the compositions of ilmenite with the literature data, the MgO content attracts attention. In ilmenites from amphibole and pyroxene dolerites, its amount does not exceed 0.1 wt. %, while in ilmenite from hyalodolerite MgO is about 6 wt. %. Magnesian ilmenites are common in alkaline basalts, where the MgO content is 1–7 wt. % [5, 8]. Ilmenites with a close (about 6 wt. %) MgO content are known in olivine gabbro from the base of the Insizwa massif (South Africa). The formation of a mineral with such a composition on the massif is associated with near-liquidus (early) crystallization of ilmenite from magnesian melt [13]. This interpretation is in good agreement with the fact that the studied mineral was found in hyalodolerite from the hardening zone of a basaltoid dike, the ore phases of which, most likely, are the earliest in the rock.

Oxythermobarometry of subalkaline dolerites. The temperature and oxygen fugacity were estimated using the Andersen and Lindsley equations [14]. The calculation results are shown in the diagram (fig. 9). The highest temperatures

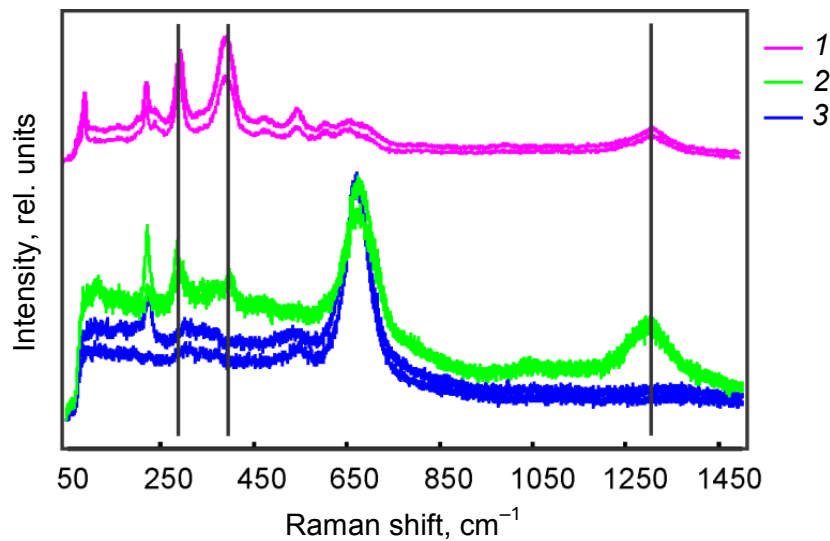


Figure 8. Raman spectra of (1) hematite, (2) maghemitized titanomagnetite, and (3) unaltered titanomagnetite from dolerites of the Rai-Iz massif

Рисунок 8. Рамановские спектры гематита (1), маггемитизированного титаномагнетита (2) и неизмененного титаномагнетита (3) из долеритов массива Рай-Из

Table 2. The chemical composition of ilmenite, wt. %
Таблица 2. Химический состав ильменита, мас. %

Component	Analysis number									
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	
ZrO ₂	–	–	0,08	0,02	0,07	–	–	–	–	
SiO ₂	0,11	0,05	0,07	0,21	0,44	0,24	0,44	0,26	0,28	
TiO ₂	47,56	47,06	46,06	48,70	47,49	37,70	38,18	48,00	45,93	
V ₂ O ₃	0,22	0,13	0,17	–	0,06	0,22	0,23	–	–	
Cr ₂ O ₃	–	–	–	–	–	0,02	–	–	–	
Al ₂ O ₃	0,17	0,17	0,25	0,37	0,24	0,41	0,43	0,60	0,71	
FeO	49,21	49,55	48,19	45,93	47,50	54,11	53,69	44,71	45,47	
NiO	0,09	–	–	0,04	–	–	0,07	–	–	
CoO	–	0,12	–	0,03	0,03	0,01	–	–	–	
MnO	1,98	2,01	2,62	2,34	1,98	1,56	1,45	0,43	0,36	
ZnO	0,13	0,09	0,05	–	–	–	–	–	–	
MgO	0,01	0,02	0,02	0,05	0,08	0,07	0,10	6,00	5,85	
CaO	0,30	0,09	0,11	0,34	0,37	0,18	0,34	–	–	
BaO	–	–	–	0,03	0,13	–	–	–	–	
<i>Formula units calculated for 2 cations</i>										
Zr	–	–	0,001	–	0,001	–	–	–	–	
Ti	0,900	0,895	0,890	0,940	0,915	0,747	0,755	0,865	0,838	
V	0,004	0,003	0,004	–	0,001	0,005	0,005	–	–	
Al	0,005	0,005	0,008	0,011	0,007	0,013	0,013	0,017	0,020	
Fe	1,035	1,047	1,036	0,985	1,017	1,192	1,180	0,895	0,922	
Ni	0,002	–	–	0,001	–	–	0,001	–	–	
Co	–	0,002	0,000	0,001	0,001	–	–	–	–	
Mg	–	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,214	0,212	
Mn	0,042	0,043	0,057	0,051	0,043	0,035	0,032	0,009	0,007	
Zn	0,002	0,002	0,001	–	–	–	–	–	–	
Ca	0,008	0,002	0,003	0,009	0,010	0,005	0,010	–	–	
Ba	–	–	–	–	0,001	–	–	–	–	
Ilm,%	90,2	89,5	89,2	94,3	91,8	74,8	75,6	85,5	82,6	
Hem,%	9,8	10,5	10,8	5,7	8,2	25,2	24,4	14,5	17,4	

Note: an. 1–6 – amphibole dolerite; an. 7, 8 – pyroxene dolerite; an. 9, 10 – hyalodolerite.

Примечание: ан. 1–6 – амфиболовый долерит; ан. 7, 8 – пироксеновый долерит; ан. 9, 10 – гиалодолерит.

(1076–1126 °C) are recorded in pyroxene dolerites. The oxygen fugacity in these rocks is FMQ +0.6–+1 units. Hyalodolerite from the hardening zone of the pyroxene dolerite dike gives a temperature of 811–818 °C and an oxygen fugacity of 1.8 units above FMQ. The compositions of the associated ilmenite and titanomagnetite from amphibole dolerites correspond to $fO_2 = -2-0$ units relative to FMQ and temperature 580–720 °C.

In the amphibole-enstatite-olivine metaharzburgite rock hosting a dike of pyroxene dolerites, the temperature of 645–683 °C and $fO_2 = 2.2-3.2$ units above the FMQ buffer were established by olivine-spinel oxythermobarometry [15]. Such conditions are typical for ore-bearing metaultramafites of the Tsentralnoye, Zapadnoye and no. 214 deposits [16, 17].

Conclusions

The studied pyroxene dolerite dyke is relatively thin (about 0.7 m) compared to the amphibole dolerite dyke, which is 10 or more meters thick. In this regard, the change in thermodynamic conditions in the process of melt intrusion had a greater effect on the rate of rock crystallization and the chemical composition of rock-forming minerals. A decrease in temperature and an increase in oxygen fugacity from the inner part of the pyroxene dolerite dike to the chilled margin were established. The trend of changes in these parameters (arrows in fig. 9) shows that the melt injection occurred under T– fO_2 conditions of metamorphism of ore-bearing ultramafic rocks. Amphibole dolerites crystallized at temperatures close to those established for wall-rock metaultramafites. The increased oxygen fugacity

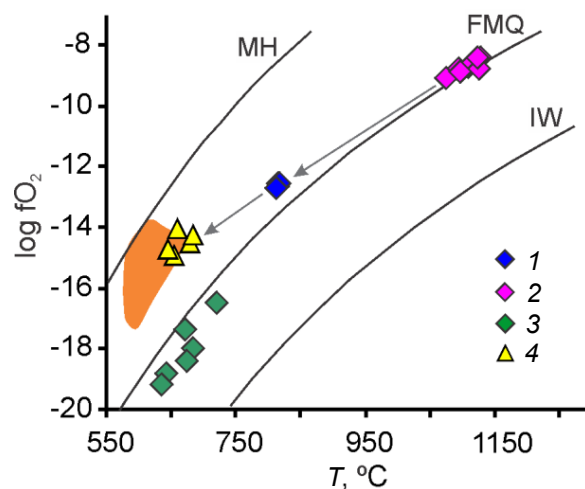


Figure 9. T– fO_2 diagram for subalkaline dolerites and ultramafic rocks of the Rai-Iz massif: 1 – hyalodolerite; 2 – pyroxene dolerite; 3 – amphibole dolerite; 4 – metaharzburgite from contact with hyalodolerite. The orange field shows T– fO_2 parameters for wall-rock ultramafic rocks of the Tsentralnoye, Zapadnoye and no. 214 deposits [14]

Рисунок 9. Диаграмма T– fO_2 для субщелочных долеритов и ультрамафитов массива Рай-Из: 1 – гиалодолерит; 2 – пироксеновый долерит; 3 – амфиболовый долерит; 4 – апогарцбургит из контакта с гиалодолеритом. Оранжевое поле – параметры образования околородных ультрамафитов месторождений Центральное, Западное и № 214 [14]

at a relatively low temperature led to the maghemitization of titanomagnetite, rather than to the redistribution of components in the titanomagnetite-ilmenite paragenesis.

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 22-17-00027, <https://rscf.ru/project/22-17-00027/>.

REFERENCES

- Zavaritsky A. N. 1932, Rai-Iz peridotite massif in the Polar Urals. Moscow; Leningrad, 221 p. (In Russ.)
- Vakhrusheva N. V., Ivanov K. S., Puchkov V. N., Shiryayev P. B. 2023, Subalkaline basalts in ultramafic rocks of the Rai-Iz massif (Polar Urals) and their petrogenetic significance. *Doklady RAN. Nauki o zemle* [Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth sciences], vol. 509, no. 2, pp. 208–214. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2686739722602538>
- Vakhrusheva N. V., Shiryayev P. B., Leonova L. V. 2022, Mineralogy and petrography of subalkaline basalts of the Rai-Iz massif (Polar Urals). *Vestnik Ural'skogo otdeleniya RMO* [Bulletin of the Ural Branch of the Russian Mineralogical Society], no. 19, pp. 17–34. (In Russ.)
- Lindsley D. H., Spencer K. J. 1982, Fe–Ti oxide geothermometry: Reducing analyses of coexisting Ti-magnetite (Mt) and ilmenite (Ilm). Abstract AGU 1982. Spring Meeting *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, vol. 63, no. 18, 471 p.
- Frost B. R., Lindsley D. H. 1991, Occurrence of iron-titanium oxides in igneous rocks. Oxide minerals: petrologic and magnetite significance: *Reviews in Mineralogy*. Washington, vol. 25, pp. 433–462. <https://doi.org/10.1515/97815108684-015>
- Rafferty W. J., Heming R. F. 1979, Quaternary alkaline and sub-alkaline volcanism in South Aukland, New Zealand. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 71, pp. 139–150. <https://doi.org/10.1007/BF00375430>
- Cornen G., Maury R. C. 1980, Petrology of the volcanic island of Annobon, Gulf of Guinea. *Marine Geology*, vol. 36, issues 3–4, pp. 253–267. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(80\)90090-0](https://doi.org/10.1016/0025-3227(80)90090-0)
- Kyle P. R. 1981, Mineralogy and geochemistry of a basanite to phonolite sequence at Hut Point Peninsula, Antarctica based on core from Dry Valley Drilling Project drillholes 1, 2, and 3. *Journal of Petrology*, vol. 22, issue 4, pp. 451–500. <https://doi.org/10.1093/petrology/22.4.451>
- Lindsley D. H. 1991, Experimental studies of oxide minerals. Oxide minerals: petrologic and magnetite significance: *Reviews in Mineralogy*. Washington: Mineralogical Society of America, vol. 25, pp. 69–100. <https://doi.org/10.1515/97815108684-006>
- Cheng G., Gao Z., Yang S., Yang H., Xue, X. 2021, Microstructure and Chemical Transformation of Natural Ilmenite during Isothermal Roasting Process in Air Atmosphere. *Minerals*, vol. 11, pp. 1–11. <https://doi.org/10.3390/min11020137>
- Stormer J. C. J. 1983, The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron-titanium oxides. *American Mineralogist*, vol. 68, pp. 286–594.
- Luhr J. F., Carmichael I. S. E. 1980, The Colima Volcanic Complex, Mexico. I. Post-caldera andesites from Volcán Colima. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 71, pp. 343–372. <https://doi.org/10.1007/BF00374707>
- Cawthorn R. G., Groves D. I., Marchant T. 1985, Magnesian ilmenite; clue to high-Mg parental magma of the Insizwa Complex, Transkei. *Canadian Mineralogist*, vol. 23, pp. 609–618.
- Andersen D. J., Lindsley D. H. 1985, New (and final!) models for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer. Abstract AGU 1985. Spring Meeting *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, vol. 66 (18), 416 p.
- Ballhaus C. G., Berry R. F., Green D. H. 1991, Experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen barometer – implications for oxygen fugacity in the Earth's upper mantle. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 107, pp. 27–40.
- Vakhrusheva N. V., Shiryayev P. B., Stepanov A. E., Bogdanova A. R. 2017, Petrology and chromite content of the Rai-Iz ultramafic massif (Polar Urals). Ekaterinburg, 265 p. (In Russ.)
- Shiryayev P. B., Vakhrusheva N. V. 2017, Chemical zoning of spinels and olivines from chromitites and the enclosing ultramafites of the Rai-Iz massif Tsentralnoye deposit (Polar Urals). *Izvestiya Ural'skogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (48), pp. 29–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-29-35>

The article was received on April 14, 2023

Ассоциация Fe–Ti оксидов в субщелочных долеритах массива Рай-Из (Полярный Урал)

Павел Борисович ШИРЯЕВ^{1,2*}

Надежда Владимировна ВАХРУШЕВА^{1,2**}

Елизавета Алексеевна ПАНКРУШИНА^{1***}

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

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность исследования. Субщелочные долериты, Fe–Ti оксиды из которых исследованы в настоящей работе, встречаются в пределах наиболее крупных месторождений хромовых руд массива Рай-Из. Исследование вещественного состава и возраста этих пород произведено авторами впервые.

Цель работы – выявить закономерности изменения химического состава основных акцессорных минералов пород – титаномагнетита и ильменита – и на основе полученных данных оценить условия образования субщелочных долеритов массива.

Методы исследования. Химические составы минералов определены при помощи микронзондового анализа на установке САМЕСА SX 100 и сканирующей электронной микроскопии на установке Jeol JSM-6390LV с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80. Рамановские спектры получены на спектрометре LabRam HR 800 Evolution, оснащённом микроскопом Olympus BX-FM. Исследования выполнены в ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН.

Результаты. Установлен типоморфизм химического состава титаномагнетита и ильменита для петрографических разновидностей долеритов, выделяемых на массиве. Оценены T–fO₂ параметры образования долеритов, выполнено их сопоставление с метаультрамафитами. Показано, что в амфиболовых долеритах титаномагнетит претерпевает маггемитизацию. Наиболее высокие температуры (1076–1126 °С) зафиксированы в пироксеновых долеритах. Фугитивность кислорода в этих породах составляет FMQ +0,6–+1 ед. Гиалодолерит из зоны закалки дайки пироксеновых долеритов даёт температуру 811–818 °С и фугитивность кислорода 1,8 ед. выше FMQ. Составы ассоциирующих ильменита и титаномагнетита из амфиболовых долеритов отвечают fO₂ = –2–0 ед. относительно FMQ и температуре 580–720 °С. Тренд изменения T–fO₂ параметров показывает, что внедрение основного расплава происходило в условиях метаморфизма рудовмещающих ультрамафитов.

Выводы. Образование жил долеритов происходило в условиях метаморфизма ультрамафитов. Повышенная фугитивность кислорода при относительно низкой температуре привела к маггемитизации титаномагнетита, а не к перераспределению компонентов в магнетит-ильменитовом парагенезисе.

Ключевые слова: титаномагнетит, ильменит, окситермобарометрия, субщелочные долериты, хромититы, ультрамафиты, Рай-Из, Полярный Урал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заварицкий А. Н. Перидотитовый массив Рай-Из в Полярном Урале. М.; Л.: Гос. науч.-техн. геологоразвед. изд-во, 1932. 221 с.
2. Вахрушева Н. В., Иванов К. С., Пучков В. Н., Ширяев П. Б. Субщелочные базальтоиды в ультрамафитах массива Рай-Из (Полярный Урал) и их петрогенетическое значение // Докл. РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 509. № 2. С. 208–214. <https://doi.org/10.31857/S2686739722602538>
3. Вахрушева Н. В., Ширяев П. Б., Леонова Л. В. Минералогия и петрография субщелочных базальтоидов массива Рай-Из (Полярный Урал) // Вестник УрО РМО. 2022. № 19. С. 17–34.
4. Lindsley D. H., Spencer K. J. Fe–Ti oxide geothermometry: Reducing analyses of coexisting Ti-magnetite (Mt) and ilmenite (Ilm) // Abstract AGU 1982. Spring Meeting Eos, Transactions, American Geophysical Union. 1982. Vol. 63. No. 18. 471 p.
5. Frost B. R., Lindsley D. H. Occurrence of iron-titanium oxides in igneous rocks // Oxide minerals: petrologic and magnetite significance: Reviews in Mineralogy. Washington: Mineralogical Society of America, 1991. Vol. 25. P. 433–462. <https://doi.org/10.1515/9781501508684-015>
6. Rafferty W. J., Heming R. F. Quaternary alkaline and sub-alkaline volcanism in South Auckland, New Zealand // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1979. Vol. 71. P. 139–150. <https://doi.org/10.1007/BF00375430>
7. Cornen G., Maury R. C. Petrology of the volcanic island of Annobon, Gulf of Guinea // Marine Geology. 1980. Vol. 36. Issues 3–4. P. 253–267. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(80\)90090-0](https://doi.org/10.1016/0025-3227(80)90090-0)
8. Kyle P. R. Mineralogy and geochemistry of a basanite to phonolite sequence at Hut Point Peninsula, Antarctica, based on core from Dry Valley Drilling Project drillholes 1, 2, and 3 // Journal of Petrology. 1981. Vol. 22. Issue 4. P. 451–500. <https://doi.org/10.1093/petrology/22.4.451>
9. Lindsley D. H. Experimental studies of oxide minerals // Oxide minerals: petrologic and magnetite significance: Reviews in Mineralogy. Washington: Mineralogical Society of America, 1991. Vol. 25. P. 69–100. <https://doi.org/10.1515/9781501508684-006>

✉ Shiryayev@igg.uran.ru

**vakhrusheva@igg.uran.ru

***pankrushina@igg.uran.ru

10. Cheng G., Gao Z., Yang S., Yang H., Xue X. Microstructure and Chemical Transformation of Natural Ilmenite during Isothermal Roasting Process in Air Atmosphere // *Minerals*. 2021. Vol. 11. P. 1–11. <https://doi.org/10.3390/min11020137>
11. Stormer J. C. J. The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron-titanium oxides // *American Mineralogist*. 1983. Vol. 68. P. 286–594.
12. Luhr J. F., Carmichael I. S. E. The Colima Volcanic Complex, Mexico. I. Post-caldera andesites from Volcán Colima // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1980. Vol. 71. P. 343–372. <https://doi.org/10.1007/BF00374707>
13. Cawthorn R. G., Groves D. I., Marchant T. Magnesian ilmenite; clue to high-Mg parental magma of the Insizwa Complex, Transkei // *Canadian Mineralogist*. 1985. Vol. 23. P. 609–618.
14. Andersen D. J., Lindsley D. H. New (and final!) models for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer // *Abstract AGU 1985. Spring Meeting Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 1985. Vol. 66 (18). 416 p.
15. Ballhaus C. G., Berry R. F., Green D. H. Experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen barometer – implications for oxygen fugacity in the Earth's upper mantle // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1991. Vol. 107. P. 27–40.
16. 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.
17. Shiryaev P. B., Vakhrusheva N. V. Chemical zoning of spinels and olivines from chromitites and the enclosing ultramafites of the Rai-Iz massif Tsentralnoye deposit (the Polar Urals) // *Известия УГГУ*. 2017. Вып. 4 (48). С. 29–35. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-29-35>

Статья поступила в редакцию 14 апреля 2023 года

Палеоклиматические условия накопления верхнеюрских и нижнемеловых высокоуглеродистых отложений Ульяновско-Саратовского прогиба (восток Русской плиты)

Константин Игоревич НИКАШИН¹

Светлана Олеговна ЗОРИНА^{1**}

Валерий Сергеевич ИЛЯСОВ^{2***}

Илья Владимирович КОЛЧИН^{1****}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²ООО «Газпромнефть-Ямал», Тюмень, Россия

Аннотация

Актуальность. Высокоуглеродистые уровни в морских отложениях могут маркировать резкие изменения палеоклимата. На северо-востоке Ульяновско-Саратовского прогиба (УСП) широко распространены два высокоуглеродистых уровня – средневожская промзинская свита (верхняя юра) и нижнеаптская ульяновская толща (нижний мел). Несмотря на многолетнее изучение механизмов их накопления, вопрос о роли палеоклимата в этих механизмах остается открытым.

Целью исследования было оценить роль климатических условий как фактора накопления средневожских и нижнеаптских высокоуглеродистых отложений на северо-востоке УСП.

Методы. Для реконструкции климатических условий и оценки их влияния на накопление высокоуглеродистых отложений было проведено комплексное изотопно-геохимическое исследование кальцитовых и арагонитовых раковин нескольких групп бентосных и пелагических организмов. Предварительно методами оптической микроскопии, рентгенофазового и пиролитического анализов были изучены литолого-геохимические особенности высокоуглеродистых и вмещающих отложений.

Результаты. Изотопно-геохимическое изучение раковинного материала позволило построить бентосную и пелагическую палеотемпературные кривые для поздней юры–раннего мела и реконструировать климатические условия УСП, существовавшие во время накопления промзинских и ульяновских высокоуглеродистых сланцев. На основе этих данных, а также данных литолого-геохимического изучения был уточнен механизм накопления промзинских и ульяновских сланцев.

Выводы. Полученные результаты не выявили связи между изменениями климата и накоплением средневожских высокоуглеродистых отложений. В конце средневожского времени зафиксирован эпизод кратковременного похолодания, вероятно, связанного с вулканической активностью островных дуг северной окраины Тетиса. Нижнеаптский высокоуглеродистый горизонт формировался в гипертермальных условиях. Потепление климата контролировало накопление высокоуглеродистых осадков, увеличивая поступление в бассейн биофильных элементов и (или) создавая условия для его стратификации и стагнации.

Ключевые слова: палеоклимат, изотопы кислорода и углерода, средневожский подъярус, нижнеаптский подъярус, Ульяновско-Саратовский прогиб.

Введение

Мезозой, за исключением некоторых его интервалов, был временем господства на Земле парникового климата [1, 2]. На фоне этого длительного климатического оптимума выделяют несколько гипертермальных событий – эпизодов быстрого повышения глобальных температур до крайне высоких значений [3]. Все они коррелируют с океанскими аноксическими событиями и маркируются в

морских разрезах горизонтами высокоуглеродистых отложений (черных сланцев), образование которых обычно связывают со вспышками продуктивности планктона и с нарушенной циркуляцией в морях и океанах [4, 5].

На востоке Русской плиты, в верхнеюрском–нижнемеловом разрезе северо-востока Ульяновско-Саратовского прогиба (УСП), известно несколько высокоуглеро-

✉ kostya97@inbox.ru

 <http://orcid.org/0000-0002-4749-9895>

**svzorina@yandex.ru

 <http://orcid.org/0000-0001-6315-1672>

***ilyasov.vs@gazprom-neft.ru; 230989@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3777-4926>

****kolchin.ilja@yandex.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2755-3270>

дистых горизонтов, в том числе средневожская промзинская свита и нижнеаптская ульяновская толща. Ульяновская толща по времени своего накопления совпадает с хорошо изученным гипертермальным глобальным океанским аноксическим событием OAE 1a (Oceanic Anoxic Event 1a), тогда как промзинскую свиту нельзя соотнести с каким-либо из известных гипертермальных событий.

Относительно причин накопления этих высокоуглеродистых уровней существуют различные гипотезы. Накопление промзинской свиты связывали, в частности, со

вспышками продуктивности бентосных [7] и планктонных [8] водорослей. В [9] ведущая роль в образовании высокоуглеродистых отложений в позднеюрских борельных бассейнах отводится перестройкам планктонных экосистем. Ульяновская толща, по мнению большинства современных исследователей, формировалась в аноксических условиях [10, 11]. Вопрос о роли климатического фактора, в том числе и гипертермальных условий, в накоплении промзинской свиты и ульяновской толщи изучен еще не до конца.

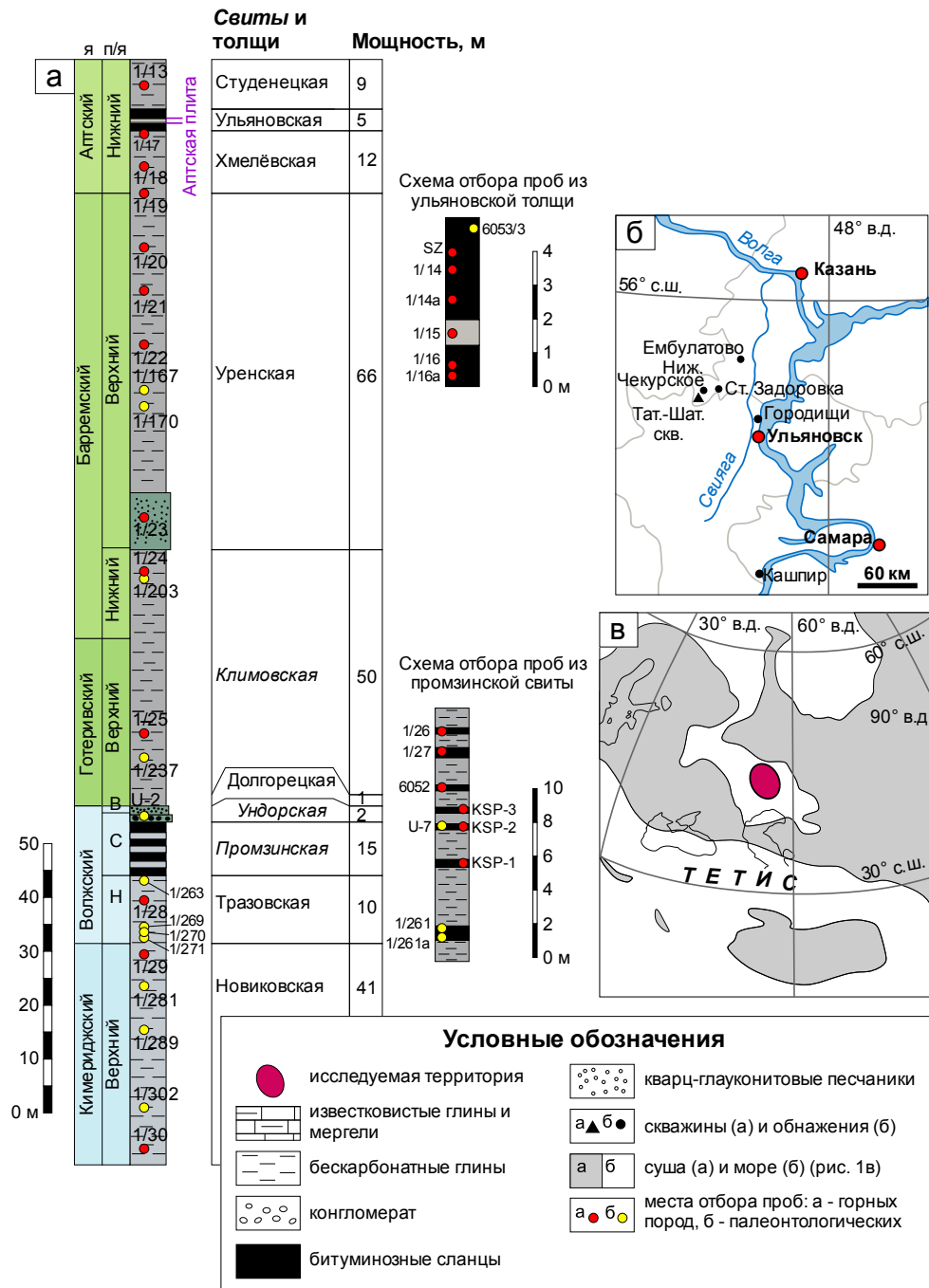


Рисунок 1. Схема стратиграфического расчленения верхнеюрских–нижнемеловых отложений северо-востока Ульяновско-Саратовского прогиба с местами отбора проб (а) и расположение исследуемой территории на обзорной (б) и палеогеографической [6] картах (в). Сокращения: Н – нижний, С – средний, В – верхний, я – ярус, п/я – подъярус

Figure 1. Scheme of the stratigraphic subdivision of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous deposits of the northeast of the Ulyanovsk-Saratov trough with sampling sites (a) and the location of the studied territory on the survey (b) and paleogeographic [6] maps (c). Abbreviations: L – lower, M – middle, U – upper, s – stage, s/s – substage

Наиболее надежным инструментом фиксации гипертермальных условий являются количественные палеотемпературные реконструкции. Имеющиеся палеотемпературные данные по верхнеюрской части разреза северо-востока УСП основываются, в первую очередь, на величинах $\delta^{18}\text{O}$ белемнитов (например, [12, 13]) и поэтому могут не отражать повышенных температур на небольших глубинах.

Весьма ограниченным остается количество исследований, посвященных эволюции температур в раннем апте на средних и высоких широтах. Особенно мало данных накоплено к настоящему времени по бореальному бассейну Русской плиты, что не позволяет делать надежных выводов о проявлении здесь гипертермальных условий в раннем апте и их связи с накоплением высокоуглеродистых отложений.

Целью настоящего исследования было оценить роль климатических условий как фактора накопления сред-

невожских и нижнеаптских высокоуглеродистых отложений на северо-востоке УСП. Для достижения поставленной цели были изучены особенности вещественного состава этих отложений, в том числе распределение глинистых минералов, а также изотопные соотношения кислорода и углерода в раковинном материале из высокоуглеродистых сланцев и подстилающих и перекрывающих толщ, и реконструирована эволюция палеоклимата на протяжении поздней юры–раннего мела. Полученные результаты сопоставлены с глобальными температурными кривыми и палеоклиматическими данными по региону.

Геологическое строение. Верхнеюрская–нижнемеловая осадочная последовательность северо-востока УСП сложена в основном глинистыми и глинисто-карбонатными отложениями (рис. 1), накопление которых происходило в центральной части относительно мелководного эпиконтинентального бассейна востока Русской плиты [14]. Среди выделяющихся на фоне этого монотонного

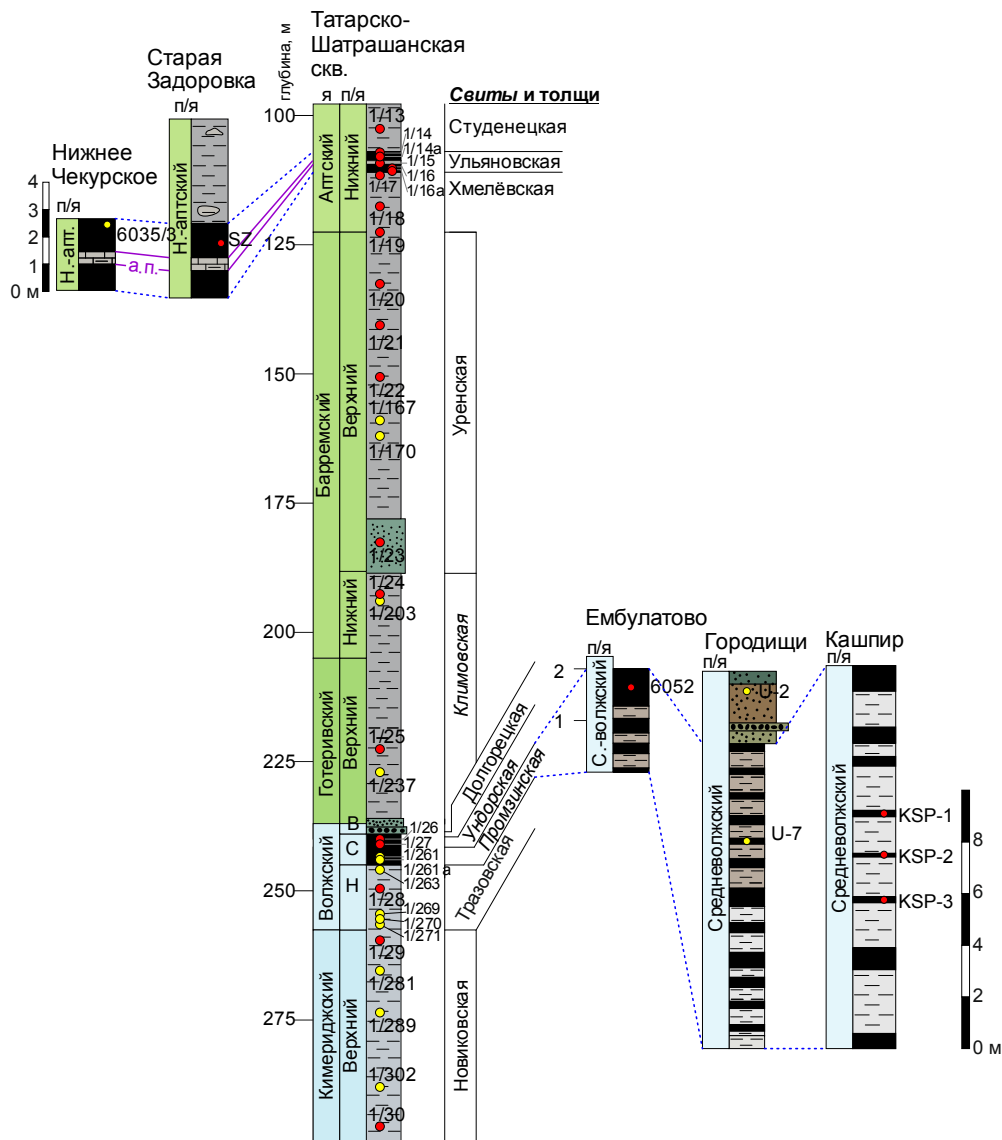


Рисунок 2. Схема корреляции изученных разрезов и места отбора проб. Сокращения: Н – нижний, С – средний, В – верхний, а. п. – аптская плита, я – ярус, п/я – подъярус
Figure 2. Scheme of correlation between studied sections and sampling sites. Abbreviations: L – lower, M – middle, U – upper, A. p. – Aptian plate, s – stage, s/s – substage

Таблица 1. Материалы литологического исследования
Table 1. Materials of the lithological study

Проба	Объект	Свиты и толщи	Литология
1/13 ^{1,2}	Татарско-Шатрашанская скважина	Студенецкая	Глина
SZ ¹	Старая Задоровка	Ульяновская	Битуминозный сланец
1/14 ^{1,2,3}	Татарско-Шатрашанская скважина	Ульяновская	Битуминозный сланец
1/14a ¹	–		Битуминозный сланец
1/15 ^{1,2}	–		Мергель
1/16 ^{1,2}	–		Битуминозный сланец
1/16a ^{1,2}	–		Битуминозный сланец
1/17 ^{1,2}	–	Хмелёвская	Глина
1/18 ^{1,2}	–		Глина
1/19 ¹	–		Глина
1/20 ¹	–	Уренская	Глина
1/21 ¹	–		Глина
1/22 ¹	–		Глина
1/23 ¹	–		Глина
1/24 ¹	–	Климовская	Глина
1/25 ¹	–		Глина
U-7 ¹	Городищи	Промзинская	Битуминозный сланец
KSP-1 ^{1,2}	Кашпир		Битуминозный сланец
KSP-2 ¹	–		Битуминозный сланец
KSP-3 ¹	–		Битуминозный сланец
6052 ^{1,2}	Ембулатово		Битуминозный сланец
1/26 ^{1,2,3}	Татарско-Шатрашанская скважина		Битуминозный сланец
1/26a ²	–		Битуминозный сланец
1/27 ¹	–		Битуминозный сланец
1/28 ^{1,2}	–	Тразовская	Глина известковистая
1/29 ^{1,2}	–	Новиковская	Глина известковистая
1/30 ¹	–		Глина известковистая

Примечание: виды анализов указаны в надстрочных индексах: 1 – пиролиз/RockEval; 2 – рентгеновский количественный фазовый анализ; 3 – флуоресцентная микроскопия.

разреза высокоуглеродистых горизонтов наиболее широко распространены средневожская промзинская свита [15] и нижеаптская ульяновская толща [16].

Промзинская свита, соответствующая аммонитовой зоне *Dorsoplanites panderi* [15], сложена циклическим [17] переслаиванием мергелей, алевролитов, глин и собственно битуминозных (горючих) сланцев общей мощностью до 15 м. Она подстилается монотонной толщей светло-серых интенсивно биотурбированных известковистых глин и мергелей (верхнекимериджский–низы средневожского подъяруса; новиковская и тразовская толщи) и с перерывом перекрывается кварц-глауконитовыми песчаниками и алевролитами с галькой фосфоритов (средний–верхневожский подъярус; ундорская свита).

Ульяновская толща имеет трехчленное строение. Ее нижняя и верхняя части сложены битуминозными сланцами, а в средней части повсеместно прослеживается слой конкреционных мергелей – «аптская плита». Мощность толщи на исследуемой территории варьирует от 2 до 5 м. Она соответствует аммонитовой зоне *Deshayesites volgensis* и коррелирует с событием ОАЕ 1a [10]. Ниже ее по разрезу залегают темно-серые бескарбонатные глины, относящиеся к верхнеготеривскому–низам нижеаптского подъяруса (климовская свита, уренская и хмелёвская толщи).

Материалы и методы

Материалы, использованные для изучения вещественного состава верхнеюрских–нижнемеловых отложений, представлены керновыми образцами из Татарско-Шатрашанской скважины (ТШС) – Дрожжановский район Республики Татарстан, образцами средневожских сланцев, отобранными из разреза Городищи (Ульяновская область), на Кашпирском месторождении горючих сланцев (Самарская область) и из обнажения в районе села Ембулатово (Татарстан), и нижеаптскими сланцами из обнажения в районе села Старая Задоровка (Татарстан) (табл. 1, рис. 2).

Структурно-текстурные особенности и микрокомпонентный состав битуминозных сланцев изучались в шлифах под поляризационным микроскопом ZEISS Axio Lab. A1. Кроме того, шлифы и аншлифы изучались с помощью флуоресцентного микроскопа Leica DM 4000P в лаборатории органической петрографии Фрайбергской горной академии (Германия) для выявления микрокомпонентов органического вещества. Минеральный состав высокоуглеродистых и вмещающих отложений определялся методом рентгеновского количественного фазового анализа на дифрактометре Bruker D2 Phaser в КФУ, содержание органического углерода – методом Rock Eval в КФУ, а также

Таблица 2. Исследованный раковинный материал
Table 2. Studied shell material

Образец	Объект	Свиты и толщи	Описание
6035/3 ^{2, 3, 4}	Нижнее Чекурское	Ульяновская	Аммонит
1/167 ^{2, 4}	Татарско-Шатрашанская скважина	Уренская	Двустворчатый моллюск
1/170 ⁴	–	–	Двустворчатый моллюск
1/203 ^{2, 4}	–	Климовская	Белемнит
1/237 ^{2, 4}	–	–	Гастропода
1/237а ⁴	–	–	Белемнит
U-2 ^{2, 3, 4}	Городищи	Ундорская	Белемнит
U-7 ^{3, 4}	–	Промзинская	Белемнит
1/261а ⁴	Татарско-Шатрашанская скважина	–	Двустворчатый моллюск
1/261а ^{1, 2, 3, 4}	–	–	Фораминиферы Lagenida
1/261 ^{2, 4}	–	–	Аммонит <i>Dorsoplanites cf. panderi</i>
1/263 ⁴	–	Тразовская	Аммонит (фрагменты)
1/263 ^{1, 2, 3, 4}	–	–	Фораминиферы Lagenida
1/269 ⁴	–	–	Аммонит (фрагменты)
1/269 ^{1, 2, 3, 4}	–	–	Фораминиферы Lagenida
1/270 ^{3, 4}	–	Новиковская	Аммонит
1/271 ^{1, 2, 3, 4}	–	–	Фораминиферы Rotaliida
1/281а ^{1, 2, 4}	–	–	Аммонит (фрагменты)
1/289а ^{1, 2, 3, 4}	–	–	Фораминиферы Lagenida
1/302а ⁴	–	–	Фораминиферы Lagenida

Примечание: виды анализов указаны в надстрочных индексах: 1 – рамановская спектроскопия; 2 – электронная микроскопия; 3 – РФА и микроРФА; 4 – изотопия углерода и кислорода.

пиролитическим методом в Центре коллективного пользования «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Изотопный состав органического углерода ($\delta^{13}C_{org}$) исследовался на изотопном масс-спектрометре Delta V Plus в КФУ. Значения $\delta^{13}C_{org}$ рассчитывались относительно стандарта V-PDB.

Палеонтологический материал, отобранный для изотопных исследований, происходит из Татарско-Шатрашанской скважины (нижнемеловые белемниты и двустворки, верхнеюрские аммониты, бентосные фораминиферы и двустворки), разреза Городищи (средне-верхневожские белемниты) и обнажения у с. Нижнее Чекурское (нижнеаптский аммонит), табл. 2. Бентосные фораминиферы экстрагировались из глинистых образцов после их замачивания в горячей воде и промывки через сито 0,063 мм. Предварительным критерием сохранности раковин аммонитов служило наличие у них перламутрового слоя.

Комплексное изучение раковинного материала проводилось в лабораториях Казанского федерального университета. Чтобы удостовериться в отсутствии диагенетических преобразований, искажающих первичный изотопный сигнал, элементный состав раковин (Mg, Ca, Sr) был изучен методами рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре S8 Tiger и микрофлуоресцентного анализа (микроРФА) на спектрометре M4 Tornado. С помощью сканирующего электронного микроскопа XL-30 ESEM изучались микроструктуры раковин. Кроме того, у раковин фораминифер определялся минеральный состав методом рамановской спектроскопии на спектрометре inVia Qontor. Анализ изотопного состава углерода и

кислорода раковин осуществлялся на масс-спектрометре Delta V Plus. Калибровка проводилась относительно стандарта NBS-19, значения $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ рассчитывались относительно стандарта V-PDB. Для расчета палеотемператур применялись уравнения (1) и (2), предложенные в [18] и [19] для кальцита и арагонита соответственно:

$$T(^{\circ}C) = 16 - 4,14(\delta^{18}O_{cal} - \delta_w) + 0,13(\delta_{18}O_{cal} - \delta_w)^2;$$

$$T(^{\circ}C) = 20,6 - 4,34(\delta^{18}O_{ar} - \delta_w),$$

где $\delta^{18}O_{cal}$, $\delta^{18}O_{ar}$ – изотопные отношения кислорода в кальците и арагоните соответственно, ‰; δ_w – изотопное соотношение кислорода морской воды, принимаемое за –1 ‰.

Результаты

Особенности вещественного состава высокоуглеродистых отложений. Наиболее характерной чертой облика средневожских сланцев является их линзовидно-микрослоистая текстура, наблюдаемая как макроскопически, так и в шлифах (рис. 3, а). Микроскопическое изучение шлифов показывает, что основная часть породы сложена микрослоистым глинисто-карбонатным матриком, насыщенным органическим веществом. Важным компонентом органического вещества сланцев являются линзовидные и нитевидные остатки водорослей семейства *Tasmanaseae*, которые наблюдаются на флуоресцентных изображениях шлифов (рис. 3, б). Помимо глинистого матрикса практически во всех изученных пробах хорошо различимы ходы роющих организмов (рис. 3, а),

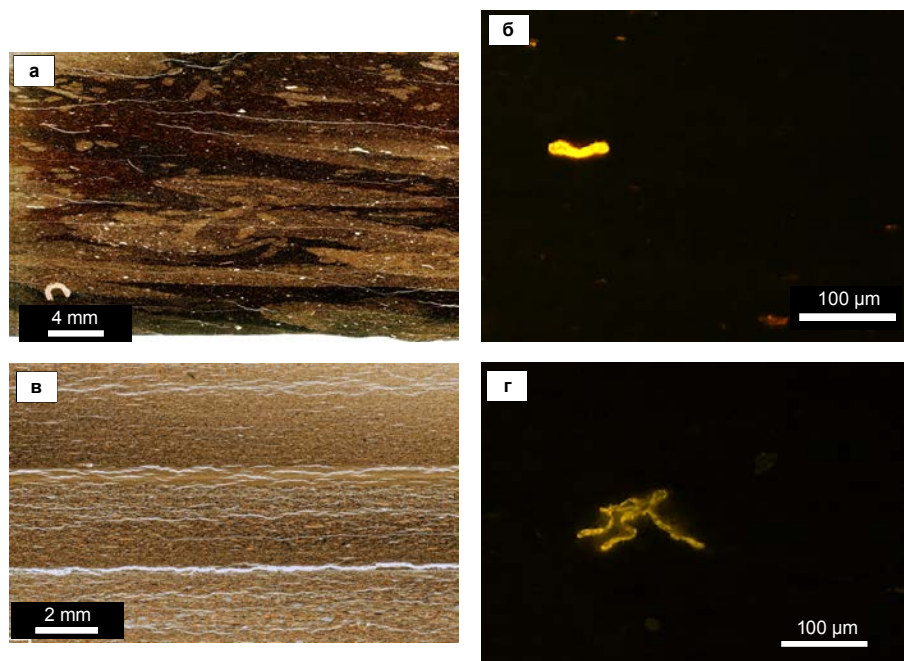


Рисунок 3. Микроструктуры битуминозных сланцев: а – следы биотурбации, промзинская свита (1/26); в – микрослоистая текстура, ульяновская толща (SZ); б, г – водоросли семейства *Tasmanaceae* на флуоресцентных снимках промзинских (1/26) и ульяновских (1/14) сланцев соответственно (предоставлено Л. Ф. Максютовой)

Figure 3. Microstructures of bituminous shales: a – traces of bioturbation, Promzinskaya Formation (1/26); c – microlayered texture, Ulyanovsk stratum (SZ); b, d – algae of the *Tasmanaceae* family on fluorescent images of the Promzino (1/26) and Ulyanovsk (1/14) shales, respectively (provided by L. F. Maksyutova)

которые и обуславливают характерную линзовидную текстуру сланцев.

Глинистая компонента сланцев, по данным рентгенофазового анализа, сложена смешаннослойным иллит-сметитом и гидрослюдой (рис. 7). Содержание органического углерода в промзинских сланцах, согласно результатам пиролитического анализа, варьирует от 6 до 38 %, при этом максимальными значениями характеризуются наименее биотурбированные сланцы, происходящие из Кашпирского месторождения.

Нижнеаптские битуминозные сланцы по своему составу и структурно-текстурным особенностям заметно отличаются от средневожских. Их наиболее характерной чертой является микрослоистая текстура без каких-либо следов биотурбации (рис. 3, в). Слоистость обусловлена чередованием слоев с разным содержанием органического вещества и алевролитического материала. Содержание $C_{\text{орг}}$ в ульяновских сланцах, по результатам пиролитических исследований, варьирует от 2 до 8 %, т. е. оно несколько ниже, чем в сланцах промзинской свиты. В минеральном составе глинистой фракции помимо иллит-сметита и гидрослюды (69–79 %) существенную роль играет каолинит (до 17,1 %), рис. 7.

Бентосные формы, в частности бентосные фораминиферы и двустворки, широко распространенные в средневожских сланцах, в изученных пробах нижнеаптских сланцев не обнаружены. Аммониты в этих отложениях, напротив, весьма многочисленны, иногда их раковины образуют скопления по плоскостям напластования. На изображениях шлифов, полученных с помощью флуо-

ресцентного микроскопа, хорошо видны остатки водорослей семейства *Tasmanaceae* (рис. 3, г).

Микроструктуры, элементный и минеральный состав биогенных карбонатов. Электронно-микроскопические изображения поверхности сколов исследуемых раковин демонстрируют детали их первичной микроструктуры, не затронутой процессами перекристаллизации. В частности, у аммонитов видна микроструктура перламутрового слоя, сложенного таблитчатыми кристаллами арагонита (рис. 4, а, б), а в роствах белемнитов различима слоистая микроструктура радиальных кристаллов кальцита (рис. 4, в).

Содержание $MgCO_3$ в кальцитовых раковинах значительно ниже 5 моль % (рис. 7), что соответствует первичному низкомагнезиальному кальциту [20]. Арагонитовые раковины также демонстрируют ожидаемо низкие содержания магния. Аналогичным образом ведет себя отношение Mg/Ca . Содержания Sr варьируют от 600 до 3700 ppm (рис. 7). Такие значения типичны для карбонатов, секретрируемых древними и современными морскими беспозвоночными [21]. При этом в большей части изученных объектов концентрация стронция превышает отметку 800 ppm, что считается [22] признаком не затронутого диагенезом карбонатного вещества.

Методом рамановской спектроскопии был изучен минеральный состав раковин позднеюрских фораминифер двух отрядов, представители которых доминируют в изученных пробах – лагенид и роталиид. Раковины лагенид демонстрируют типичные для кальцита рамановские спектры с пиком 280 см^{-1} (рис. 5). Первично кальцитовый состав фораминифер этого отряда подтверждается и дру-

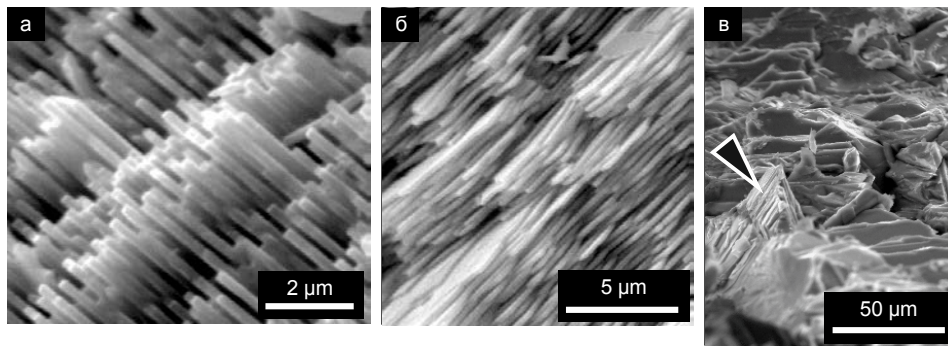


Рисунок 4. Электронно-микроскопические изображения микроструктуры перламутрового слоя раковины средневожского аммонита *Dorsoplanites cf. panderi* (Orb.) (1/261) (а, б) и первичного кальцита (черная стрелка) ростра позднеготеривского белемнита (1/203) (с)

Figure 4. Electron microscopic images of the microstructure of the nacreous layer of the shell of the Middle Volgian ammonite *Dorsoplanites cf. panderi* (Orb.) (1/261) (a, b) and primary calcite (black arrow) of the late Hauterivian belemnite rostrum (1/203) (c)

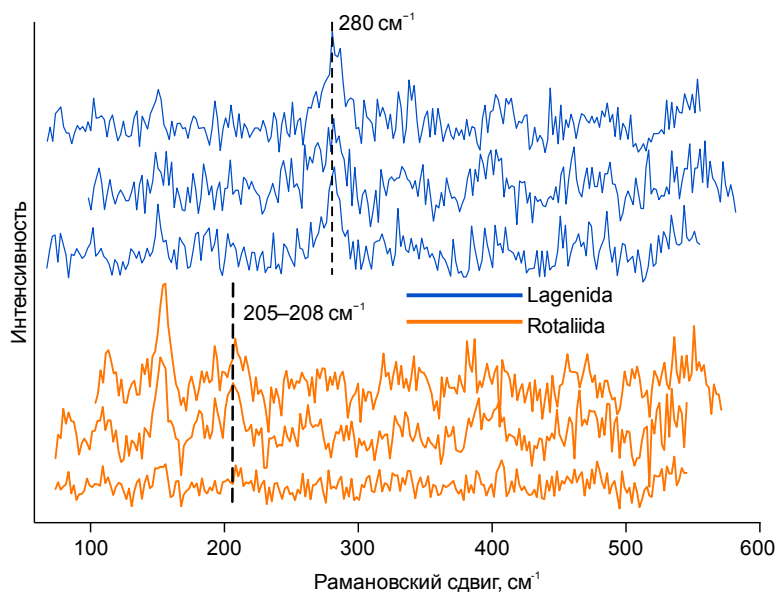


Рисунок 5. Рамановские спектры раковин киммериджских и волжских бентосных фораминифер (Татарско-Шатрашанская скважина)

Figure 5. Raman spectra of shells of Kimmeridgian and Volgian benthic foraminifers (Tatarsko-Shatrashanskaya well)

гими исследователями (например, [23]). Представители роталиид демонстрируют спектры с пиками 205–208 см⁻¹ (рис. 5), указывающие на их арагонитовый состав. Полученные сведения использовались при выборе уравнения для расчета палеотемператур.

Вариации изотопного состава биогенных карбонатов. Результаты изучения стабильных изотопов углерода и кислорода представлены на рис. 6, 7. Отсутствие значимой корреляции между значениями $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ и $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ ($r = -0,06$, $n = 20$, $p > 0,05$, рис. 6) говорит о том, что измеренные изотопные отношения не являются результатом перераспределения изотопов между карбонатами и поровыми растворами в ходе диагенеза [24] и поэтому могут использоваться для реконструкции палеообстановок.

Значения обоих изотопных отношений изменяются по разрезу в довольно широких пределах. Кривая $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ (рис. 7) демонстрирует положительный экскурс (до 2,7 ‰) в верхнем киммеридже, после которого значения изотопно-углеродного отношения сначала постепен-

но уменьшаются, достигая минимума (-2 ‰) в основании промзинской свиты, а затем снова смещаются в положительную сторону. Невысокие значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ во время накопления промзинских сланцев синхронны максимальным значениям $\text{C}_{\text{орг}}$ и хорошо согласуются с углеродными кривыми для Русской плиты [13] и Западного Тетиса [25]. В нижнемеловом интервале разреза отношение $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ постепенно увеличивается, достигая максимума (4,8 ‰) в битуминозных сланцах у кровли ульяновской толщи. Эта положительная изотопно-углеродная аномалия является маркером события ОАЕ 1а.

Величина $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ постепенно уменьшается вверх по разрезу. На фоне этого общего сдвига в отрицательную сторону выделяются отдельные положительные аномалии меньшего порядка (в частности, в волжском и готеривском ярусах).

Любопытно, что бентосные организмы характеризуются в целом более отрицательными значениями изотопно-кислородного отношения (среднее значение -2,57 ‰)

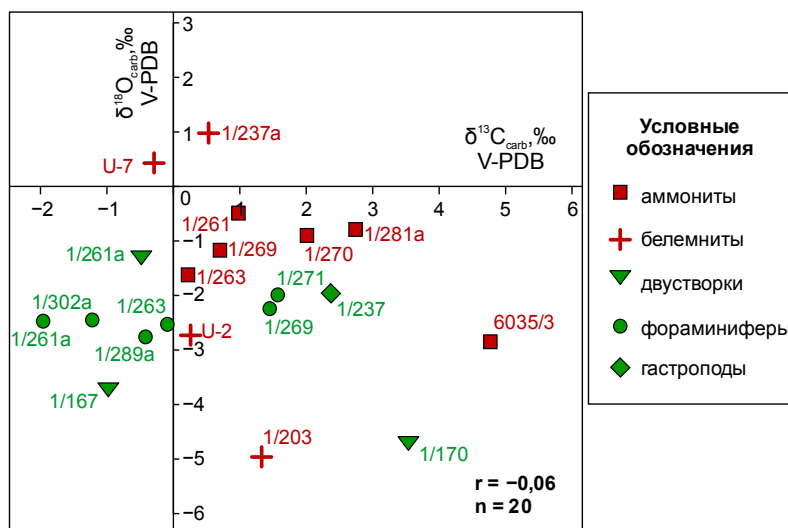


Рисунок 6. Вариации $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в исследованном раковинном материале (r – коэффициент корреляции, n – размер выборки)
 Figure 6. Variations in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in the studied shell material (r – correlation coefficient, n – sample size)

по сравнению с пелагическими аммонитами и белемнитами (среднее значение $-1,41$ ‰, рис. 6). Эта тенденция хорошо прослеживается в верхнекимериджском–средневожском интервале разреза, в котором раковины бентосных и пелагических организмов отобраны синхронно. Здесь «бентосные» значения $\delta^{18}\text{O}$ меньше «пелагических» на величину от 0,9 до 2 ‰. Такие результаты хорошо согласуются с представлениями о батиметрической приуроченности изученных групп фауны в юрско-меловом бассейне УСП [26, 27].

Климат и его влияние на формирование высокоуглеродистых горизонтов. Предварительную качественную оценку эволюции климата в позднеюрское–раннемеловое время можно получить, проследив изменения ассоциации глинистых минералов по разрезу. Постепенное снижение доли каолинита в глинистой компоненте, наблюдаемое в киммеридж-вожском интервале разреза Татарско-Шатрашанской скважины, и его полное исчезновение в средневожских сланцах (рис. 7) указывает на постепенную аридизацию климата в поздней юре. Такой вывод согласуется с выводами, сделанными в [28] и [29], а также с литологическими данными, свидетельствующими об аридизации климата в конце юры в Северо-Западной [30] и Центральной Европе [31] и в Иране [32]. Важно заметить, что следствием аридизации климата должно было стать ослабление выветривания на прилегающей суше и, следовательно, сокращение сноса терригенного материала и биофильных элементов (элементов, используемых организмами в процессе жизнедеятельности, например, Fe и P) в бассейн.

В нижнемеловой части разреза содержание каолинита снова увеличивается, достигая в ульяновской толще 17 % (рис. 7), что указывает на установление более гумидных условий. Тенденция к гумидизации климата в раннем мелу в регионе прослеживается и по данным споро-пыльцевого анализа [33]. При этом, судя по менее высокому содержанию органического углерода в ульяновских сланцах (относительно средневожских), гумидизация климата не сопровождалась значительным увеличением продуктивности бассейна.

Более точное представление об эволюции климата дают рассчитанные по величине $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ палеотемпературы. Проведенное нами комплексное изучение раковинного материала из верхнеюрских–нижнемеловых отложений позволило убедиться в его хорошей сохранности и пригодности для изотопных исследований.

Вариациям изотопно-кислородных температур в позднеюрско-раннемеловом бассейне востока Русской плиты посвящен целый ряд работ (для поздней юры – [12, 13, 27, 34], для раннего мела – [26, 27]). Как правило, в этих работах рассматриваются узкие стратиграфические интервалы. Построенные нами две палеотемпературные кривые (по бентосным и пелагическим организмам, рис. 7) охватывают интервал от позднего киммериджа до раннего апта и выявляют некоторые не описанные ранее особенности эволюции климата в регионе.

Для позднекимериджского–ранневожского времени кривая демонстрирует стабильно теплый, но не жаркий климат, с температурами, варьирующими в интервале от $19,7$ °C до $24,9$ °C. Такие температуры в целом согласуются с кривой глобальных средних температур К. Скотиза [2], реконструирующей постепенное похолодание в поздней юре после киммериджского климатического максимума. Значения температур в умеренном поясе северного полушария [35] и на востоке Русской плиты [13], рассчитанные по $\delta^{18}\text{O}$ позднеюрских белемнитов, несколько (на 1–5 °C) ниже приводимых нами. Такое расхождение может быть связано с приуроченностью белемнитов к более глубоким и холодным частям водной толщи [26, 27] по сравнению с изученными нами в этом интервале группами фауны (аммониты и бентосные фораминиферы). Температуры, реконструированные по аммонитам и по бентосным фораминиферам, весьма близки друг к другу, что может говорить о низком температурном градиенте в водной толще и, следовательно, о ее слабой стратификации.

Пелагическая температурная кривая демонстрирует довольно резкое похолодание с начала средневожского времени. Минимальная температура – $10,4$ °C – дости-

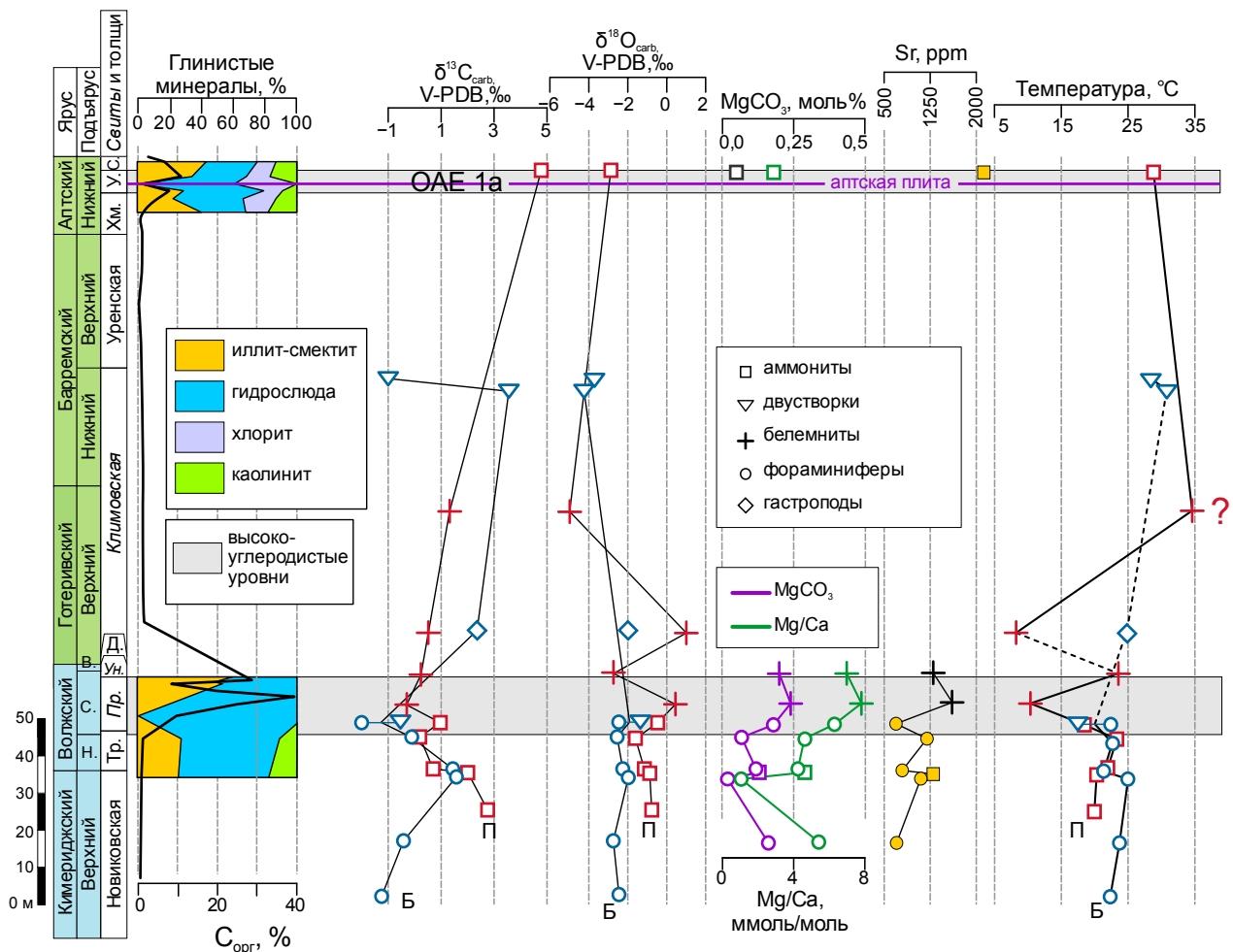


Рисунок 7. Вариации содержания C_{org} , глинистых минералов, элементного и изотопного состава раковинного материала и соответствующих палеотемператур в верхнеюрском-нижнемеловом разрезе Ульяновско-Саратовского прогиба. Сокращения: Тр. – тразовская, Пр. – Промзинская, Ун. – Ундорская, Д. – Долгорецкая, Хм. – Хмелёвская, У. – Ульяновская, С. – Студенецкая, Б – Бентосные организмы, П – пелагические организмы
Figure 7. Variations in C_{org} content, clay minerals, elemental and isotopic composition of shell material, and corresponding paleotemperatures in the Upper Jurassic–Lower Cretaceous section of the Ulyanovsk–Saratov Trough. Abbreviations: Tr. – Trazovskaya, Pr. – Promzinskaya, Un. – Undorskaya, D. – Dolgoretskaya, Khm. – Khmelevskaya, U. – Ulyanovskaya, S. – Studenetskaya, B – benthic organisms, P. – pelagic organisms

гается в конце средневожского времени. Затем, в поздневожское время, температуры снова возвращаются к значениям, превышающим 20 °С. Кривые, предложенные в [12, 13, 35], не фиксируют такого резкого похолодания в средневожское время на региональном и глобальном уровне, но и не демонстрируют экстремально высоких температур. Таким образом, палеотемпературные реконструкции не позволяют говорить об установлении гипертермального климата как о причине накопления средневожских высокоуглеродистых сланцев. По всей видимости, формирование высокоуглеродистых осадков было связано с ростом продуктивности фитопланктона. В условиях аридизации климата и сокращения сноса биофильных элементов с суши стимулировать рост продуктивности могло поступление пирокластического материала, следы которого в средневожских отложениях описывались в [8, 36, 37]. Вероятными источниками этого материала считаются островные дуги северной окраины Тетиса, а также Армавирский массив [37]. Кратковременное падение температур в конце средневожского времени до 10 °С также могло быть связано с вулканической

активностью. Известно, что вспышки вулканизма, экранируя солнечную радиацию, могут приводить к резкому похолоданию климата – так называемой вулканической зиме [38].

Раннемеловой сегмент построенной нами палеотемпературной кривой значительно менее детальный по сравнению с ее позднеюрским сегментом. Кроме того, в основании мела в Ульяновско-Саратовском прогибе присутствует длительный стратиграфический перерыв, вследствие чего палеотемпературные данные для этого интервала недоступны. Тем не менее полученные результаты позволили нам выделить некоторые тенденции в эволюции температур в раннем мелу. Поздний готерив начинается с эпизода похолодания (температура пелагиали здесь составляет 8,3 °С, что на 15 °С меньше аналогичной температуры на рубеже юры и мела). Определить время начала и продолжительность этого эпизода пока не представляется возможным. Учитывая, что поздний готерив был временем климатического оптимума, известного как событие Фараони [2], можно предположить, что построенная нами кривая зафиксировала кратковременный

импульс похолодания на фоне этого общего потепления. В качестве причины похолодания снова можно предложить вулканическую активность на южной окраине Русской плиты. Кратковременное позднеготеривское похолодание сменяется ростом температур в барреме–апте, который прослеживается и на кривых в [2, 27, 39].

Господство высоких температур (28,6 °С – по нашим данным, до 33,2 °С – по данным [26]) во время накопления ульяновских битуминозных сланцев согласуется с представлениями об имевшем место в раннем апте гипертермальном событии ОАЕ 1а. Жаркий климат, по всей видимости, был ключевым среди факторов, способствовавших накоплению этих сланцев. Положительная изотопно-углеродная аномалия в нижнем апте связана с интенсивным глобальным захоронением органического углерода в это время. В литературе описываются различные механизмы влияния климатических максимумов на захоронение органического вещества. Например, в [40] предполагается, что ускорение гидрологического цикла и усиление речного стока в таких условиях приводили к распреснению поверхностных вод полузамкнутых водоемов и к термохалинной стратификации водной толщи. В придонных водах таких бассейнов возникали аноксические условия, которые способствовали захоронению органического вещества. Такая модель может быть применена и к эпиконтинентальному бассейну Русской плиты. Интенсификация гидрологического цикла (а следовательно, выветривания) в раннем апте подтверждается относительно высоким содержанием смектита в глинистой компоненте ульяновских сланцев, а присутствие в них зеленых водорослей *Tasmaniasae* указывает на пониженную соленость в фотической зоне [41]. Альтернативный механизм связывает накопление высокоуглеродистых отложений со вспышками продуктивности фитопланктона, вызванными привнесением биофильных элементов в бассейн на фоне усиленного выветривания или трансгрессий [1, 10]. Нельзя исключать, что оба фактора – и стратификация, и продуктивность – вносили свой вклад в накопление высокоуглеродистых отложений.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2020-931 в рамках программы развития НЦМУ «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты». Авторы выражают благодарность А. С. Алифирову за диагностику позднеюрских аммонитов и Л. Ф. Максютковой за предоставленные флуоресцентные микроскопические изображения битуминозных сланцев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jenkyns H. C. Evidence for rapid climate change in the Mesozoic–Palaeogene greenhouse world // *Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences*. 2003. Vol. 361. P. 1885–1916. <https://doi.org/10.1098/rsta.2003.1240>
2. Scotese C. R., Song H., Mills B. J. W., van der Meer D. G. Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years // *Earth-Science Reviews*. 2021. Vol. 215. Article number 103503. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103503>
3. Foster G. L., Hull P., Lunt D. J., Zachos J. C. Placing our current “hyperthermal” in the context of rapid climate change in our geological past // *Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences*. 2018. Vol. 376. Issue 2130. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0086>
4. Pedersen T. F., Calvert S. E. Anoxia vs. productivity: What controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks? // *AAPG Bulletin*. 1990. Vol. 74. P. 454–466. <https://doi.org/10.1306/0C9B232B-1710-11D7-8645000102C1865D>
5. Jenkyns H. C. Geochemistry of oceanic anoxic events // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2010. Vol. 11. No. 3. P. 1–30. <https://doi.org/10.1029/2009GC002788>
6. Палеогеографический Атлас Северной Евразии / В. Г. Казьмин, Л. М. Натапов (ред.). М.: Институт тектоники литосферных плит, 1998. 26 л.
7. Страхов Н. М. Горючие сланцы зоны *Perisphinctes randeri* d'Orb (очерк литологии) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологич. 1934. Т. XII. Вып. 2. С. 200–250.
8. Букина Т. Ф. Седиментогенез и ранний литогенез верхнеюрских сланценосных отложений центральной части Волжского бассейна. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. 129 с.
9. Rogov M. A., Shchepetova E. V., Zakharov V. A. Late Jurassic–earliest Cretaceous prolonged shelf dysoxic-anoxic event and its possible causes // *Geological Magazine*. 2020. Vol. 157. P. 1622–1642. <https://doi.org/10.1017/S001675682000076X>

Заключение

Тенденции эволюции климата в поздней юре–раннем мелу, реконструированные нами для востока Русской плиты, и глобальные тенденции в целом хорошо согласуются, однако различаются в деталях. В поздней юре на востоке Русской плиты господствовал достаточно теплый, но не жаркий климат с температурами от 18 до 25 °С. Судя по литологическим данным, на конец поздней юры приходится эпизод аридизации. Затем, в течение раннего мела, климат постепенно становился более влажным и теплым. Максимальных значений (28,6 °С) температуры достигли в раннем апте, фиксируя, таким образом, проявление гипертермального события ОАЕ 1а в регионе.

Результаты реконструкции палеотемператур не позволяют говорить о гипертермальном климате как о причине накопления средневожских битуминозных сланцев. Более того, на завершающий этап их накопления приходится сильное кратковременное похолодание (до 10,4 °С). Вероятно, оно было следствием вулканической активности островных дуг северной окраины Тетиса. Аридизация климата в поздней юре должна была сопровождаться сокращением сноса биофильных элементов в бассейн, однако продуктивность бассейна, по всей видимости, оставалась высокой. Источником биофильных элементов мог выступать пирокластический материал.

В раннем апте гипертермальный климат, напротив, был одним из главных факторов накопления высокоуглеродистых осадков. Влияние гипертермального климата на захоронения органического вещества в бассейне могло быть двояким. Во-первых, увеличенный в условиях жаркого климата речной сток способствовал распреснению поверхностных вод и возникновению термохалинной стратификации водной толщи и развитию аноksии в ее придонной части. Во-вторых, усиленный поверхностный сток мог увеличивать поступление в бассейн биофильных элементов и приводить к вспышкам продуктивности фитопланктона. Нельзя исключать, что эти механизмы действовали параллельно.

10. Гаврилов Ю. О., Щепетова Е. В., Барабошкин Е. Ю., Щербина Е. А. Аноксический раннемеловой бассейн Русской плиты: седиментология и геохимия // Литология и полезные ископаемые. 2002. № 4. С. 359–380.
11. Бушнев Д. А. Аноксический раннемеловой бассейн Русской плиты: органическая геохимия // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 1. С. 25–34.
12. Gröcke D. R., Price G. D., Ruffell A. H., Mutterlose J., Baraboshkin E. Yu. Isotopic evidence for Late Jurassic–Early Cretaceous climate change // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2003. Vol. 202. Issues 1–2. P. 97–118. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00631-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00631-X)
13. Price G. D., Rogov M. A. An isotopic appraisal of the Late Jurassic greenhouse phase in the Russian Platform // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2009. Vol. 273. Issues 1–2. P. 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.11.011>
14. Сазонова И. Г., Сазонов Н. Т. Палеогеография Русской платформы в юрское и раннемеловое время. Л.: Недра, 1967. 260 с.
15. Унифицированная региональная стратиграфическая схема юрских отложений Восточно-Европейской платформы / В. В. Митта (отв. ред. объяснит. записки). М.: Палеонтологич. ин-т им. А. А. Борисяка, 2012. 78 с.
16. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 1 000 000 / А. Н. Кузьмин [и др.] Третье издание. Сер. Центрально-Европейская. Лист N-38. Пенза: объяснит. записка. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 406 с.
17. Hantzpergue P., Baudin F., Mitta V., Olfieriev A., Zakharov V. The Upper Jurassic of the Volga basin: ammonite biostratigraphy and occurrence of organic-carbon rich facies. Correlations between boreal-subboreal and submediterranean provinces // Peri-Tethys Memoir 4: epicratonic basins of Peri-Tethyan platforms (Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle) / S. Crasquin-Soleau, É. Barrier (Eds). Paris: Muséum national d'Histoire naturelle, 1998. Vol. 179. P. 9–33.
18. Anderson T. F., Arthur M. A. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems // Stable isotopes in sedimentary geology / M. A. Arthur, T. F. Anderson, I. R. Kaplan, J. Veizer, L. S. Land (Eds). SEPM Short Course 10. Dallas: SEPM, 1983. P. 1–151. <https://doi.org/10.2110/scn.83.01.0000>
19. Grossman E. L., Ku T.-L. Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: temperature effects // Chemical Geology: Isotope Geoscience section. 1986. Vol. 59. P. 59–74. [https://doi.org/10.1016/0168-9622\(86\)90057-6](https://doi.org/10.1016/0168-9622(86)90057-6)
20. Brand U., Veizer J. Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system-1: Trace elements // Journal of Sedimentary Research. 1980. Vol. 50 (4). P. 1219–1236. <https://doi.org/10.1306/212F7BB7-2B24-11D7-8648000102C1865D>
21. Morrison J. O., Brand U. Geochemistry of recent marine invertebrates // Geoscience Canada. 1986. Vol. 13. No. 4. P. 237–254.
22. Caus E., Frijia G., Parente M., Robles-Salcedo R., Villalonga R. Constraining the age of the last marine sediments in the late Cretaceous of central south Pyrenees (NE Spain): Insights from larger benthic foraminifera and strontium isotope stratigraphy // Cretaceous Research. 2016. Vol. 57. P. 402–413. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2015.05.012>
23. Dubicka Z., Wierzbowski H., Palczyńska A. Can oxygen and carbon isotope ratios of Jurassic foraminifera be used in palaeoenvironmental reconstructions? // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2021. Vol. 577. Article number 110554. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110554>
24. Corfield R. M. An introduction to the techniques, limitations and landmarks of carbonate oxygen isotope palaeothermometry // Geological Society, London, Special Publications. 1995. Vol. 83. P. 27–42. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.083.01.03>
25. Padden M., Weissert H., Funk H., Schneider S., Gansner C. Late Jurassic lithological evolution and carbon-isotope stratigraphy of the western Tethys // *Ecolae Geologicae Helvetiae*. 2002. Vol. 95. P. 333–346. <https://doi.org/10.5169/seals-168964>
26. Zakharov Yu. D., Baraboshkin E. Yu., Weissert H., Michailova I. A., Smyshlyaeva O. P., Safronov P. P. Late Barremian–early Aptian climate of the northern middle latitudes: Stable isotope evidence from bivalve and cephalopod molluscs of the Russian Platform // Cretaceous Research. 2013. Vol. 44. P. 183–201. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2013.04.007>
27. Zakharov Yu. D., Seltser V. B., Kakabadze M. V., Smyshlyaeva O. P., Safronov P. P. Oxygen–carbon isotope composition of Middle Jurassic–Cretaceous molluscs from the Saratov–Samara Volga region and main climate trends in the Russian Platform–Caucasus // Geological Society, London, Special Publications. 2020. Vol. 498. P. 101–127. <https://doi.org/10.1144/SP498-2018-57>
28. Ruffell A. H., Price G. D., Mutterlose J., Kessels K., Baraboshkin E. Yu., Gröcke D. R. Palaeoclimate indicators (clay minerals, calcareous nannofossils, stable isotopes) compared from two successions in the late Jurassic of the Volga Basin (SE Russia) // Geological Journal. 2002. Vol. 37. Issue 1. P. 17–33. <https://doi.org/10.1002/gj.903>
29. Riboulleau A., Baudin F., Deconinck J.-F., Derenne S., Largeau C., Tribouillard N. Depositional conditions and organic matter preservation pathways in an epicontinental environment: the Upper Jurassic Kashpir Oil Shales (Volga Basin, Russia) // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2003. Vol. 197. Issues 3–4. P. 171–197. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00460-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00460-7)
30. Abbink O., Targarona J., Brinkhuis H., Visscher H. Late Jurassic to earliest Cretaceous palaeoclimatic evolution of the southern North Sea // Global and Planetary Change. 2001. Vol. 30. Issues 3–4. P. 231–256. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00101-1)
31. Grabowski J., Haas J., Stoykova K., Wierzbowski H., Brański P. Environmental changes around the Jurassic/Cretaceous transition: New nannofossil, chemostratigraphic and stable isotope data from the Lókút section (Transdanubian Range, Hungary) // Sedimentary Geology. 2017. Vol. 360. P. 54–72. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.08.004>
32. Wilmsen M., Fürsich F. T., Seyed-Emami K., Majidifard M. R. The Upper Jurassic Garedu Red Bed Formation of the northern Tabas Block: elucidating Late Cimmerian tectonics in east-Central Iran // International Journal of Earth Sciences. 2021. Vol. 110. P. 767–790. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-01988-z>
33. Пещевецкая Е. Б. Палинстратиграфия и палеообстановки в разрезе Городищи (Среднее Поволжье, кимеридж–готерив) // Геология и геофизика. 2021. Т. 62. № 7. С. 939–966. <https://doi.org/10.15372/GiG2019174>
34. Ветошкина О. С., Лыуров С. В., Бушнев Д. А. Углерод-кислородная изотопия верхнеюрских фораминифер *Saracenaria pravoslavlevi* как показатель условий седиментации // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 10 (226). С. 7–11.
35. Veizer J., Prokoph A. Temperatures and oxygen isotopic composition of Phanerozoic oceans // Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 146. P. 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.03.008>
36. Рентгартен Н. В., Кузнецова К. И. Пирокластический материал в позднеюрских осадках Русской платформы // Докл. АН СССР. 1967. Т. 173. № 6. С. 1422–1425.
37. Никашин К. И., Зорина С. О. Вулканогенный материал в верхнеюрско-нижнемеловых отложениях востока Русской плиты и его источники // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2021. Т. 21. Вып. 1. С. 49–57. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-1-49-57>
38. Rampino M. R., Self S., Stothers R. B. Volcanic winters // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 1988. Vol. 16. P. 73–99. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.16.050188.000445>
39. Mutterlose J., Malkoc M., Schouten S., Sinninghe Damsté J. S., Foster A. TEX₈₆ and stable δ¹⁸O paleothermometry of early Cretaceous sediments: Implications for belemnite ecology and paleotemperature proxy application // Earth and Planetary Science Letters. 2010. Vol. 298. Issues 3–4. P. 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.07.043>
40. Erbacher J., Huber B. T., Norris R. D., Markey M. Increased thermohaline stratification as a possible cause for an ocean anoxic event in the Cretaceous period // Nature. 2001. Vol. 409. P. 325–327. <https://doi.org/10.1038/35053041>
41. Prauss M., Riegel W. Evidence from phytoplankton associations for causes of black shale formation in epicontinental seas // Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Monatshefte Jg. 1989. Heft 11. P. 671–682. <https://doi.org/10.1127/njgpm/1989/1989/671>

Статья поступила в редакцию 10 марта 2023 года

Paleoclimatic conditions during the accumulation of the Upper Jurassic and Lower Cretaceous organic carbon-rich deposits of the Ulyanovsk-Saratov trough (eastern Russian platform)

Konstantin Igorevich NIKASHIN¹

Svetlana Olegovna ZORINA^{1**}

Valeriy Sergeevich ILYASOV^{2***}

Il'ya Vladimirovich KOLCHIN^{1****}

¹Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

²LLC "Gazpromneft-Yamal", Tyumen, Russia

Abstract

Relevance of the work. Black shale horizons may reflect abrupt paleoclimate changes. In the northeast of the Ulyanovsk-Saratov Trough (UST), two black shale horizons widely occur, the Middle Volgian Promzino Formation and the Lower Aptian Ulyanovsk Formation. Despite years of research, the role of paleoclimate in their accumulation is still under discussion.

The aim of the research was to assess the climate as a factor of the accumulation of the Middle Volgian and Lower Aptian organic carbon-rich deposits in the northeastern UST.

Methods. To reconstruct paleoclimate and to evaluate its impact on the black shale deposition, a comprehensive isotope study of calcitic and aragonitic shells of several groups of benthic and pelagic organisms was performed. Besides, the lithological and geochemical features of organic carbon-rich and host deposits were studied using optical microscopy, XRD, and pyrolysis.

Results. Isotope study allowed to construct benthic and pelagic palaeotemperature curves and to reconstruct paleoclimate in the UST during the formation of black shales. Based on these data and data on lithological and geochemical features of sediments, the depositional mechanisms of the Promzino and Ulyanovsk Formations were clarified.

Conclusions. No causal link has been revealed between climate changes and the deposition of the Middle Volgian black shales. At the end of the Middle Volgian, a short-term cooling has been recorded, probably related to the volcanic activity of the northern Tethyan margin. The Lower Aptian black shales were formed during the hyperthermal. This hyperthermal controlled the accumulation of organic carbon-rich sediments by increasing the input of nutrients and/or providing conditions for its stratification and stagnation.


Keywords: paleoclimate, carbon and oxygen isotopes, Middle Volgian substage, Lower Aptian substage, Ulyanovsk-Saratov trough.

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement No. 075-15-2020-931 within the framework of the WCSC development program "Rational development of liquid hydrocarbon reserves of the planet". The authors are grateful to A. S. Alifirov for diagnosing Late Jurassic ammonites and to L. F. Maksyutova for providing fluorescent microscopic images of bituminous shales.


REFERENCES

1. Jenkyns H. C. 2003, Evidence for rapid climate change in the Mesozoic–Palaeogene greenhouse world. *Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences*, vol. 361, pp. 1885–1916. <https://doi.org/10.1098/rsta.2003.1240>
2. Scotese C. R., Song H., Mills B. J. W., van der Meer D. G. 2021, Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth-Science Reviews*, vol. 215, article number 103503. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103503>
3. Foster G. L., Hull P., Lunt D. J., Zachos J. C. 2018, Placing our current "hyperthermal" in the context of rapid climate change in our geological past. *Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical Physical and Engineering Sciences*, vol. 376, issue 2130. <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0086>
4. Pedersen T. F., Calvert S. E. 1990, Anoxia vs. productivity: What controls the formation of organic-carbon-rich sediments and sedimentary rocks? *AAPG Bulletin*, vol. 74, pp. 454–466. <https://doi.org/10.1306/0C9B232B-1710-11D7-8645000102C1865D>
5. Jenkyns H. C. 2010, Geochemistry of oceanic anoxic events. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 11, no. 3, pp. 1–30. <https://doi.org/10.1029/2009GC002788>

✉ kostya97@inbox.ru

 <http://orcid.org/0000-0002-4749-9895>

**svzorina@yandex.ru

 <http://orcid.org/0000-0001-6315-1672>

***ilyasov.vs@gazprom-neft.ru; 230989@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3777-4926>

****kolchin.ilja@yandex.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2755-3270>

6. 1998, Paleogeographic Atlas of the Northern Eurasia. V. G. Kaz'min, L. M. Natapov (Eds). Moscow, 26 sheets.
7. Strakhov N. M. 1934, Oil shales of the Perisphinctes panderi d'Orb zone (Lithological description). *Bulletin of Moscow society of naturalists. Geological Series*, vol. XII, issue 2, pp. 200–348. (In Russ.)
8. Bukina T. F. 2013, Sedimentogenesis and early lithogenesis of the Upper Jurassic shale-bearing deposits of the central part of the Volgian basin. Saratov, 129 p. (In Russ.)
9. Rogov M. A., Shchepetova E. V., Zakharov V. A. 2020, Late Jurassic–earliest Cretaceous prolonged shelf dysoxic-anoxic event and its possible causes. *Geological Magazine*, vol. 157, pp. 1622–1642. <https://doi.org/10.1017/S001675682000076X>
10. Gavrilov Yu. O., Shchepetova E. V., Baraboshkin E. Yu., Shcherbinina E. A. 2002, Early Cretaceous anoxic basin of the Russian Platform: sedimentology and geochemistry. *Litologiya i poleznye iskopaemye* [Lithology and Mineral Resources], no. 4, pp. 359–380. (In Russ.)
11. Bushnev D. A. 2005, Early Cretaceous anoxic basin of the Russian Platform: organic geochemistry. *Litologiya i poleznye iskopaemye* [Lithology and Mineral Resources], no. 1, pp. 25–34. (In Russ.)
12. Gröcke D. R., Price G. D., Mutterlose J., Baraboshkin E. Yu. 2003, Isotopic evidence for Late Jurassic–Early Cretaceous climate change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 202, pp. 97–118. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00631-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00631-X)
13. Price G. D., Rogov M. A. 2009, An isotopic appraisal of the Late Jurassic greenhouse phase in the Russian Platform. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 273, pp. 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2008.11.011>
14. Sazonova I. G., Sazonov N. T. 1967, Paleogeography of the Russian Platform in the Jurassic and Early Cretaceous. Leningrad, 260 p. (In Russ.)
15. 2012, Unified Regional Stratigraphic Scheme of the Jurassic of East European Platform. V. V. Mitta (ed. of Explanatory Note). Moscow, 78 p. (In Russ.)
16. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000. A. N. Kuz'min [et al.]. 3rd Edition. Ser. Central-European. Sheet N-38. Penza. Explanatory Note. St. Petersburg, 406 p. (In Russ.)
17. Hantzpergue P., Baudin F., Mitta V., Olfieriev A., Zakharov V. 1998, The Upper Jurassic of the Volga basin: ammonite biostratigraphy and occurrence of organic-carbon rich facies. Correlations between boreal-subboreal and submediterranean provinces. Peri-Tethys Memoir 4: epicratonic basins of Peri-Tethyan platforms (Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle). S. Crasquin-Soleau, É. Barrier (Eds). Paris: Muséum national d'Histoire naturelle, pp. 9–33.
18. Anderson T. F., Arthur M. A. 1983, Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. Stable isotopes in sedimentary geology. M. A. Arthur, T. F. Anderson, I. R. Kaplan, J. Veizer, L. S. Land (Eds). SEPM Short Course 10. Dallas, SEPM, pp. 1–151. <https://doi.org/10.2110/scn.83.01.0000>
19. Grossman E. L., Ku T.-L. 1986, Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: temperature effect. *Chemical Geology: Isotope Geoscience section*, vol. 59, pp. 59–74. [https://doi.org/10.1016/0168-9622\(86\)90057-6](https://doi.org/10.1016/0168-9622(86)90057-6)
20. Brand U., Veizer J. 1980, Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system-1: Trace elements. *Journal of Sedimentary Research*, vol. 50 (4), pp. 1219–1236. <https://doi.org/10.1306/212F7BB7-2B24-11D7-8648000102C1865D>
21. Morrison J. O., Brand U. 1986, Geochemistry of recent marine invertebrates. *Geoscience Canada*, vol. 13, no. 4, pp. 237–254.
22. Caus E., Frijia G., Parente M., Robles-Salcedo R., Villalonga R. 2016, Constraining the age of the last marine sediments in the late Cretaceous of central south Pyrenees (NE Spain): Insights from larger benthic foraminifera and strontium isotope stratigraphy. *Cretaceous Research*, vol. 57, pp. 402–413. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2015.05.012>
23. Dubicka Z., Wierzbowski H., Pałczyńska A. 2021, Can oxygen and carbon isotope ratios of Jurassic foraminifera be used in palaeoenvironmental reconstructions? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 577, article number 110554. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110554>
24. Corfield R. M. 1995, An introduction to the techniques, limitations and landmarks of carbonate oxygen isotope palaeothermometry. *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 38, pp. 27–42. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.083.01.03>
25. Padden M., Weissert H., Funk H., Schneider S., Gansner C. 2002, Late Jurassic lithological evolution and carbon-isotope stratigraphy of the western Tethys. *Eclogae Geologicae Helveticae*, vol. 95, pp. 333–346. <https://doi.org/10.5169/seals-168964>
26. Zakharov Yu. D., Baraboshkin E. Yu., Weissert H., Michailova I. A., Smyshlyayeva O. P., Safronov P. P. 2013, Late Barremian–early Aptian climate of the northern middle latitudes: Stable isotope evidence from bivalve and cephalopod molluscs of the Russian Platform. *Cretaceous Research*, vol. 44, pp. 183–201. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2013.04.007>
27. Zakharov Yu. D., Seltser V. B., Kakabadze M. V., Smyshlyayeva O. P., Safronov P. P. 2020, Oxygen–carbon isotope composition of Middle Jurassic–Cretaceous molluscs from the Saratov–Samara Volga region and main climate trends in the Russian Platform–Caucasus. *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 498, pp. 101–127. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4697078.v1>
28. Ruffel A. H., Price G. D., Mutterlose J., Kessels K., Baraboshkin E. Yu., Gröcke D.R. Palaeoclimate indicators (clay minerals, calcareous nanofossils, stable isotopes) compared from two successions in the late Jurassic of the Volga Basin (SE Russia). *Geological Journal*, vol. 37, issue 1, pp. 17–33. <https://doi.org/10.1002/gj.903>
29. Riboulleau A., Baudin F., Deconinck J.-F., Derenne S., Largeau C., Tribouillard N. 2003, Depositional conditions and organic matter preservation pathways in an epicontinental environment: the Upper Jurassic Kashpir Oil Shales (Volga Basin, Russia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 197, issues 3–4, pp. 171–197. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(03\)00460-7](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(03)00460-7)
30. Abbink O., Targarona J., Brinkhuis H., Visscher H. 2001, Late Jurassic to earliest Cretaceous palaeoclimatic evolution of the southern North Sea. *Global and Planetary Change*, vol. 30, issues 3–4, pp. 231–256. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00101-1)
31. Grabowski J., Haas J., Stoykova K., Wierzbowski H., Brański P. 2017, Environmental changes around the Jurassic/Cretaceous transition: New nanofossil, chemostratigraphic and stable isotope data from the Lókút section (Transdanubian Range, Hungary). *Sedimentary Geology*, vol. 360, P. 54–72. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.08.004>
32. Wilmsen M., Fürsich F.T., Seyed-Emami K., Majidifard M. R. 2021, The Upper Jurassic Garedu Red Bed Formation of the northern Tabas Block: elucidating Late Cimmerian tectonics in east-Central Iran. *International Journal of Earth Sciences*, vol. 11, pp. 767–790. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-01988-z>
33. Peshchevitskaya E. B. 2021, Palynostratigraphy and paleoenvironments in the Gorodishchi section (Middle Volgian region, Kimmeridgian–Hauterivian). *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], vol. 62, no. 7, pp. 939–966. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/GiG2019174>
34. Vetoshkina O. S., Lyyurov S. V., Bushnev D. A. 2013, Carbon and oxygen isotopes of the upper Jurassic *Saracenaria pravoslavlevi* foraminifera as an indicator of sedimentation conditions. *Vestnik Instituta Geologii Komi NTs UrO RAN* [Vestnik of the Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the RAS], no. 10 (226), pp. 7–11. (In Russ.)
35. Veizer J., Prokoph A. 2015, Temperatures and oxygen isotopic composition of Phanerozoic oceans. *Earth-Science Reviews*, vol. 146, pp. 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.03.008>
36. Rentgarten N. V., Kuznetsova K. I. 1967, Pyroclastic material in the Later Jurassic deposits of the Russian platform. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], vol. 173, no. 6, pp. 1422–1425. (In Russ.)
37. Nikashin K. I., Zorina S. O. 2021, Volcanogenic material in the Upper Jurassic–Lower Cretaceous deposits of the Eastern Russian plate and its sources. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle* [Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences], vol. 21, issue 1, pp. 49–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2021-21-1-49-57>
38. Rampino M. R., Self S., Stothers R. B. 1988, Volcanic winters. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 16, pp. 73–99. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.16.050188.000445>
39. Mutterlose J., Malkoc M., Schouten S., Sinninghe Damsté J. S., Foster A. 2010, TEX₃₆ and stable δ¹⁸O paleothermometry of early Cretaceous sediments: Implications for belemnite ecology and paleotemperature proxy application. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 298, pp. 286–298. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.07.043>
40. Erbacher J., Huber B.T., Norris R. D., Markey M. 2001, Increased thermohaline stratification as a possible cause for an ocean anoxic event in the Cretaceous period. *Nature*, vol. 409, pp. 325–327. <https://doi.org/10.1038/35053041>
41. Prauss M., Riegel W. 1989, Evidence from phytoplankton associations for causes of black shale formation in epicontinental seas. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Monatshefte* Jg., heft 11, pp. 671–682. <https://doi.org/10.1127/njgpm/1989/1989/671>

The article was received on March 10, 2023

Геофизические исследования ареала загрязнения подземных вод в пос. Верх-Нейвинский

Владислав Анатольевич ЩАПОВ*
Анатолий Константинович ЮРКОВ**
Григорий Александрович ЦАЙ***

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

Аннотация

Цель работы. Экология проживания человека предполагает отсутствие любого загрязнения природной среды, и особые требования предъявляются к качеству воздуха и воды. В связи с этим целью исследования является определение источников загрязнения питьевой воды, площади его распространения и глубины заражения трещинного пространства горных пород, а также формирование рекомендаций по способу наиболее быстрой ликвидации загрязнения водного бассейна.

Методы. В ходе работы были выполнены геофизические исследования методом вертикального электрического зондирования побережья Верх-Нейвинского пруда, на территории которого находится заправочная станция АЗС ВНР (Башкирнефтепродукт). Оконтурена площадь загрязнения нефтепродуктами, проведена оценка глубины проникновения нефтепродуктов. Работа выполнена аппаратурой ЭРА-МАХ со штатным комплектом активных электродов. Построены разрезы удельного электрического сопротивления, которые возможно связать с границами площадного и глубинного проникновения нефтепродуктов по зонам трещиноватости.

Результаты. Результаты работ 2021 г., сделанные ранее организацией «Гидроспецгеология» по анализам вод из поверхностных проб, выполненных в 2017 году, подтвердили район загрязнения и позволили оценить глубину и наличие поверхностного и подземного загрязнения.

Выводы. Сравнение ареала загрязнения нефтепродуктами, в частности бензинами, является сложной экологической проблемой и требует длительного времени для ликвидации загрязнения. В большинстве существующей литературы описаны случаи загрязнения нефтепродуктами. Проблема ликвидации загрязнения бензинами более сложная в связи с существенно разными коэффициентами кинематической вязкости нефтей и бензинов, поэтому ареал загрязнения бензинами имеет существенно большую площадь и глубину. Даны рекомендации по наиболее рациональному способу ликвидации загрязнения.

Ключевые слова: вертикальное электрическое зондирование, глубина и площадь загрязнения подземных вод нефтепродуктами.

Введение

Прошло шесть лет с момента, когда в воде частных скважин и колодцев пос. Верх-Нейвинский, по словам местных жителей, стал чувствоваться резкий запах бензина и ацетона. Со временем количество загрязненных колодцев и скважин по площади распространения приобрело масштабный характер. Рыбу в водоеме невозможно использовать в пищу, резкий запах бензинов не позволяет заниматься рыбной ловлей. Вопросам возможного ущерба здоровью человека посвящено достаточное количество статей и патентов [1–4]. Ликвидировать последствия загрязнения трещинно-порового пространства часто удается только откачкой нефтепродуктов из специально пробуренных скважин. Период и способы исправления такого вреда, нанесенного человеком, достигают десятков лет [5–11].

В гидрогеологическом отношении в рассматриваемом районе развиты трещинные и трещинно-жильные

подземные воды, приуроченные к зонам экзогенной трещиноватости и локальных тектонических нарушений в интрузивных образованиях палеозойского возраста (граниты–гранодиориты).

С поверхности они перекрыты маломощными песчано-глинистыми мезозойскими корами выветривания и четвертичными делювиально-пролювиальными отложениями суммарной мощностью до 0,5–3,0 м. Подземные воды преимущественно безнапорные, реже субнапорные. Уровни, в зависимости от рельефа, залегают на глубине от 0,3–0,5 м до 45 м. Рельеф местности отличается приблизительно на такую же величину, т. е. уровень грунтовых вод в скважинах, расположенных выше по рельефу, находится на большей глубине от поверхности [12].

Питание подземных вод сезонное, за счет инфильтрации атмосферных осадков преимущественно в теплый период года. Разгрузка подземных вод происходит за счет

✉ vlad-shchapov@yandex.ru

**akyurkov@mail.ru

***tsai.grigory@gmail.com

подземного стока в акваторию Верх-Нейвинского пруда. Водообильность зон экзогенной трещиноватости крайне неравномерна по площади развития из-за фильтрационной анизотропии подземного стока и связана неравномерной трещиноватостью образований коренных пород. Тектонические движения, секущие позднепалеозойские дайки, и современные тектонические движения создают условия для локализации подземного потока трещино-жильных вод в зоне выветривания гранитов и гранодиоритов. В пределах исследованной площади водосбора существует гидродинамически сложно построенный поток подземных вод, приуроченный как к верхней трещиноватой зоне, так и к локальным высокопроницаемым зонам тектонических нарушений.

Высокая трещиноватость, малая величина песчано-глинистых мезозойских кор выветривания и четвертичных делювиально-пролювиальных отложений относятся к недостаточно защищенным от факторов поверхностного загрязнения.

Основным, вероятным источником загрязнения стали утечки из резервуаров на АЗС ВNP (Башкирнефтепродукт), расположенной на данной территории [13], рис. 1.

Работы 2021 г. В 2021 г. для понимания изменения распространения ареала загрязнения были проведены работы методом электроразведки по 4 профилям, расположенным ниже и выше по рельефу заправочной станции ВNP (рис. 2).

Методы электроразведки основаны на измерениях кажущегося сопротивления слоев горных пород, слагающих геологический разрез. Электрическое сопротивление горных пород определяется составом породы, ее пористостью, трещиноватостью и флюидонасыщенностью.

Верх-Нейвинский массив располагается на стыке Тагильского мегасинклинория и Восточно-Уральского поднятия в зоне Серовско-Маукского глубинного разлома. В его строении участвуют два комплекса: дунит-гарцбургитовый (O3-S1), слагающий внутренние части массива, и дунит-клинопироксенит-габбровый (S2-D2), расположенный на периферии [12].

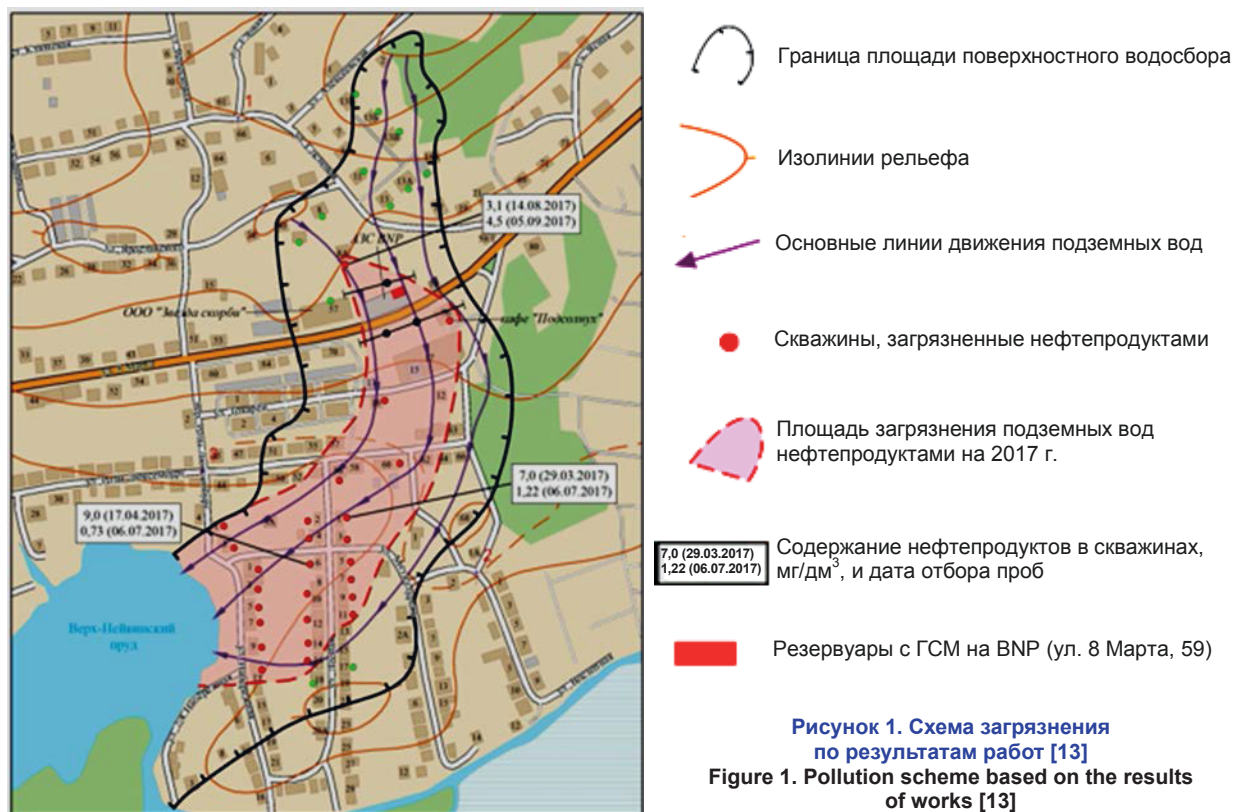
Интрузивные горные породы обладают высоким удельным электрическим сопротивлением около 3000 Ом · м, но часто хорошо расланцованы и в верхней части разреза имеют развитую кору выветривания.

Четвертичные отложения, перекрывающие интрузивные породы, развитые по пониженным областям рельефа, представлены суглинками, супесями и песками с удельным электрическим сопротивлением (УЭС) от 50 до 3000 Ом · м.

Удельное электрическое сопротивление различных сортов бензинов имеет порядок 10^{10} Ом · м. Нефтепродукты являются плохо проводящими жидкостями, поэтому при их попадании в трещинное пространство горной породы электрическое сопротивление существенно увеличивается. Следовательно, зона загрязнения может отмечаться более высокими значениями удельных сопротивлений по сравнению с фоновыми значениями вмещающих пород.

При проведении геофизических исследований было проведено вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) по 8 пикетам по профилю № 47-53 вдоль улицы 8 Марта от д. 70 (ПК53) до д. 76 (ПК46), а также несколько пикетов по улицам Ярославского (д. 38) – Калинина.

Методы, аппаратура и методика съемки 2021 г. Методы электроразведки основаны на измерениях кажущегося сопротивления слоев горных пород, слагающих геологический разрез.



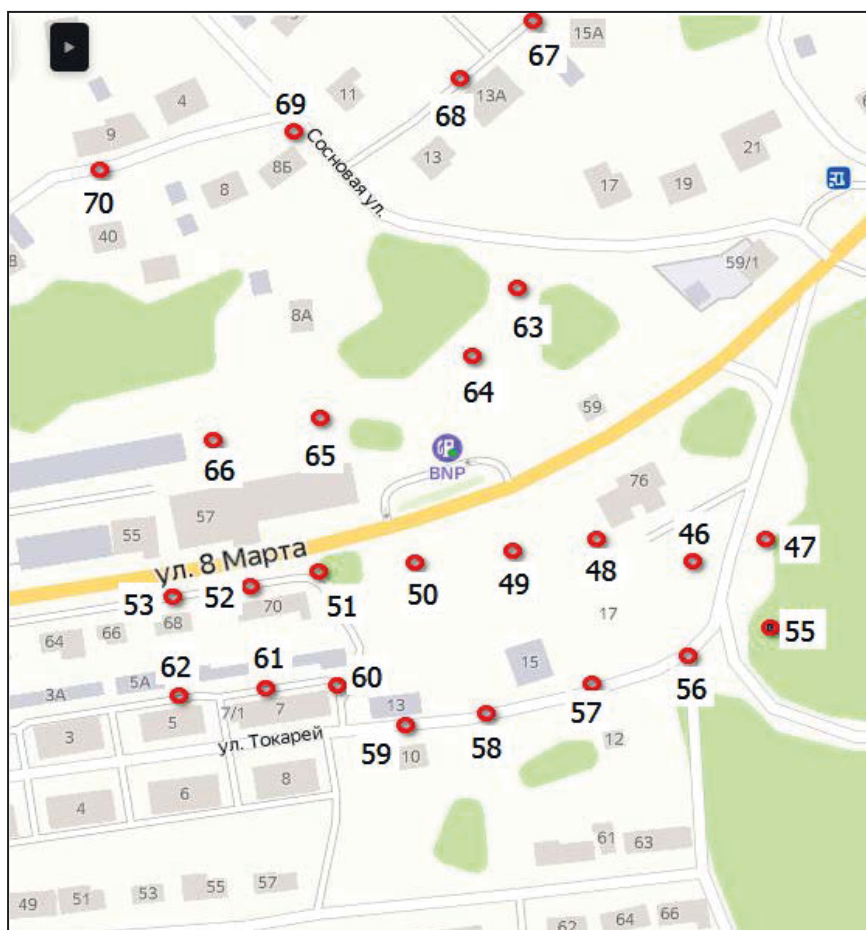


Рисунок 2. Расположение пикетов зондирования и их номера
Figure 2. Location of sounding pickets and their number

щегося сопротивления слоев горных пород, слагающих геологический разрез, и последующей интерпретации. Электрическое сопротивление горных пород определяется составом породы, ее трещиноватостью и флюидонасыщенностью.

Была применена дипольная осевая установка с размерами приемной линии $MN = 0,5; 1$ м и питающего диполя с размерами 0,5 и 2,5 м. Расстояния между центрами диполей составляли 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 15, 20, 30 м. Приемные электроды – штатные активные из комплекта аппаратуры ЭРА МАКС. Частота измерения 625 Гц. Точка измерения отнесена к ближнему питающему электроду от приемного диполя.

Измеренные значения отнесены к глубине в 1/3 от разнаса питающего диполя АВ.

Результаты работ

Было проведено вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) по 4 профилям. По 8 пикетам профиля № 47-53 вдоль улицы 8 Марта от д. 70 (ПК53) до д. 76 (ПК46), по 8 пикетам профиля 55-62 вдоль улицы Токарей. Профиль, расположенный выше АЗС с пикетами 63-66, а также 4 пикета по улице Сосновая, Ярославского (д. 38) – Калинина (д. 19). Взаимное расположение профилей и номера пикетов показаны на рис. 2.

Данные измерений и интерпретация. Два профиля измерений расположены ниже по рельефу от АЗС и два выше. Это связано с теми жалобами населения, где в

скважинах, пробуренных для питьевой воды, ощущается резкий запах бензина и вода непригодна даже для хозяйственных нужд.

На рис. 3 приведен разрез кажущегося электрического сопротивления по профилю, расположенному ниже АЗС. Левая часть разреза представлена песками и супесями со средними значениями УЭС = 440 Ом · м. В средней и правой частях разреза выделяются аномальные зоны с высокими значениями удельного электрического сопротивления ПК50, 49, 48. В этом месте, по словам местных жителей, мальчишки выкапывали ямки, ждали, когда они наполнятся бензином, и поджигали его. Такие аномальные зоны свидетельствуют о трещиноватых горных породах, насыщенных бензинами, и соответственно выделяются повышенным значением УЭС.

Результаты измеренных значений (верхняя часть рис. 3) и интерпретация. На рис. 3 приведен в верхней части разрез кажущегося электрического сопротивления, в нижней части – результаты интерпретации. Левая часть разреза (зеленые оттенки) представлена песками и супесями со средними значениями УЭС = 430 Ом · м. Правая часть разреза представлена скальными горными породами с большим значениями УЭС. Пикеты 50, 49, 48 выделяются аномальными значениями УЭС от 2000 до 4000 Ом · м. Такие аномальные зоны свидетельствуют о песках, насыщенных бензинами.

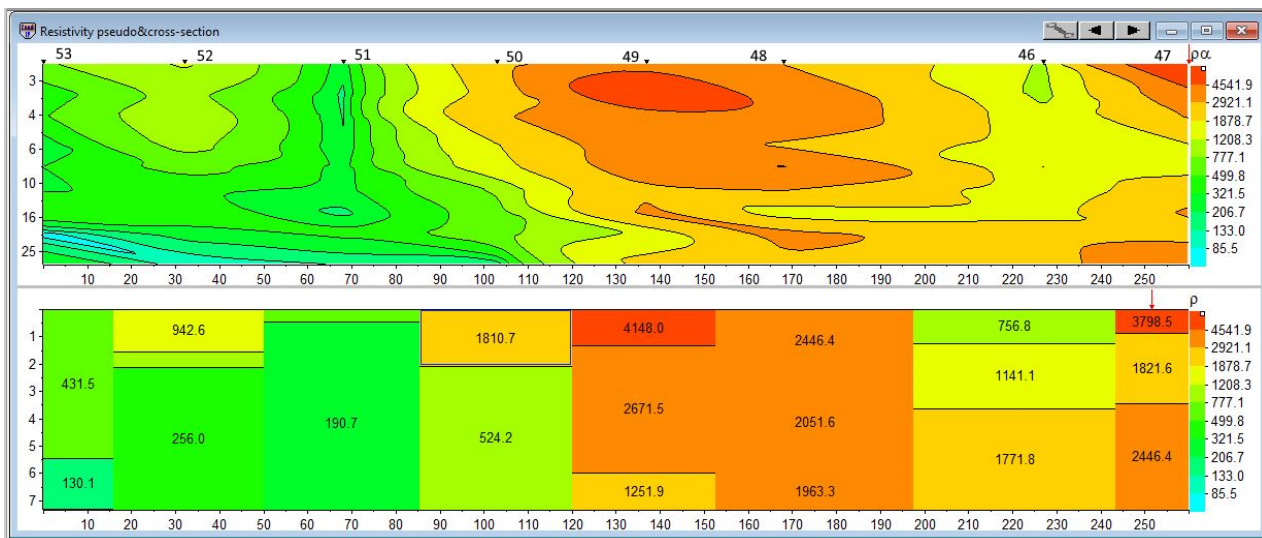


Рисунок 3. Профиль ПК53–ПК47, максимально близко расположенный к АЗС ниже по рельефу
 Figure 3. Profile PK53–PK47, located as close as possible to the gas station down the relief

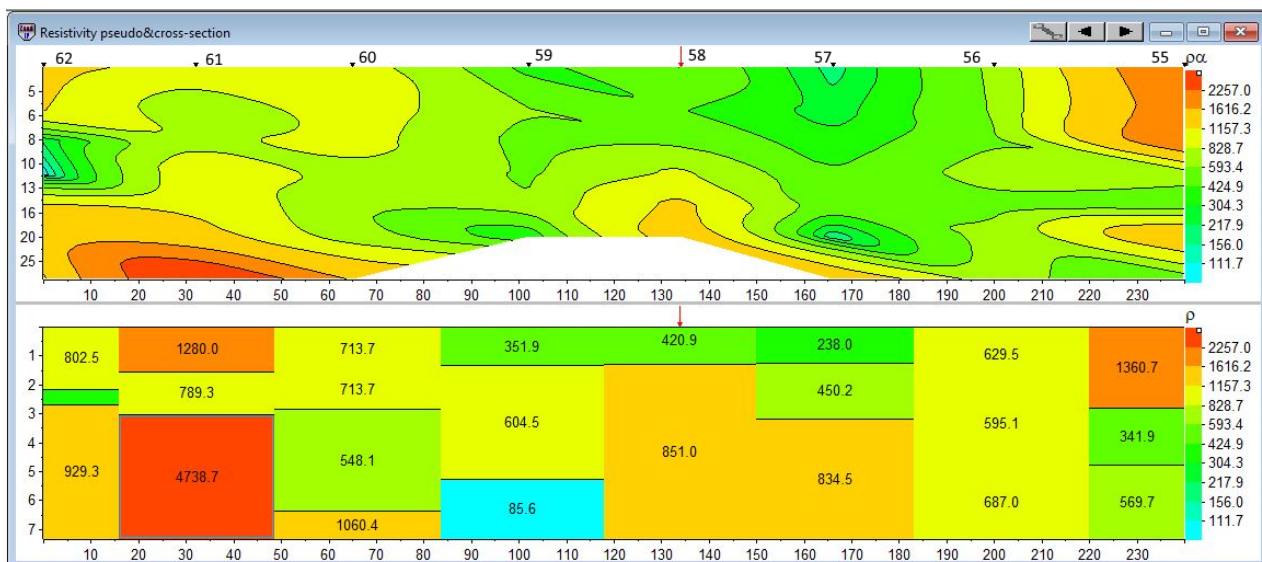


Рисунок 4. Профиль 2. ПК62–55. Расположен ниже по рельефу, чем первый
 Figure 4. Profile 2. PK62–55. Located lower in relief than the first

На рис. 4 показаны результаты измерений и интерпретации по профилю пикетов 62-55. Явных увеличенных значений УЭС, которые могли бы быть связаны с насыщением бензинами, нет. Период времени (6 лет) все-таки привел к промывке песков весенним и летним поверхностным стоком воды.

На рис. 5 показаны результаты измерений и интерпретации по профилю пикетов 66-63. Явных увеличенных значений УЭС на Пк66-65, которые могли бы быть связаны с насыщением бензинами, нет, но повышенные значения УЭС Пк 64, Пк63 связаны с загрязнением бензинами. Этот факт дополнительно подтвержден в разговорах с хозяевами близлежащих домов.

На рис. 6 показаны значения УЭС по самому верхнему профилю Пк 70-67. Значения УЭС ПК69 достигают 5109 Ом · м, что существенно выше значений для пород массива. При расспросах хозяина дома 69 по ул. Сосновой

выяснилось, что вода в скважине непригодна даже для хозяйственных целей.

Такие же жалобы прозвучали и в разговоре с хозяевами дома 15А (Пк67).

Методика исследований позволила провести вертикальное электрическое зондирование до глубины 10 м. На разрезах видно, что выделяются аномальные значения и на глубинах до 5 м, что может свидетельствовать о проникновении загрязнения нефтепродуктами на такую глубину, поскольку бензины легче воды на 0,25–0,3 г/см³ и вытесняются на поверхность.

На рис. 7 на Яндекс Карту нанесена линия преобладающего направления стока вод, поверхностного и подземного.

На направление распространения загрязнения влияют два фактора: поверхностный сток и подземный сток. Поверхностный сток метеогенных вод направлен по ре-

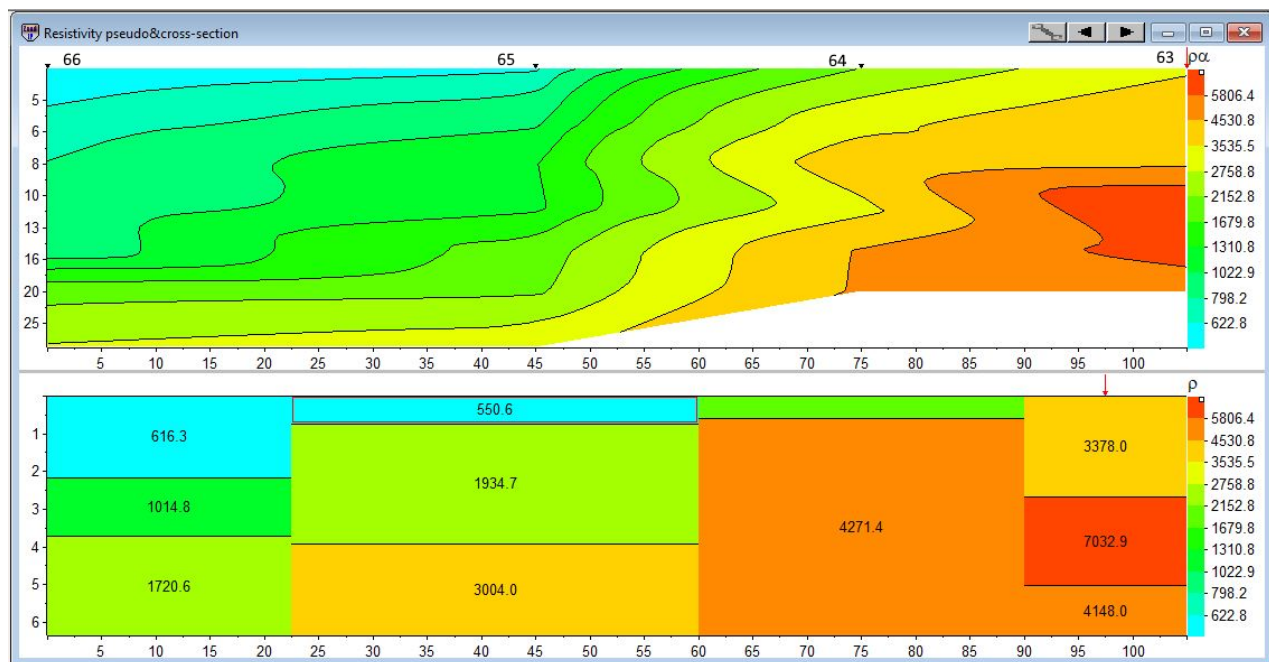


Рисунок 5. Профиль 3. ПК66–63. Расположен выше АЗС. Повышенные значения УЭС на ПК64–63 связаны с корой выветривания скальных пород

Figure 5. Profile 3. PK66–63. Located above the gas station. Increased resistivity values at PK64–63 are associated with the weathering crust of rocks

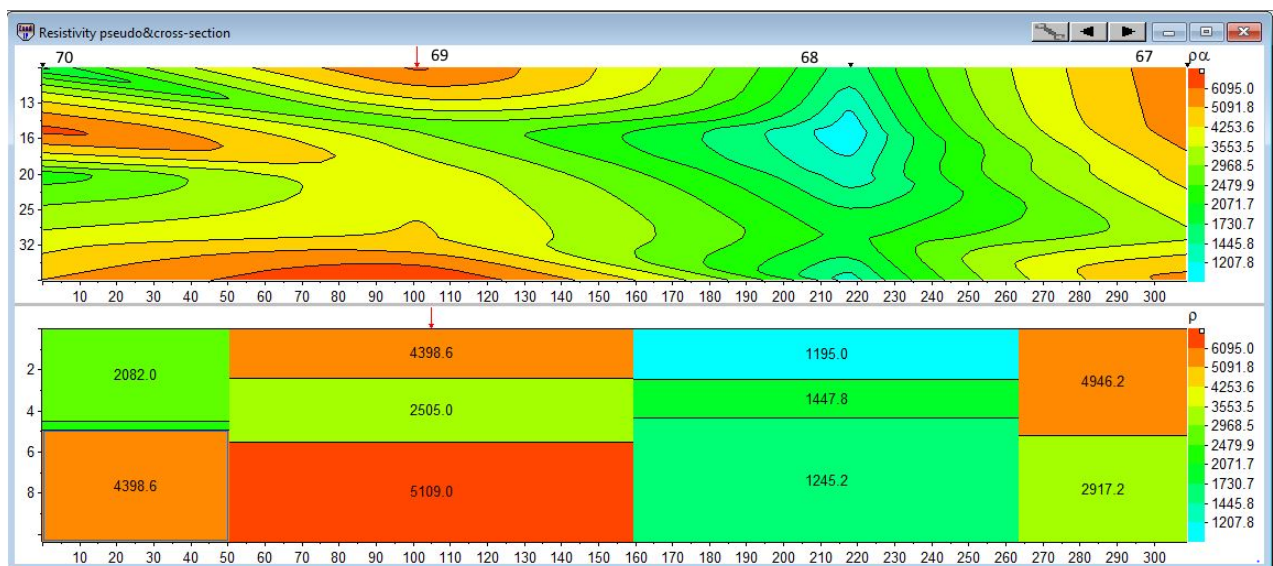


Рисунок 6. Профиль 4. Пикеты 70, 69, 67 по улицам Сосновая, Ярославского (д. 38) – Калинина (д. 19)

Figure 6. Profile 4. Pickets 70, 69, 67 along the streets of Sosnovaya, Yaroslavskaya (house 38) – Kalinin (house 19)

льефу в Верх-Нейвинский пруд, а подземный сток движется по падению трещиноватости горных пород, что и показано на рис. 8.

Из рис. 8 следует, что поверхностный и подземный стоки направлены практически в противоположные стороны, чем и объясняется наличие загрязнения в скважинах на индивидуальных участках, расположенных существенно выше автозаправочной станции по рельефу. Проблема ликвидации загрязнения бензинами более сложная в связи с существенно разными коэффициентами кинематической вязкости нефти и бензинов, поэтому

ареал загрязнения бензинами имеет существенно большую площадь и глубину [14].

Выводы и заключение

Выполненные геофизические работы показывают глубину и площадь загрязнения бензинами, а вероятнее всего – газоконденсатным топливом (судя по химическим анализам проб). Борьба с этой экологической катастрофой предстоит не один десяток лет. Однозначно связывать увеличение УЭС с насыщением бензинами трещинного пространства возможно, но с учетом рассмотрения геологии участка, рельефа и на-

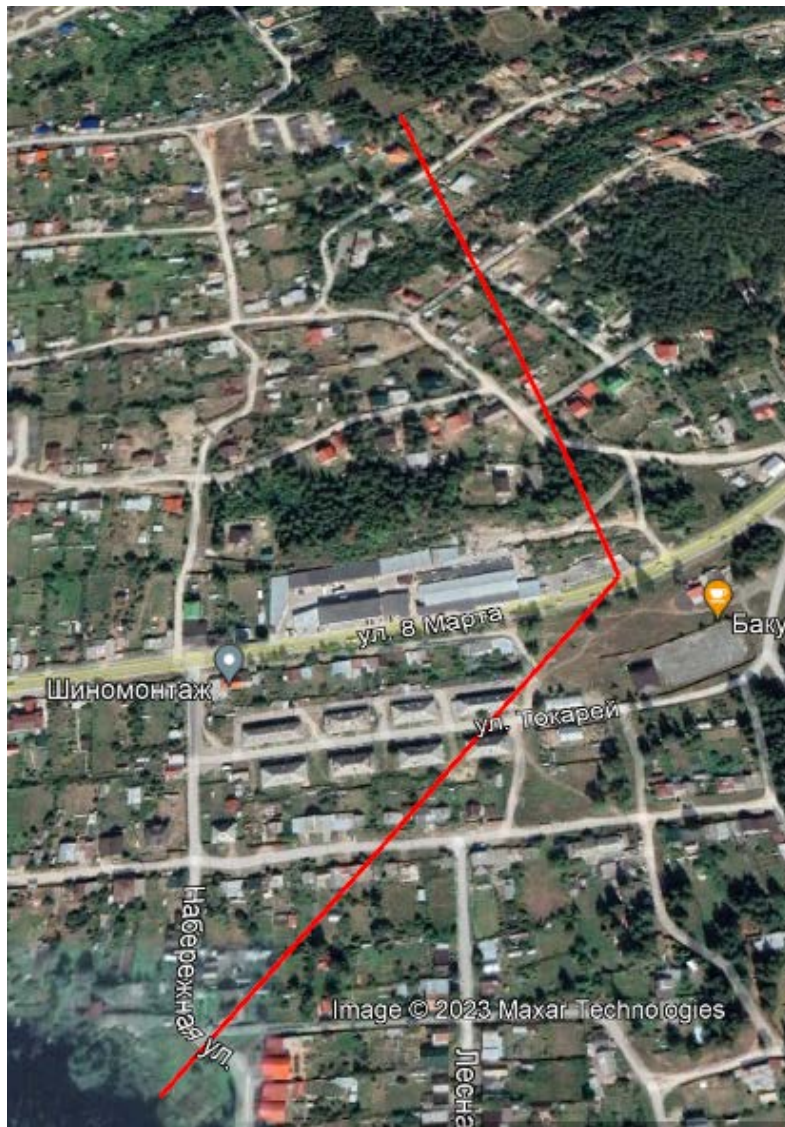


Рисунок 7. Расположение профиля измерений, где находились середины профилей, отраженное на Яндекс Картах
Figure 7. Location of the measurement profile, where the middles of the profiles were, on Yandex Maps

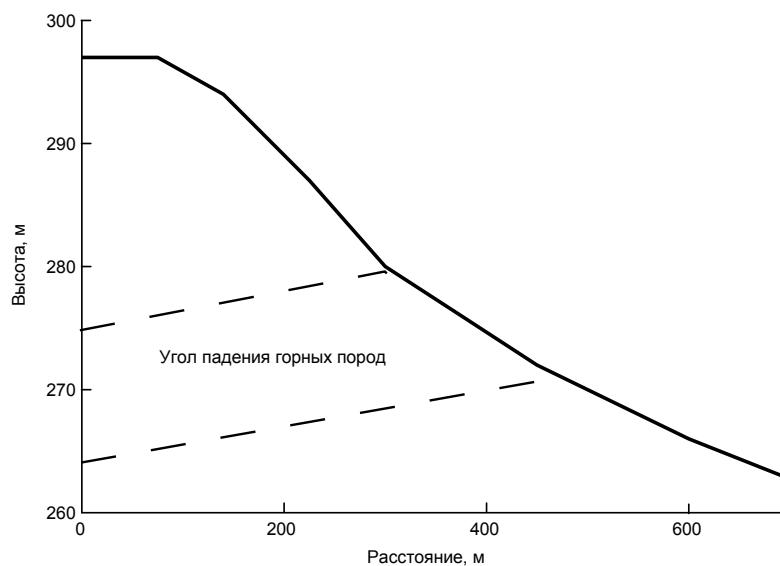


Рисунок 8. Рельеф и угол падения трещиноватости по профилю ПК67–АЗС BNP–ПК59. Уменьшение высоты рельефа 298–262 м, максимальный уклон 18,6–15,4 %

Figure 8. Relief and dipping angle of fracture along the PK67–AZS BNP–PK59 profile. Decrease in elevation 298–262 m, maximum slope 18.6–15.4%

правления трещиноватости горных пород. Наиболее предпочтительный способ ликвидации загрязнения – это бурение специальных откачных скважин и систематическая откачка нефтепродуктов. Другие спосо-

бы ликвидации загрязнения, такие как специальные реагенты, торфяные смеси [3, 4], биосорбенты [15] просто неприменимы, так как речь идет о трещинном пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белякова Т. М., Дианова Т. М., Трефилова Н. Я. Геоэкологическое изучение ландшафтов бассейна реки Урал в связи с заболеваемостью населения раком // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2006. № 1 (1). С. 183–191.
2. Пат. 2361041 Рос. Федерация, МПК Е 02 D 31/00. Способ защиты почв и грунтовых вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами / Бреус И. П., Бреус В. А., Неклюдов С. А.; заявитель и патентообладатель Казан. гос. ун-т. № 2007132417/03; заявл. 17.08.07; опубл. 27.02.09, Бюл. № 6.
3. Пат. 2247195 Рос. Федерация, МПК Е 03 В 3/06, Е 21 В 43/00. Способ очистки подземных питьевых вод при добыче нефти / Калмыков Г. И., Галимов Т. Х., Нугаев Р. Я., Байтурина Г. Р. (ныне Мустафина Г. Р.) и др. № 2003127418/03; заявл. 09.09.03; опубл. 27.02.05. Бюл. № 6.
4. Пат. 2107129. Рос. Федерация, МПК Способ ликвидации загрязнения подземных вод / Бикбулатов И. Х., Айдашов Н. Ф., Шаяхметов Ш. К., Бикбулатов И. И. № 96117065/03; заявл. 20.08.96; опубл. 20.03.98.
5. Башкин В. Н., Галиулин Р. В., Галиулина Р. А. Аварийные разливы углеводородов в водную среду: проблемы и пути их решения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 11. С. 4–7.
6. Белик Е. С., Злобина К. А. Исследование возможности использования отходов производства в качестве биосорбента // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 3. С. 62–76.
7. Белик Е. С. Оценка эффективности применения биосорбента в технологии биологической очистки воды и почвы от нефтепродуктов // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 4. С. 104–114. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2017.04.08>
8. Allam A., Tawfik A., El-Saadi A., Negm A. Potentials of using duckweed (*Lemna gibba*) for treatment of drainage water for reuse in irrigation purposes // Desalination and Water Treatment. 2016. Vol. 57. No. 1. P. 459–467. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.966760>
9. Alpha N. E., Barminas J. T., Osemeahon S. A. Modification, characterization and use of *Imperata cylindrical* (Toofa) fibre as oil sorbent // Chemical Science International Journal. 2017. Vol. 21. No. 3. P. 1–10. Article number CSIJ.39420. <https://doi.org/10.9734/CSIJ/2017/39420>
10. Al-Saad H. T., Al-Ali B. S., Al-Anber L. J., Al-Khion D. D., Hantoush A. A., Saleh S. M., Alaial A. H. Total petroleum hydrocarbon in selected fish of Shatt Al-Arab river, Iraq // International Journal of Marine Science. 2017. Vol. 7. No. 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.5376/ijms.2017.07.0001>
11. Ángeles M.-T., Refugio R.-V. In situ biosurfactant production and hydrocarbon removal by *Pseudomonas putida* CB-100 in bioaugmented and biostimulated oil-contaminated soil // Brazilian Journal of Microbiology. 2013. Vol. 44. No. 2. P. 595–605. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822013000200040>
12. Геология СССР. Т. 12. Урал. Ч. 1. Геологическое описание / ред. И. И. Горский, Е. А. Кузнецов, Д. В. Наливкин. Л.: М., 1944. 688 с.
13. О возможных причинах загрязнения источников водоснабжения в п. Верх-Нейвинский Свердловской области: гидрогеологическое заключение № УРЦ-СВУ-15/17 / Гидроспецгеология. С. В. Спектор. 2017.
14. Справочник нефтехимика. В 2 т. Т. 1 / под ред. С. К. Огородникова. Л.: Химия, 1978. 496 с.
15. Артюх Е. А., Мазур А. С., Украинцева Т. В., Костюк Л. В. Перспективы применения биосорбентов для очистки водоемов при ликвидации аварийных разливов нефти // Известия СПбГТИ (ТУ). 2014. № 26. С. 58–66.

Статья поступила в редакцию 16 апреля 2023 года

Geophysical studies of the area of groundwater pollution in Verkh-Neyvinsky village

Vladislav Anatol'evich SHCHAPOV*
Anatoliy Konstantinovich YURKOV**
Grigoriy Aleksandrovich TSAY***

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

Abstract

The purpose of the research. The ecology of human habitation implies the absence of any pollution of the natural environment and special requirements are imposed on the quality of air and water. In this regard, the purpose of the research is to determine the sources of pollution of drinking water, the area of its distribution and the depth of contamination of the fracture space of rocks, as well as to give recommendations on how to more quickly eliminate pollution of the water basin.

Methodology. In the course of the research, geophysical studies were carried out using the method of vertical electrical sounding of the coast of the Verkh-Neyvinsky pond, on the territory of which there is a gas station of BNP (Bashkirnefteprodukt). The area of contamination with oil products was outlined, and the depth of penetration of oil products was assessed. The work was performed using the ERA-MAX equipment with a standard set of active electrodes. Sections of electrical resistivity were constructed, which can be associated with the boundaries of the area and deep penetration of oil products along the fracture zones.

Results. The results of the 2021 work confirmed the area of contamination previously made by the Gidrospetsgeologiya organization based on water analyzes from surface samples performed in 2017, and made it possible to assess the depth and presence of surface and underground pollution.

Conclusions. Comparison of the area of pollution by oil products, in particular gasoline, is a complex environmental problem and requires a long time to eliminate pollution. Most of the existing literature describes cases of oil pollution. The problem of gasoline pollution elimination is more complicated due to significantly different coefficients of kinematic viscosity of oils and gasolines; therefore, the gasoline pollution area has a significantly larger size and depth. Recommendations are given for a more rational way to eliminate pollution.

Keywords: vertical electrical sounding, depth and area of groundwater pollution by oil products.

REFERENCES

1. Belyakova T. M., Dianova T. M., Trefilova N. Ya. 2006, Geoecological study of the landscapes of the Ural River basin in connection with the incidence of cancer in the population. *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoy ekologii* [Problems of biogeochemistry and geochemical ecology], no. 1 (1), pp. 183–191. (In Russ.)
2. Breus I. P., Breus V. A., Neklyudov S. A. A method for protecting soils and groundwater from pollution by oil and oil products. Pat. 2361041 Russian Federation, IPC E 02 D 31/00. Applicant and patent holder Kazan state university no. 2007132417/03; applied 17.08.07; published 27.02.09, bul. no. 6. (In Russ.)
3. Kalmykov G. I., Galimov T. Kh., Nugaev R. Ya., Baiturina G. R. (now Mustafina G. R.) [et. al]. Method for purification of underground drinking water during oil production. Pat. 2247195 Russian Federation, IPC E 03 B 3/06, E 21 B 43/00, no. 2003127418/03; applied 09.09.03; published 27.02.05, bul. no. 6. (In Russ.)
4. Bikbulatov I. Kh., Aidashov N. F., Shayakhmetov Sh. K., Bikbulatov I. I. Method for elimination of groundwater pollution. Pat. 2107129 Russian Federation, IPC E 03 B 3/06, no. 96117065/03, applied 20.08.96; published 20.03.98. (In Russ.)
5. Bashkin V. N., Galiulin R. V., Galiulina R. A. 2020, Accidental spills of hydrocarbons into the water environment: problems and ways to solve them. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas industry], no. 11, pp. 4–7. (In Russ.)
6. Belik E. S., Zlobina K. A. 2016, Study of the possibility of using production waste as a biosorbent. *Vestnik PNEPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [Bulletin of PNRPU. Applied Ecology. Urbanistics], no. 3, pp. 62–76. (In Russ.)
7. Belik Ye. S. 2017, Evaluation of the effectiveness of the use of biosorbent in the technology of biological purification of water and soil from oil products. *Vestnik PNEPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [Bulletin of PNRPU. Applied Ecology. Urbanistics], no. 4, pp. 104–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2017.04.08>
8. Allam A., Tawfik A., El-Saadi A., Negm A. 2016, Potentials of using duckweed (*Lemna gibba*) for treatment of drainage water for reuse in irrigation purposes. *Desalination and Water Treatment*, vol. 57, no. 1, pp. 459–467. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.966760>
9. Alpha N. E., Barminas J. T., Osemeahon S. A. 2017, Modification, characterization and use of Imperata cylindrical (Toofa) fibre as oil sorbent. *Chemical Science International Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 1–10. Article number CSIJ.39420. <https://doi.org/10.9734/CSIJ/2017/39420>

✉ vlad-shchapov@yandex.ru

**akyurkov@mail.ru

****sai.grigory@gmail.com

10. Al-Saad H. T., Al-Ali B. S., Al-Anber L. J., Al-Khion D. D., Hantoush A. A., Saleh S. M., Alaial A. H. 2017, Total petroleum hydrocarbon in selected fish of Shatt Al-Arab river, Iraq. *International Journal of Marine Science*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7. <https://doi.org/10.5376/ijms.2017.07.0001>
11. Ángeles M. T., Refugio R. V. 2013, In situ biosurfactant production and hydrocarbon removal by *Pseudomonas putida* CB-100 in bioaugmented and biostimulated oil-contaminated soil. *Brazilian Journal of Microbiology*, vol. 44, no. 2, pp. 595–605. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822013000200040>
12. Gorsky I. I., Kuznetsov E. A., Nalivkin D. V. 1944, Geology of the USSR, vol. 12. Ural, part 1. Geological description. Leningrad, Moscow, 688 p. (*In Russ.*)
13. Spector S. V. 2017, On the possible causes of pollution of water supply sources in the village of Verkh-Neyvinsky, Sverdlovsk Region: hydrogeological conclusion no. URTs-SVU-15/17. Hydrospecial geology. (*In Russ.*)
14. Ogorodnikova S. K. 1978, Petrochemist's Handbook, vol. 1. Leningrad, 496 p. (*In Russ.*)
15. Artyukh E. A., Mazur A. S., Ukraintseva T. V., Kostyuk L. V. 2014, Prospects for the use of biosorbents for cleaning water bodies during oil spill response. *Izvestiya SPbGTI* [News of the Saint Petersburg State Technological Institute (Technical University)], no. 26, pp. 58–66. (*In Russ.*)

The article was received on April 16, 2023

Распределение содержаний платины в хромитовом и дунитовом типах руд Нижнетагильского массива (Средний Урал)

Геннадий Петрович ДВОРНИК*

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

Аннотация

Актуальность работы обусловлена важным промышленным значением коренных и россыпных платиновых месторождений в базит-гипербазитовых комплексах.

Цель работы заключается в изучении особенностей распределения концентраций платины в основных типах руд (хромитовом и дунитовом) Нижнетагильского массива.

Методика исследований включала выделение промышленных типов руд для оценки качества платинового оруденения, использование вероятностно-статистической, геометро-статистической и геостатистической моделей для характеристики амплитудной и частотной изменчивости в распределении содержаний платины в рудах Нижнетагильского массива.

Результаты исследований. В хромитовых рудах Нижнетагильского массива содержания платины варьируют в широких пределах при преобладании среди них богатых и рядовых руд и крайне неравномерном распределении концентраций платины и других элементов платиновой группы (палладия, родия, иридия, осмия, рутения) в рудах. В отличие от руд хромитового типа, в распределении содержаний платины в дунитовых рудах массива в пределах разведанного Александровского участка среди промышленных типов руд преобладают более низкие по качеству бедные и убогие руды, при амплитудной изменчивости концентраций платины в рудах по данным их рядового опробования в шурфах – от неравномерной до крайне неравномерной, а при валовом опробовании более глубоких выработок (полушахт и шахт) – от равномерной до весьма неравномерной. Наибольшей частотной изменчивостью в распределении концентраций платины в рудах дунитового типа выделяются руды, распространенные в северной части Александровского участка, отличающиеся и более низким качеством. Современный уровень развития технологий обогащения платиносодержащих хромитовых и дунитовых типов руд позволяет рассматривать их в качестве перспективных для совместной переработки.

Ключевые слова: Нижнетагильский массив, дуниты, хромитовый и дунитовый типы руд, содержания платины, распределение.

Введение

Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив на Среднем Урале с известными коренными и россыпными месторождениями платины уже более 100 лет привлекает внимание исследователей [1–4]. Этот массив и другие аналогичные по составу массивы Уральского платиноносного пояса (Денежкин камень, Кытлымский, Каменушинский, Вересовоборский, Светлоборский и др.) являются коренными источниками четырех узлов россыпной платиноносности (Южно-Заозерского, Кытлымского, Исковского и Нижнетагильского), в пределах которых было добыто более 517 т шлиховой платины [5]. В последние три десятилетия были открыты коренные и россыпные платиновые месторождения в других концентрически-зональных базит-гипербазитовых комплексах Корьяско-Камчатского региона в России [6, 7], Британской Колумбии в Канаде [8, 9], Юго-Восточной Аляске в США [10, 11]. А в пределах Уральского платиноносного пояса была проведена переоценка минерально-сырьевого потенциала слагающих его дунит-клинопироксенитовых массивов [5, 12–15].

Контакты Нижнетагильского массива, занимающего площадь около 48 км² с вмещающими метаморфизованными ордовикскими и силурийскими породами основного состава на западе, севере и юге, тектонические. На востоке он отделен узкой полосой аподолеритовых амфиболитов и пироксен-амфиболовых роговиков (кытлымитов) от существенно габбрового Тагило-Баранчинского массива. Центральная часть Нижнетагильского массива площадью около 28 км² сложена дунитами, окруженными каймой верлитов и оливиновых клинопироксенитов шириной от 60 до 200 м (рис. 1). Тонкозернистые дуниты массива (протодуниты) после их кристаллизации испытали постмагматическую перекристаллизацию и перераспределение вещества при воздействии на них остаточных флюидов [16]. В результате этого процесса в пределах массива сформировались перекристаллизованные мелкозернистые, среднезернистые, крупнозернистые дуниты и дунит-пегматиты с последующей кристаллизацией при температуре 800–500 С° эпигенетических платино-хромитов.

*gpdvornik@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9013-2223>

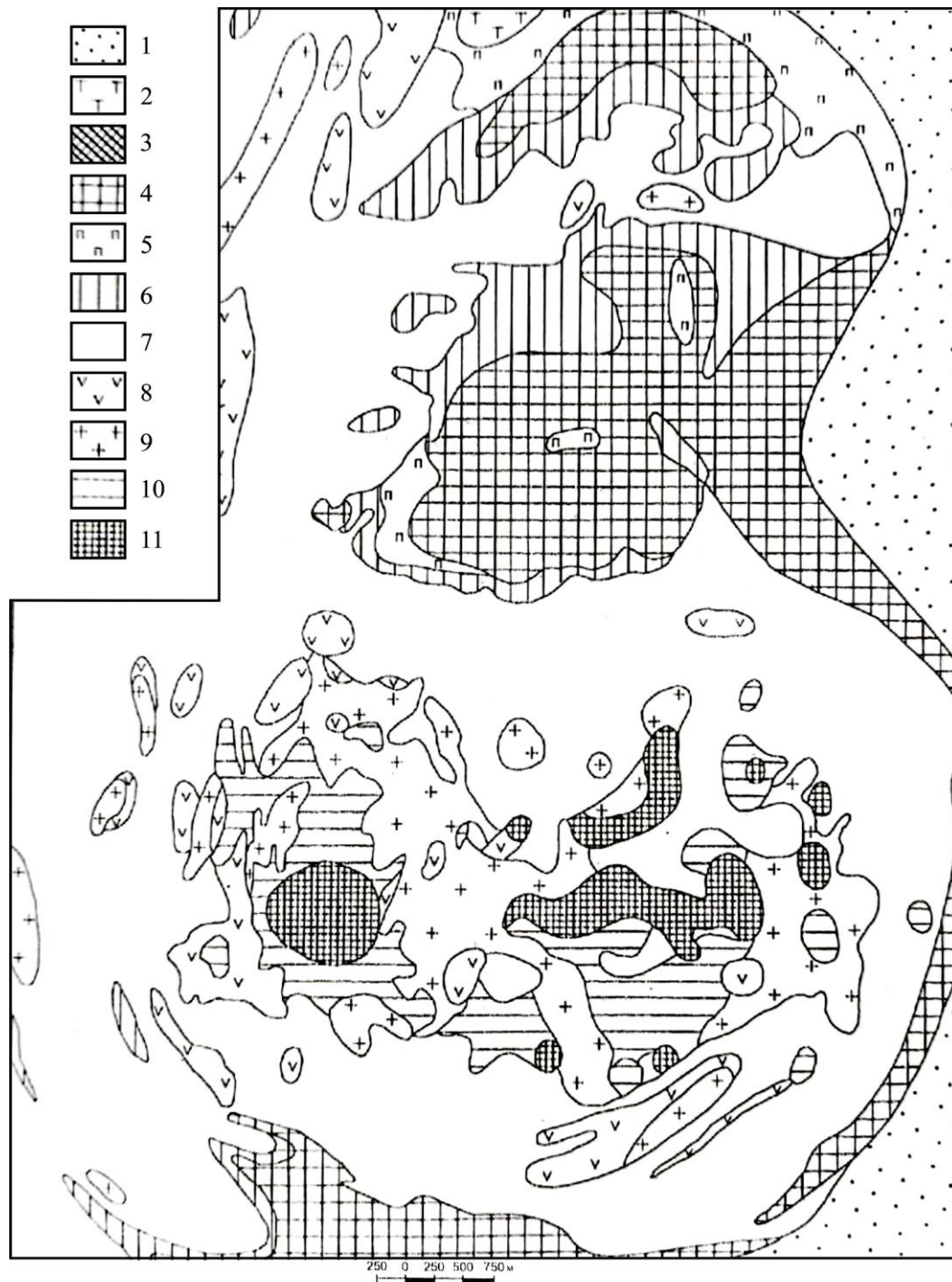


Рисунок 1. Схематическая геологическая карта Нижнетагильского массива [12]: 1 – пироксен-амфиболовые роговики; 2 – тылаиты; 3 – клинопироксениты милонитизированные; 4 – клинопироксениты мелкозернистые; 5 – клинопироксениты среднезернистые; 6 – верлиты серпентинизированные; 7–11 – дуниты: 7 – разнозернистые; 8 – тонкозернистые; 9 – мелкозернистые; 10 – среднезернистые; 11 – крупнозернистые

Figure 1. Schematic geological map Nizhny Tagil massif [12]: 1 – pyroxene-amfibole hornfels; 2 – tilaite; 3 – clinopyroxenites milonites; 4 – clinopyroxenites finely granular; 5 – clinopyroxenites middle granular; 6 – verlite serpentinous; 7–11 – dunites: 7 – differently granular; 8 – thinly granular; 9 – finely granular; 10 – middle granular; 11 – large granular

товых руд. Перекристаллизованные дуниты отличаются от протодунитов более крупными размерами зерен оливина и хромшпинелида. По данным О. К. Иванова [16], проводившего картирование дунитов Нижнетагильского массива, мелкозернистые дуниты имеют размер зерен хромшпинелида 0,2–0,5 мм, среднезернистые дуниты – 0,2–2,0 мм, крупнозернистые дуниты – 2–5 мм. На площади массива тонкозернистые дуниты образуют несколько

небольших участков в его центральной и северо-западной частях. Мелкозернистые дуниты широко распространены как в центральной части, так и по периферии дунитового ядра. Среднезернистые и крупнозернистые дуниты пространственно тяготеют к центральной и южной частям массива (рис. 1). Все разновидности дунитов массива в различной степени серпентинизированы (табл. 1) вплоть до образования серпентинитов. Платиновое оруденение

Таблица 1. Средний химический состав пород Нижнетагильского массива [16] (с дополнениями автора), мас. %
Table 1. Average chemical composition rocks of the Nizhny Tagil massif [16] (with some additions of the author), wt. %

Компоненты	Породы Нижнетагильского массива							
	1 (19)	2 (17)	3 (8)	4 (8)	5 (2)	6 (2)	7 (2)	8 (5)
SiO ₂	36,21	35,68	35,21	36,12	35,47	45,63	49,35	44,26
TiO ₂	0,02	0,02	0,01	< 0,01	0,02	0,11	0,17	0,54
Al ₂ O ₃	0,27	0,42	0,21	0,23	0,28	0,72	1,43	3,56
Cr ₂ O ₃	0,43	0,51	0,38	0,75	0,54	0,26	0,15	0,18
Fe ₂ O ₃	4,13	3,51	3,48	3,46	3,35	4,26	1,98	5,26
FeO	2,25	4,65	3,98	3,83	4,19	2,97	4,30	8,73
MnO	0,14	0,15	0,13	0,11	0,13	0,13	0,11	0,11
MgO	42,90	42,82	43,43	44,06	43,94	28,32	21,38	18,87
CaO	0,37	0,35	0,30	0,30	0,37	11,78	17,86	17,49
Na ₂ O	0,07	0,08	0,10	0,07	0,10	0,16	0,19	0,30
K ₂ O	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,04	0,05	0,11
H ₂ O	10,93	11,28	13,17	11,09	11,91	6,49	2,39	0,95
CO ₂	0,47	0,58	0,63	0,51	0,52	0,19	0,55	0,69
Сумма	98,23	100,09	101,09	100,58	100,86	101,06	99,91	101,05

Примечание: 1 – серпентинизированные тонкозернистые протодуниты; 2–4 – серпентинизированные перекристаллизованные дуниты (2 – мелкозернистые, 3 – среднезернистые, 4 – крупнозернистые); 5 – дунит-пегматиты; 6 – серпентинизированные верлиты; 7 – оливиновые клинопироксениты; 8 – магнетитовые клинопироксениты. В скобках приведено количество анализов.

Нижнетагильского массива представлено двумя основными типами руд (хромитовым и дунитовым), резко различающимися по содержанию в них платины.

Методика исследований. Фактическим материалом для изучения особенностей распределения концентраций платины в хромитовых и дунитовых рудах Нижнетагильского массива являются представительные данные штуфного, бороздового, кернового и валового опробования руд при проведении разведочных, эксплуатационных и научно-исследовательских работ, приведенных в опубликованной литературе [5, 12, 13, 17]. Оценка вариации качества платинового оруденения Нижнетагильского массива включала выделение по содержанию платины промышленных типов руд: богатых (более 2,5 г/т), рядовых (0,5–2,5 г/т), бедных (0,1–0,5 г/т) и убогих (менее 0,1 г/т) [18]. Для исследования амплитудной изменчивости концентраций платины в хромитовом и дунитовом типах руд массива использовалась вероятностно-статистическая модель, основной характеристикой которой является коэффициент вариации оценочного параметра [19]. Оценка частотной изменчивости в распределении содержаний платины в рудах проводилась в результате сглаживания по геометро-статистической модели исходных данных опробования разведочных шурфов по программе «Аппроксимация» с помощью пятичленного интерполяционного полинома [20]. При преобладании в распределении концентраций платины в рудах случайной составляющей изменчивости над ее закономерной составляющей использовалась геостатистическая модель, в соответствии с которой строились графики изменения автокорреляционной функции по профилям разведочных шурфов и определялись значения радиусов автокорреляции [21].

Распределение содержаний платины в хромитовом и дунитовом типах руд. В дунитах Нижнетагильского массива в период с 1892 по 1950 г. было установлено 1800 мелких месторождений платино-хромитовых руд, представленных рудными телами сложной формы в виде гнезд, линз, прожилков, жил. Текстура руд хромитового типа брекчиевидная, пятнисто-петельчатая. По содержанию хромшпинелидов в рудах от 10 до 100 % она варьирует от бедновкрапленной до массивной текстуры. По данным проведенных исследований [5], содержание платины в акцессорных хромшпинелидах дунитов составляло 2–3 г/т, в прожилково-вкрапленных хромитовых рудах – 3,3–5,2 г/т, в гнездово-прожилково-вкрапленных рудах – 4,7–6,6 г/т, в густовкрапленных рудах – 1,6 г/т, в массивных хромитовых рудах – 3–3,6 г/т. В количественном отношении тела хромитовых руд занимали в среднем около 10 % от площади дунитов [10].

Разработка платино-хромитовых руд в дунитах Нижнетагильского массива проводилась: 1) шурфами глубиной до 7 м; 2) небольшими карьерами глубиной до 13 м; 3) полушахтами глубиной до 20 м; 4) шахтами глубиной свыше 20 м. На наиболее крупном по размерам месторождении Госшахта в дунитах г. Соловьевой (рис. 2), отработывавшемся с 1909 г. в течение более 40 лет до глубины 183 м, было добыто около 400 кг платины из крутопадающего трубообразного рудного тела, имевшего на разных горизонтах диаметр от 1,6 до 7 м. В приповерхностных частях месторождения были установлены наиболее высокие средние концентрации платины в хромитовых рудах – от 419 г/т до глубины 7 м, до 167 г/т до глубины 15 м. На более глубоких горизонтах в интервале от 20 до 105 м среднее содержание платины в рудах составляло от 50 до 5 г/т с прогрессирующим снижением концентраций

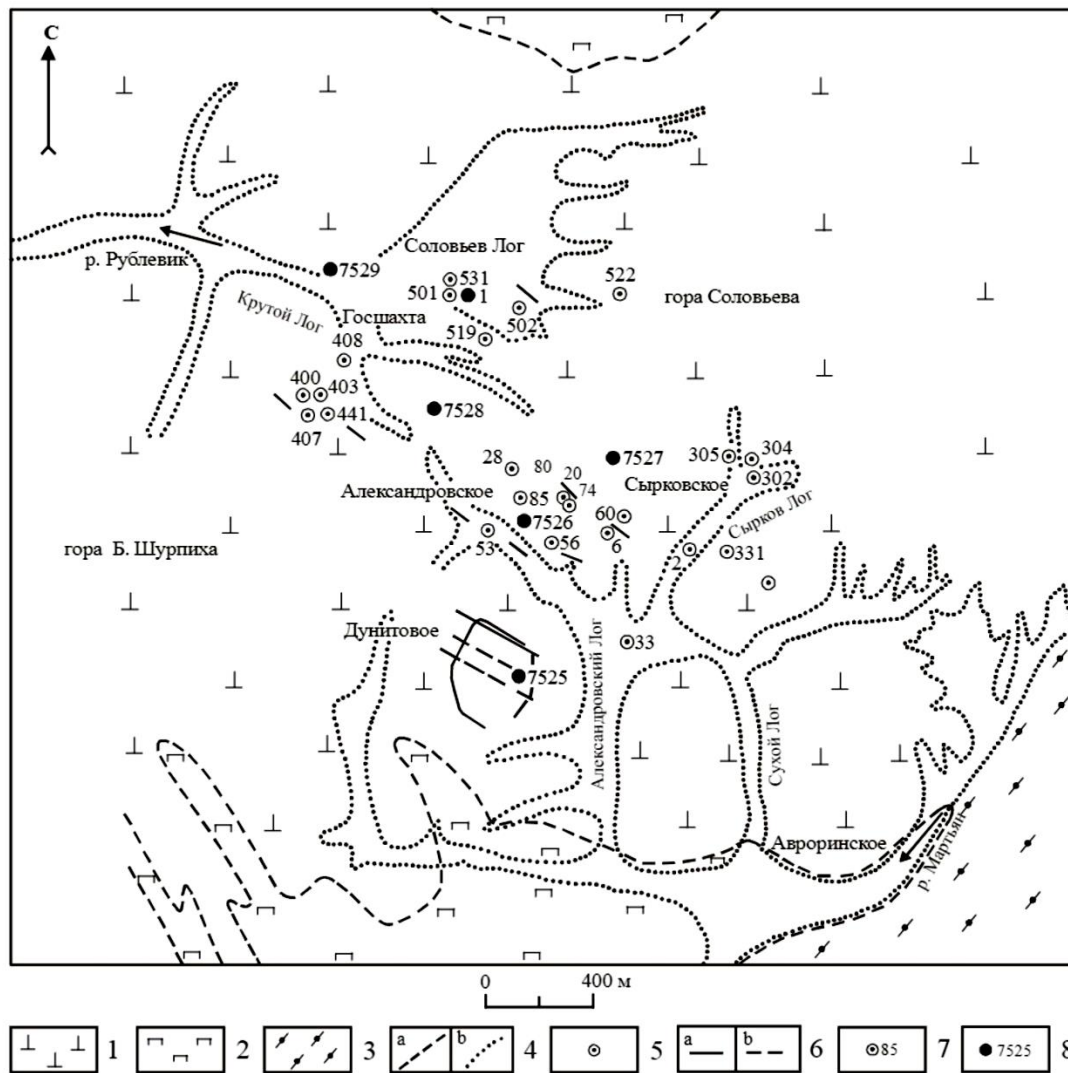


Рисунок 2. Схема размещения коренных платинометалльных месторождений и рудопоявлений в дунитах горы Соловьевой Нижнетагильского массива [17]: 1 – дуниты; 2 – клинопироксениты; 3 – пироксен-амфиболовые роговики; 4 – границы: а – геологических комплексов, б – платиноносных логов; 5 – штоко-трубообразные тела хромит-платиновых руд; 6 – линейные непрерывные (а) и прерывистые (б) зоны хромит-платиновых руд; 7 – номера платинометалльных месторождений и рудопоявлений (№ 501 – Государственная шахта); 8 – местонахождение и номера глубоких скважин структурного бурения

Figure 2. Scheme placing native platinum metal deposits and ore developments in dunites of mountain Solov'eva Nizhny Tagil massif [17]: 1 – dunites; 2 – clinopyroxenites; 3 – pyroxene-amfibole hornfels; 4 – boundary: a – geological complex; b – platinum bearing ravines; 5 – stock and pipe figurative bodies chromic iron – platinum ores; 6 – linear continuous (a) and broken (b) zones chromic iron – platinum ores; 7 – numbers platinum metal deposits and ore developments (no. 501 – State mine); 8 – location and numbers deep bore of structural drilling

платины в рудах до глубины отработки до 1–0,5 г/т [5]. На других разрабатывавшихся участках Нижнетагильского массива (Сыркова, Александровского, Соловьева, Пупкова, Белогорского и др.) среднее содержание платины в хромитовых рудных телах составляло по участкам от 9,3 до 2,1 г/т. Наибольшее количество (373) мелких платино-хромитовых рудных тел было отработано в пределах Александровского участка. Среди них в 52 % тел среднее содержание платины составляло менее 2 г/т, в 37 % залежей – 2–5 г/т, в 10 % тел – 5–10 г/т, и в 1 % залежей – свыше 100 г/т при средней концентрации платины в рудах участка 3,5 г/т [5]. Для руд хромитового типа характерно преобладание крупной по размерам платины и наличие мелких самородков от 1 до 10 мм и более. Это подтверждает гранулометрический анализ 100 зерен «сырой» платины, извлеченной из руд месторождения Государственная шах-

та (классы, мм: 0,4–1 и более – 60 %; 0,1–0,4 – 20 %; менее 0,1 – 20 %) [17]. По данным этих авторов, в составе платиноидов, выделенных из хромитовых руд, резко преобладает изоферроплатина при меньшей встречаемости тетраферроплатины.

Платиновое оруденение дунитового типа, получившее более широкое площадное распространение, было установлено на многих участках Нижнетагильского массива (Александровский, Крутой, Пупков, Сырков, Каменный и др.) Наиболее детально дунитовый тип руд был изучен в пределах Александровского участка (рис. 2) при проведении разведочных работ на площади около 0,5 км² с проходкой шурфов по сети 20 × 20 м и их опробованием [22].

При картировании дунитов участка в масштабе 1 : 2000 было установлено его неоднородное строение. В пре-

делах участка помимо зон тонкозернистых квазидунитов были выделены зоны мелкозернистых дунитов с редкими хромитовыми жилками, а также зоны среднезернистых и крупнозернистых дунитов с мелкими жилами, прожилками, микроширами и вкрапленностью хромшпинелидов [13].

В составе платиноидов, выделенных из руд дунитового типа на Александровском участке, преобладают изоферроплатина и вторичная купроферроплатина с резко подчиненным количеством (доли %) иридистой платины и осмистого иридия. Проведенный ситовой анализ платины из этих руд (классы, мм: более 1 мм – 3–34 %; 0,5–1 мм – 16–42 %; менее 0,5 мм – 38–79 %) указывает на преобладание в рудах дунитового типа более мелких по размеру фракций платины по сравнению с платиной, выделенной из руд хромитового типа [4].

Тонкозернистые дуниты Нижнетагильского массива по данным пробирно-спектрального анализа их проб характеризуются наименьшим средним содержанием в них платины и неравномерным распределением ее концентраций по значению коэффициента вариации (табл. 2). Среднее содержание платины в перекристаллизованных дунитах в сравнении с протодунитами возрастает до 3,5 раза в крупнозернистых дунитах при неравномерном и весьма неравномерном распределении ее концентраций.

В хромитовых рудах массива содержания платины составляют от сотых долей г/т до десятков г/т при количестве среди них богатых руд – 30–50 %, рядовых руд – 28–41 %, а распределение в рудах концентраций платины по амплитудной изменчивости крайне неравномерное (табл. 2, 3). Средние содержания золота в протодунитах и перекристаллизованных дунитах низкие и составляют сотые доли г/т при крайне неравномерном и весьма неравномерном их распределении. А в хромитовых рудах массива средняя концентрация золота возрастает до десятых долей г/т. Распределение содержаний других элементов платиновой группы (палладия, родия, иридия, осмия, рутения) в хромитовых рудах по данным их штуфного и kernового опробования [17] в пределах Дунитового участка Нижнетагильского массива (рис. 2) крайне неравномерное при низких средних содержаниях платиноидов 0,03–0,1 г/т (табл. 3).

В распределении содержаний платины в дунитовых рудах Александровского участка (рис. 2), по данным рядового опробования разведочных шурфов [13, 18], по соотношению промышленных типов руд преобладают бедные и убогие руды, количество богатых руд не превышает 5 %, а рядовых руд – 10 % (табл. 4) в отличие от руд более высокого качества хромитового типа. Средняя концентрация

Таблица 2. Распределение содержаний платины и золота в серпентинизированных дунитах и хромитовых рудах Нижнетагильского массива

Table 2. Distribution platinum and gold content in serpentinous dunits and chromic iron ores of the Nizhny Tagil massif

Породы и руды	Компоненты	Количество проб N	Содержание С, г/т			Коэффициент вариации V, %	
			Минимальное	Максимальное	Среднее		
Дуниты тонкозернистые серпентинизированные	Pt	28	0,010	0,08	0,04	51,54	
	Au	22	0,003	0,26	0,03	210,87	
Дуниты перекристаллизованные серпентинизированные	Мелкозернистые	Pt	25	0,020	0,53	0,10	123,18
		Au	33	0,002	0,27	0,06	139,47
	Среднезернистые	Pt	25	0,010	0,17	0,07	72,47
		Au	58	0,001	0,31	0,04	205,98
	Крупнозернистые	Pt	20	0,010	0,38	0,14	87,72
		Au	46	0,001	0,22	0,04	155,86
Хромитовые руды	Pt	32	0,010	43,00	6,96	135,74	
	Au	22	0,003	7,00	0,46	316,96	

Таблица 3. Распределение содержаний платиноидов в хромитовых рудах Дунитового участка Нижнетагильского массива

Table 3. Distribution platinum metals in the chromic iron ores Dunites area of the Nizhny Tagil massif

Компоненты	Количество проб N	Содержание С, г/т			Коэффициент вариации V, %
		Минимальное	Максимальное	Среднее	
Платина	27	0,060	35,00	4,09	203,84
Палладий	27	0,007	1,00	0,07	258,34
Родий	27	0,005	0,90	0,04	384,50
Иридий	27	0,010	1,10	0,09	299,57
Осмий	21	0,006	1,17	0,10	253,09
Рутений	27	0,006	0,30	0,03	192,33

Таблица 4. Изменчивость содержаний платины в дунитовых рудах Александровского участка Нижнетагильского массива
Table 4. Variability platinum contents in the dunitite ores Alexandrovskiy area of the Nizhny Tagil massif

Части участка	Линии шурфов	Длина профиля L, м	Количество проб N	Промышленные типы руд				Среднее содержание С, г/т	Коэффициент вариации V, %	Изменчивость		Радиус автокорреляции R _a , м
				Богатые	Рядовые	Бедные	Убогие			закономерная	случайная	
Северная	1	540	28	–	4,0	46,0	50,0	0,10	104,43	0,32	0,43	30
	2	420	22	–	5,0	54,0	41,0	0,20	128,72	0,12	0,71	47
	3	640	33	–	6,0	39,0	55,0	0,13	148,87	0,24	0,47	104
	4	400	21	–	5,0	48,0	47,0	0,12	141,74	0,14	0,64	84
	5	380	20	–	–	30,0	70,0	0,06	104,08	0,19	0,62	34
	6	380	20	–	–	30,0	70,0	0,06	138,18	0,30	0,39	30
	7	380	20	5,0	–	40,0	55,0	0,23	282,08	0,21	0,58	72
	8	380	20	–	–	25,0	75,0	0,06	81,66	0,25	0,48	78
	9	380	20	–	–	40,0	60,0	0,09	111,54	0,27	0,51	32
	10	660	34	–	–	21,0	79,0	0,06	96,42	0,18	0,63	52
Среднее			238	0,4	2,1	37,0	60,5	0,11	82–282			56
Центральная	11	380	20	–	–	15,0	85,0	0,05	72,94	0,15	0,66	76
	12	420	22	–	–	27,0	73,0	0,06	100,66	0,13	0,74	32
	13	400	21	–	5,0	19,0	76,0	0,07	186,82	0,37	0,31	–
	14	400	21	5,0	10,0	18,0	67,0	0,33	240,53	0,26	0,56	28
	15	560	29	–	7,0	41,0	52,0	0,21	201,22	0,60	0,12	–
	16	680	35	–	3,0	34,0	63,0	0,11	189,57	0,22	0,58	80
	17	500	26	4,0	–	34,0	62,0	0,31	310,67	0,28	0,49	26
	18	620	32	–	3,0	44,0	53,0	0,14	121,73	0,23	0,54	116
	19	500	26	–	–	38,0	62,0	0,09	125,44	0,28	0,47	48
	20	600	31	3,0	7,0	55,0	35,0	0,30	184,20	0,23	0,58	112
	21	620	32	3,0	6,0	44,0	47,0	0,24	243,25	0,24	0,60	44
Среднее			295	1,4	3,7	35,6	59,3	0,18	73–311			62
Южная	22	480	25	–	8,0	44,0	48,0	0,14	148,61	0,29	0,49	28
	23	380	20	–	10,0	50,0	40,0	0,18	116,00	0,31	0,41	28
	24	380	20	–	–	65,0	35,0	0,14	85,05	0,21	0,53	124
	25	500	26	–	–	50,0	50,0	0,11	96,48	0,29	0,50	24
	26	400	21	–	5,0	43,0	52,0	0,14	131,13	0,18	0,67	44
	27	420	22	–	–	59,0	41,0	0,15	96,34	0,19	0,57	52
	28	380	20	5,0	5,0	45,0	45,0	0,27	245,38	0,26	0,57	70
	29	400	21	–	5,0	28,0	67,0	0,10	137,26	0,33	0,44	26
	30	380	20	5,0	5,0	45,0	45,0	0,39	266,88	0,33	0,55	70
	31	380	20	–	–	40,0	60,0	0,06	105,18	0,24	0,51	106
	32	380	20	–	5,0	10,0	85,0	0,09	268,22	0,24	0,56	196
	Среднее			235	0,9	3,8	43,8	51,5	0,16	85–268		
Среднее			768	0,9	3,3	38,5	57,3	0,15	73–311			

платины в рудах дунитового типа в пределах разведочных линий шурфов составляет от 0,05 до 0,39 г/т при распределении ее содержаний в рудах от неравномерного до крайне неравномерного. В распределении концентраций платины в дунитовых рудах участка резко преобладает случайная составляющая изменчивости над ее закономерной составляющей (табл. 4). Поэтому для характеристики частотной изменчивости содержаний платины в рудах определялись по геостатистической модели значения радиусов автокорреляции. Среди руд дунитового типа наибольшей частотной изменчивостью в распределении концентраций платины, судя по средним значениям радиусов автокорреляции, характеризуются руды, локализованные

в северной части Александровского участка, выделяющиеся и более низким качеством в сравнении с рудами, распространенными в центральной и южной частях участка (табл. 4). По данным проведенного в пределах участка крупнообъемного валового опробования более глубоких выработок (полушахт и шахт) [13, 22], наибольшее среднее содержание платины в дунитовых рудах установлено в северной части участка. Распределение концентраций платины в валовых пробах изменяется от равномерного до весьма неравномерного (табл. 5).

Заключение

В пределах Нижнетагильского дунит-клинопироксенитового массива прогнозные ресурсы платины катего-

Таблица 5. Распределение содержаний платины в дунитовых рудах Александровского участка Нижнетагильского массива по данным валового опробования

Table 5. Distribution platinum contents in the dunite ores Alexandrovskiy area of the Nizhny Tagil massif by date of gross sampling

Части участка	Номера проб	Количество проб <i>N</i>	Промышленные типы руд			Среднее содержание <i>C</i> , г/т	Коэффициент вариации <i>V</i> , %
			Рядовые	Бедные	Убогие		
Северная	1–31	21	10	71	19	0,15	63,89
	33–61	21	5	67	28	0,27	62,38
	Среднее	42	7	69	24	0,21	62–64
Центральная	62–110	21	5	71	24	0,20	78,01
	111–154	21	–	24	76	0,10	106,77
	Среднее	42	2	48	50	0,15	78–107
Южная	155–182	21	–	52	48	0,15	65,84
	183–203	21	–	81	19	0,17	44,64
	Среднее	42	–	67	33	0,16	45–66
Среднее		126	3	61	36	0,17	45–107

рии P_1 в дунитовых рудах наиболее детально изученного Александровского участка составляют до глубины 100 м около 60 т, а на участках дунитов, обогащенных хромитовыми телами (Сырковском, Придорожном и др.) – более 38 т [13]. В отличие от хромитовых руд массива разработка руд дунитового типа вследствие низкого среднего содержания в них платины (первые десятые доли г/т) является экономически нерентабельной. Однако с учетом средней концентрации платины в хромитовых и дунитовых рудах Нижнетагильского массива прогнозируется валовое содержание платины в рудной массе на уровне 0,7–1 г/т. Это позволяет по аналогии с многолетней разработкой на

Березовском золоторудном месторождении более богатых сульфидно-кварцевых руд в полосовых жилах и более бедных вкрапленных руд в березитах [19] рассматривать в современных условиях развития технологий обогащения платиносодержащих хромитовых и дунитовых типов руд возможность их совместной масштабной переработки [18, 23, 24]. По данным этих авторов, при изучении минералого-технологических проб массой 15–20 кг, отобранных из хромитовых руд Нижнетагильского массива и дунитовых руд Светлоборского массива, наибольшее извлечение платины из руд достигается при двухстадийном измельчении руд до фракции –0,6 мм.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИГГ УрО РАН (номер гос. регистрации АААА-А18-1180525900-9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий Н. К. Месторождения платины Исовского и Нижне-Тагильского районов на Урале // Труды Геологического комитета. Новая серия. СПб, 1913. Вып. 62. 694 с.
2. Заварицкий А. Н. Коренные месторождения платины на Урале // Геологический комитет. Материалы по общей и прикладной геологии. Л.: Изд. Геологического комитета, 1928. Вып. 108. 56 с.
3. Бетехтин А. Г. Платина и другие минералы платиновой группы. М.; Л.: АН СССР, 1935. 148 с.
4. Кашин С. А., Козак С. С., Николаева Л. А., Тихомиров К. П. Минералогические и петрохимические особенности пород платиноносной формации Среднего Урала и некоторые закономерности распределения коренной платины. М.: НИГРИЗолото, 1956. 113 с.
5. Разин Л. В. Промышленно-перспективный минерально-сырьевой потенциал Уральского платиноносного пояса. М.: Изд-во «Университетская книга», 2008. 172 с.
6. Корякско-Камчатский регион – новая платиноносная провинция России / Е. Ю. Вильданова [и др.]. СПб: ВСЕГЕИ, 2002. 383 с.
7. Сидоров Е. Г., Козлов А. П., Толстых Н. Д. Гальмознанский базит-гипербазитовый массив и его платиноносность. М.: Научный мир, 2012. 288 с.
8. Nixon G. T., Cabri L. I., Laflamme I. G. Platinum-group-element mineralization in lode and placer deposits associated with the Tulameen Alaskan-type complex, British Columbia // Canadian Mineralogist. 1990. Vol. 28. P. 503–535.
9. Barkov A. Y., Fleet M. E., Nixon G. T., Levson V. M. Platinum-group minerals from five placer deposits in British Columbia, Canada // Canadian Mineralogist. 2005. Vol. 43. P. 1687–1710. <http://dx.doi.org/10.2113/gscanmin.43.5.1687>
10. Miller M. L. Mafic and ultramafic rocks in the Dishna River area, north-central Iditarod quadrangle, Alaska // Geologic studies in Alaska by the U. S. Geological Survey / ed. by J. H. Dover, J. P. Galloway. 1990. P. 44–50.
11. Himmelberg G. R., Loney R. A. Characteristics and petrogenesis of Alaskan-type ultramafic-mafic intrusions, southeastern Alaska. Reston: United States Geological Survey (USGS). Professional Paper, 1995. 47 p.
12. Платинометалльное оруденение в геологических комплексах Урала / К. К. Золоев [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 199 с.
13. Иванов О. К. Платиновое оруденение Нижнетагильское дунитового массива // Минеральное сырье Урала. 2006. № 5. С. 63–67.
14. Пушкарев Е. В., Аникина Е. В., Гарути Дж., Заккарини Ф. Хром-платиновое оруденение нижнетагильского типа на Урале: структурно-вещественная характеристика и проблема генезиса // Литосфера. 2007. № 3. С. 28–65.

15. Zaccarini F., Pushkarev E., Garuti G., Krause I., Dvornik G. P., Stanley C., Bindi L. Platinum-group minerals (PGM) nuggets from alluvial-eluvial placer deposits in the concentrically zoned mafic-ultramafic Uktus complex (Central Urals, Russia) // *European Journal of Mineralogy*. 2013. Vol. 25. No. 4. P. 519–531. <http://dx.doi.org/10.1127/0935-1221/2013/0025-2296>
16. Иванов О. К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала (минералогия, петрология, генезис). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 1997. 488 с.
17. Волченко Ю. А., Иванов К. С., Коротеев В. А., Оже Т. Структурно-вещественная эволюция комплексов Платиноносного пояса Урала при формировании хромит-платиновых месторождений уральского типа // *Литосфера*. 2007. Ч. I. № 3. С. 3–27; Ч. II. № 4. С. 73–101.
18. Козлов А. П., Чантурия В. А., Сидоров Е. Г., Толстых Н. Д., Телегин Ю. М. Крупнообъемные рудные месторождения платины в зональных базит-ультрабазитовых комплексах урало-алаянского типа и перспективы их освоения // *Геология рудных месторождений*. 2011. Т. 53. № 5. С. 419–437.
19. Дворник Г. П. Оценка изменчивости содержания золота и серебра в рудах и их качества при разведке и разработке золоторудных месторождений // *Известия вузов. Горный журнал*. 2011. № 3. С. 120–125.
20. Мягков В. Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. М.: Недра, 1984. 126 с.
21. Капутин Ю. Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб: Недра, 2002. 424 с.
22. Маханов С. А. Геолого-промышленная оценка месторождения коренной платины дунитового массива горы Соловьевой в пределах разведочной площади: фонды Кировского прииска треста «Уралзолото». 1951. 135 с.
23. Козлов А. П., Чантурия В. А. Платиносодержащие дунитовые руды и их обогатимость. М.: ИПКОН РАН, 2009. 148 с.
24. Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Yu. Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intruzions, Ural Platinum Belt // *Ore Geology Reviews*. 2015. Vol. 67. P. 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.12.005>

Статья поступила в редакцию 20 декабря 2022 года

Distribution platinum content in chromite and dunite type ores Nizhny Tagil massif (Middle Ural)

Gennadiy Petrovich DVORNIK*

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

Abstract

The relevance of the work is due to the importance industrial meaning native and placer platinum deposits in basic-hyperbasic complexes.

Methods of research included separation industrial type of ores for valuation quality platinum ore chute, use probabilistic-statistic, geometric-statistic and geostatistic model for description amplitude and frequency changeability in distribution platinum content in ore Nizhny Tagil massif.

Result research. In chromite ores Nizhny Tagil massif platinum content vary in wide limits by predominance among theirs rich and ordinary ores and extremely uneven distribution platinum and other elements platinum group (palladium, rhodium, iridium, osmium, ruthenium) concentration in ores. In difference from ores chromite type in distribution platinum content in dunite ores massif in limits prospected Alexandrovsky area among industrial type ores prevail more low on quality poor and wretched ores by amplitude changeability platinum concentration in ores on data theirs ordinary sampling in prospect hole-from uneven to extremely, by gross sampling more deep mine working (half-pit and pit) – from even to very uneven.

The largest frequency changeability in distribution platinum concentration in ores dunite type be distinguished ores widespread in north part Alexandrovsky area, differ and more low quality. Contemporary level development technology dressing platinum-bearing chromite and dunite type ores allowed consider theirs in quality perspective ores for joint processing.

Keywords: Nizhny Tagil massif, dunite, chromite and dunite type ores, platinum content, distribution.

The studies were carried out as part of the state assignment of the IGG UB RAS (state registration number AAAA-A18-118052590028-9).

REFERENCES

1. Vysotsky N. K. 1913, Platinum deposits of the Isovsk and Nizhny Tagil district of the Urals. Proceeding of Geological Committee. Saint Petersburg, vol. 62, 694 p. (*In Russ.*)
2. Zavaritsky A. N. 1928, Native deposits platinum of the Ural. Proceeding of Geological Committee. Leningrad, issue 108, 56 p. (*In Russ.*)
3. Betekhtin A. G. 1935, Platinum and other minerals of platinum group. Moscow; Leningrad, 148 p. (*In Russ.*)
4. Kashin S. A., Kozak S. S., Nikolaeva L. A., Tikhomirov K. P. 1956, Mineralogical and petrochemical peculiarity rocks platinum bearing formation and some conformities distribution native platinum. Moscow, 113 p. (*In Russ.*)
5. Razin L. V. 2008, Future commercial production and mineral resource potential of the Urals platinum bearing belt. Moscow, 172 p. (*In Russ.*)
6. 2002, Koryak-Kamchatka region – new platinum bearing province of the Russia. E. Yu. Vil'danova [et al.]. Saint Petersburg, 383 p. (*In Russ.*)
7. Sidorov E. G., Kozlov A. P., Tolstykh N. D. 2012, Gal'moenan basic-hyperbasic massif and their platinum bearing. Moscow, 288 p. (*In Russ.*)
8. Nixon G. T., Cabri L. I., Laflamme I. G. 1990, Platinum – group-element mineralization in lode and placer deposits associated with the Tulameen Alaskan-type complex, British Columbia. *Canadian Mineralogist*, vol. 28, pp. 503–535.
9. Barkov A. Y., Fleet M. E., Nixon G. T., Levson V. M. 2005, Platinum-group minerals from five placer deposits in British Columbia, Canada. *Canadian Mineralogist*, vol. 43, pp. 1687–1710. <http://dx.doi.org/10.2113/gscanmin.43.5.1687>
10. Miller M. L. 1990, Mafic and ultramafic rocks in the Dishna River area, north-central Iditarod quadrangle, Alaska. Geologic studies in Alaska by the U. S. Geological Survey. Eds. J. H. Dover, J. P. Galloway, pp. 44–50.
11. Himmelberg G. R., Loney R. A. 1995, Characteristics and petrogenesis of Alaskan-type ultramafic-mafic intrusions, southeastern Alaska. Reston: United States Geological Survey (USGS). Professional Paper, 47 p.
12. 2001, Platinum metal ores in geological complex of the Urals. K. K. Zoloev [et al.]. Ekaterinburg, 199 p. (*In Russ.*)
13. Ivanov O. K. 2006, Platinum deposits Nizhny Tagil dunite massif. Mineral feedstock of the Ural, no. 5, pp. 63–67. (*In Russ.*)
14. Pushkarev E. V., Anikina E. V., Garuti G., Zaccarini F. 2007, Chromium-platinum deposits of the Nizhny-Tagil type in the Urals: characteristic of structure and substance and a problem of genesis. *Litosfera* [Lithosphere], no. 3, pp. 28–65. (*In Russ.*)
15. Zaccarini F., Pushkarev E., Garuti G., Krause I., Dvornik G. P., Stanley C., Bindi L. 2013, Platinum-group minerals (PGM) nuggets from alluvial-eluvial placer deposits in the concentrically zoned mafic-ultramafic Uktus complex (Central Urals, Russia). *European Journal of Mineralogy*, vol. 25, pp. 519–531. <http://dx.doi.org/10.1127/0935-1221/2013/0025-2296>
16. Ivanov O. K. 1997, Concentric-zonal pyroxenite-dunite massifs of the Urals (Mineralogy, Petrology, Genesis). Ekaterinburg, 488 p. (*In Russ.*)
17. Volchenko Yu. A., Ivanov K. S., Koroteev V. A., Auge T. 2007, Structural-substantial evolution of the Urals platiniferous belts complexes in the forming of Uralian type chromite-platinum deposits formation. *Litosfera* [Lithosphere], part I, no. 3, pp. 3–27; part II, no. 4, pp. 73–101. (*In Russ.*)
18. Kozlov A. P., Chanturiya V. A., Sidorov V. G., Tolstykh N. D., Telegin Yu. M. 2011, Large-volume ore deposits platinum in zonal basic-ultrabasic complexes of Ural-Alaskan type and perspective their development. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposit], vol. 53, no. 5, pp. 419–437 (*In Russ.*)

✉ gpdvornik@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9013-2223>

19. Dvornik G. P. 2011, Estimation changeability of gold and silver content in ores and their quality by prospecting and development gold ore deposits. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining journal], no. 3, pp. 120–125 (*In Russ.*)
20. Myagkov V. F. 1984, Geochemical method paragenetic analysis of the ores. Moscow, 126 p. (*In Russ.*)
21. Kaputin Ju. E. 2002, Mining computer technology and geostatistics. St. Peterburg, 424 p. (*In Russ.*)
22. Makhanov S. A. 1951, Geology – industrial estimation deposit native platinum dunite massif of mountain Solov'eva in the limits prospecting area. *Ural Gold*, 135 p. (*In Russ.*)
23. Kozlov A. P., Chanturiya V. A. 2009, Platiniferous dunite ores and their dressability. Moscow, 148 p. (*In Russ.*)
24. Tolstykh N., Kozlov A., Telegin Yu. 2015, Platinum mineralization of the Svetly Bor and Nizhny Tagil intrusions, Ural Platinum Belt. *Ore Geology Reviews*, vol. 67, pp. 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.12.005>

The article was received on December 20, 2022

Влияние даек в массиве горных пород на устойчивость горной выработки в условиях действия гравитационно-тектонического поля напряжений

Антон Дмитриевич КУРАНОВ^{1*}
Полина Вячеславовна БАСАЛАЕВА^{2**}
Вячеслав Сергеевич ОНУПРИЕНКО^{3***}

¹ АО «Гипроцветмет»

² Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ Кировский филиал АО «Апатит», Кировск, Мурманская область, Россия

Аннотация

Цель работы – анализ влияния сложного литологического строения на устойчивость горизонтальных горных выработок в условиях действия гравитационно-тектонического поля напряжений.

Актуальность работы. Необходимость учета сложного геологического строения – один из важнейших факторов, влияющих на устойчивость породных обнажений. Под этим подразумевается литологическое строение и наличие литологических неоднородностей. Разность физико-механических, в частности деформационных, свойств литологических разностей и вмещающих пород может привести к неблагоприятной ситуации проявления горного давления при проходке и эксплуатации выработки.

Методы исследования. В данной работе изучение поведения массива при наличии литологических неоднородностей с разными физико-механическими свойствами производится на пространственных численных моделях с помощью программного обеспечения Simulia Abaqus. На основании геологических данных с помощью рейтинговых методик произведен переход от физико-механических свойств образца к свойствам массива. Приведены исследования изменения напряженно-деформированного состояния массива с учетом дайки, а также при идеализации массива без ее учета.

Результаты работы и область их применения. В работе приведен обзор формирования литологических неоднородностей, а также литологии как фактора, влияющего на устойчивость горных выработок. Кроме того, были построены и проанализированы численные модели с различными физико-механическими свойствами даек, а также для анализа влияния литологических разностей на устойчивость выработок принят фактический участок проходки выработки, пересекающий дайку мончикитовых пород.

Выводы. При упрощении и идеализации массива сплошной средой происходят упущения в напряженно-деформированном состоянии массива. Требуется разработка подробной методики по учету литологических неоднородностей.

Ключевые слова: устойчивость горных выработок, литологическое строение, напряженно-деформированное состояние, апатитонелефиновое месторождение, численное моделирование.

Введение

Обеспечение устойчивости породных обнажений является одним из основных требований, предъявляемых при строительстве и эксплуатации подземных сооружений. Потери устойчивости породных обнажений приводят к снижению эффективной проходки выработок, а также к увеличению затрат на крепежные материалы. Кроме того, потеря устойчивости горных выработок приводит к значительной части несчастных случаев на производстве. Развитие представлений о формировании вокруг выработок зон различного напряженно-деформированного состояния позволяет свести задачи прогнозирования состояния выработок на стадии проектирования к расчету устойчивости пород на контуре выработки и вблизи него.

На устойчивость горных выработок влияет большое количество факторов: напряженно-деформированное состояние массива, трещиноватость, прочностные и де-

формационные свойства пород, геометрические параметры выработок, тектоническое и геологическое строение массива. Исследованию влияния данных факторов посвящено большое количество исследований, однако большой интерес представляет изучение собственно сложного геологического строения на устойчивость породных обнажений. Результаты изучения изменения напряженно-деформированного состояния вблизи литологических разностей приведены в работах [1–5].

Для оценки устойчивости горных выработок массив нередко представляется как изотропная сплошная среда, однако это не всегда является объективным, так как массив горных пород зачастую является анизотропным [6, 7]. Такое идеализированное представление может привести к значительным ошибкам при определении напряженного состояния массива горных пород и оценке устойчивости

✉ Kuranov_AD@pers.spmi.ru

**Basalaeva_p@pers.spmi.ru

***VOnuprienko@phosago.ru

горной выработки. Одним из вариантов учета нарушения массива является задание различных свойств по направлениям [8], однако наиболее достоверным способом можно считать учет нарушений в явном виде, в том числе и нарушений изотропности массива в условиях сложного геологического его строения.

Однако степень изученности данного вопроса достаточно низкая, в частности, не установлены зависимости изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива горизонтальных выработок вблизи даек при преобладании тектонической составляющей, хотя наличие даек зачастую определяет параметры поля напряжений на локальном уровне. Такие условия наблюдаются, в частности, на рудниках АО «Апатит» [9], одной из крупнейших мировых компаний, разрабатывающих апатитонефелиновые месторождения.

Подземная разработка полезных ископаемых сопровождается непрерывным процессом изменения напряженно-деформированного состояния горных пород, что приводит к деформациям на контуре горных выработок и может привести к потере устойчивости приконтурного массива горных выработок. В целом это явление можно описать как внезапное и неконтролируемое падение пород на контуре выработки непосредственно в выработанное пространство. В условиях рудников АО «Апатит» преимущественной формой потери устойчивости является хрупкое разрушение пород на контуре [10]; наличие зон концентрации напряжений в виде пересечения выработки с дайкой может повысить вероятность хрупкого разрушения участка массива.

Таким образом, основной задачей исследования является установление особенностей геологического строения массива, оказывающего значительное влияние на устойчивость породных обнажений и возможность образования зон хрупкого разрушения.

Характеристика апатитонефелиновых месторождений Хибин. Хибинские месторождения апатитонефелиновых руд представляют собой высоконапряженный скальный массив, опасный по проявлениям горного давления в виде стреляний, микроударов, горных ударов, а также горно-тектонических ударов (техногенных землетрясений). Это означает, что массив горных пород обладает большой прочностью и жесткостью, а напряжения, накопленные в нем, достаточны для разрушения в динамической форме при определенных условиях. Критическими по удароопасности для месторождений АО «Апатит» являются глубины 200–300 м [11].

Согласно «Указаниям по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам (apatитонефелиновые месторождения, разрабатываемые КФ АО «Апатит» подземным способом: Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый цирк, Плато Расвумчорр)», критерием удароопасности «является превышение расчетными величинами максимальной компоненты главных напряжений 0,5 от предела прочности используемых пород на одноосное сжатие ($\sigma_{\max} \geq 0,5 \sigma_c$). «Указания...» также регламентируют применение ряда инструментальных методов для оценки состояния приконтурной части, для каждого из которых также существует критерий отнесения участка к опасному или неопасному по

горным ударам. С учетом прогноза региональной удароопасности по результатам непрерывного контроля сейсмичности осуществляется комплексный подход к прогнозу удароопасности по факторам сейсмичности и прогноза напряженного состояния массива.

Такие же данные, приведенные в [12], указывает на то, что в используемых региональных прогнозах удароопасности критические напряжения принимаются в диапазоне $\sigma_1 = 0,5-1,2 \sigma_c$. Критерием возможности возникновения динамических проявлений горного давления является превышение расчетными величинами максимальной компоненты главных напряжений 0,5 от предела прочности пород на одноосное сжатие ($\sigma_1 \geq 0,5 \sigma_c$).

На потерю устойчивости выработок влияет множество факторов [13–15], но чаще всего причиной потери устойчивости является не один, а комбинация этих факторов. Можно говорить о трех группах факторов – параметры поля напряжений, влияние очистных и проходческих работ, параметры массива горных пород.

На прямолинейных участках выработок наиболее частой причиной является действие поля тектонических напряжений [16]. Для Хибинского массива характерно превышение горизонтальными компонентами напряжений вертикальных, что приводит к нарушению контура выработок и зачастую к хрупкому разрушению.

Очистные работы могут приводить к увеличению концентрации в 4–5 раз относительно естественного поля напряжений.

Третьим фактором является строение массива, к нему можно отнести трещиноватость зоны шпреуштейнизации, геологическое и тектоническое строение в целом. Трещиноватые и окисленные породы являются разгруженными от тектонических напряжений, однако в их приконтактных зонах формируется концентрация напряжений. Что касается геологического строения, оно имеет в своем составе различные дайки и включения, которые имеют различное влияние на устойчивость горных выработок. Это будет рассмотрено подробнее далее.

Геологическое строение. Литологические разности могут иметь различные формы, и их параметры – геометрические, залегание, физико-механические свойства – меняются в широких пределах [17].

Следует отметить, что на сегодняшний день на рудниках АО «Апатит» принята весьма подробная методика классификации массива по устойчивости и выбору крепи (согласно «Указаниям...»), однако даже с учетом длительной ее апробации и уточнений существуют ситуации, при которых категория устойчивости определяется субъективно, т. е. понижается в зависимости от осложняющих факторов, в том числе и сложного литологического строения.

Несмотря на многолетние работы по изучению строения массива [18–23], необходима их систематизация и дальнейшее накопление для математической обработки большого массива данных для учета данного фактора при определении параметров устойчивости выработок на рудниках АО «Апатит».

На сегодняшний день на территории Хибинского массива изучено строение более 250 даек. Они представлены породами различных физико-механических свойств и характера разрушения. Основные из них имеют мощность от несколь-

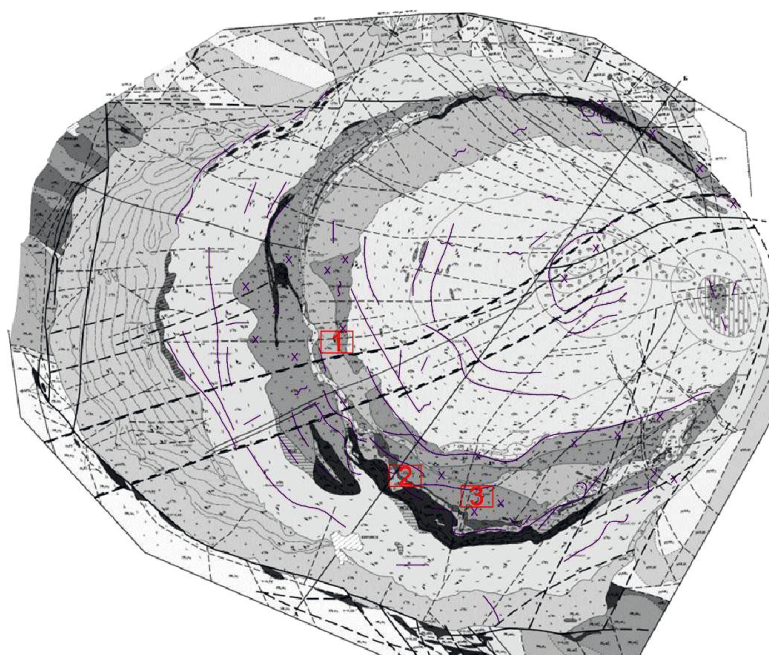


Рисунок 1. Геологическая схема Хибинского массива с учетом даек [16]. Месторождения: 1 – Кукисвумчорр; 2 – Юкспор; 3 – Расвумчорр. Фиолетовый контур – дайки различных конфигураций
Figure 1. Geological map of the Khibinsky rock mass including dikes [16]. Fields: 1 – Kukisvumchorr; 2 – Yukspor; 3 – Rasvumchorr. Purple outline – dikes of various configurations

Таблица 1. Физико-механические свойства, принятые для моделирования (составлено авторами)
Table 1. Physical and mechanical properties taken for modeling (compiled by the authors)

Литологическая разность	Коэффициент Пуассона	Модуль упругости, ГПа	Удельный вес, т/м ³	Прочность на сжатие, МПа
Вмещающие породы	0,33	10,0	0,027	120
Дайка 1	0,33	50,0	0,022	120
Дайка 2	0,33	0,5	0,022	120

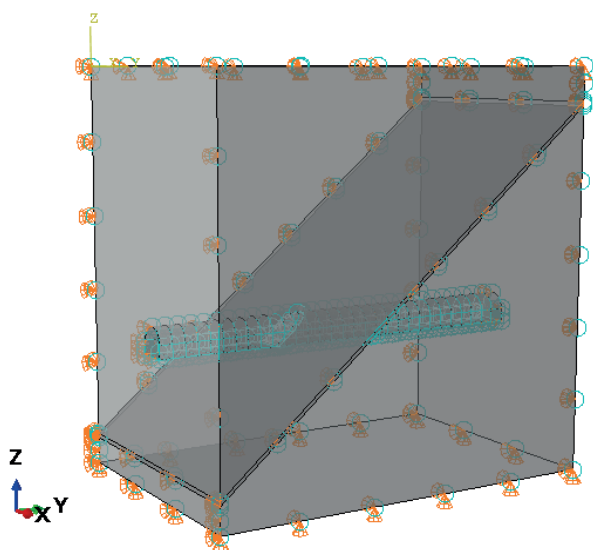


Рисунок 2. Расчетная схема (составлено авторами)
Figure 2. Calculation scheme (compiled by the authors)

ких сантиметров на глубоких горизонтах до нескольких метров на верхних, имеют крутое падение. Свойства даек варьируются в зависимости от условий их формирования.

Влияние литологического фактора на образование зон концентрации напряжений во вмещающих породах вокруг горизонтальных выработок. Для оценки влияния литологического фактора были разработаны пространственные численные модели, которые позволяют определить влияние неоднородных прослоек (даек) на напряженно-деформированное состояние на контуре выработки, а затем оценить устойчивость породного обнажения для последующего принятия технологических решений. Для геомеханической интерпретации результатов моделирования рассмотрена выработка на глубине 300 м в условиях апатитонефелиновых месторождений (рис. 2).

Для сравнения влияния дайки на напряженно-деформированное состояние в окрестности выработки при ее приближении к нарушению рассматриваются два типа моделей:

- при наличии дайки с более высоким модулем упругости в сравнении с массивом;
- при наличии дайки с меньшим модулем упругости в сравнении с массивом.

Свойства массива и дайки приняты усредненными на основании обработки данных о физико-механических свойствах массивов апатитонефелиновых месторождений и сведены в табл. 1.

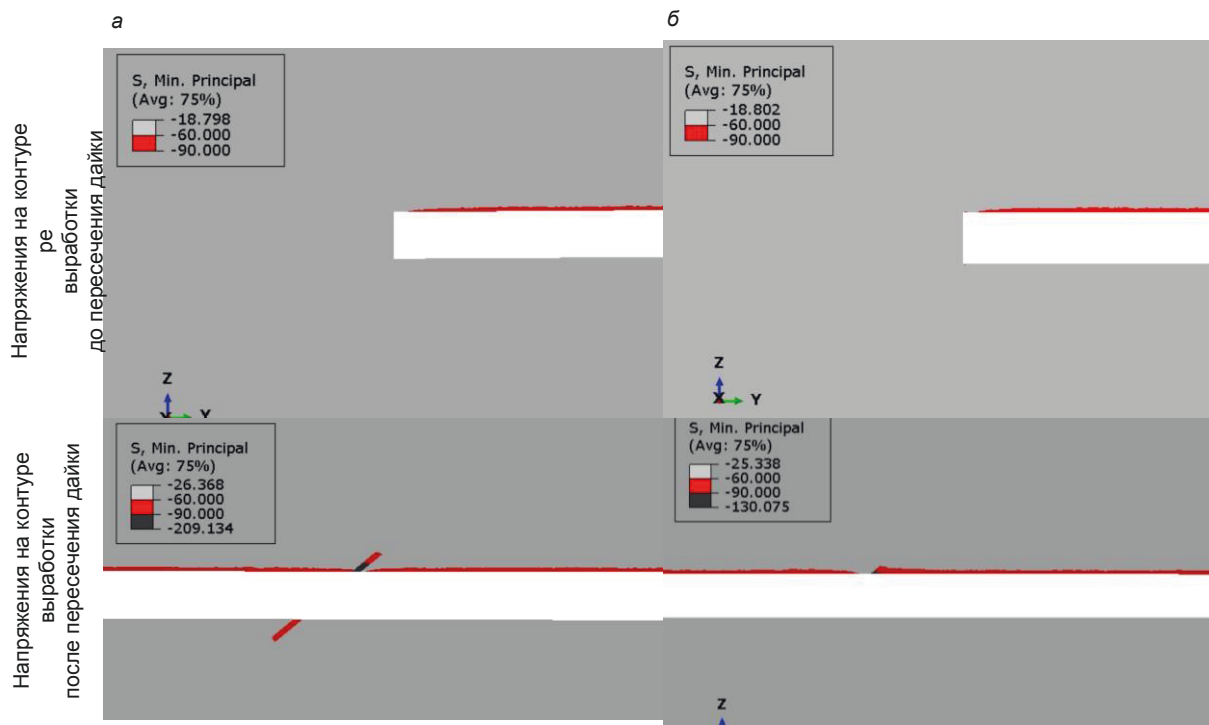


Рисунок 3. Эпюра распределения напряжений в пределах дайки (составлено авторами)
Figure 3. Plot of stress distribution within a dike (compiled by the authors)

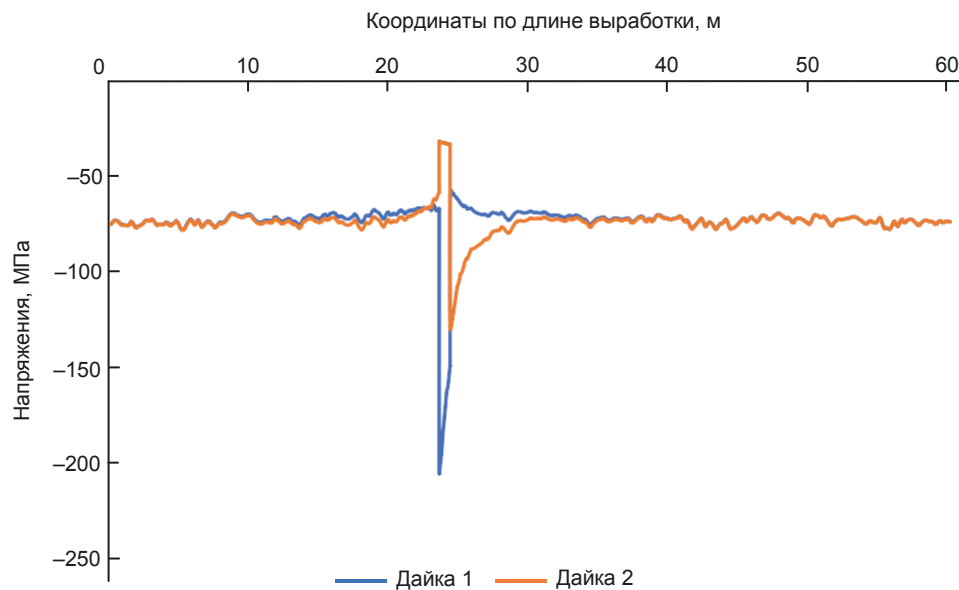


Рисунок 4. График изменения напряженно-деформированного состояния пород на контуре горной выработки при наличии литологических неоднородностей с повышенными и пониженными деформационными свойствами (составлено авторами)
Figure 4. Graph of changes in the stress-strain state of rocks on the contour of a mine working in the presence of lithological heterogeneities with increased and decreased deformation properties (compiled by the authors)

На рис. 3 показан характер распределения напряжений при приближении выработки к дайке и после ее пересечения. Красным показаны зоны, в которых величины напряжений находятся в пределах $0,5 \sigma_c \leq \sigma \leq 0,7 \sigma_c$, черным – $\sigma > 0,7 \sigma_c$.

Дайка является зоной концентрации напряжений (рис. 3, а). Ее влияние при подходе выработки может привести к проявлению горного давления в динамической форме, в то время как во втором случае (рис. 3, б) она яв-

ляется зоной разгрузки массива. Это же подтверждается на графике (рис. 4).

Сравнение характера распределения напряжений показывает, что физико-механические свойства даек влияют на распределение максимальных напряжений на контуре выработки. В первом случае максимальные концентрации ($\sigma = 209$ МПа) располагаются в кровле выработки, в зоне расположения дайки. Во втором – также располага-

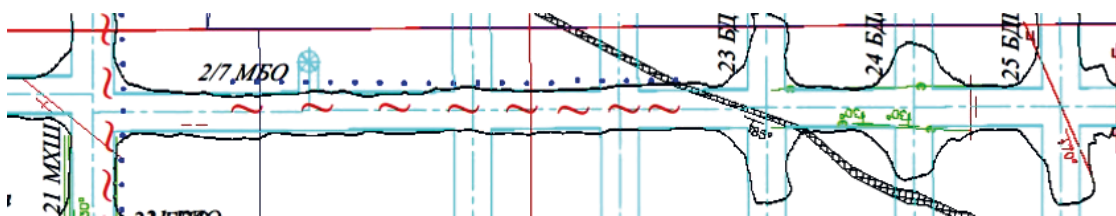


Рисунок 5. Участок плана горных выработок
Figure 5. Section of the mine working plan

Таблица 2. Усредненные физико-механические свойства в образцах (составлено авторами)
Table 2. Average physical and mechanical properties in samples (compiled by the authors)

Прочность на одноосное сжатие, МПа	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона
	<i>Мончикит</i>	
312	76	0,27
	<i>Руда</i>	
120	63	0,33

Таблица 3. Классификация массива горных пород по З. Бенявскому (составлено авторами)
Table 3. Classification of the rock mass according to Z. Benyavsky (compiled by the authors)

Рейтинг RMR	Класс	Описание	Степень устойчивости
100–81	I	Очень хороший	Весьма устойчивый
80–61	II	Хороший	Устойчивый
60–41	III	Добротный	Средней устойчивости
40–21	IV	Плохой	Неустойчивый
< 20	V	Очень плохой	Весьма неустойчивый

Таблица 4. Расчетные физико-механические свойства массива горных пород (составлено авторами)
Table 4. Estimated physical and mechanical properties of the rock mass (compiled by the authors)

Прочность на одноосное сжатие, МПа	Модуль упругости, ГПа	Коэффициент Пуассона
	<i>Мончикит</i>	
312	21,8	0,27
	<i>Руда</i>	
120	10	0,33

ются в кровле, однако максимальные напряжения ($\sigma = 130$ МПа) затрагивает меньшую зону влияния и балансирует с зоной разгрузки, приближенной к фоновым напряжениям в массиве (серый цвет). Исследования свидетельствуют, что при более высоком модуле упругости заполнителя литологических разностей, возникает опасность хрупкого разрушения и потери устойчивости выработки, в то время как при меньшем модуле упругости в массиве происходит перераспределение напряжений таким образом, что появится зона разгрузки массива.

Анализ события, произошедшего на Кировском руднике. В целях обеспечения безопасности ведения горных работ оценка устойчивости горных пород является актуальной задачей. Для анализа влияния литологических разностей на устойчивость выработок принят

фактический участок проходки выработки, пересекающий дайку мончикитовых пород шириной 1,5 м, имеющую угол падения 85°.

Далее на основе RMR производится переход от свойств пород в образце к свойствам массива.

Фактические свойства массива для целей моделирования определяются расчетным путем. Модуль упругости с учетом структурного ослабления по формуле Бенявского [24]:

$$E_m = E \exp\left(\frac{RMR - 100}{36}\right),$$

где E – модуль общей деформации пород по результатам испытаний.

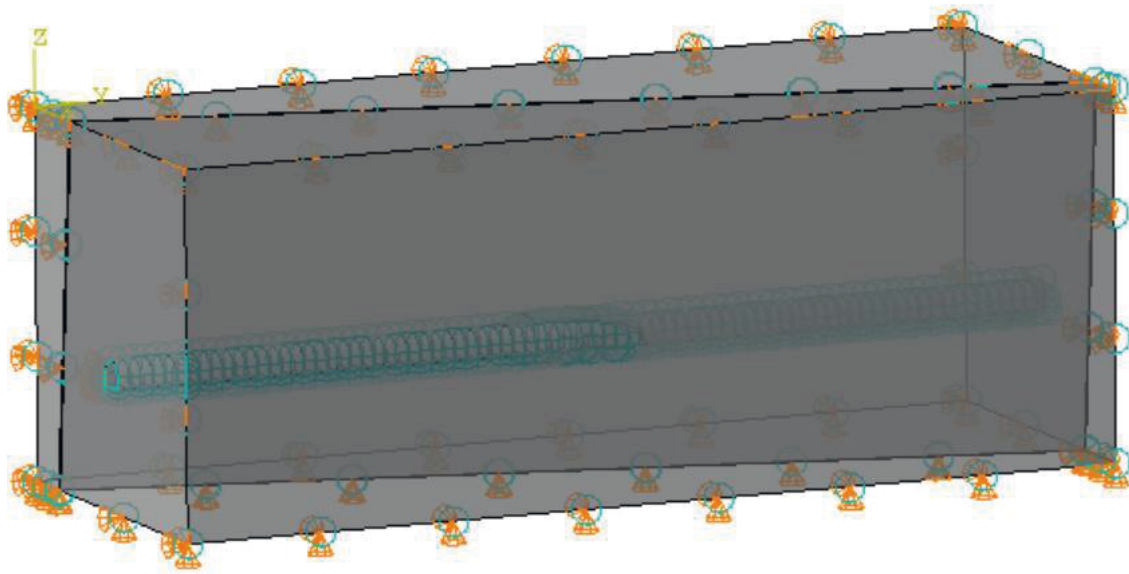


Рисунок 6. Геометрия конечно-элементной модели (составлено авторами)
Figure 6. Geometry of the finite element model (compiled by the authors)

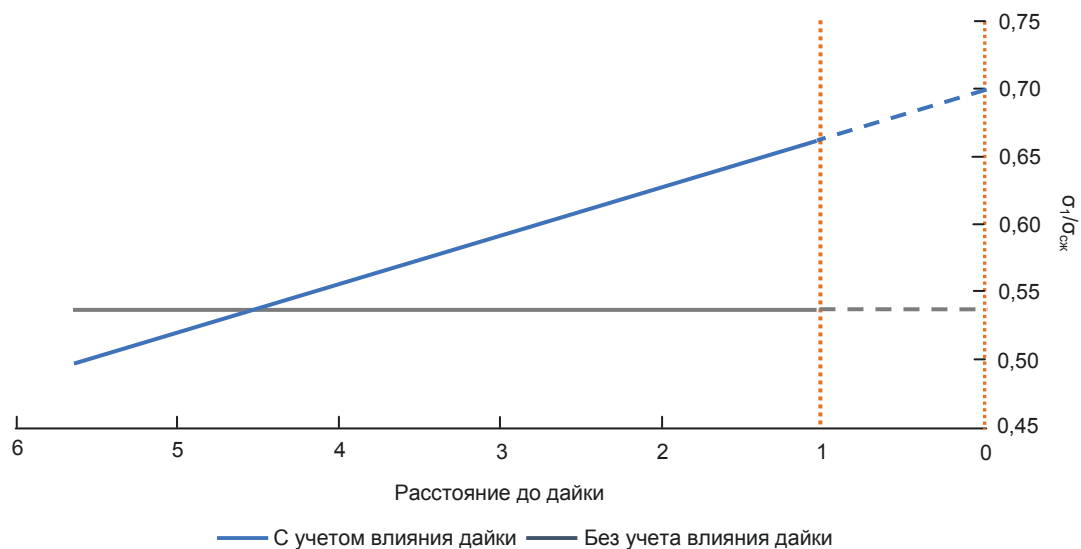


Рисунок 7. Корреляционные зависимости отношения σ_1/σ_{ck} от удаленности выработки от дайки по нормали (составлено авторами)
Figure 7. Correlation dependences of the ratio σ_1/σ_{ck} on the distance of the working from the dike along the normal (compiled by the authors)

Трехмерная численная модель разрабатывалась в ПО Simulia Abaqus. Геометрия модели показана на рис. 6. В ней учитывались угол падения и азимут простирания дайки, подсекающей горную выработку.

Полученные по результатам расчета картины распределения напряжений указывают, что при приближении к подсекающей дайке напряжения на контуре выработки возрастают и превышают предел прочности.

Результатом моделирования являлось построение зависимости распределения наибольших главных напряжений σ_1 по расстоянию до поверхности дайки.

В качестве критерия, по которому следует выполнять оценку устойчивости целика, используем критерий SRF.

Согласно рекомендациям, выработка может подвергаться шелушению и динамическому заколообразованию при следующем условии:

$$0,5 \leq \sigma_1/\sigma_{ck} \leq 0,7.$$

Как видно, в данном случае при пересечении дайки создается ситуация, в которой напряжения могут привести к горному удару, а при приближении фронта работ к дайке ближе чем на 5,5 м возможны проявления заколообразования.

Заключение

Исследование позволило установить влияние даек на распределение напряжений в приконтурном массиве горизонтальной горной выработки.

Необходимость учета литологических разностей в явном виде обусловлена тем, что при ее упрощении и идеализации массива сплошной средой появляются упущения в прогнозе изменения напряженно-деформированного состояния. Следствием может стать неправильный подбор параметров проведения выработки и ее крепи.

Анализ научной литературы показал, что к настоящему моменту существует не так много исследований, посвященных вопросам влияния границ литологических разностей на устойчивость приконтурного массива. Перспективным на-

правлением исследований является многофакторный анализ их расположения с различными деформационными свойствами и геометрическими параметрами относительно проходимой горной выработки и оценка их влияния на устойчивость контура выработки в сложных горно-геологических условиях.

В дальнейших работах предполагается подробнее исследовать влияние литологических неоднородностей на устойчивость горных выработок в зависимости от их геометрических параметров, а также свойств слагающих пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baroň I., Sokol L., Melichar R., Plan L. Gravitational and tectonic stress states within a deep-seated gravitational slope deformation near the seismogenic Periadriatic Line fault // *Engineering Geology*. 2019. Vol. 261. Article number 105284. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105284>
2. Shabarov A. N., Kuranov A. D., Kiselev V. A. Assessing the zones of tectonic fault influence on dynamic rock pressure manifestation at Khibiny deposits of apatite-nepheline ores // *Eurasian Mining*. 2021. No. 2 (36). С. 3–7. <https://doi.org/10.17580/em.2021.02.01>
3. Wilson L., Head J. W. Tharsis-radial graben systems as the surface manifestation of plume-related dike intrusion complexes: Models and implications // *Journal of Geophysical Research: Planets*. 2002. Vol. 107. No. E8. P. 1–24. <https://doi.org/10.1029/2001JE001593>
4. Zhang Y., Shi W., Liao C., Hu B. Fault kinematic analysis and change in Late Mesozoic tectonic stress regimes in the peripheral zones of the Ordos Basin, North China // *Acta Geologica Sinica (English Edition)*. 2006. Vol. 80. No. 5. С. 639–647.
5. Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E. Experience of using expert systems for assessing the stress-strain state of a rock mass for choosing safe methods of mining ore deposits // *Journal of Mining Institute*. 2012. Vol. 198. P. 16–23. URL: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5908>
6. Gospodarikov A. P., Zatsepin M. A. Mathematical modelling of applied problems of rock mechanics and rock massifs // *Journal of Mining Institute*. 2014. Vol. 207. P. 217–221.
7. Gospodarikov A. P., Zatsepin M. A., Meleshko A. V. Numerical modeling based on the finite difference method of some applied problems of geomechanics // *Journal of Mining Institute*. 2009. Vol. 182. P. 238–240.
8. Shabarov A., Kuranov A., Popov A., Tsirel S. Geodynamic risks of mining in highly stressed rock mass // *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 129. Article number 01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912901011>
9. Козырев А. А., Панин В. И., Семенова И. Э. Управление геодинамическими рисками на Хибинских апатитовых рудниках // *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2010. № 3. С. 9–18.
10. Корчак П. А. Геомеханический прогноз развития зон хрупкого разрушения в окрестности сопряжения горных выработок в перенапряженном породном массиве // *ГИАБ*. 2021. № 5. С. 85–98. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_5_0_85
11. Геомеханические процессы в геологической среде горнотехнических систем и управление геодинамическими рисками / А. А. Козырев [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2019. 431 с. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.391.7>
12. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках / И. М. Петухов, А. М. Ильин, К. Н. Трубецкой (ред.). М.: Изд-во АГН, 1997. 377 с.
13. Chen Y., Ma S., Yang Y., Meng N., Bai J. Application of shallow-hole blasting in improving the stability of gob-side retaining entry in deep mines: A case study // *Energies*. 2019. Vol. 12. No. 19. Article number 3623. <https://doi.org/10.3390/en12193623>
14. Li C. C., Mikula P., Simer B., Hebblewhite B., Joughin W., Feng X., Xu N. Discussions on rockburst and dynamic ground support in deep mines // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. Vol. 11. Issue 5. P. 1110–1118. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.06.001>
15. Vilner M., Nguen T. T., Korchak P. The assessment of the roof beam stability in mining workings // *Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues: Proceedings of the Russian-German Raw Materials Dialogue: A Collection of Young Scientists Papers and Discussion*. London: CRC Press, 2019. P. 53–57. <https://doi.org/10.1201/9781003017226-7>
16. Petrov D. N., Dolgy I. S., Ochukurov V. I. Influence of tectonic stresses and geological disturbances in the rock mass on the parameters of the stress-strain state around mine workings // *Journal of Mining Institute*. 2010. Vol. 185. P. 132–135.
17. Арзамасцев А. А., Беляцкий Б. В., Травин А. В., Арзамасцева Л. В., Царев С. Е. Дайковые породы в Хибинском массиве: связь с плутоническими сериями, возраст, характеристика мантийных источников // *Петрология*. 2005. Т. 13. № 3. С. 295–318.
18. Геомеханика массивов и динамика выработок глубоких рудников / В. Л. Трушко [и др.]; под ред. Е. И. Шемякина. СПб: СПГГИ, 2000. 396 с.
19. Hoek E., Brown E. T. The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2019. Vol. 11. Issue 3. P. 445–463. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001>
20. Kasparyan E. E., Kuznetsov N. N., Shokov A. N., Pak A. K. Dynamic failure conditions in strong rock masses // *Mining informational and analytical bulletin*. 2020. Issue 4. P. 69–84. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-4-0-69-84>
21. Kozyrev A. A., Zhukova S., Zhuravleva O., Onuprienko V. S. Induced seismicity of rock mass: Development of instrumental and methodological support to control seismicity at the Khibiny apatite-nepheline deposits // *Gornyi Zhurnal*. 2020. No. 9. P. 19–26. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.02>
22. Sinogubov V. Yu., Popov M. G., Vilner M. A., Sotnikov R. O. Influence of stoping on formation of damaged rock zones at boundaries of large cross-section excavations in apatite–nepheline mining // *Gornyi Zhurnal*. 2021. No. 8. P. 26–30. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.08.04>
23. Zhang Q., Zhang X., Wang Z., Xiang W., Xue J. Failure mechanism and numerical simulation of zonal disintegration around a deep tunnel under high stress // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2017. Vol. 93. P. 344–355. <https://doi.org/10.1016/j.ijmms.2017.02.004>
24. Galera J. M., Álvarez M., Bieniawski Z. T. Evaluation of the deformation modulus of rock masses: comparison of pressuremeter and dilatometer tests with RMR prediction // *Proceedings of the ISP5-PRESSIO 2005 international symposium, Madrid, Spain*. P. 1–25.

Статья поступила в редакцию 26 января 2023 года

Influence of dikes in a rock mass on the stability of a mine working under the action of a gravitational-tectonic stress field

Anton Dmitrievich KURANOV^{1*}

Polina Vyacheslavovna BASALAEVA^{2**}

Vyacheslav Sergeevich ONUPRIENKO^{3***}

¹ JSC “Giprosvetmet”

² Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

³ Kirovsk Branch of JSC “Apatit”, Kirovsk, Murmansk Region, Russia

Abstract

The purpose of the research – to analyse the effect of a complex lithological structure on the stability of mine workings.

The relevance of the work. The need to take into account complex geological structure is one of the most important factors affecting the stability of rock outcrops. By this we mean the lithological structure and the presence of lithological heterogeneities. The difference in physical and mechanical, and particularly deformation properties, between lithologic alterations and host rocks can lead to unfavorable rock pressure conditions during excavation and operation.

The research's methods. In this work, we study rock mass behavior in the presence of lithologic inhomogeneities with different characteristics using spatial numerical models. Using geological data and rating techniques, the transition from physical and mechanical properties of the sample to the properties of the massif is done.

The results of the work and its area of application. The work provides an overview of the occurrence of lithological heterogeneities, and of lithology as a factor influencing the stability of mine workings. Moreover, numerical models with different physical and mechanical properties of dikes were built and analyzed and the actual section of the mine workings underlain by a monkeite dike was taken for the analysis of the influence of lithological differences on the stability of mine workings.

Conclusion. The simplification and idealization of massif as a continuous medium leads to loopholes in stress-strain state of massif.

Keywords: Stability of mine workings, lithological structure, stress-strain state, apatite-nepheline deposit, numerical simulation.

REFERENCES

1. Baroň I., Sokol L., Melichar R., Plan L. 2019, Gravitational and tectonic stress states within a deep-seated gravitational slope deformation near the seismogenic Periadriatic Line fault. *Engineering Geology*, vol. 261. Article number 105284. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105284>
2. Shabarov A. N., Kuranov A. D., Kiselev V. A. 2021, Assessing the zones of tectonic fault influence on dynamic rock pressure manifestation at Khibiny deposits of apatite-nepheline ores. *Eurasian Mining*, no. 2 (36), pp. 3–7. <https://doi.org/10.17580/em.2021.02.01>
3. Wilson L., Head J. W. 2002, Tharsis-radial graben systems as the surface manifestation of plume-related dike intrusion complexes: Models and implications. *Journal of Geophysical Research: Planets*, vol. 107, no. E8, pp. 1–24. <https://doi.org/10.1029/2001JE001593>
4. Zhang Y., Shi W., Liao C., Hu B. 2006, Fault kinematic analysis and change in Late Mesozoic tectonic stress regimes in the peripheral zones of the Ordos Basin, North China. *Acta Geologica Sinica*, vol. 80, no. 5, pp. 639–647.
5. Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E. 2012, Experience of using expert systems for assessing the stress-strain state of a rock mass for choosing safe methods of mining ore deposits. *Journal of Mining Institute*, vol. 198, pp. 16–23. URL: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/5908>
6. Gospodarikov A. P., Zatsepina M. A. 2014, Mathematical modelling of applied problems of rock mechanics and rock massifs. *Journal of Mining Institute*, vol. 207, pp. 217–221.
7. Gospodarikov A. P., Zatsepina M. A., Meleshko A. V. 2009, Numerical modeling based on the finite difference method of some applied problems of geomechanics. *Journal of Mining Institute*, vol. 182, pp. 238–240.
8. Shabarov A., Kuranov A., Popov A., Tsirel S. 2019, Geodynamic risks of mining in highly stressed rock mass. *E3S Web of Conferences*, vol. 129. Article number 01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912901011>
9. Kozyrev A. A., Panin V. I., Semenova I. E. 2010, Geodynamic risk management at the Khibiny apatite mines. *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], no. 3, pp. 9–18. (In Russ.)
10. Korchak P. A. 2021, Geomechanical prediction of growth of brittle fracture zones in the vicinity of underground excavations in over-stress rock mass. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy biulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 5, pp. 85–98. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_5_0_85
11. Kozyrev A. A. [et al.]. 2019, Geomechanical processes in the geological environment of mining systems and management of geodynamic risks. Apatity, 431 p. (In Russ.) <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.391.7>
12. Petukhov I. M., Ilyin A. M., Trubetskoy K. N. 1997, Prediction and prevention of rock bursts in mines. Moscow, 377 p. (In Russ.)

✉ Kuranov_AD@pers.spmi.ru

**Basalaeva_pv@pers.spmi.ru

***VOnuprienko@phosago.ru

13. Chen Y., Ma S., Yang Y., Meng N., Bai J. 2019, Application of shallow-hole blasting in improving the stability of gob-side retaining entry in deep mines: A case study. *Energies*, vol. 12, no. 19. Article number 3623. <https://doi.org/10.3390/en12193623>
14. Li C. C., Mikula P., Simer B., Hebblewhite B., Joughin W., Feng X., Xu N. 2019, Discussions on rockburst and dynamic ground support in deep mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 11, issue 5, pp. 1110–1118. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.06.001>
15. Vilner M., Nguen T. T., Korchak P. 2019, The assessment of the roof beam stability in mining workings. *Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues: Proceedings of the Russian-German Raw Materials Dialogue: A Collection of Young Scientists Papers and Discussion*. London: CRC Press, pp. 53–57. <https://doi.org/10.1201/9781003017226-7>
16. Petrov D. N., Dolgy I. S., Ochukurov V. I. 2010, Influence of tectonic stresses and geological disturbances in rock mass on the parameters of stress-strain state around mine workings. *Journal of Mining Institute*, vol. 185, pp. 132–135.
17. Arzamastsev A. A., Belyatsky B. V., Travin A. V., Arzamastseva L. V., Tsarev S. E. 2005, Dike rocks in the Khibiny massif: connection with plutonic series, age, characterization of mantle sources. *Petrologia* [Petrology], vol. 13, no. 3, pp. 295–318. (In Russ.)
18. Trushko V. L. [et. al]. 2000, Geomechanics of massifs and dynamics of workings of deep mines. Saint Petersburg, 396 p. (In Russ.)
19. Hoek E., Brown E. T. 2019, The Hoek–Brown failure criterion and GSI – 2018 edition. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 11, issue 3, pp. 445–463. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.08.001>
20. Kasparyan E. E., Kuznetsov N. N., Shokov A. N., Pak A. K. 2020, Dynamic failure conditions in strong rock masses. *Mining informational and analytical bulletin*, issue 4, pp. 69–84. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-4-0-69-84>
21. Kozyrev A. A., Zhukova S., Zhuravleva O., Onuprienko V. S. 2020, Induced seismicity of rock mass: Development of instrumental and methodological support to control seismicity at the Khibiny apatite-nepheline deposits. *Gornyi Zhurnal*, no. 9, pp. 19–26. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.09.02>
22. Sinegubov V. Yu., Popov M. G., Vilner M. A., Sotnikov R. O. 2021, Influence of stoping on formation of damaged rock zones at boundaries of large cross-section excavations in apatite–nepheline mining. *Gornyi Zhurnal*, no. 8, pp. 26–30. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.08.04>
23. Zhang Q., Zhang X., Wang Z., Xiang W., Xue J. 2017, Failure mechanism and numerical simulation of zonal disintegration around a deep tunnel under high stress. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 93, pp. 344–355. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.02.004>
24. Galera J. M., Álvarez M., Bieniawski Z. T. Evaluation of the deformation modulus of rock masses: comparison of pressuremeter and dilatometer tests with RMR prediction. *Proceedings of the ISP5-PRESSIO 2005 international symposium*, Madrid, Spain, pp. 1–25.

The article was received on January 26, 2023

Особенности минерального состава техногенных отложений урбанизированной среды на примере городов Уральского региона

Екатерина Олеговна ИЛГАСHEВА^{1,2*}

¹Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Цель работы – изучение особенностей минерального состава рыхлых техногенных поверхностных отложений 7 городов Уральского региона России: Уфы, Перми, Тюмени, Челябинска, Нижнего Тагила, Магнитогорска, Екатеринбурга. В ходе работы был проведен отбор грунта, осадка, дорожной пыли и снеготрясовой пульпы в различных функциональных зонах современных городов с целью изучения вещественного состава и особенностей распределения минералов, в частности природного и техногенного происхождения.

Методика работы. В ходе работы были изучены пробы поверхностного осадка, отобранные в районах с разными типами промышленности и периодами застройки. Для всех проб был выполнен гранулометрический анализ, а для дальнейшего исследования были выбраны фракции 100–250 и 250–1000 мкм. Определение минерального состава поверхностных отложений проведено с помощью качественного и полуколичественного минерального анализа гранулометрических фракций методами порошковой дифрактометрии и термического анализа, часть проб изучена с помощью методов оптической и электронной микроскопии. Техногенные частицы отобраны с помощью методов оптической микроскопии. Для описания морфологических особенностей таких частиц были скомбинированы методы оптической и электронной сканирующей микроскопии. Химический состав был получен с помощью сканирующего электронного микроскопа, оборудованного приставкой для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Результаты. В ходе исследования получены данные по фазово-минеральному составу техногенных поверхностных отложений. Частицы техногенного происхождения классифицированы, определен их вклад в состав поверхностных отложений на урбанизированных территориях. По результатам настоящей работы, минеральный состав представлен ассоциацией природных и техногенных минералов и их агрегатов. Поверхностные отложения городов Уральского региона имеют схожий минеральный состав и техногенную составляющую.

Ключевые слова: урбанизированная территория, современный седиментогенез, техногенез, поверхностные отложения, минеральный состав, техногенные частицы, геоэкология.

Введение

В урбанизированной среде непрерывно происходят процессы седиментогенеза и дальнейшего преобразования поверхностных отложений. Седиментогенез в общем плане рассматривается как важнейший процесс естественной динамики поверхности Земли и является глобальным геохимическим процессом, с которым связаны дифференциация вещества и миграция химических элементов [1]. Он затрагивает в том числе поверхностные отложения современных городов. В процессе седиментогенеза на урбанизированных территориях за счет изменений и перемещений естественных грунтов, размещения в геологической среде отходов производства и потребления (шлаки, шламы, бытовые отходы) с развитием процессов разубоживания и миграции отходов формируются техногенные грунты. Указанные процессы рассматриваются в грунтоведении как искусственный седиментогенез [2].

В процессах искусственного седиментогенеза участвуют значительные массы материала, появление кото-

рых связано с хозяйственной деятельностью человека. Под влиянием миграционных процессов, вызванных поверхностным стоком и высокой автомобильной нагрузкой, происходит накопление в областях транзита и аккумуляции специфических отложений, состоящих из смеси природных и техногенных минералов, техногенных частиц и продуктов их изменения. Такие осадки являются своеобразными по морфологии, составу и свойствам, и до недавнего времени в природе не существовали. Техногенные осадки, размещенные в поверхностных условиях, с течением времени подвергаются процессам выветривания, коррозии и окисления.

Процессы техногенного седиментогенеза наиболее ярко проявлены в промышленно урбанизированных и горнопромышленных районах, где особенно активно происходит образование техногенных отложений, которые концентрируют значительные массы различных химических элементов и являются источниками их вторичного

✉ katerina.ilgasheva@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9538-9685>

рассеяния [3]. В условиях крупномасштабных техногенных преобразований в последние десятилетия научным сообществом такие отложения рассматриваются в качестве техногенной формации [4–6].

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны пробы поверхностных отложений, отобранные в 7 городах Уральского региона России: Уфе, Перми, Тюмени, Челябинске, Нижнем Тагиле, Магнитогорске, Екатеринбурге. Выбранные города расположены в разных природных и климатических зонах, характеризуются различным литологическим субстратом и типом промышленности. На территории городов кроме четвертичных отложений, вскрытых при строительстве зданий, сооружений и коммуникаций, отмечаются выходы коренных пород. Для Нижнего Тагила, Челябинска, Магнитогорска основной отраслью специализации является черная металлургия. Машиностроение, нефтехимия, деревообработка являются ключевыми сегментами экономического развития Перми. Промышленность Тюмени сосредоточена в нефтегазовой отрасли, машиностроении и металлургии. Промышленность Екатеринбурга представлена машиностроением, приборостроением, металлургией, производством строительных материалов, химической промышленностью. Все перечисленные города отличаются высоким уровнем урбанизации и повышенной автомобильной нагрузкой.

Пробы поверхностного осадка были отобраны в районах с разными типами промышленности и периода застройки. Отбор проб был проведен по нерегулярной сети не менее чем на 40 участках в каждом городе. Пробоотбор проводился с дворовой территории с многоэтажной застройкой. Всего было отобрано от 3 до 5 проб в каждой локации, масса отобранного материала составляет 1–1,5 кг. Процедура отбора проб подробно описана в ранее опубликованных статьях [7–9]. При отборе проб и последующем анализе выделены следующие типы отложений окружающей среды:

- 1) грунты – ненарушенные пробы почвы на газонах и пробы грунта во дворах и внешней части экспериментальных площадок;
- 2) осадок – пробы поверхностного осадка городской среды, отобранные в пониженных участках рельефа;
- 3) RDS – пробы осадка на проезжей части улиц, дорожная пыль [10].

Для изучаемых образцов проводилось определение гранулометрического состава. Для этого сухим просеиванием вначале отделялась фракция размером больше 1 мм. Затем мокрым ситованием отделялись гранулометрические фракции 0,05–0,1 мм, 0,1–0,25 мм и 0,25–1 мм. Методом отмучивания с вакуумным фильтрованием через мембранные фильтры с разным размером пор отделялись фракции 0,002–0,01 мм и 0,01–0,05 мм. Порошковые образцы исследовались методами рентгенофазового и термического анализов. Рентгенофазовый анализ проведен на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) в фильтрованном медном излучении в области брэгговских углов 2θ 3–70°, скорость съемки – 1°/мин. По полученным дифракционным картинкам определен фазово-минеральный состав исследованных образцов.

Полуколичественный расчет проводился методом полно-профильного рентгенодифракционного количественного анализа (метод Ритвельда) с использованием программного комплекса SIROQUANT V4 (Австралия). Для части образцов (фракции 0,002–0,01 мм и 0,01–0,05 мм) выполнен также термический анализ (ДТА) на дериватографе Q-1500D (Венгрия), атмосфера печи – воздух. Термические характеристики образцов определяются по кривым ДТА – качественно, и по кривым ТГ (и ДТГ) количественно (полуколичественно).

Техногенные частицы были отобраны вручную из фракции 0,25–1 мм под бинокулярным микроскопом с помощью методов визуальной диагностики. Большую помощь при определении частиц оказывает сравнение их с коллекцией заведомо известных типов частиц [11, 12]. Морфология частиц была изучена с помощью оптического микроскопа. Химический состав и структура частиц были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JSM-6390LV в сочетании с методами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) с помощью приставки INCA Energy 350 X-Max 50, Oxford Instruments. Исследования были проведены в ЦКП «Геоаналитик» на базе Института геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН.

Результаты

Типы частиц, слагающих основную массу поверхностного осадка, можно отнести к двум видам: 1) природные минералы и их агрегаты (горные породы); 2) техногенные частицы (минералы, образованные в результате деятельности человека).

Минеральный состав поверхностных техногенных отложений характеризуется наличием следующих минералов: кварц, полевые шпаты, серпентин, кальцит, доломит, магнезит, хлорит, биотит и гидробиотит, амфибол, галит, циркон, мусковит, форстерит, магнетит, сидерит, каолинит, монтмориллонит. Наиболее распространены кварц и полевые шпаты. Для всех изученных проб отмечается увеличение содержания кварца в крупных фракциях по сравнению с мелкими фракциями. Это объясняется использованием кварцевого песка для облагораживания газонов и детских площадок, с которых в дальнейшем происходит снос материала на тротуары и дороги. Повышение содержания амфибола в крупных фракциях обусловлено использованием в зимний период мелкофракционного щебня для посыпки дорог и тротуаров. Слюды и гидрослюды преобладают в тонких фракциях и почти отсутствуют в крупных. Это связано с их физическими свойствами: весьма совершенной спайностью, хрупкостью, низкой твердостью. В поверхностных условиях минералы этих групп быстро перетираются и разрушаются. Наличие в пробах кальцита и доломита указывает на широкое применение этих минералов в строительстве: они входят в состав строительных смесей, штукатурки, минеральных порошков для асфальтобетона. Циркон был определен только с помощью методов электронной микроскопии и только в ассоциации с биотитом (рис. 1). Исходя из этого, можно сделать вывод, что источником цирконов в поверхностном осадке являются кислые интрузивные горные породы. Галит был обнаружен при изуче-

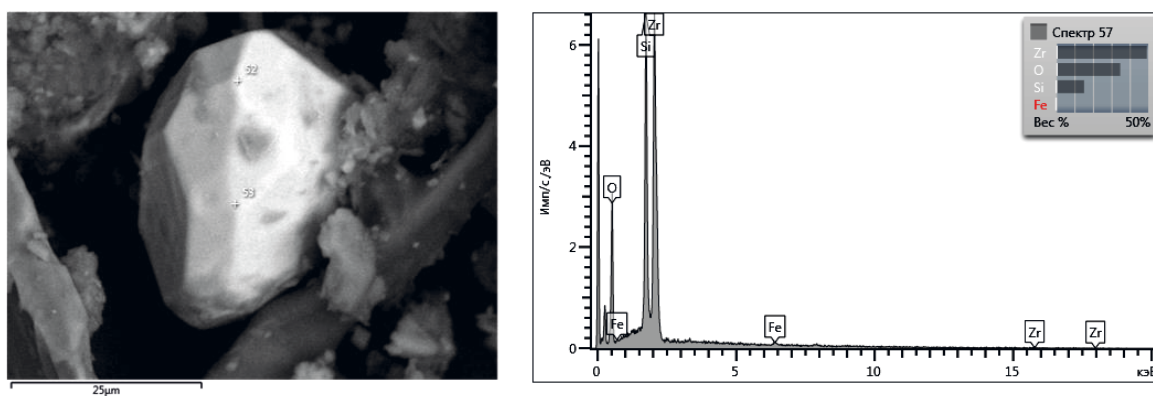


Рисунок 1. Кристалл циркона (слева). Химический состав спектра № 57 (справа). Все – с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)

Figure 1. Zircon crystal (left). Chemical composition of spectrum no. 57 (right). Done with the help of a scanning electron microscope (SEM)

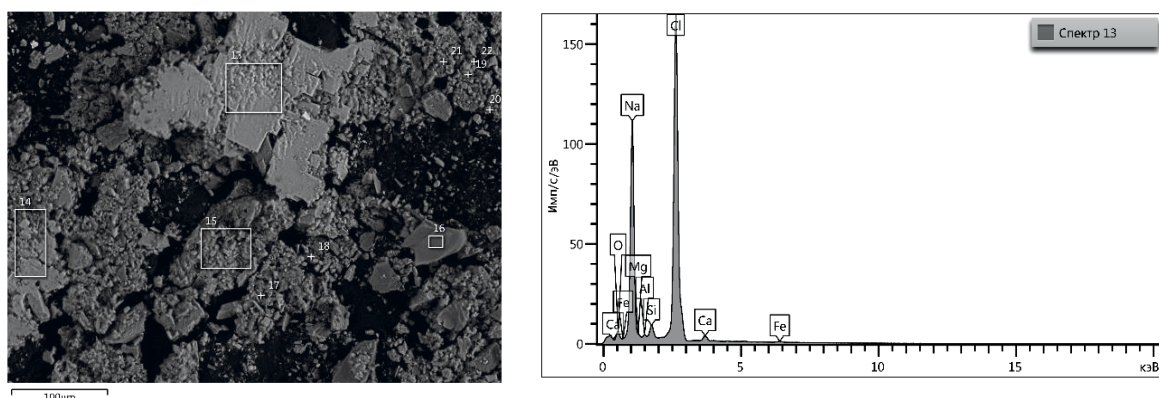


Рисунок 2. Кристаллы галита из проб снегогрязевой пульпы (слева). Химический состав спектра № 13 (справа). Все – с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)

Figure 2. Halite crystals from snow-mud pulp samples (left). Chemical composition of spectrum no. 13 (right). Done with the help of a scanning electron microscope (SEM)

нии проб снегогрязевой пульпы в виде тонких корок на поверхности других минералов (рис. 2). Галит присутствует в составе реагентов и антигололедной посыпки, поэтому распространен повсеместно. Источником форстерита и магнетита могут являться основные и ультраосновные породы, которые также используются в качестве антигололедной посыпки. Количество этих минералов составляет менее одного процента, они обнаружены не во всех изученных пробах.

Продуктами антропогенного происхождения являются обломки шлака, магнетитовые микросферы и зола уноса, тарное стекло, фрагменты строительных материалов, металлическая стружка, автомобильная резина, уголь и сажа (рис. 3). Типичными техногенными частицами, связанными с металлургией, являются магнетитовые микросферы [13, 14]. Строительство и облагораживание придомовых территорий являются источниками поступления обломков строительных материалов (кирпича, стекла, штукатурки, строительных смесей и красок). Теплоэлектростанции являются источником силикатных микросфер (золы-уноса). С автомобильным транспортом связаны фрагменты резины, тормозных накладок и дисков, частицы сажи.

Для изучения техногенных частиц используются два метода анализа: качественный и количественный.

Отсюда возникает необходимость в расчете погрешности. Количественный анализ характеризуется случайной субъективной погрешностью, которая возникает из-за погрешности счета и зрительных органов человека, т. е. причиной возникновения такой погрешности является человеческий фактор. Согласно полученным данным, погрешность оценки для фракции 100–250 мкм составляет 28,4 %, для фракции 250–1000 мкм – 21,3 %.

По совокупности внешних признаков все изученные техногенные частицы были отнесены к следующим классам: стекловидные шлаковые, камневидные шлаковые, микросферы магнетитовые, микросферы силикатные (зола уноса), фрагменты строительных материалов (обломки кирпича, фрагменты штукатурки и краски), осколки тарного стекла, фрагменты тормозных систем автомобилей (в том числе шины, фрагменты тормозных накладок и дисков).

В ходе исследования из проб поверхностного осадка было отобрано 54 микросферы. По химическому составу все изученные микросферы можно разделить на 4 класса: железистые (магнетитовые), силикатно-железистые (измененные магнетитовые), кислые и основные золы-уноса [15]. На рис. 4 представлено распределение всех полученных ЭДС-спектров в системе Si–Ca–Fe.

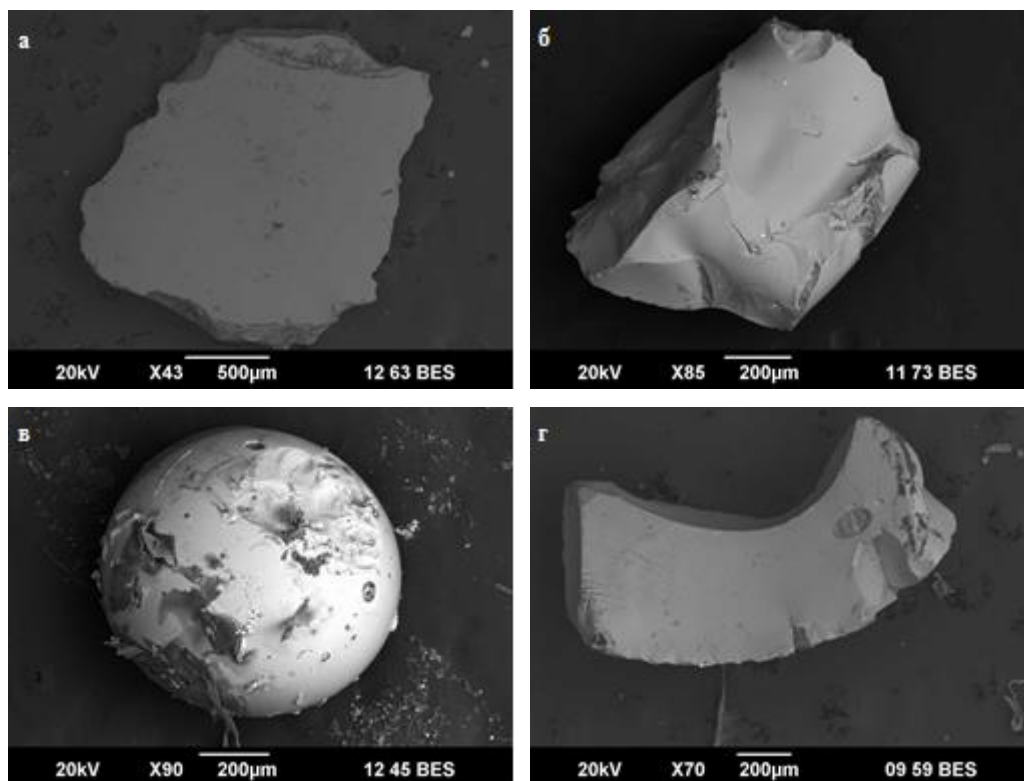


Рисунок 3. Техногенные частицы: а – штукатурка; б – шлаковая частица; в – силикатная микросфера; г – фрагмент тормозных колодок автомобиля. Фото сделано с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)

Figure 3. Technogenic particles: a – plaster; b – slag particle; c – silicate microspheres; d – a fragment of the brake pads of the car. The photo was taken using a scanning electron microscope (SEM)

Распределение количества природных минералов и техногенных частиц в разных типах поверхностных отложений представлены в табл. 1, 2.

По данным, представленным в табл. 1, 2, можно сделать вывод, что техногенные частицы, поступающие в городскую среду, накапливаются в поверхностном осадке и вносят существенный вклад (до 50 %) в общий объем отложений. Однако количество техногенных частиц уменьшается с уменьшением размерности пробы, что может свидетельствовать об их недолгом нахождении в поверхностном осадке.

Выводы

В целом поверхностные отложения городов Уральского региона имеют схожий минеральный состав, включающий породообразующие минералы и определенную долю частиц техногенного происхождения. Соотношение породообразующих минералов осадка в определенной степени связано с местными геологическими условиями. По результатам анализа минерального состава поверхностного осадка определено, что состав отложений формируется в первую очередь следующими минералами: кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, составляющими более 80 % массы. Наиболее типичными минералами, формирующими оставшуюся часть отложений, являются слюды (в том числе гидрослюда, биотит и др.). В большинстве городов часть поверхностного осадка составляют такие минералы, как кальцит, доломит, магнезит, которые являются продуктами выветривания строительных конструкций (бетон, строительный раствор, штукатурка и т. п.). В отдельных городах могут встречаться минералы, характер-

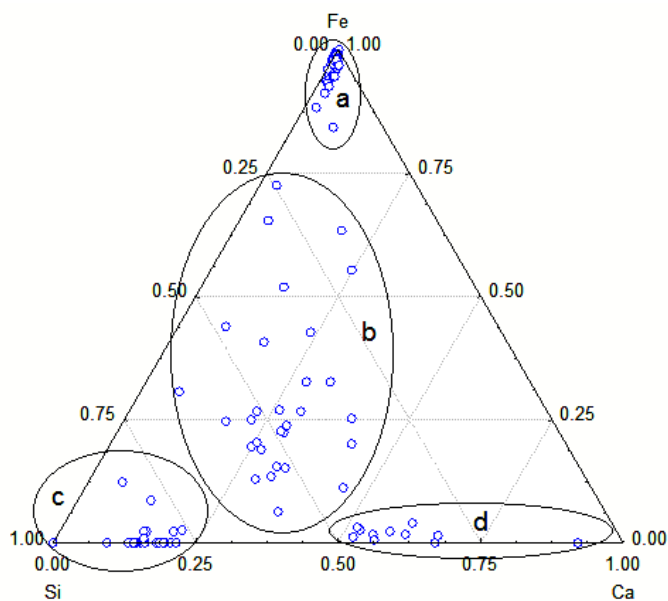


Рисунок 4. Распределение полученных ЭДС-спектров в системе Si–Ca–Fe: а – железистые; б – силикатно-железистые; в – кислые золы-уноса; г – основные золы-уноса

Figure 4. Distribution of the obtained EMF spectra in the Si–Ca–Fe system: a – ferruginous; b – silicate-ferruginous; c – acidic fly ash; d – basic fly ash

ные для соответствующих геологических зон (форстерит, магнетит), и времени года (галит, амфибол – в составе противогололедной посыпки).

Таблица 1. Распределение количества природных минералов и техногенных частиц в разных типах поверхностных отложений (фракция 250–1000 мкм)**Table 1. Distribution of the amount of natural minerals and technogenic particles in different types of surface sediments (fraction 250–1000 µm)**

Тип отложений	Количество проб, шт.	Всего изученных частиц, шт.	Количество техногенных частиц, шт.	Количество техногенных частиц, %	Количество минералов, шт.	Количество минералов, %
Грунт	10	1154	582	50,4	572	49,6
Осадок	19	3527	943	26,7	2584	73,3
Осадок + грунт	15	2319	1023	44,1	1296	55,9
RDS	10	1402	660	47,1	742	52,9

Таблица 2. Распределение количества природных минералов и техногенных частиц в разных типах поверхностных отложений (фракция 100–250 мкм)**Table 2. Distribution of the amount of natural minerals and technogenic particles in different types of surface sediments (fraction 100–250 µm)**

Тип отложений	Количество проб, шт.	Всего изученных частиц, шт.	Количество техногенных частиц, шт.	Количество техногенных частиц, %	Количество минералов, шт.	Количество минералов, %
Грунт	15	2125	484	22,8	1641	77,2
Осадок	19	2808	411	14,6	2397	85,4
Осадок + грунт	14	1994	437	21,9	1557	78,1
RDS	12	1657	301	18,2	1356	81,8

Техногенная составляющая современных отложений влияет на формирование современных экологических и геохимических условий на урбанизированных территориях, закономерности геохимической трансформации. Основными источниками поступления техногенных частиц в осадок являются: тепловые электростанции и производства, связанные со сжиганием топлива с высокой зольностью, термическая переработка минерального сырья,

строительные материалы и бытовой мусор, повышенная автомобильная нагрузка.

Для изучения вещественного состава поверхностных отложений был применен комбинированный подход, включающий методы минералогического и экологического анализа. Данный подход может быть рекомендован для применения в экологических исследованиях других регионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янин Е. П. Техногенные речные илы (вещественный состав, геохимические особенности, экологическая оценка). М.: ВИНТИ, 2013. 196 с.
2. Трофимов В. Т., Королев В. А. О фундаментальных аспектах генетического подхода к изучению грунтов // Инженерная геология. 2019. Т. 14. № 1. С. 8–19. <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-1-8-19>
3. Valtanen M., Sillanpää N., Setälä H. The Effects of Urbanization on Runoff Pollutant Concentrations, Loadings and Their Seasonal Patterns Under Cold Climate // Water, Air, & Soil Pollution. 2014. Vol. 225. Article number 1977. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1977-y>
4. Каздым А. А. Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий: палеоэкологический аспект. М.: Наука, 2006. 158 с.
5. Несмеянов С. А., Воейкова О. А., Каздым А. А., Макаров В. И. Техногенные образования как геологическая формация // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 5. С. 387–398.
6. Несмеянов С. А., Воейкова О. А. Техногенная формация – характерный признак техногенного этапа истории Земли // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 1. С. 18–21. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010147>
7. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Issue 1. P. 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58434-4>
8. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment // Geoderma. 2018. Vol. 326. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.003>
9. Seleznev A., Rudakov M. Some geochemical characteristics of puddle sediments from cities located in various geological, geographic, climatic and industrial zones // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2019. Vol. 14. No. 1. P. 95–106. <https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/062>
10. Seleznev A., Yarmoshenko I., Malinovsky G., Ilgashva E., Baglaeva E., Ryanskaya A., Kiseleva D., Gulyaeva T. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. No. 1. P. 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53793-z>
11. Илгашева Е. О., Селезнев А. А., Ярмошенко И. В., Малиновский Г. П., Киселева Д. В. Техногенные частицы в современных поверхностных отложениях на урбанизированных территориях // Минералы: строение, свойства, методы исследования. 2019. № 10. С. 97–98.
12. Осовецкий Б. М., Меньшикова Е. А. Природно-техногенные осадки. Пермь: Изд-во ПГУ, 2006. 209 с.
13. Глухов М. С. Морфология и внутреннее строение природных и техногенных железистоокисных микросфер // Известия УГГУ. 2019. Вып. 1(53). С. 60–66. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-1-60-66>
14. Макаров А. Б., Осовецкий Б. М., Антонова И. А. Магнитные сферулы из почв вблизи шлакового отвала Нижнетагильского металлургического комбината // Известия УГГУ. 2017. Вып. 4 (48). С. 42–45. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-42-45>
15. Илгашева Е. О. Техногенные микросферы в поверхностном осадке урбанизированных территорий // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 3. С. 57–67. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/3/3295>

Статья поступила в редакцию 28 декабря 2022 года

Features of the mineral composition of technogenic deposits of the urbanized environment using the example of the cities of the Ural region

Ekaterina Olegovna ILGASHEVA^{1,2*}

¹Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The purpose of the research is to study the features of the mineral composition of loose technogenic surface deposits of 7 cities of the Ural region of Russia: Ufa, Perm, Tyumen, Chelyabinsk, Nizhny Tagil, Magnitogorsk, Yekaterinburg. In the course of the work, soil, sediment, road dust and snow-mud pulp were sampled in various functional zones of modern cities in order to study the material composition and distribution of minerals, in particular of natural and technogenic origin.

Research methodology. In the course of the work, samples of surface sediment were studied, taken in areas with different types of industry and building periods. For all samples, granulometric analysis was performed, and fractions of 100–250 and 250–1000 µm were selected for further study. Determination of the mineral composition of surface deposits was carried out using qualitative and semi-quantitative mineral analysis of granulometric fractions by powder diffractometry and thermal analysis, some samples were studied using optical and electron microscopy. Technogenic particles were selected using optical microscopy methods. To describe the morphological features of such particles, the methods of optical and scanning electron microscopy were combined. The chemical composition was obtained using a scanning electron microscope equipped with an attachment for energy dispersive X-ray spectroscopy.

Results. In the course of the study, data were obtained on the phase-mineral composition of technogenic surface deposits. Particles of technogenic origin are classified, their contribution to the composition of surface deposits in urban areas is determined. According to the results of this work, the mineral composition is represented by an association of natural and technogenic minerals and their aggregates. Surface deposits of the cities of the Ural region have a similar mineral composition and technogenic component.

Keywords: urbanized territory, modern sedimentogenesis, technogenesis, surface deposits, mineral composition, technogenic particles, geoecology.

REFERENCES

1. Yanin E. P. 2013, Technogenic river silts (material composition, geochemical features, environmental assessment). Moscow, 196 p. (*In Russ.*)
2. Trofimov V. T., Korolev V. A. 2019, On the fundamental aspects of the genetic approach to the study of soils. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], vol. 14, no. 1, pp. 8–19. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-1-8-19>
3. Valtanen M., Sillanpää N., Setälä H. 2014, The Effects of Urbanization on Runoff Pollutant Concentrations, Loadings and Their Seasonal Patterns Under Cold Climate. *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 225. Article number 1977. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1977-y>
4. Kazdym A. A. 2006, Technogenic deposits of ancient and modern urban areas: paleoecological aspect. Moscow, 158 p. (*In Russ.*)
5. Nesmeyanov S. A., Voeikova O. A., Kazdym A. A., Makarov V. I. 2009, Technogenic formations as a geological one. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology], no. 5, pp. 387–398. (*In Russ.*)
6. Nesmeyanov S. A., Voeikova O. A. 2020, Technogenic formation – a characteristic feature of the technogenic stage of the Earth's history. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology], no. 1, pp. 18–21. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.31857/S0869780920010147>
7. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. 2020, Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities. *Scientific Reports*, vol. 10, issue 1, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58434-4>
8. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. 2018, Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment. *Geoderma*, vol. 326, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.003>
9. Seleznev A., Rudakov M. 2019, Some geochemical characteristics of puddle sediments from cities located in various geological, geographic, climatic and industrial zones. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 95–106. <https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/062>
10. Seleznev A., Yarmoshenko I., Malinovsky G., Ilgashева E., Baglaeva E., Ryanskaya A., Kiseleva D., Gulyaeva T. 2019, Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment. *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53793-z>

*katerina.ilgashева@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9538-9685>

11. Ilgasheva E. O., Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P., Kiseleva D. V. 2019, Technogenic Particles in Modern Surface Sediments in Urbanized Areas. *Mineraly: stroyniye, svoystva, metody issledovaniya* [Minerals: structure, properties, research methods], no. 10, pp. 97–98. (In Russ.)
12. Osovetsky B. M., Menshikova E. A. 2006, Natural-technogenic precipitation. Perm, 209 p. (In Russ.)
13. Glukhov M.S. 2019, Morphology and internal structure of natural and technogenic iron oxide microspheres. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 1(53), pp. 60–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-1-60-66>
14. Makarov A. B., Osovetsky B. M., Antonova I. A. 2017, Magnetic spherules from soils near the slag dump of the Nizhny Tagil Iron and Steel Works. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (48), pp. 42–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-42-45>
15. Ilgasheva E. O. 2022, Technogenic microspheres in the surface sediment of urban areas. *Izvestiya TPU. Inzhiniring georesursov* [Izvestiya TPU. Georesource engineering], vol. 333, no. 3, pp. 57–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/3/3295>

The article was received on December 28, 2022

Разделение асбестовых концентратов в гидроциклоне

Николай Петрович КОСАРЕВ*
 Валентин Яковлевич ПОТАПОВ**
 Алексей Владимирович ДОЛГАНОВ***
 Владимир Валентинович ПОТАПОВ

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность работы. Рассмотрены вопросы, связанные с эксплуатацией гидроциклонов в асбестовой промышленности для разделения тонко расщепленных асбестовых волокон от породных примесей и нераспушенных иголок асбеста, используемых при мокром обогащении ломкого хризотил-асбеста, а также некоторых видов амфиболовых асбестов и при очистке товарных сортов хризотил-асбеста нормальной прочности от магнетита.

Цель исследования. Цель и задачи исследования – изучение режимов работы гидроциклона для разделения и обесшламливания асбестовых продуктов. Особое внимание уделяется вопросам поведения частиц внутри гидроциклона.

Методология исследования. Проанализированы представленные в литературе формулы для расчета объемной производительности гидроциклонов. В результате этого определено, что объемная производительность гидроциклона не зависит от размера песковой насадки и что влияние последней сказывается в основном на удельном распределении воды между сливным и песковым продуктами.

Результаты исследования. В ходе обработки полученных экспериментальных данных результаты расчета показали, что при различных насадках и напорах питания движение зерен граничного размера во внутреннем потоке гидроциклонов испытанной конструкции происходит в пределах $1 < Re < 20$. Следовательно, принятые зависимости Ψ от Re при выводе расчетных формул являются справедливыми.

Выводы. Объемная производительность гидроциклонов $D = 75$ мм и $D = 200$ мм испытанной конструкции по питанию и по сливу зависит от напора питания и диаметра песковой насадки. Установленные закономерности поведения частиц асбестовых концентратов в гидроциклонах имеют практическое значение и могут быть использованы при выборе технологических параметров их работы для достижения заданных условий по крупности разделения частиц.

Ключевые слова: гидроциклон, объемная производительность, число Рейнольдса, коэффициент сопротивления, асбест, скорость движения частиц, граничная крупность разделения.

Введение

В асбестовой промышленности гидроциклоны применяются для разделения тонко расщепленных асбестовых волокон от породных примесей и нераспушенных иголок асбеста. Они используются при мокром разделении ломкого хризотил-асбеста некоторых видов амфиболовых асбестов и при очистке товарных сортов хризотил-асбеста нормальной прочности от магнетита.

Гидроциклоны характеризуются высокой четкостью разделения, с их помощью из асбестовых концентратов удаляются породные частицы любой крупности вплоть до 0,05 мм. От более тонких пылеобразных породных примесей концентраты сравнительно легко очищаются путем обесшламливания на грохотах. При правильном регулировании процесса разделения асбестовых суспензий в гидроциклонах и подборе соответствующих размеров ячеек сит на грохотах можно достичь полного удаления породных примесей из концентратов при высоком извлечении волокна.

Крупность разделения частиц в гидроциклоне зависит от его конструкции и технологических параметров ра-

боты. В настоящей статье излагаются результаты исследований по определению зависимости крупности разделения частиц асбестовых концентратов от технологических параметров работы гидроциклонов. Исследования проводились с учетом имеющихся в литературе теоретических данных по разделению минеральных суспензий в гидроциклонах и своеобразия формы асбестовых волокон.

Разделение асбестовых концентратов производится в гидроциклонах, которые имеют следующую техническую характеристику:

Диаметр цилиндрической части, мм	75	200
Длина цилиндрической части, мм	40	140
Длина конической части, мм	260	470
Угол конусности, рад	$\pi/15$	$\pi/9$
Размер входного отверстия, мм	$17,5 \times 17,5$	$36,0 \times 36,0$
Диаметр сливного патрубка, мм	24	42
Диаметры песковых насадок, мм	10, 12, 14, 16, 18	16, 20, 28

*iuggu-journal@yandex.ru

**2c1@inbox.ru

***gmf.gm@m.ursmu.ru

В литературе имеется ряд формул для расчета объемной производительности гидроциклонов. Проведенными исследованиями установлено, что наименьшие расхождения между расчетными и фактическими показателями дает формула А. И. Поварова [1, 2]

$$Q = 5K_{\alpha}K_Dd_n d_c \sqrt{gH}, \quad (1)$$

где Q – объемная производительность гидроциклона по питанию, л/мин; d_n – диаметр питающего отверстия, см; d_c – диаметр сливного патрубка, см; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – напор питания, кг/см²; K_{α} – коэффициент, зависящий от угла конусности; K_D – коэффициент, зависящий от диаметра гидроциклона;

$$K_{\alpha} = 0,79 + \frac{0,044}{0,0379 + \tan \alpha/2}; \quad (2)$$

$$K_D = 0,8 + \frac{1,2}{1+0,1D}, \quad (3)$$

где α – угол конусности, град; D – диаметр гидроциклона, см.

Для расчета гидроциклона испытанной конструкции формула А. И. Поварова примет вид:

$$Q = 6d_n d_c \sqrt{gH}. \quad (4)$$

Из литературных источников известно, что объемная производительность гидроциклона не зависит от размера песковой насадки и что влияние последней сказывается в основном на удельном распределении воды между сливным и песковым продуктами.

Экспериментальные исследования показали, что эти закономерности справедливы и для любой конструкции гидроциклонов. На рис. 1 приведены усредненные кривые зависимостей объемных производительностей гидроциклонов $D = 75$ и $D = 200$ мм по питанию и сливу от отношения размеров песковой насадки к диаметру сливного патрубка.

Производительность гидроциклона по сливу с некоторым приближением может быть выражена уравнением:

$$Q_c = Q \left(1,1 - 0,45 \frac{d_{\text{пес}}}{d_c} \right). \quad (5)$$

В литературе [3–9] имеется ряд формул, устанавливающих зависимость диаметра граничного зерна и максимальной крупности частиц, уходящих в слив, от геометрических размеров и технологических параметров работы гидроциклона.

Под диаметром граничного зерна большинство исследователей подразумевают диаметр такого бесконечно узкого класса, частицы которого поровну (по 50 %) извлекаются в слив и пески. Максимальная крупность частиц в сливе определяется верхним пределом крупности таких частиц, содержание которых составляет 95,0 %. Отношение между максимальным размером частицы в сливе и диаметром граничного зерна не является постоянной величиной, оно зависит от конструктивных особенностей и технологических параметров работы гидроциклона. Практически это отношение колеблется от 1,5 до 3,0, но может быть и более высокое значение.

Основной задачей при обогащении асбестовых руд в гидроциклоне является очистка волокна от песковой фракции, т. е. получение в сливе продукта, не содержащего крупных породных частиц [3, 10, 11].

Формулы, предназначенные для определения диаметра граничного зерна, не дают точного представления о максимальной крупности частиц в сливе, и поэтому они не могут быть рекомендованы для асбестовых руд.

Более приемлемыми для этой цели являются формулы для определения наибольшего зерна в глине (Поварова, Травинского, Тарьяна и др.), из которых наиболее теоретически обоснована формула Е. М. Гольдина и А. И. Поварова [1]:

$$d = \frac{1,48d_n \sqrt{\mu}}{\varphi_x \sqrt{v_n h(\sigma - \Delta)}}, \quad (6)$$

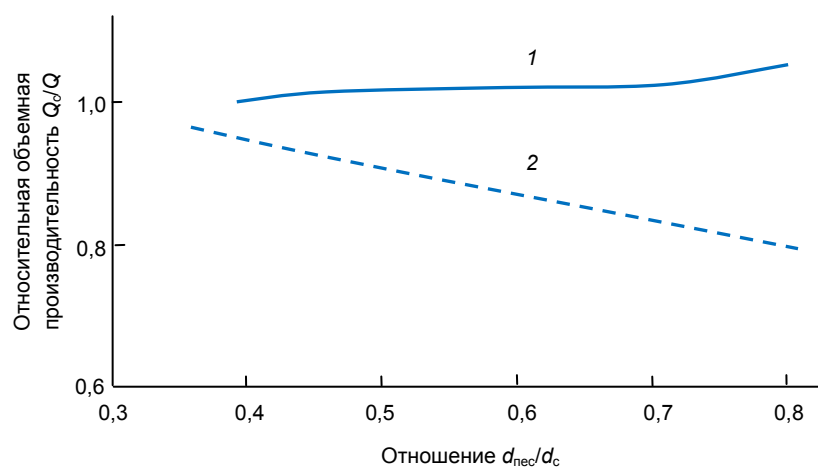


Рисунок 1. Влияние диаметра песковой насадки на объемную производительность гидроциклонов: $D = 75$ мм, $D = 200$ мм; 1 – по питанию, 2 – по сливу

Figure 1. Influence of the diameter of the sand nozzle on the volumetric delivery of hydrocyclones $D = 75$ mm, $D = 200$ mm; 1 – for feeding 2 – for draining

где d – диаметр наибольшего зерна в сливе, см; φ_x – коэффициент изменения окружной скорости, равный отношению скорости жидкости на радиусе сливного отверстия к скорости жидкости в точке питания; v_n – тангенциальная скорость жидкости в точке питания, см/с; h – высота внутреннего потока жидкости, равная $2/3$ высоты конуса гидроциклона, см; σ, Δ – плотности частицы и среды, г/см³; μ – вязкость среды, г/(см × с).

Экспериментально установлено [1], что

$$\varphi_x = \frac{v_c}{v_n} = 17,5 \frac{d_n^3}{d_c D} \alpha^{0,3}, \quad (7)$$

где v_c – тангенциальная скорость на радиусе сливного отверстия, см/с; α – угол конусности гидроциклона, рад.

Скорость жидкости в точке питания:

$$v_n = \frac{4Q}{\pi d_n^2}. \quad (8)$$

При выводе формулы (6) авторы исходили из того, что движение зерен в восходящем потоке происходит в радиальном направлении. За время, которое основной поток, уходящий в слив, пройдет путь h , зерна верхнего предела крупности, находящиеся в наиболее невыгодных условиях у границы воздушного столба, передвинутся до внешней границы внутреннего потока. Сопротивление среды при этом принято авторами линейным, а форма частиц – шарообразной.

Фактически в гидроциклоне разделяются частицы, не обладающие шарообразной формой, и процесс разделения происходит в условиях как вязкостного, так и динамического сопротивлений среды. По анализу источников установлено, что в гидроциклоне диаметром 75 мм граничная крупность разделения зерен каолина происходит в пределах чисел Рейнольдса 0,5–45.

Приняв основные положения Е. М. Гольдина и А. И. Поварова [1] о закономерностях движения твердых частиц во внутреннем потоке, можно вывести формулу для расчета максимальных размеров породных зерен и асбестовых волокон в сливе с учетом их формы и общего сопротивления среды.

Общее сопротивление среды выражается уравнениями:

– для шарообразной частицы

$$P = \Psi d^2 U^2 \Delta; \quad (9)$$

– для цилиндрической частицы

$$P = \Psi d_1 l U^2 \Delta. \quad (10)$$

Центробежные силы, приложенные к частицам:

– шарообразной

$$C = \frac{\pi d^3 (\delta - \Delta) v_t^2}{6r}; \quad (11)$$

– цилиндрической

$$\frac{\pi d (\delta - \Delta) v_t^2}{6r} = \Psi U^2 \Delta; \quad (12)$$

При равновесии центробежных сил с силами сопротивления среды частицы граничного размера будут двигаться по радиусу от центра к периферии. Уравнения равновесия примут вид:

– для шарообразной частицы

$$\frac{\pi d (\delta - \Delta) v_t^2}{6r} = \Psi U^2 \Delta; \quad (13)$$

– для цилиндрической частицы

$$\frac{\pi d_1 (\delta - \Delta) v_t^2}{4r} = \Psi U^2 \Delta, \quad (14)$$

где d – диаметр эквивалентного шара, см; d_1 – диаметр цилиндра, см; l – длина цилиндра, см; Ψ – коэффициент сопротивления среды; U – радиальная скорость частицы, см/с; v_t – тангенциальная скорость частицы, см/с; r – радиус вращения частицы, см.

Радиальная скорость движения частицы является переменной величиной, зависящей от r :

$$U = \frac{dr}{dt}. \quad (15)$$

Тангенциальная скорость v_t также является переменной величиной, она изменяется по радиусу от r_0 (радиус воздушного столба) до r_c (радиус сливного отверстия). Для упрощения расчетов ее обычно принимают за постоянную величину [1], равную тангенциальной скорости либо на радиусе сливного отверстия v_c , либо на радиусе воздушного столба v_0 , либо среднему значению скоростей на отрезке $r_0 - r_c$.

Коэффициент сопротивления среды Ψ зависит от формы частицы и критерия Рейнольдса. Критерий Рейнольдса в центробежном поле разделения имеет вид [12]:

– для шарообразной частицы

$$Re = \frac{Ud\Delta}{\mu}; \quad (16)$$

– для цилиндрической частицы

$$Re = \frac{2Ud_1\Delta}{\mu}. \quad (17)$$

Связь между Ψ и Re для шаров была установлена Рэлеем в графическом виде. Точной аналитической формулы, описывающей кривую Рэля, не найдено. Исследователями предложен ряд формул, из которых простые двучленные дают большие погрешности при вычислениях, а сложные многочленные неудобны, так как по ним невозможно получить аналитическое выражение скорости через диаметр частицы.

Некоторые исследователи (Корольков, Олевский и др.) предложили разбить кривую Рэля на ряд участков и заменить на каждом участке кривую на прямую линию. Такой подход к решению данного вопроса для нашего случая является наиболее приемлемым, так как позволяет установить достаточно точную аналитическую связь между Ψ и Re как для породных, так и для цилиндрических

частиц. Для этого не обязательно пользоваться кривой Рэлея, можно это сделать по кривым зависимостей Ψ/Re от Re , установленных нами для породных и цилиндрических частиц [12], тем более что при решении задач с породными частицами в этом случае не потребуются вводить поправочного коэффициента на форму, так как зависимость Ψ/Re от Re установлена не для шаров, а для зерен кварца.

Предварительный анализ экспериментальных данных работы гидроциклонов $D = 75$ и $D = 700$ мм испытанной конструкции на асбестовых рудах показал, что граничная крупность разделения частиц происходит в пределах чисел Рейнольдса от 0 до 20. С достаточным запасом для практических расчетов применимо аналитическое уравнение зависимости Ψ/Re от Re в пределах чисел Рейнольдса от 0,5 до 30.

Кривые зависимости Ψ/Re от Re для породных и цилиндрических частиц в работе [12] представлены в логарифмическом масштабе, уравнения отдельных прямолинейных участков этих кривых имеют вид

$$\Psi = BRe^{-n}. \quad (18)$$

В пределах чисел Рейнольдса от 0,5 до 30 аналитические зависимости Ψ от Re выражаются уравнениями:

– для шарообразной частицы

$$\Psi = 13,9 Re^{-0,7}; \quad (19)$$

– для цилиндрической частицы

$$\Psi = 9,2 Re^{-0,6}. \quad (20)$$

Подставляя в уравнения (13), (14) значения Ψ (19), (20), Re (16), (17), U (15), $v_i = \varphi_x v_n$ и решая их относительно dt , получим:

– для шарообразной частицы

$$dt = \frac{12,46\Delta^{0,23}\mu^{0,54}r^{0,77}}{d^{1,31}(\delta-\Delta)^{0,77}\varphi_x^{1,54}v_n^{1,54}} dr; \quad (21)$$

– для цилиндрической частицы

$$dt = \frac{4,35\Delta^{0,28}\mu^{0,43}r^{0,71}}{d_1^{1,14}(\delta-\Delta)^{0,71}\varphi_x^{1,43}v_n^{1,43}} dr. \quad (22)$$

Проинтегрировав уравнения (21), (22), приняв $r_0 = 0,6 r_c$ (7), получим время движения частиц граничной крупности от воздушного столба до внешней границы внутреннего потока:

– для шарообразной частицы

$$t = 1,2 \frac{\mu^{0,54}\Delta^{0,23}d_c^{1,77}}{d^{1,31}(\delta-\Delta)^{0,77}\varphi_x^{1,54}v_n^{1,54}}; \quad (23)$$

– для цилиндрической частицы

$$t = 0,45 \frac{\mu^{0,43}\Delta^{0,28}d^{0,71}}{d_1^{1,14}(\delta-\Delta)^{0,71}\varphi_x^{1,43}v_n^{1,43}} dr. \quad (24)$$

Время движения частиц граничной крупности от $r_0 - r_c$ равно времени пребывания жидкости во внутреннем потоке. Вертикальная скорость внутреннего потока определяется по объемной производительности [10, 13] гидроциклона по сливу и площади поперечного сечения внутреннего потока

$$v_z = 2 \frac{Q_c}{d_c^2}. \quad (25)$$

Время движения жидкости во внутреннем потоке

$$t = \frac{h}{v_x} = 0,5 \frac{hd_c^2}{Q_c}. \quad (26)$$

Решая совместно уравнения (23), (24) и (26), получим расчетные формулы для определения диаметров наибольших частиц в сливе:

$$d = 1,94 \frac{\mu^{0,41}\Delta^{0,17}Q_c^{0,77}}{(\delta-\Delta)^{0,59}\varphi_x^{1,18}v_n^{1,18}h^{0,76}d_c^{0,18}}; \quad (27)$$

$$d_1 = 0,91 \frac{\mu^{0,38}\Delta^{0,25}Q_c^{0,88}}{(\delta-\Delta)^{0,62}\varphi_x^{1,25}v_n^{1,25}h^{0,88}d_c^{0,25}}. \quad (28)$$

Значения Q_c и v_n подставляются из уравнений (4), (5), (8). Теоретически обоснованной формулы для определения коэффициента изменения окружной скорости φ_x не создано. Ранее указывалось, что А. И. Поваров предложил для определения φ_x эмпирическое уравнение (7), а другие авторы, исследуя закономерности процесса разделения каолинов в гидроциклоне, составили уравнение для определения φ_x на радиусе сливного отверстия для гидроциклона диаметром 75 мм:

$$\varphi_x = 0,912 \frac{D}{d_c} \left(2,3 \lg \frac{D}{d_c} + 1 \right)^{-1}. \quad (29)$$

Большой объем исследовательских работ по изучению динамики движения жидкости в гидроциклоне выполнен в ИГД им. Скочинского и в Институте горючих ископаемых. Исследования проводились на прозрачной модели гидроциклона диаметром 80 мм. Изучался характер изменения тангенциальной скорости воды в зависимости от изменения разгрузочных отверстий, давления на входе, размера входного отверстия и угла конусности гидроциклона.

По результатам проведенных исследований сделаны выводы, что характер изменения тангенциальной скорости вдоль радиуса определяется в основном размерами разгрузочных отверстий, главным образом, размером сливного отверстия. Давление на входе, размер питающего отверстия и угол конусности гидроциклона существенного влияния на характер изменения тангенциальной скорости не оказывают. Установлена зависимость тангенциальной скорости воды у границы с воздушным столбом от скорости ее на входе и диаметра сливного отверстия (рис. 2).

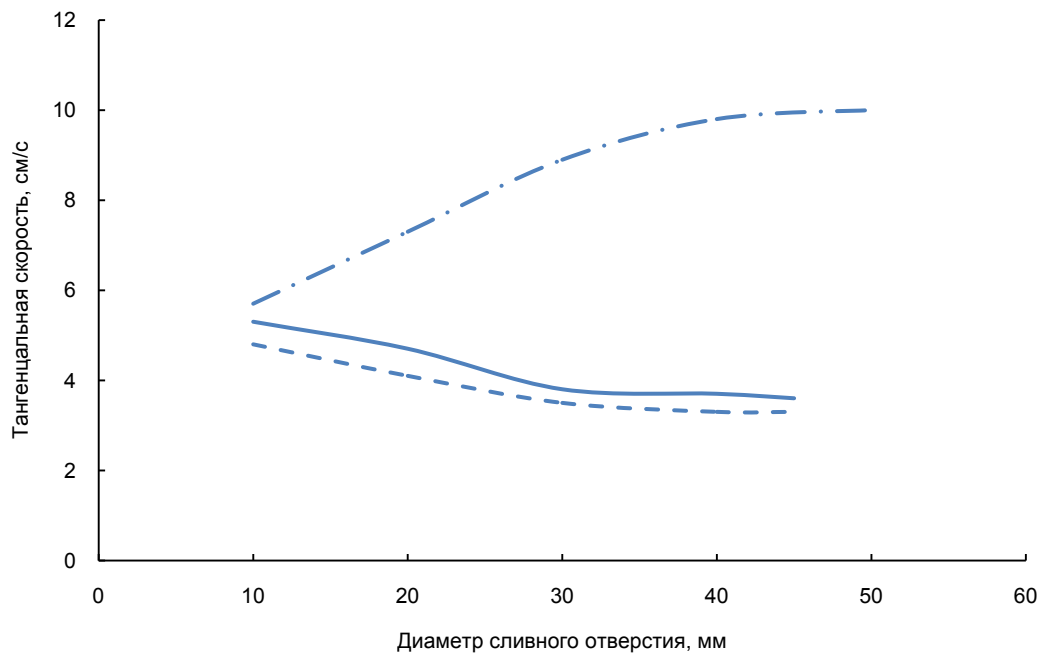


Рисунок 2. Изменение тангенциальной скорости воды в гидроциклоне в зависимости от диаметра сливного отверстия: сплошная линия – в цилиндрической части; пунктирная – в конической части
Figure 2. Change in the tangential velocity of water in the hydrocyclone depending on the diameter of the drain hole: solid line – in the cylindrical part; dotted – in the conical part

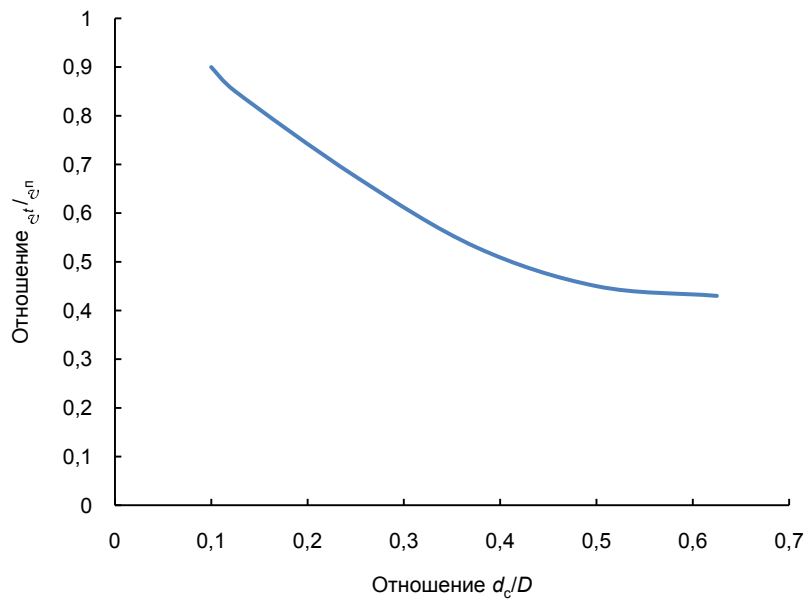


Рисунок 3. Изменение j_x в гидроциклоне на отрезке r_0-r_c в зависимости от отношения d_c/D
Figure 3. Change in j_x in the hydrocyclone on the segment r_0-r_c depending on the ratio d_c/D

Зависимость v_t у границы с воздушным столбом от v_n и d_c преобразована нами в зависимости φ_x от d_c/D . По экспериментальным данным, приведенным в работе [2], найдена аналогичная зависимость на радиусе сливного отверстия и средняя на отрезке r_0-r_c (рис. 3).

Указанные преобразования выполнены для конической части гидроциклона, так как в гидроциклонах испытанной конструкции сливной патрубок доходит до границы цилиндрической части с конической. Кривая зависимости φ_x от d_c/D хорошо описывается уравнением:

$$\varphi_x = 0,31 (d_c/D)^{-1/2} = 0,31 (d_c/D)^{1/2}. \quad (30)$$

В табл. 1 приведены результаты расчета φ_x для гидроциклонов различной конструкции по уравнениям (7), (29), (30).

Значения φ_x , полученные по различным формулам, имеют большой диапазон колебаний. Очевидно, формулы для расчета φ_x не учитывают некоторых факторов, влияющих на изменение окружной скорости. У гидроциклонов

Таблица 1. Расчетные значения j_x для гидроциклонов
Table 1. Calculated values of j_x for hydrocyclones

Параметры гидроциклона	Значение φ_x		
	$17,5 = \frac{d_n^2}{d_c D} \alpha^{0,3}$	$0,912 = \frac{D}{d_c} \left(2,3 \lg \frac{D}{d_c} + 1 \right)^{-1}$	$0,31 \left(\frac{D}{d_c} \right)^{1/2}$
$D = 200$ мм $d_c = 42$ мм $d_n = 40$ мм $\alpha = 20^\circ$	2,42	1,70	0,69
$D = 75$ мм $d_c = 24$ мм $d_n = 20$ мм $\alpha = 12^\circ$	2,43	1,33	0,55

испытанной конструкции показатели D , d_n , d_c , α , входящие в формулы (7), (29), (30), являются постоянными величинами, следовательно, отношение $\varphi_x = v_1/v_n$ должно также иметь постоянное значение. Его можно получить расчетным путем, подставляя в уравнение (27) значения всех входящих в него показателей – постоянных и переменных, зависящих и не зависящих от технологических параметров работы гидроциклона.

Для определения значения φ_x нами была проведена серия опытов на руде крупностью –0,5 мм. Руда перемешивалась с водой в смесительном баке в весовом отношении 1 : 25. Из бака пульпа песковым насосом подавалась в гидроциклон, слив и пески которого возвращались в бак.

Для стабилизации режима работы гидроциклона каждый раз перед опробованием установка работала несколько минут по замкнутой схеме. В период опробования схема размыкалась и одновременно отбирались пробы из сливного и пескового продуктов. Давление пульпы на входе поддерживалось 1,2 кг/см², песковые насадки имели размеры: для гидроциклона $D = 75$ мм – 12, 16 мм, для гидроциклона $D = 200$ мм – 20, 28 мм. Средние характеристики крупности продуктов слива приведены на рис. 4.

Подставляя значения H , $d_{\text{нec}}$, d_n и d_c в уравнения (4), (5), определим Q и Q_c . По найденному значению Q и по формуле (8) найдем v_n . Параметры Δ , μ и δ в условиях проведенных опытов имеют постоянные значения, соответственно равные 1 г/см³, 2,6 г/см³ и 0,01 г/(см · с). Диаметр максимального зерна в сливе определяется по характеристикам крупности слива. Подставляя значения Δ , δ , μ , Q_c , v_n , h и d в уравнение (27), найдем значения φ_x для гидроциклонов: $D = 75$ мм – 0,83, $D = 200$ мм – 1,06.

Уравнения (27), (28) можно значительно упростить, ограничив их применение для конкретных гидроциклонов, имеющих определенные конструктивные параметры. Для гидроциклонов испытанной конструкции постоянными параметрами являются d_n , d_c , h .

По условиям работы гидроциклонов на сильно разжиженной пульпе постоянное значение имеют показатели Δ и μ . Плотности частиц также можно принять за постоянные величины, имеющие средние значения: у породных зерен 2,6 г/см³, у асбестовых волокон 2,9 г/см³.

Подставляя в уравнения (27), (28) значения Q_c , v_n , φ_x , Δ , δ , d_c , h , μ , получим упрощенные формулы для расчета максимальной крупности частиц в сливе:

– для гидроциклона $D = 75$ мм

$$d = 0,0048 \frac{\left(1,1 - 0,45 \frac{d_{\text{нec}}}{d_c} \right)^{0,76}}{H^{0,21}}; \quad (31)$$

$$d_1 = 0,00245 \frac{\left(1,1 - 0,45 \frac{d_{\text{нec}}}{d_c} \right)^{0,88}}{H^{0,19}}; \quad (32)$$

– для гидроциклона $D = 200$ мм

$$d = 0,0065 \frac{\left(1,1 - 0,45 \frac{d_{\text{нec}}}{d_c} \right)^{0,76}}{H^{0,21}}; \quad (33)$$

$$d_1 = 0,0033 \frac{\left(1,1 - 0,45 \frac{d_{\text{нec}}}{d_c} \right)^{0,88}}{H^{0,19}}. \quad (34)$$

Формулы (32), (34) предназначены для расчета крупности разделения идеальных цилиндрических тел. При переходе на асбестовые волокна в связи с несовершенством формы последних расчетный диаметр следует увеличить на 20 % согласно зависимости, установленной в работе [12].

Критерий Рейнольдса показывает, в каком режиме (турбулентном, ламинарном или переходном) перемещаются в гидроциклоне частицы граничной крупности и какой вид сопротивления оказывает среда. При выводе уравнений (31)–(34) было учтено, что при изменении режимов работы гидроциклонов меняются как размеры граничных зерен, так и характер сопротивления среды. Последний учтен в формулах через коэффициент сопротивления среды, который, в свою очередь, учтен через число Рейнольдса. Аналитическая связь между Ψ и Re определена уравнениями (19), (20) в пределах чисел Рейнольдса от 0,5 до 30.

Для проверки справедливости принятых значений критерия Рейнольдса для частиц граничной крупности в гидроциклонах испытанной конструкции расчетным путем по формулам (31)–(34) определяем d и d_1 при различных значениях H и $d_{\text{нec}}$ (табл. 2)

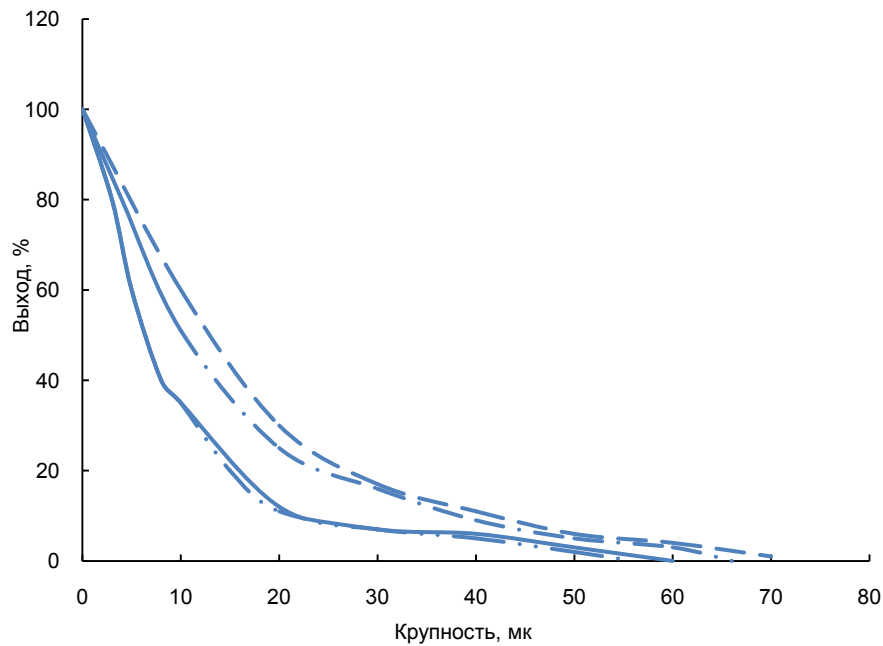


Рисунок 4. Характеристики крупности продуктов слива: пунктирная линия – $D = 200$ мм, $d_{\text{нес}} = 20$ мм; пунктирная линия с точкой – $D = 200$ мм, $d_{\text{нес}} = 28$ мм; сплошная линия – $D = 75$ мм, $d_{\text{нес}} = 12$ мм; пунктирная линия с двумя точками – $D = 75$ мм, $d_{\text{нес}} = 16$ мм
Figure 4. Characteristics of the size of the discharge products: dotted line – $D = 200$ mm, $d_{\text{нес}} = 20$ mm; dotted line with a dot – $D = 200$ mm, $d_{\text{нес}} = 28$ mm; solid line – $D = 75$ mm, $d_{\text{нес}} = 12$ mm; dotted line with two dots – $D = 75$ mm, $d_{\text{нес}} = 16$ mm

Таблица 2. Расчетные значения параметров Рейнольдса, диаметров и средних радиальных скоростей движения частиц граничной крупности во внутреннем потоке гидроциклонов
Table 2. Calculated values of the Reynolds parameters, diameters and average radial velocities of movement of particles of separation mesh in the internal flow of hydrocyclones

Давление на выходе, кг/см ²	d , мк, U , см/с, Re	$D = 75$ мм				$D = 200$ мм			
		$d_{\text{нес}} = 1,0$ см		$d_{\text{нес}} = 1,8$ см		$d_{\text{нес}} = 1,6$ см		$d_{\text{нес}} = 2,8$ см	
		Волокно	Породные частицы	Волокно	Породные частицы	Волокно	Породные частицы	Волокно	Породные частицы
0,5	d	26	52	22	45	36	71	32	63
	U	10,0	10,0	7,3	7,3	13,0	13,0	11,9	11,9
	Re	5,2	5,2	3,2	3,2	9,2	9,2	7,5	7,5
1,0	d	23	45	19	39	31	62	28	55
	U	14,0	14,0	19,8	19,8	19,3	19,3	16,4	16,4
	Re	6,2	6,2	4,2	4,2	12,0	12,0	9,0	9,0
2,0	d	20	39	17	34	53	53	24	48
	U	20	20	15	15	24,5	24,5	23	23
	Re	8,0	7,5	5,1	5,1	13,0	13,0	11,0	11,0
4,0	d	18	34	15	29	46	46	21	41
	U	26,5	26,5	23,8	23,8	34,8	34,8	29,3	29,3
	Re	9,2	9,0	6,8	6,9	16,0	16,0	12,0	12,0

По формулам [1]:

$$Re^2\Psi = \frac{\pi d^3(\delta - \Delta)g\Delta}{6\mu^2}; \tag{35}$$

$$Re^2\Psi = \frac{\pi d_1^3(\delta - \Delta)g\Delta}{\mu^2}, \tag{36}$$

подставляя вместо ускорения свободного падения g центробежное ускорение v_t^2 / r , определяем для них параметры $Re^2\Psi$. Тангенциальную скорость v_t находим из выра-

жения $v_t = v_{\text{пф}}$, а радиус принимаем равным $0,8 r_c$ (средним между r_0 и r_c). По кривым зависимостей $Re^2\Psi$ от Re (6) определяем Re и по найденным значениям Re рассчитываем средние радиальные скорости движения частиц граничной крупности во внутреннем потоке.

Результаты расчета показали, что при различных насадках и напорах питания [14, 15–18] движение зерен граничного размера во внутреннем потоке гидроциклонов испытанной конструкции происходит в пределах $1 < Re < 20$. Следовательно, принятые зависимости Ψ

от Re при выводе расчетных формул являются справедливыми.

Выводы (заключение)

Объемная производительность гидроциклонов $D = 75$ мм и $D = 200$ мм испытанной конструкции по питанию и по сливу зависит от напора питания и диаметра лесковой насадки. Расчет производительности рекомендуется производить по формулам (4), (5).

Перемещение породных частиц и асбестовых волокон граничной крупности в радиальном направлении от границы с воздушным столбом до внешней границы центрального восходящего потока происходит при одновременном действии сил вязкостного и динамического сопротивлений среды в области критериев Рейнольдса от 3,2 до 16.

Приближенная аналитическая связь между коэффициентом сопротивления и числом Рейнольдса при ради-

альном перемещении частиц граничного размера в центральном восходящем потоке выражается уравнениями (19), (20), которые получены путем «выпрямления» участков кривых $\psi / Re = f(Re)$ в пределах чисел Рейнольдса от 0,5 до 30.

Для расчета граничной крупности разделения асбестовых волокон и породных частиц в гидроциклонах испытанной конструкции можно пользоваться формулами (31)–(34), выведенными с учетом одновременного действия сил вязкостного и динамического сопротивлений среды.

Установленные закономерности поведения частиц асбестовых концентратов в гидроциклонах имеют практическое значение и могут быть использованы при выборе технологических параметров их работы для достижения заданных условий по крупности разделения частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поваров А. И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М: Недра, 1978. 232 с.
2. Бауман А. В. Гидроциклоны. Теория и практика. Новосибирск: Гормашэкспорт, 2020. 56 с.
3. Старостин А. Г., Федотова О. А., Кобелева А. Р. Очистка сточных вод от мелкодисперсных частиц на гидроциклоне // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. 2020. № 1. С. 99–112. <https://doi.org/10.15593/2224-9400/2020.1.08>
4. Голованчиков А. Б., Ильин А. В., Ильина Л. А., Первакова Г. И. Оценка вероятности улавливания частиц в гидроциклоне, батареи и каскаде гидроциклонов с учетом экспериментальных исследований // Известия ВолгГТУ. 2014. № 1 (128). С. 27–31.
5. Шагарова О. Н. Энергетическая характеристика гидроциклона // ГИАБ. 2010. № 10. С. 127–134.
6. Голубцов В. М. К расчету производительности напорных гидроциклонов // Промышленная энергетика. 2011. № 5. С. 41–43.
7. Anjos R. P., Medronho R. A., Klein T. S. Assessment of turbulence models for single phase CFD computations of a liquid-liquid hydrocyclone using OpenFoam // Journal of Turbulence. 2021. Vol. 22. No. 2. P. 79–113. <https://doi.org/10.1080/14685248.2020.1846050>
8. Jung K. J., Hwang I.-J., Kim Y.-J. Effect of inner wall configurations on the separation efficiency of hydrocyclone // Journal of Mechanical Science and Technology. 2019. Vol. 33. No. 11. P. 5277–5283. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-1019-1>
9. Ji L., Kuang S., Yu A. Numerical investigation of hydrocyclone feed inlet configurations for mitigating particle misplacement // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2019. Vol. 58. No. 36. P. 16823–16833. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.9b01203>
10. Валеев С. И. Очистка сточных вод в гидроциклонах систем оборотного водоснабжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2000. 18 с.
11. Матвиенко О. В., Евтюшкин Е. В. Математическое исследование сепарации дисперсной фазы в гидроциклоне при очистке вязкопластических буровых растворов // Инженерно-физический журнал. 2011. Т. 84. № 2. С. 230–238.
12. Маркелов В. М. Коэффициент равнопадаемости породных частиц и асбестовых волокон в водной среде // Труды ВНИИпроектасбеста. 1972. Вып. 12. С. 25–28.
13. А. с. SU 1456239 A1. Способ определения расхода пульпы в питании гидроциклона / Л. Р. Тисменецкий, Т. Ю. Трач, В. П. Хорольский, Н. И. Сокур. № 4151942; заявл. 26.11.86; опубл. 07.02.89.
14. Пат. RU 2179482 C2. Способ регулирования работы гидроциклона и гидроциклон / Дегтярев Г. В., Дегтярева О. Г.; патентообладатели Кубанский гос. аграрн. ун-т, ЗАО «КВАЗАР». № 2000107776/12; заявл. 28.03.00; опубл. 20.02.02.
15. А. с. SU 929234 A1, М. Кл³. В 04 С 11. Промывное устройство камеры сгущения гидроциклона / А. А. Таттибаев, Р. П. Помашев, А. А. Абдураманов, Н. Ю. Креккер. № 2655710/23–26; заявл. 12.06.78; опубл. 23.05.82, Бюл. № 19.
16. Пат. RU 2165308 C1, МПК В 04 С5/00. Гидроциклон очиститель-смеситель / Карев Е. А., Шабалин В. С., Фадеев Р. Л., Хузахметов Ф. В.; патентообладатель Ульяновский гос. техн. ун-т. № 2000108107/12; заявл. 31.03.00; опубл. 20.04.01.
17. А. с. SU 886997 A1. Трехпродуктовый гидроциклон / И. Г. Терновский, А. М. Кутепов, Д. А. Баранов, М. Г. Лагуткин. № 2884500; заявл. 15.02.80; опубл. 07.12.81.
18. А. с. SU 1005932 A1. Гидроциклон / В. А. Вайдуков, Н. И. Глаголев. № 3393515; заявл. 12.02.82; опубл. 23.03.83.

Статья поступила в редакцию 04 февраля 2023 года

Separation of asbestos concentrates in a hydrocyclone

Nikolay Petrovich KOSAREV*
Valentin Yakovlevich POTAPOV**
Aleksey Vladimirovich DOLGANOV***
Vladimir Valentinovich POTAPOV

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance. Issues related to the operation of hydrocyclones in the asbestos industry for the separation of finely split asbestos fibers from rock impurities and non-fluffed asbestos needles used in the wet enrichment of brittle chrysotile asbestos, as well as some types of amphibole asbestos and in the purification of commercial grades of chrysotile asbestos of normal strength from magnetite are considered.

Purpose. The purpose and objectives of the research is to study the operating modes of a hydrocyclone for the separation and desliming of asbestos products. Particular attention is paid to the behavior of particles inside the hydrocyclone.

Methodology. The formulas presented in the literature for calculating the volumetric delivery of hydro-cyclones are analyzed. As a result, it was determined that the volumetric delivery of the hydrocyclone does not depend on the size of the sand nozzle and that the influence of the latter affects mainly the specific distribution of water between the discharge and sand products.

Results. In the course of processing the obtained experimental data, the calculation results showed that, at different nozzles and feed heads, the movement of grains of separation mesh in the internal flow of hydrocyclones of the tested design occurs within $1 < Re < 20$. Therefore, the accepted dependences of Ψ on Re when deriving the calculated formulas are correct.

Conclusions. The volumetric delivery of hydrocyclones $D = 75$ mm and $D = 200$ mm of the tested design for feeding and draining depends on the feed head and the diameter of the framework nozzle. The established regularities in the behavior of particles of asbestos concentrates in hydrocyclones are of practical importance and can be used when choosing the technological parameters of their operation to achieve the specified conditions for the size of particle separation mesh.

Keywords: hydrocyclone, volumetric delivery, Reynolds number, drag coefficient, asbestos, particle velocity, limiting separation mesh.

REFERENCES

1. Povarov A. I. 1978, Hydrocyclones in processing plants. Moscow, 232 p. (In Russ.)
2. Bauman A. V. 2020, Hydrocyclones. Theory and practice. Novosibirsk, 56 p. (In Russ.)
3. Starostin A. G., Fedotova O. A., Kobeleva A. R. 2020, Wastewater treatment from fine particles on a hydrocyclone. *Vestnik PNIPIU. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical Engineering and Biotechnology], no. 1, pp. 99–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/2224-9400/2020.1.08>
4. Golovanchikov A. B., Ilyin A. V., Ilyina L. A., Pervakova G. I. 2014, Estimation of the probability of trapping particles in a hydrocyclone, a battery and a cascade of hydrocyclones, taking into account experimental studies. *Izvestiya VolgGTU* [News of the Volgograd State Technical University], no. 1 (128), pp. 27–31. (In Russ.)
5. Shagarova O. N. 2010, Energy characteristic of the hydrocyclone. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)], no. 10, pp. 127–134. (In Russ.)
6. Golubtsov V. M. 2011, On the calculation of the performance of pressure hydrocyclones. *Promyshlennaya energetika* [Industrial energy], no. 5, pp. 41–43. (In Russ.)
7. Anjos R. P., Medronho R. A., Klein T. S. 2021, Assessment of turbulence models for single phase CFD computations of a liquid-liquid hydrocyclone using OpenFoam. *Journal of Turbulence*, vol. 22, no. 2, pp. 79–113. <https://doi.org/10.1080/14685248.2020.1846050>
8. Jung K. J., Hwang I. J., Kim Y. J. 2019, Effect of inner wall configurations on the separation efficiency of hydrocyclone. *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 33, no. 11, pp. 5277–5283. <https://doi.org/10.1007/s12206-019-1019-1>
9. Ji L., Kuang S., Yu A. 2019, Numerical investigation of hydrocyclone feed inlet configurations for mitigating particle misplacement. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 58, no. 36, pp. 16823–16833. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.9b01203>
10. Valeev S. I. 2000, Wastewater treatment in hydrocyclones of water recycling systems, PhD thesis. Kazan, 18 p. (In Russ.)
11. Matvienko O. V., Evtuyshkin E. V. 2011, Mathematical study of the separation of the dispersed phase in a hydrocyclone during the purification of viscoplastic drilling fluids. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Engineering Physics Journal], vol. 84, no. 2, pp. 230–238. (In Russ.)
12. Markelov V. M. 1972, Equal settling factor of rock particles and asbestos fibers in the aquatic environment. *Trudy VNIIProyektasbesta* [Proceedings of VNIIProyektasbest], issue 12, pp. 25–28. (In Russ.)

✉ iuggu-journal@yandex.ru

**2c1@inbox.ru

***gmf.gm@m.ursmu.ru

13. Tismenetsky L. R., Trach T. Yu., Khorolsky V. P., Sokur N. I. A. c. SU 1456239 A1. Method for determining pulp consumption in hydrocyclone feed, no. 4151942; applied 26.11.86; published 07.02.89. (*In Russ.*)
14. Degtyarev G. V., Degtyareva O. G., Patent RU 2179482 C2. Method for regulating the operation of a hydrocyclone and a hydrocyclone itself. Patent holders Kuban state agricultural university, CJSC "KVAZAR", no. 2000107776/12; applied 28.03.00; published 20.02.02. (*In Russ.*)
15. Tattibaev A. A., Pomashev R. P., Abduramanov A. A., Krekker N. Yu. A. c. SU 929234 A1, M. Cl³. B 04 C 11. Washing device of the hydrocyclone thickening chamber, no. 2655710/23–26; applied 12.06.78; published 23.05.82. Bul. no. 19. (*In Russ.*)
16. Karev E. A., Shabalin V. S., Fadeev R. L., Khuzakhmetov F. V. Patent RU 2165308 C1, IPC B 04 C5/00. Hydrocyclone cleaner-mixer. Patent holder Ulyanovsk state technical university, no. 2000108107/12; applied 31.03.00; published 20.04.01. (*In Russ.*)
17. Ternovsky I. G., Kutepov A. M., Baranov D. A., Lagutkin M. G. A. c. SU 886997 A1. Three-product hydrocyclone, no. 2884500; applied 15.02.80; published 07.12.81. (*In Russ.*)
18. Vaidukov V. A., Glagolev N. I. A. c. SU 1005932 A1. Hydrocyclone, no. 3393515; applied 12.02.82; published 23.03.83. (*In Russ.*)

The article was received on February 04, 2023

Декарбонизация горной промышленности России

Марк Леонтьевич ХАЗИН*

Рафаил Абдрахманович АПАКАШЕВ**

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Цель и актуальность работы. Интенсивное промышленное развитие, зависящее от ископаемого топлива, привело к критическому накоплению атмосферного углекислого газа и повышению температуры поверхности Земли. Дальнейшее увеличение температуры планеты на 2 °С может привести к повышению уровня Мирового океана на 6 м, что вызовет рост числа наводнений и ураганов, а таяние вечной мерзлоты создаст угрозу для инфраструктуры заполярных городов. Все эти факторы приведут к значительным убыткам, поэтому решение о декарбонизации соответствует национальным интересам России. Целью исследований является поиск путей снижения вредных выбросов в горной промышленности.

Методология. По отчетным данным осуществляются критический анализ и изучение возможностей уменьшения выброса парниковых газов в процессе добычи полезных ископаемых.

Результаты и область применения. Горнодобывающая промышленность является основным источником сырья для обрабатывающей промышленности, транспорта, металлургии, строительства и энергетики. Снижение содержания полезных компонентов в руде вызывает необходимость добывать, загружать, транспортировать и обрабатывать больше материалов. В краткосрочной перспективе невозможно отказаться от использования ископаемого топлива, но можно рассмотреть основные методы стратегии декарбонизации горнодобывающих компаний: электроснабжение на месте, сокращение потребления дизельного топлива для транспортировки горной массы, совершенствование технологии обработки, улавливание и хранение углерода. Для этого в горнодобывающей промышленности можно использовать различные резервы в виде экологически чистых энергетических решений, таких как энергоэффективность, рекуперация энергии, возобновляемые источники энергии и улавливание углерода.

Выводы. В горнодобывающей промышленности можно использовать различные экологически чистые энергетические решения, например, энергоэффективность, рекуперация энергии, возобновляемые источники энергии и улавливание углерода. Для полного решения энергетических проблем, стоящих перед горнодобывающей отраслью, потребуется сочетание экологически чистых энергетических технологий.

Ключевые слова: декарбонизация, климат, открытые горные работы, парниковые газы, ресурсосбережение, экология, экономика, энергоэффективность.

Введение

Интенсивное промышленное развитие, традиционно зависящее от сжигания ископаемого топлива, привело к критическому накоплению углекислого газа в атмосфере. Антропогенные выбросы парникового газа значительно повысили концентрацию CO₂ в течение XX в. до 408 частей на миллион (ppm) в ноябре 2018 г. по сравнению с менее чем 300 частями на миллион в XIX в. [1]. Кроме того, в течение XX в. была вырублена примерно половина лесов планеты, а в наше время скорость уничтожения лесов составляет почти 1,4 млн км²/десятилетие. Согласно докладом экспертов Международной группы по изменению климата (МГЭИК), по мере увеличения количества CO₂ в атмосфере из-за антропогенной деятельности природные экосистемы теряют способность поглощать весь выделяемый парниковый газ (ПГ).

В течение последних десятилетий температура поверхности Земли неуклонно повышалась и составила 1,1 °С за прошедшие 150 лет [2–4], что связывают с уве-

личением выбросов CO₂ за это время. Увеличение температуры планеты только на 2 °С приведет к повышению уровня Мирового океана на 6 м. При сохранении существующих тенденций катастрофические последствия изменения климата могут произойти уже к концу XXI в. [5, 6]. Поэтому проблема начинающегося изменения климата, которая затрагивает экономические интересы не только отдельных компаний, но уже и государств, постепенно переходит из научной (экологической) области в сферу бизнеса и политики [1, 3].

Согласно отчету “BP Statistical Review of World Energy” (BP), совокупный мировой объем выбросов CO₂ в 2019 г. достиг 34,2 млрд т. Основная доля повышения количества выбросов приходится на развивающиеся страны (+2,4 %), тогда как Европейский союз (с учетом Великобритании) снизил выбросы на 3,9 % (рис. 1). Однако в настоящее время для замещения российских поставок газа в Германии

✉ Khasin@ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6081-4474>

**parknedra@yandex.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9006-3667>

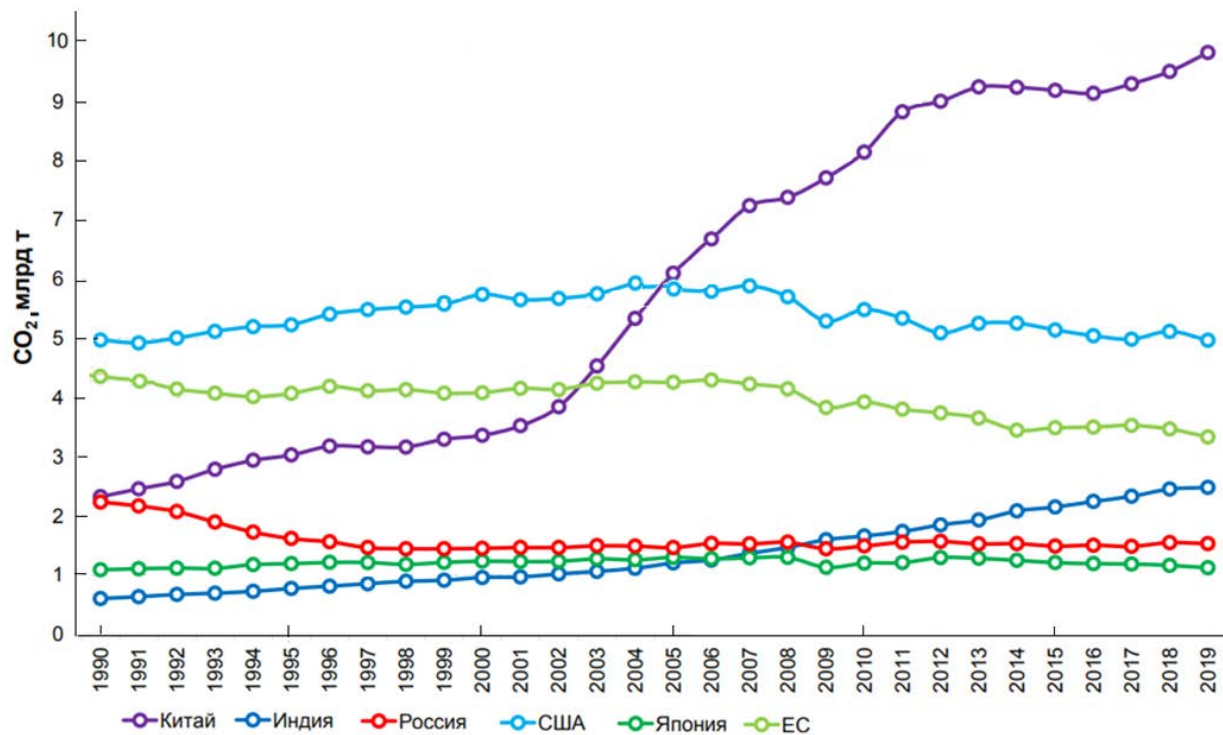


Рисунок 1. Выбросы CO₂ по ведущим странам и регионам мира, млрд т. 1990–2019 г. Источник: BP Statistical Review of World Energy 2020

Figure 1. CO₂ emissions by leading countries and regions of the world, billion tons. 1990–2019. Source: BP Statistical Review of World Energy 2020

и других европейских странах ожидается введение в эксплуатацию ТЭЦ и увеличение потребления угля на 35 % в 2022 г. по сравнению с 2021 г. При этом объем выбросов парниковых газов для производства 1 кВт × ч электроэнергии будет почти вдвое больше, чем при использовании природного газа.

Горнодобывающая промышленность является основным источником сырья для обрабатывающей промышленности, транспорта, металлургии, строительства и энергетики. По экспертным прогнозам, спрос на сырье будет расти по мере увеличения населения мира и перехода многих стран с низкими доходами к статусу со средними доходами. Такое повышение спроса на полезные ископаемые в сочетании с падением содержания в минеральной руде, вероятно, увеличит потребность горнодобывающей промышленности в энергии, что потенциально приведет к увеличению и без того значительного воздействия парниковых газов [7–9]. В настоящее время доля выбросов парниковых газов мировой горнодобывающей промышленности составляет 4–7 %, основная часть которой приходится на угольный сектор.

На Парижском совещании по изменению климата в 2015 г. 195 государств-членов ООН согласились принять меры по ограничению роста средней глобальной температуры ниже 2 °C к 2100 г. Однако даже если все страны, подписавшие соглашение, успешно выполняют Парижское соглашение, прогнозируется, что к концу столетия глобальная температура повысится как минимум на 2,6 °C. Начиная со второй половины 1970-х гг. среднегодовая температура воздуха на территории России повышается в среднем на 0,47 °C за 10 лет, что в 2,5 раза больше роста

средней глобальной температуры воздуха [10]. Планетарное потепление создает существенные угрозы для многих стран, в том числе и для России. Изменение климата приводит к увеличению числа наводнений, ураганов, засух также и на плодородных территориях России. Кроме того, таяние вечной мерзлоты создает угрозы для инфраструктуры заполярных городов. Все эти факторы приведут к значительным убыткам, поэтому вопрос декарбонизации для мирового сообщества является основным.

Теория вопроса. Добыча полезных ископаемых является очень энергоемкой как на начальном этапе разработки, так и на протяжении всего срока службы шахты, рудника или карьера. Энергия – одна из основных статей расходов в горнодобывающей промышленности, составляющая в среднем от 15 до 40 % общих операционных расходов. При такой большой доле расходов, затрачиваемых на производство энергии, получаемой из ископаемых видов топлива, горнодобывающая промышленность в значительной степени подвержена волатильности рынка ископаемых видов топлива. Ожидается, что к 2035 г. спрос на энергию при добыче полезных ископаемых вырастет на 36 % [7, 11]. Вследствие удаленности большинство горнодобывающих предприятий в значительной мере зависит от ископаемых видов топлива (угля и нефти) для выработки электроэнергии и тепла на месте.

Помимо экономических последствий, зависимость добычи полезных ископаемых от ископаемых видов топлива также влияет на благосостояние местных сообществ и имеет последствия для местной инфраструктуры, качества воздуха и воды. Экономические, социальные и экологические факторы побуждают пересмотреть спо-

события производства и использования энергии на горнодобывающих предприятиях. Основными тенденциями и проблемами, повышающими интерес к использованию альтернативных источников энергии в горнодобывающей промышленности, являются:

1. Снижение содержания руды (истощение богатых и легкодоступных руд привело к снижению содержания руды), следовательно, необходимо добывать, загружать, транспортировать и обрабатывать больше материалов для производства того же количества металла или минералов. Это увеличивает потребность в энергии для горных работ. Например, при снижении содержания медной руды с 0,4 до 0,2 % требуется в семь раз больше энергии [4, 7, 9] и, соответственно, новых инвестиций в энергетические услуги. При этом горнодобывающая промышленность сталкивается с двойной проблемой: поиска мер по декарбонизации и перспективы роста спроса на энергию [12]. Кроме того, увеличивающаяся удаленность горных предприятий создает проблемы для обеспечения поставок энергии в виде доступных видов топлива, транспортных потребностей, доступа к площадкам и мер инфраструктуры и других логистических соображений;

2. Неустойчивые цены (горнодобывающая промышленность постоянно сталкивается с колебаниями цен на энергоносители и полезные ископаемые, что влияет на себестоимость продукции). Ископаемые виды топлива составляют 57 % мирового потребления энергии в горнодобывающем и карьерном секторах (33 % – нефтепродукты, 13 % – уголь и 11 % – природный газ). Таким образом, альтернативные источники энергии могут обеспечить стабильность стоимости энергии;

3. Экологические проблемы. Добыча полезных ископаемых оказывает негативное воздействие на окружающую среду как на глобальном, так и на местном уровне: загрязнение почвы, атмосферы и водных источников [13–16]. Эти воздействия возрастают по мере того, как промышленность ведет поиск более трудноизвлекаемых минеральных ресурсов в экологически уязвимых районах;

4. Растущее политическое и социальное беспокойство. Помимо экономических последствий, зависимость добычи полезных ископаемых от ископаемых видов топлива также влияет на благосостояние местных сообществ и имеет последствия для местной инфраструктуры, качества воздуха и воды, а также окружающей среды. Кроме того, горнодобывающая промышленность испытывает растущее давление со стороны акционеров и внешних заинтересованных сторон с целью снижения зависимости от ископаемого топлива на всех этапах цепочки поставок [17].

При этом следует отметить, что добытое полезное ископаемое – это не конечный продукт, а всего лишь сырье, т. е. только начало совместной цепочки создания добавленной стоимости, цепочки, которая в конечном итоге ведет к потребителю. Поэтому необходимо переходить к циркулярной модели производства [18–20]. В этом случае следует говорить не о торговле продукцией, а о бизнес-моделях переработки товара и поддержки его в обращении.

Таким образом, декарбонизация горнодобывающего сектора тесно связана с моделями потребления энергии и энергетическими целями горнодобывающих компаний.

Обсуждение результатов

В соответствии с Парижским соглашением 2015 г. 195 стран обязались ограничить глобальное потепление, сделать его значительно ниже 2,0 °С к 2050 г. Для достижения этой цели горнодобывающая промышленность должна сократить прямые выбросы CO₂ как минимум на 85 % [2, 5, 12]. Для этого в экономически развитых странах были реализованы различные варианты регулирования выбросов ПГ и приняты меры по их уменьшению. После распада СССР Россия становится одним из мировых лидеров по снижению выбросов парниковых газов (рис. 1), поскольку большинство советских предприятий были закрыты в 1990-е гг.

В 1990-х гг. в России существенно снизился объем выбросов вследствие экономической ситуации в стране, изменения структуры экономики и топливного баланса. В 1999–2008 гг. начался экономический подъем в сферах производства и потребления. Этот период сопровождался увеличением объема выбросов, который был существенно меньше их сокращения в 1990-е гг. Если в 1990–1998 гг. объем совокупного выброса (без учета сектора землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ)) уменьшился на 1308,2 млн т CO₂-экв., то в 2000–2008 гг. он увеличился всего на 197,4 млн т CO₂-экв. (рис. 2). Кроме того, значительную часть энергии в России получают с помощью природного газа как наименее «грязного» вида ископаемого топлива и АЭС, не оставляющих углеродного следа.

В 2009 г., в связи с мировым экономическим кризисом, затронувшим и Россию, наблюдалось снижение объема выбросов. В 2010–2012 гг. (период восстановления экономики) объем выбросов снова начал возрастать. В 2018 г. совокупные выбросы с учетом ЗИЗЛХ составили 1,6 млрд т CO₂-экв. (или 52,4 % совокупных выбросов 1990 г.). Выбросы ПГ с учетом ЗИЗЛХ ниже, поскольку сектор ЗИЗЛХ России является нетто-поглотителем ПГ¹.

Большинство мировых горнодобывающих компаний уже начали свой путь к достижению нулевого уровня выбросов к 2050 г. В краткосрочной перспективе такие компании, как BHP и Vale, планируют сократить выбросы примерно на 30 % к 2030 г.; Rio Tinto поставила перед собой цель сократить выбросы на 50 % [12]. Данные по выбросам парниковых газов в пересчете на углекислый газ-эквивалент горно-металлургическими предприятиями России представлены на рис. 3, 4.

Указом Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» поставлена задача – к 2030 г. «уменьшить» выбросы на 30 % от уровня 1990 г. и до 70 % в масштабе всей экономики с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и других экосистем. То есть де-факто увеличить их почти на 40 % от текущего уровня [21, 22].

По мнению международных экспертов, в краткосроч-

¹ Четвертый двухгодичный доклад Российской Федерации, представленный в соответствии с решением 1/CP.16 Конференции Сторон Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/10469275_Russian%20Federation-BR4-1-4BR_RUS.pdf

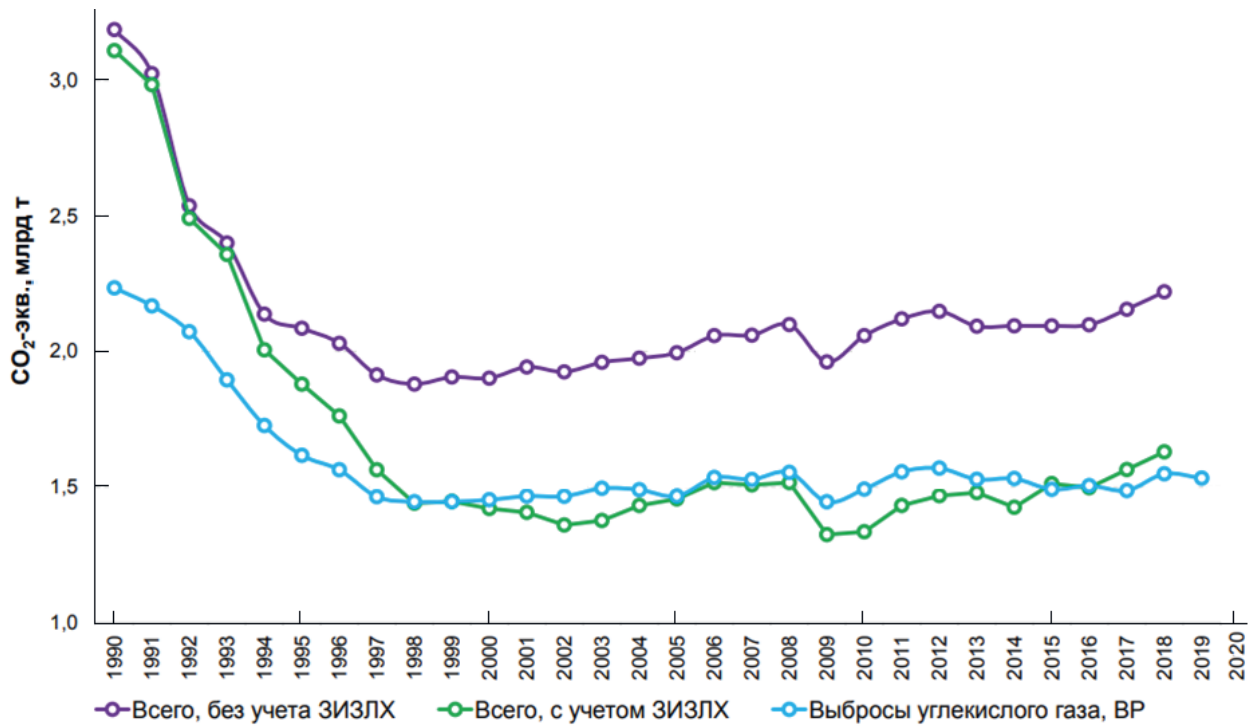


Рисунок 2. Совокупные антропогенные выбросы парниковых газов в России, млрд т CO₂-экв. 1990–2019 г. Источник: BP Statistical Review of World Energy 2020 (Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2018 гг., с. 24)
 Figure 2. Cumulative anthropogenic greenhouse gas emissions in Russia, billion tons of CO₂-eq. 1990–2019. Source: BP Statistical Review of World Energy 2020 (National Inventory Report on Anthropogenic Emissions by Sources and Removals by Sinks of Greenhouse Gases Not Controlled by the Montreal Protocol, 1990–2018, p. 24)

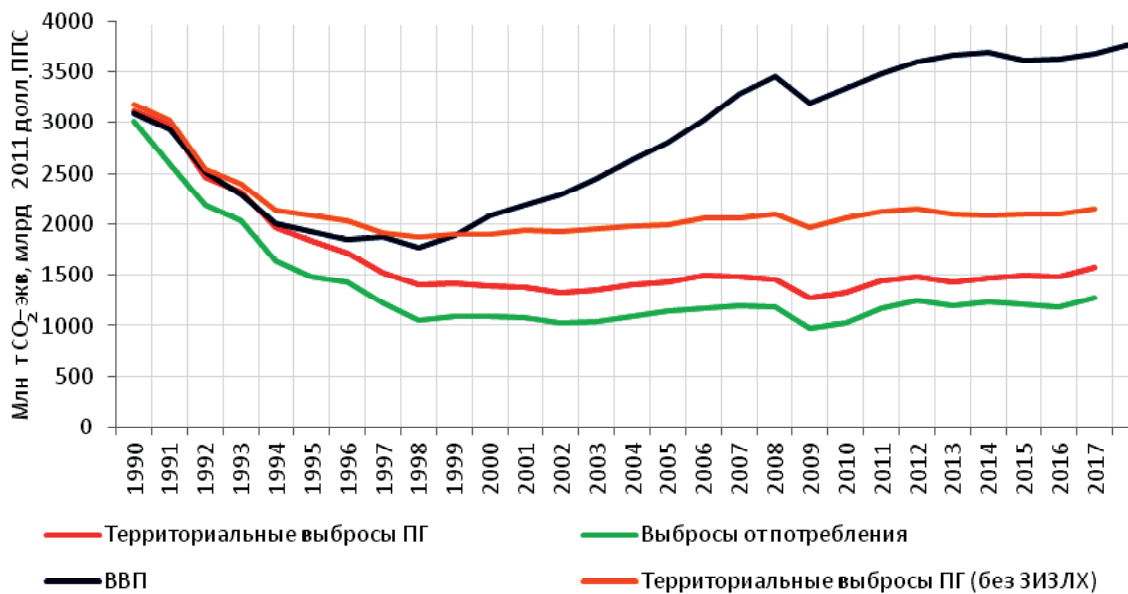


Рисунок 3. Динамика суммарных показателей выбросов ПГ и динамика ВВП Российской Федерации в 1990–2018 гг. Источники: рассчитано ЦЭНЭФ-ХХI на основе данных Росстата и национальной инвентаризации (Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, за 1990–2017 гг. М., 2019)
 Figure 3. Dynamics of total indicators of GHG emissions and dynamics of the GDP of the Russian Federation in 1990–2018. Calculated by CENEf-XXI based on data from Rosstat and the national inventory (National report on the inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for 1990–2017. Moscow 2019)

ной перспективе невозможно отказаться от использования ископаемого топлива и перейти на возобновляемые источники энергии без серьезных экономических потрясений [1, 23, 24]. Тем не менее, с точки зрения минимизации выбросов, можно рассмотреть следующие основные

методы, которые могут быть включены в стратегию декарбонизации горнодобывающих компаний.

1. *Электроснабжение на месте.* Доступ к электричеству имеет основополагающее значение для работы любого рудника, карьера или шахты. Способ и тип получаемой

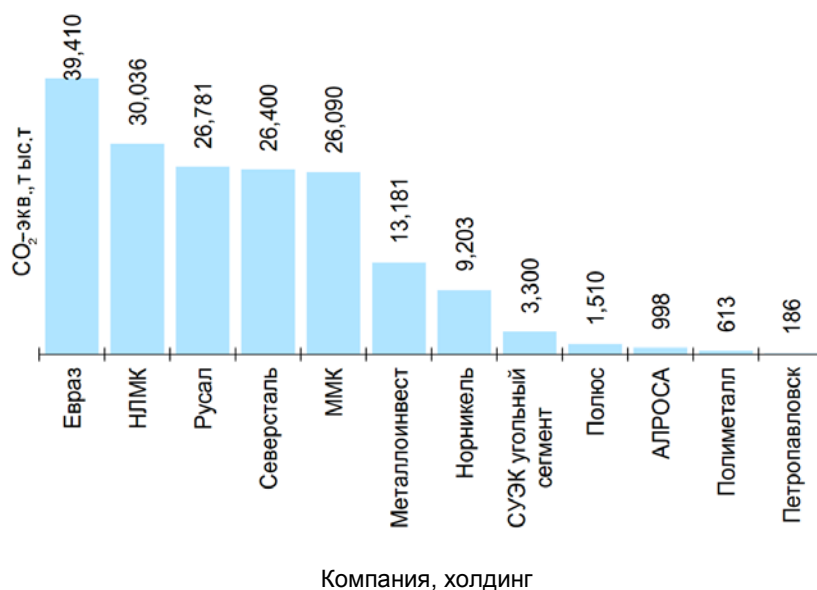


Рисунок 4. Выбросы сферы охвата 1 компаний горно-металлургического сектора, 2020 г. Источник: Цена декарбонизации для экономики России. URL: http://www.forecast.ru/_ARCHIVE/Presentations/CMAF_SM/dec2021/SVV.pdf
Figure 4. Emissions from the scope of 1 companies in the mining and metallurgical sector, 2020. Source: The cost of decarbonization for the Russian economy. URL: http://www.forecast.ru/_ARCHIVE/Presentations/CMAF_SM/dec2021/SVV.pdf

электроэнергии могут иметь огромное значение с точки зрения энергоэффективности и выбросов. Например, компания ВНР согласилась заключить контракты на возобновляемые источники энергии для своих двух шахт в Чили, что приведет к 20-процентному снижению цены, но, что более важно, вытеснит 3 млн т выбросов CO₂, которые в противном случае выбрасывали бы угольные электростанции [7, 11].

2. *Сокращение дизельного топлива для транспортировки горной массы.* Большинство горнодобывающих машин и оборудования используют дизельные двигатели. В настоящее время в мире работает около 28 000 карьерных самосвалов, дизельные двигатели которых выбрасывают 68 млн т CO₂ в год [25, 26]. Самосвал, получающий энергию от дизельного генератора, а не от дизельного двигателя, дает в три раза меньше выбросов по сравнению с обычным дизельным карьерным самосвалом, учитывая рекуперацию. Таким образом, даже если электросеть питается от «грязной» энергии, применение дизель-троллейбусов и троллейбусов позволяет экономить до 80 % дизельного топлива [27, 28]. Newmont и Fortescue Metals Group (FMG) рассматривают в качестве альтернативных видов топлива водород и электроаккумуляторы. FMG использует водород в качестве топлива для большинства своего горнодобывающего оборудования, как и производители грузовых автомобилей (Huzon), которые уже работают в Австралии [29, 30]. Промежуточный вариант – это переход на природный газ, поскольку газовое моторное топливо дает значительно меньший объем выбросов [31], особенно это касается северных районов России [32].

Еще один путь – это замена карьерных самосвалов ленточными конвейерами, которые намного эффективнее перемещают добытый материал [7, 33].

3. *Технология обработки.* Современные процессы дробления и измельчения полезных ископаемых требуют либо большого количества дизельного топлива, либо

электроэнергии, что эквивалентно 1 % общего потребления энергии во всем мире. Следовательно, изменение технологии измельчения является естественной целью для наиболее эффективных возможностей экономии энергии. Даже небольшие улучшения технологии могут привести к относительно большой экономии как энергопотребления, так и выбросов парниковых газов [7, 11].

4. *Цифровизация горной промышленности.* За последнее десятилетие горняки начали широкомасштабно внедрять системы внутрикарьерного дробления и транспортировки (IPCC), заменяя свои автопарки, работающие на ископаемом топливе, непрерывной транспортировкой материала на ленточных конвейерах с электроприводом. Положительное воздействие этих систем на окружающую среду значительно, а использование систем IPCC повышает степень автоматизации и цифровизации, обеспечивая дополнительную эффективность.

Цифровая повестка дня приобретает все большее значение для добычи полезных ископаемых с точки зрения производительности, но преимущества также будут видны в плане устойчивости. Используя достижения в области цифровых технологий, можно подключать, собирать и прогнозировать производственные данные для оптимизации процессов – сокращения отходов и воды, выбросов и потребления энергии [34, 35].

5. *Улавливание и хранение углерода.* Улавливание, использование и хранение углерода (CCUS) – это новая стратегия, которая зарекомендовала себя как многообещающий инструмент в качестве долгосрочного решения проблемы выбросов CO₂. Газообразный углекислый газ веками использовался в качестве сырья в промышленных процессах. Область его применения простирается от газирования напитков (XVIII в.) до применения сверхкритического CO₂ в производстве растворимого кофе, фармацевтических препаратов (XX в.) или строительных материалов (XXI в.). Склонность минералов вступать в

реакцию с CO_2 при правильно выбранных условиях может быть использована для CCUS с применением методов обработки как *in situ*, так и *ex situ*. В качестве примера первого сообщают об использовании жидкости с высоким содержанием CO_2 вместо природной воды при обработке перидотитов. При таком подходе растворение перидотита (и, следовательно, его карбонатность) можно увеличить на пять порядков [1, 36].

Российские компании также предполагают инвестировать CCUS. Например, Газпром планирует вложить 30 млрд руб. в проект по улавливанию и захоронению углерода на территории Оренбургской области. НОВАТЭК и Татнефть также заявили о готовности реализации аналогичных проектов. На предприятиях группы «АЛРОСА» изучают возможности кимберлитовой породы поглощать углекислый газ из атмосферы и сохранять его в составе карбонатов [37]. В границах национального парка «Угра» (Калужская область) с 2020 г. внедряются карбоновые фермы, т. е. лесные технологии, направленные на поглощение парниковых газов. В России примерно 11 млн км² лесных массивов, являющихся уникальным резервуаром для поглощения CO_2 .

Аналитики ЕУ полагают, что нефтегазовые компании СНГ могут проводить мероприятия по снижению выбросов CO_2 в процессе своей основной деятельности. Например, снизить количество сжигания попутного газа (несмотря на действующее с 2012 г. постановление об утилизации 95 % ПНГ, средний показатель по России в 2020 г. – 82,6 %), а также снизить утечки метана (в частности, на заброшенных скважинах), отрицательное влияние которого на климат в 26–28 раз сильнее, чем у углекислого газа.

В ходе своего развития мировая экономика прошла через несколько энергетических переходов: древесный–каменный уголь–нефть–природный газ. Если первые энергетические переходы были обусловлены удобством производства и конкурентоспособностью затрат, то сейчас в первую очередь рассматриваются экологические параметры энергоносителей. Перевод всего мирового потребления энергии с ископаемого топлива в гонке со временем, чтобы избежать катастрофических изменений климата, выходит за рамки всего, что человечество пыталось сделать раньше.

Нынешний энергопереход (уход от ископаемого топлива) потребует значительных вложений, но при этом открываются новые рынки продуктов, технологий и услуг. Важно отметить, что здесь имеются направления, где Россия может не только извлечь выгоду из

нового энергоперехода, но и занять лидирующие позиции. Это, например, экспорт аммиака в качестве сырья для производства водорода и производство водорода из природного газа, а также продажа редкоземельных металлов. Кроме того, можно увеличить инвестиции в лесопосадки, что позволит в большей мере использовать поглощающую способность лесов и сибирской тайги. Это значительное конкурентное преимущество, поскольку мы больше поглощаем, чем выбрасываем. Поэтому можно сказать, что Россия – экологический «донор» планеты. Однако в настоящее время площадь лесов уменьшается из-за частых пожаров на Дальнем Востоке и в Сибири.

Заключение

Горнодобывающая отрасль имеет ключевое значение для экономического развития во всем мире, поскольку именно она поставляет критически важные минералы, обеспечивающие возможность перехода на низкоуглеродные технологии, необходимого для остальной части экономики. Однако условия, в которых ей предстоит работать в перспективе, будут сильно отличаться от прошлого, требуя комплексных изменений и существенных капиталовложений. Иными словами, горнодобывающей отрасли нужно стать более экологически устойчивой и эффективной, если от нее будет требоваться предоставление важнейших ресурсов, необходимых миру для декарбонизации, снижая при этом свое собственное влияние на окружающую среду.

В принципе, в горнодобывающей промышленности можно использовать множество экологически чистых энергетических решений, таких как энергоэффективность, рекуперация энергии, возобновляемые источники энергии и улавливание углерода. Для полного решения энергетических проблем, стоящих перед горнодобывающей отраслью, потребуется сочетание экологически чистых энергетических технологий.

Горнодобывающая промышленность имеет хорошие возможности для достижения целей обезуглероживания. Компании часто владеют большими участками земли, которые идеально подходят для реализации крупномасштабных проектов по возобновляемым источникам энергии для добычи полезных ископаемых и во многих случаях – для обеспечения электроэнергией своих местных сообществ.

Таким образом, декарбонизация горной промышленности России – это не попытка угодить мировому сообществу, а осознанное решение, принятое с учетом национальных интересов.

Благодарность

Исследование подготовлено в соответствии с государственным заданием ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 0833-2020-0008 «Разработка и эколого-экономическое обоснование технологии рекультивации нарушенных горно-металлургическим комплексом земель на основе мелиорантов и удобрений нового типа» и выполнено совместно с сотрудниками Центра коллективного пользования (ЦКП) с использованием фондов Центра коллективного пользования научным оборудованием ФНЦ БСТ РАН (№. Росс RU.0001.21 ПФ59, Единый российский реестр центров коллективного пользования – <http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>).

ЛИТЕРАТУРА

1. Azadi M., Edraki M., Farhang F., Ahn J. Opportunities for Mineral Carbonation in Australia's Mining Industry // Sustainability. 2019. Vol. 11. No. 5. P. 1250–1271. <https://doi.org/10.3390/su11051250>

2. Bandelow N. C., Hornung J., Schröder I., Vogeler C. S. Decarbonization and climate change // RPR Journal. 2021. Vol. 38. No. 6. P. 754–756. <https://doi.org/10.1111/ropr.12445>
3. Бергфельдт Т., Брок С. Сокращение углеродного следа в горнодобывающей и металлургической отрасли: как разработать стратегию и дорожную карту декарбонизации // Золото и технологии. 2021. № 2 (52). С. 100–104.
4. Кайсинова В. В., Кустикова М. А. Анализ технологических решений в условиях перехода промышленности к декарбонизации производства // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. № 2. С. 429–441. https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_2_76
5. Otto I. M., Donges J. F., Cremades R., Bhowmik A., Hewitt R. J., Lucht W., Rockström J., Allerberger F., McCaffrey M., Doe S. S. P., Lenfena A., Morán N., van Vuuren D. P., Schellnhuber H. J. Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050 // PNAS. 2020. Vol. 117. No. 5. P. 2354–2365. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900577117>
6. Лебедева М. А. Проблемы декарбонизации экономики России // Проблемы развития территории. 2022. Т. 26. № 2. С. 57–72. <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.2.118.5>
7. Igogo T., Lowder T., Engel-Cox J., Newman A., Awuah-Offei K. Integrating clean energy in mining operations: opportunities, challenges, and enabling approaches: Technical Report NREL/TP-6A50-76156. Golden, CO, USA, 2020. 43 p.
8. Martins F. F., Castro H. Raw material depletion and scenario assessment in European Union – A circular economy approach // Energy Reports. 2020. Vol. 6, Supplement 1. P. 417–422. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.082>
9. Ponomarenko T., Nevskaya M., Jonek-Kowalska I. Mineral Resource Depletion Assessment: Alternatives, Problems, Results // Sustainability. 2021. Vol. 13. No. 2. P. 862–877. <https://doi.org/10.3390/su13020862>
10. Плакиткин Ю. А., Плакиткина Л. С. Пять базовых закономерностей глобальной энергетики, «Зеленая сделка» как сдерживающие факторы развития горнодобывающих отраслей ТЭК // Горная промышленность. 2021. № 4. С. 94–100. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-94-100>
11. Immink H., Louw R. T., Brent A. C. Tracking decarbonisation in the mining sector // Journal of Energy in Southern Africa. 2018. Vol. 29. No. 1. P. 14–23. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2018/v29i1a3437>
12. Cox B., Innis S., Kunz N. C., Steen J. The mining industry as a net beneficiary of a global tax on carbon emissions // Communications Earth and Environment. 2022. Vol. 3. No. 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00346-4>
13. Тарасов П. И., Хазин М. Л., Голубев О. В. Снижение геозоологической нагрузки горноперерабатывающей промышленности северных и арктических территорий // ГИАБ. 2019. № 7. С. 74–82. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-07-0-74-82>
14. Болтыров В. Б., Стороженко Л. А., Сапсай М. А. Накопленный экологический вред территорий размещения горнопромышленных отходов прошлых лет // ГИАБ. 2021. № 5-2. С. 202–217. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_52_0_202
15. Закондырин А. Е. Наилучшие доступные технологии в горнодобывающем секторе: актуальные проблемы и пути их решения // ГИАБ. 2020. № 6-1. С. 55–64. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-55-64>
16. Boldy R., Santini T., Annandale M., Erskine P. D., Sontler L. J. Understanding the impacts of mining on ecosystem services through a systematic review // The Extractive Industries and Society. 2021. Vol. 8. No. 1. P. 457–466. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.12.005>
17. Pablo-Romero M. P., Sánchez-Braza A., Romero M. G.-P. Renewable energy in Latin America // AIMS Energy. 2022. Vol. 10. No. 4. P. 695–717. <https://doi.org/10.3934/energy.2022033>
18. Fitch-Roy O., Benson D., Monciardini D. All around the world: Assessing optimality in comparative circular economy policy packages // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 286. Article number 125493. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125493>
19. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. Re-Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations // Minerals. 2019. Vol. 9. No. 5. P. 1–13. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
20. Jones P. The Circular Economy, Resilience, and Digital Technology Deployment in the Mining and Mineral Industry // International Journal of Circular Economy and Waste Management (IJCEWM). 2021. Vol. 1. No. 1. P. 16–32. <https://doi.org/10.4018/IJCEWM.2021010102>
21. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А., Дьяченко К. И. Декарбонизация экономики как фактор воздействия на развитие угольной промышленности мира и России // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 8. С. 902–912. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-8-902-912>
22. Сафонов Г. В. Декарбонизация мировой экономики и Россия // Нефтегазовая вертикаль. 2020. № 21-22. С. 66–70.
23. Fawzy S., Osman A. I., Doran J., Rooney D. W. Strategies for mitigation of climate change: a review // Environmental Chemistry Letters. 2020. Vol. 18. P. 2069–2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>
24. Жариков М. В. Цена декарбонизации мировой экономики // Экономика. Налоги. Право. 2021. Vol. 14. № 4. С. 40–47. <https://doi.org/10.26794/1999-849X-2021-14-4-40-47>
25. Pocard N. How Proven Fuel Cell Technology Is Decarbonizing Mining and Construction. 2021. URL: <https://blog.ballard.com/decarbonizing-mining-and-construction>
26. Joshi S., Dahodwala M., Ahuja N., Dhanraj F., Koehler E., Franke M., Tomazic D. Evaluation of Hybrid, Electric and Fuel Cell Powertrain Solutions for Class 6-7 Medium Heavy-Duty Vehicles // SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility. 2021. Vol. 3. No. 6. P. 2955–2971. <https://doi.org/10.4271/2021-01-0723>
27. Cruzat J. V., Valenzuela M. A. Modeling and evaluation of benefits of trolley assist system for mining trucks // IEEE Transactions on Industry Applications. 2018. Vol. 54. No. 4. P. 3971–3981. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2823261>
28. Шешко О. Е. Сравнительная оценка природоемкости карьерных автосамосвалов и дизель-троллейбусов // ГИАБ. 2018. № 6. С. 119–125. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-6-0-119-125>
29. Хазин М. Л., Апакашев Р. А. Карьерные самосвалы на водородном топливе // ГИАБ. 2022. № 1. С. 47–59. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_1_0_47
30. Guerra C. F., Reyes-Bozo L., Vyhmeister E., Caparrós M. J., Salazar J. L., Godoy-Faúndez A., Clemente-Jul C., Verastegui-Rayó D. Viability analysis of underground mining machinery using green hydrogen as a fuel // International Journal of Hydrogen Energy. 2020. Vol. 45. No. 8. P. 5112–5121. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.250>
31. Ortega A., Gkoumas K., Tsakalidis A., Pekár F. Low-Emission Alternative Energy for Transport in the EU: State of Play of Research and Innovation // Energies. 2021. Vol. 14. P. 7764–7786. <https://doi.org/10.3390/en14227764>
32. Хазин М. Л. Перевод карьерных самосвалов на газ в условиях севера // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2019. Т. 19. № 1. С. 56–72. <https://doi.org/10.15593/2224-9923/2019.1.5>
33. Kawalec W., Król R., Suchorab N. Regenerative Belt Conveyor versus Haul Truck-Based Transport: Polish Open-Pit Mines Facing Sustainable Development Challenges // Sustainability. 2020. Vol. 12. No. 21. P. 9215–9230. <https://doi.org/10.3390/su12219215>
34. Каленов О. Е. Цифровизация в горнодобывающей промышленности // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2021. № 5. С. 184–192. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-5-184-192>
35. Мелешко Ю. В. Цифровизация предприятия горной промышленности как фактор обеспечения его экономической безопасности // Технично-технологические проблемы сервиса. 2020. № 3 (53). С. 59–63.
36. Ostovari H., Müller L., Mayer F., Bardow A. A climate-optimal supply chain for CO₂ capture, utilization, and storage by mineralization // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 360. Article number 131750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131750>
37. Масанов А. Ю., Дубовичев М. А., Толстов А. В., Анисимова П. С., Гаранин К. В., Дорохов А. В., Барановская В. Б. Потенциал компенсации выбросов парниковых газов предприятий группы «АЛРОСА» за счет карбонизации отработанного кимберлита // Рациональное освоение недр. 2021. № 4 (60). С. 66–75. <https://doi.org/10.26121/RON.2021.87.40.008>

Статья поступила в редакцию 21 марта 2023 года

Decarbonization of the Russia mining industry

Mark Leont'evich KHAZIN*

Rafail Abdrakhmanovich APAKASHEV**

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The purpose and relevance of the work. Intensive industrial development, dependent on fossil fuels, has led to a critical accumulation of atmospheric carbon dioxide and an increase in the temperature of the Earth's surface. A further increase in the planet's temperature by 2 °C could lead to a rise in global sea level by 6 meters, which will cause an increase in the number of floods and hurricanes, and the melting of permafrost will pose a threat for polar cities infrastructure. All these factors will lead to significant losses, so the decision to decarbonize is in Russia's national interests. The purpose of the research is to find ways to reduce harmful emissions in the mining industry.

Methodology. Based on the reported data, a critical analysis and study of the possibilities of reducing greenhouse gas emissions in the process of mining is carried out.

Results and scope. The mining industry is the main source of raw materials for the manufacturing industry, transport, metallurgy, construction and energy. The decrease in the content of useful components in the ore makes it necessary to extract, load, transport and process more materials. In the short term, it is not possible to phase out fossil fuels, but the main methods of a mining company's decarbonization strategy can be considered: on-site power supply, reduction of diesel fuel consumption for rock transport, improved processing technology, carbon capture and storage.

For this, the mining industry can use various reserves in the form of environmentally friendly energy solutions, such as energy efficiency, energy recovery, renewable energy and carbon capture.

Conclusions. The mining industry can use various clean energy solutions such as energy efficiency, energy recovery, renewable energy and carbon capture. A complete solution to the energy challenges facing the mining industry will require a combination of clean energy technologies.

Keywords: decarbonization, climate, open pit mining, greenhouse gases, resource saving, ecology, economics, energy efficiency.

The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education in accordance with the state assignment for Ural State Mining University No. 0833-2020-0008, "Development and environmental and economic substantiation of the technology for reclamation of land disturbed by the mining and metallurgical complex based on reclamation materials and fertilizers of a new type". We obtained the scientific results with the staff of Center for the collective use by using the equipment of the Center for the collective use of scientific equipment of the Federal Scientific Center of biological systems and agricultural technologies of RAS (No. Ross RU.0001.21 PF59, the Unified Russian Register of Centers for Collective Use (<http://www.ckp-rf.ru/ckp/77384>)).

REFERENCES

1. Azadi M., Edraki M., Farhang F., Ahn J. 2019, Opportunities for Mineral Carbonation in Australia's Mining Industry. *Sustainability*, vol. 11, no. 5, pp. 1250–1271. <https://doi.org/10.3390/su11051250>
2. Bandelow N. C., Hornung J., Schröder I., Vogeler C. S. 2021, Decarbonization and climate change. *RPR Journal*, vol. 38, no. 6, pp. 754–756. <https://doi.org/10.1111/ropr.12445>
3. Bergfeldt T., Brock S. 2021, Reducing the carbon footprint in the mining and metallurgical industry: how to develop a strategy and roadmap for decarbonization. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and Technologies], no. 2 (52), pp. 100–104. (In Russ.)
4. Kaysina V. V., Kustikova M. A. 2022, Analysis of technological solutions in the context of the transition of industry to decarbonization of production. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal* [Moscow Economic Journal], vol. 7, no. 2, pp. 429–441. (In Russ.) https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_2_76
5. Otto I. M., Donges J. F., Cremades R., Bhowmik A., Hewitt R. J., Lucht W., Rockström J., Allerberger F., McCaffrey M., Doe S. S. P., Lenferna A., Morán N., van Vuuren D. P., Schellnhuber H. J. 2020, Social tipping dynamics for stabilizing Earth's climate by 2050. *PNAS*, vol. 117, no. 5, pp. 2354–2365. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900577117>
6. Lebedeva M. A. 2022, Problems of decarbonization of the Russian economy. *Problemy razvitiya territorii* [Problems of territory development], vol. 26, no. 2, pp. 57–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.15838/ptd.2022.2.118.5>
7. Igogo T., Lowder T., Engel-Cox J., Newman A., Awuah-Offei K. 2020, Integrating clean energy in mining operations: opportunities, challenges, and enabling approaches: Technical Report NREL/TP-6A50-76156. Golden, CO, USA, 43 p.
8. Martins F. F., Castro H. 2020, Raw material depletion and scenario assessment in European Union – A circular economy approach. *Energy Reports*, vol. 6, Supplement 1, pp. 417–422. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.082>

✉ Khasin@ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6081-4474>

**parknedra@yandex.com

 <https://orcid.org/0000-0002-9006-3667>

9. Ponomarenko T., Nevskaya M., Jonek-Kowalska I. 2021, Mineral Resource Depletion Assessment: Alternatives, Problems, Results. *Sustainability*, vol. 13, no. 2, pp. 862–877. <https://doi.org/10.3390/su13020862>
10. Plakitkin Yu. A., Plakitkina L. S. 2021, Five basic patterns of global energy, “Green Deal” as deterrents for the development of mining industries in the fuel and energy complex. *Gornaya promyshlennost'* [Mining Industry], no. 4, pp. 94–100. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2021-4-94-100>
11. Immink H., Louw R. T., Brent A. C. 2018, Tracking decarbonisation in the mining sector. *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 29, no. 1, pp. 14–23. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2018/v29i1a3437>
12. Cox B., Innis S., Kunz N.C., Steen J. 2022, The mining industry as a net beneficiary of a global tax on carbon emissions. *Communications Earth and Environment*, vol. 3, no. 17, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00346-4>
13. Tarasov P. I., Khazin M. L., Golubev O. V. 2019, Reducing the geoeological load of the mining and processing industry of the northern and arctic territories. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 7, pp. 74–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-07-0-74-82>
14. Boltzyrov V. B., Storozhenko L. A., Sapsay M. A. 2021, Accumulated environmental damage to the territories of disposal of mining wastes of the past years. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 5-2, pp. 202–217. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_52_0_202
15. Zakondyrin A. E. 2020, Best Available Technologies in the Mining Sector: Actual Problems and Ways to Solve. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 6-1, pp. 55–64. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-61-0-55-64>
16. Boldy R., Santini T., Annandale M., Erskine P. D., Sonter L. J. 2021, Understanding the impacts of mining on ecosystem services through a systematic review. *The Extractive Industries and Society*, vol. 8, no. 1, pp. 457–466. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.12.005>
17. Pablo-Romero M. P., Sánchez-Braza A., Romero M. G.-P. 2022, Renewable energy in Latin America. *AIMS Energy*, vol. 10, no. 4, pp. 69–717. <https://doi.org/10.3934/energy.2022033>
18. Fitch-Roy O., Benson D., Monciardini D. 2021, All around the world: Assessing optimality in comparative circular economy policy packages. *Journal of Cleaner Production*, vol. 286, article number 125493. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125493>
19. Tayebi-Khorami M., Edraki M., Corder G., Golev A. 2019, Re-Thinking Mining Waste through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations. *Minerals*, vol. 9, no. 5, pp. 1–13. <https://doi.org/10.3390/min9050286>
20. Jones P. 2021, The Circular Economy, Resilience, and Digital Technology Deployment in the Mining and Mineral Industry. *International Journal of Circular Economy and Waste Management (IJCEWM)*, vol. 1, no. 1, pp. 16–32. <https://doi.org/10.4018/IJCEWM.2021010102>
21. Plakitkina L. S., Plakitkin Yu. A., Dyachenko K. I. 2021, Decarbonization of the economy as a factor influencing the development of the coal industry in the world and Russia. *Chernaya metallurgiya. Bulletin' nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii* [Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information], vol. 77, no. 8, pp. 902–912. (In Russ.) <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-8-902-912>
22. Safonov G. V. 2020, Decarbonization of the world economy and Russia. *Neftegazovaya vertikal'* [Oil and gas vertical]. no. 21-22, pp. 66–70. (In Russ.)
23. Fawzy S., Osman A. I., Doran J., Rooney D. W. 2020, Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, vol. 18, pp. 2069–2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>
24. Zharikov M. V. 2021, The price of decarbonization of the world economy. *Ekonomika. Nalogi. Pravo* [Economics, Taxes & Law], vol. 14, no. 4, pp. 40–47. (In Russ.) <https://doi.org/10.26794/1999-849X-2021-14-4-40-47>
25. Pocard N. 2021, How Proven Fuel Cell Technology Is Decarbonizing Mining and Construction. URL: <https://blog.ballard.com/decarbonizing-mining-and-construction>
26. Joshi S., Dahodwala M., Ahuja N., Dhanraj F., Koehler E., Franke M., Tomazic D. 2021, Evaluation of Hybrid, Electric and Fuel Cell Powertrain Solutions for Class 6-7 Medium Heavy-Duty Vehicles. *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, vol. 3, no. 6, pp. 2955–2971. <https://doi.org/10.4271/2021-01-0723>
27. Cruzat J. V., Valenzuela M. A. 2018, Modeling and evaluation of benefits of trolley assist system for mining trucks. *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 54, no. 4, pp. 3971–3981. <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2823261>
28. Sheshko O. E. 2018, Comparative assessment of the environmental intensity of mining dump trucks and diesel trolley carriers. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 6, pp. 119–125. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-6-0-119-125>
29. Khazin M. L., Apakashev R. A. 2022, Hydrogen-powered mining trucks. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 1, pp. 47–59. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_1_0_47
30. Guerra C. F., Reyes-Bozo L., Vyhmeister E., Caparrós M. J., Salazar J. L., Godoy-Faúndez A., Clemente-Jul C., Verastegui-Rayó D. 2020, Viability analysis of underground mining machinery using green hydrogen as a fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 8, pp. 5112–5121. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.250>
31. Ortega A., Gkoumas K., Tsakalidis A., Pekár F. 2021, Low-Emission Alternative Energy for Transport in the EU: State of Play of Research and Innovation. *Energies*, vol. 14, pp. 7764–7786. <https://doi.org/10.3390/en14227764>
32. Khazin M. L. 2019, Transfer of quarry dumps to gas under the conditions of the north. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering], vol. 19, no. 1, pp. 56–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/2224-9923/2019.1.5>
33. Kawalec W., Król R., Suchorab N. 2020, Regenerative Belt Conveyor versus Haul Truck-Based Transport: Polish Open-Pit Mines Facing Sustainable Development Challenges. *Sustainability*, vol. 12, no. 21, pp. 9215–9230. <https://doi.org/10.3390/su12219215>
34. Kalenov O. E. 2021, Digitalization in the mining industry. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova* [Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics], no. 5, pp. 184–192. (In Russ.) <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-5-184-192>
35. Meleshko Yu. V. 2020, Digitalization of a mining enterprise as a factor in ensuring its economic security. *Technico-technologicheskie problemy servisa* [Technical and technological problems of service], no. 3 (53), pp. 59–63. (In Russ.)
36. Ostovari H., Müller L., Mayer F., Bardow A. 2022, A climate-optimal supply chain for CO₂ capture, utilization, and storage by mineralization. *Journal of Cleaner Production*, vol. 360, article number 131750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131750>
- Production. 2022. Vol. 360. Article number 131750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131750>
37. Masanov A. Yu., Dubovich M. A., Tolstov A. V., Anisimova P. S., Garanin K. V., Dorokhov A. V., Baranovskaya V. B. 2021, “ALROSA” due to the carbonization of spent kimberlite. *Ratsional'noe osvoenie nedr* [Rational development of mineral resources], no. 4 (60), pp. 66–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.26121/RON.2021.87.40.008>

The article was received on March 21, 2023

Получение металлического магния на основе полиминеральных руд Калининградско-Гданьского солеродного бассейна

Александр Олегович ГАПЧИЧ^{1*}

Павел Сергеевич ЩЕРБАНЬ^{2**}

Ольга Николаевна ЛЕТУНОВСКАЯ^{3***}

Иван Сергеевич НОВИКОВ⁴

¹Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

²Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, Калининград, Россия

³Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴Киргизский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Киргизская Республика

Аннотация

Цель работы. Рациональное недропользование предполагает наиболее полное и комплексное освоение запасов минерального сырья. В связи с этим целью исследования является определение возможности получения металлического магния из руд Калининградско-Гданьского солеродного бассейна наряду с планируемыми сульфатом калия и сульфатом магния.

Методы. В ходе исследования были отобраны пробы, проанализированы существующие технологии переработки полиминеральной (каинитовой, карналлитовой и кизеритовой) руд и разработан технологический процесс получения металлического магния из имеющегося сырья и побочных продуктов основного производства, организованы испытания по получению металлического магния электролитическим путем на основе карналлита Нивенского месторождения, произведена оценка качества полученного материала, проанализированы возможности создания производства на базе имеющегося в Калининградской области сырья.

Результаты. По итогу разработки технологии переработки сырья и проведения лабораторных испытаний установлена возможность получения металлического магния из полиминеральных (карналлитовых) руд Калининградско-Гданьского солеродного бассейна. При этом выявлено, что получение магния электролитическим способом осложнено наличием высокой концентрации сульфат-ионов в исходном перерабатываемом сырье, что требует включения в технологический процесс стадии десульфатизации.

Выводы. Природные карналлитовые руды Калининградско-Гданьского солеродного бассейна, как и получаемые побочные продукты, возникающие в ходе основного технологического процесса (производства сульфата калия), могут быть использованы для производства металлического магния высокого качества, соответствующего ГОСТ 804–93. Результаты исследования позволяют осваивать природные ресурсы полиминеральных руд Калининградско-Гданьского солеродного бассейна наиболее комплексно, получая широкий спектр конечных продуктов, включая металлический магний.

Ключевые слова: рациональное недропользование, полиминеральная руда, металлический магний, электролитический метод, обессульфачивание, управление качеством.

Введение

Магний является важным элементом в современной металлургии и промышленности. Этот прочный металл обладает высоким тепловыделением, хорошим демпфированием, активностью. Его свойства обеспечивают легкую свариваемость, ковкость, качество отливки и механической обработки. Магний можно сплавлять с другими металлами, получая сплавы с целым спектром полезных свойств. Чистый магний используется редко из-за высокой скорости окисления и агрессивности, однако применение данного вещества в качестве присадки в сплавах незаменимо при производстве деталей в аэрокосмической и автомобильной промышленности. Такие сплавы являются предпочтительным материалом, когда

требуется снизить вес без ущерба для общей прочности. Их способность гасить вибрации также полезна в тех случаях, когда необходимо уменьшить внутренние усилия высокоскоростных компонентов. Кроме того, магниевые сплавы могут использоваться в качестве замены ряду инженерных пластмасс из-за их более высокой жесткости, высокой способности к вторичной переработке и более низкой стоимости производства.

В целом необходимо отметить, что сфера применения металлического магния и его соединений крайне обширна (производство взрывчатки, электроники, конструктивных компонентов и т. д.), что обеспечивает постоянную потребность в данном веществе на рынке.

✉ gapchich.alexander@gmail.com

**Ursa-maior@yandex.ru

***ol.let@yandex.ru

Источниками сырья для производства магния в основном являются магнезит, карналлит, бишофит, доломит. Их добыча, как правило, приурочена либо к морским бассейнам, находящимся в аридных условиях – с высокой концентрацией солей, где извлечение полезных компонентов осуществляется путем выпаривания и последующей переработки (Индия, Пакистан, Чили, Австралия), либо к месторождениям полиминеральных руд (Россия, Канада, США, Германия). Необходимо отметить, что на территории Европы производство металлического магния в значительной мере сократилось (за исключением России) ввиду сокращения сырьевой базы и более строгих экологических норм. Однако использование данного компонента в промышленности продолжает расти. Кроме того, организация производства только магния с опорой на подземную добычу руды часто малорентабельна ввиду высоких капитальных затрат на строительство шахт и высоких текущих затрат, связанных с технологией переработки (затраты на электроэнергию) и утилизацией отходов (хлор). Однако в случае, если магний выступает в роли сопутствующего продукта, то подобные производства становятся экономически эффективными. Например, в России производство магния налажено на ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», где сопутствует производству титана.

Для сырья Калининградско-Гданьского солеродного бассейна основным целевым продуктом является сульфат калия. Сырьевая база (карналлит, кизерит, каинит, полигалит), предлагаемая технология переработки (комбинированная флото-галургическая схема) и линейка конечных продуктов роднят данное полиминеральное сырье с

хартзальцами Германии, осваиваемыми компанией K+S. В результате металлический магний, который может быть получен в ходе процесса добычи и переработки полиминеральных руд Калининградско-Гданьского солеродного бассейна, станет одним из сопутствующих продуктов наряду с эпсомитом, технической солью и хлоридом кальция [1].

С учетом характеристик полиминеральных солей бассейна, а также технологических решений по их добыче и переработке было проведено исследование возможности получения металлического магния на имеющейся минерально-сырьевой базе.

Полиминеральные руды Калининградско-Гданьского солеродного бассейна, геологические особенности залегания и качество сырья. Калининградско-Гданьский солеродный бассейн находится в пределах южной части Польско-Литовской впадины. В пределах Калининградской области данный туниковый бассейн занимает площадь около 9 тыс. км². У контура бассейна довольно сложная конфигурация [2]. Во внутренней и северо-западной его частях отмечаются небольшие окна, где соли практически отсутствуют. В периферических частях, особенно в северной и восточной, залежи солей образуют длинные узкие «заливы», которые, возможно, представляют собой серию линзо- и куполообразных изолированных или полуизолированных одна от другой залежей [3]. В северо-восточной части выделена изолированная изометричная залежь солей размером в поперечнике до 5 км.

Самым крупным и детально изученным месторождением минеральных солей в пределах Калининградско-Гданьского бассейна является Нивенское место-

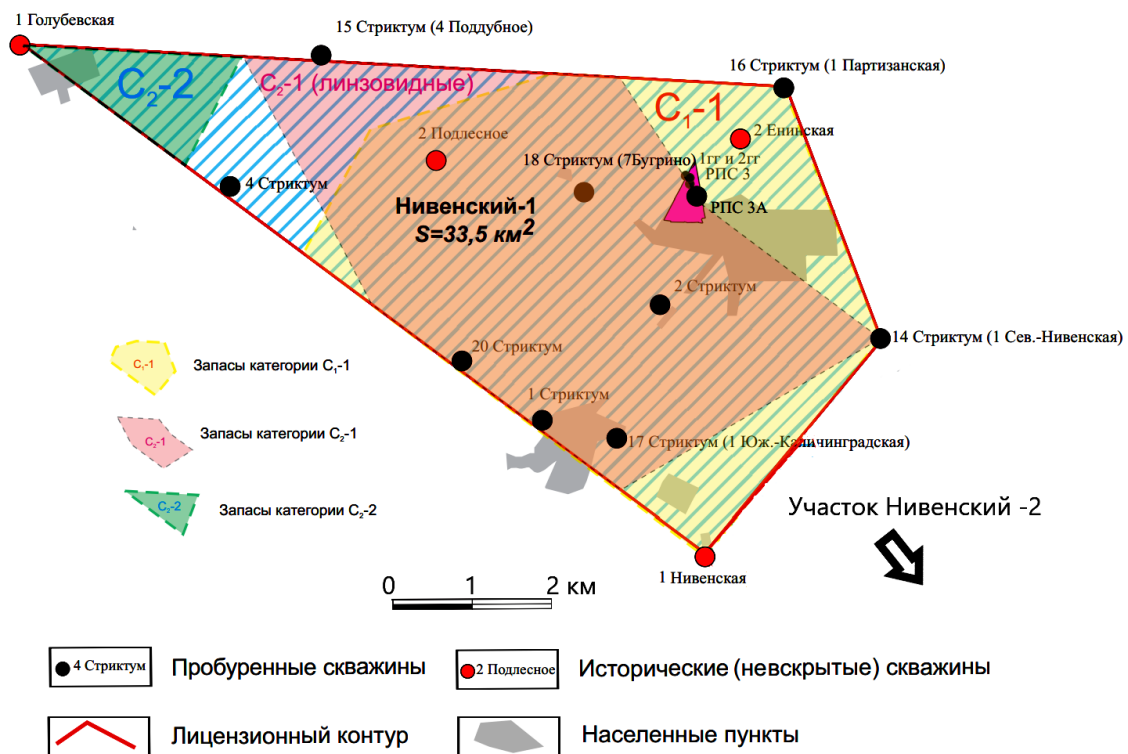


Рисунок 1. Схема участка Нивенский-1 Калининградско-Гданьского солеродного бассейна
Figure 1. Scheme of the Nivensky-1 site, Kaliningrad-Gdansk salt-bearing basin

рождение. Для удобства разведки и эксплуатации оно подразделяется на два смежных участка – Нивенский-1 и Нивенский-2 (рис. 1 и 2). Полимнеральные руды в данном месторождении залегают в виде пластов или прослоев различной мощности в толще каменной соли прегольской свиты, что соответствует завершающим стадиям галогенеза нижнего цехштейна.

Мощность соляной толщи прегольской свиты в верхнепермских впадинах 160–210 м, в региональном плане возрастает к юго-западу. Толща каменной соли делится на 5 пачек [4].

Пачка 1 в петрографическом отношении довольно однородна. Она сложена в основном каменной солью с примесью ангидрита и галопелита в виде прослоев и тончайших слоев. Калийно-магниевые соли отсутствуют. Слоистость пачки грубая, «раздерганная», слабоизвилистая. Ритмичности не отмечается. Мощность пачки до 10–20 м.

Пачка 2 продуктивна на калийно-магниевые соли и характеризуется наиболее сложным строением и минералогическим составом. Породообразующее значение в ней имеют галит, каинит, кизерит, сильвин, в качестве второстепенных компонентов присутствуют лангбейнит, полигалит, ангидрит, галопелитовое и глинистое вещество; спорадически отмечаются целестин и магнезит.

Пачка 3 – ритмично-слоистая каменная соль. Фиксируется четкая ритмичная слоистость с мощностью ритмов 15–20 см. Ритмика выражена чередованием мелкозерни-

стых участков со слоями галопелитов с более крупнозернистыми участками серой однородной галитовой породы. На площади участка недр Нивенское-2 в составе ритмов ниже пачки, обогащенной галопелитом, обычно фиксируется слой серой среднезернистой каменной соли мощностью 1–2 см. Таким образом, ритмика становится несимметричной.

Пачка 4 вскрывается поисково-оценочными скважинами не полностью. Сложена каменной солью. Характеризуется крупным размером кристаллов галита. Фиксируются кристаллы шпатового галита до 3 см, локализованные в виде включений в породе и «раздвигающие» слоистость. Кроме того, часто фиксируются монокристаллические слои шпатового галита мощностью 2–3 см в виде единого кристалла.

Пачка 5 завершает разрез соляной толщи и представлена в основном каменной солью. Поисково-оценочными скважинами на калийные соли она не вскрывается. Нижняя часть пачки сложена разнозернистой каменной солью, в которой полигалит образует тонкие (сотые доли миллиметра) прослои и равномерную примесь по всей массе породы. Средняя часть пачки представлена чередованием прослоев разнозернистой каменной соли и глинисто-полигалитовой породы при значительном объеме последней. Верхняя часть сложена светло-серой, серой и темно-серой каменной солью разнозернистой структуры, массивной или пятнистой текстуры. Цвет породы обу-

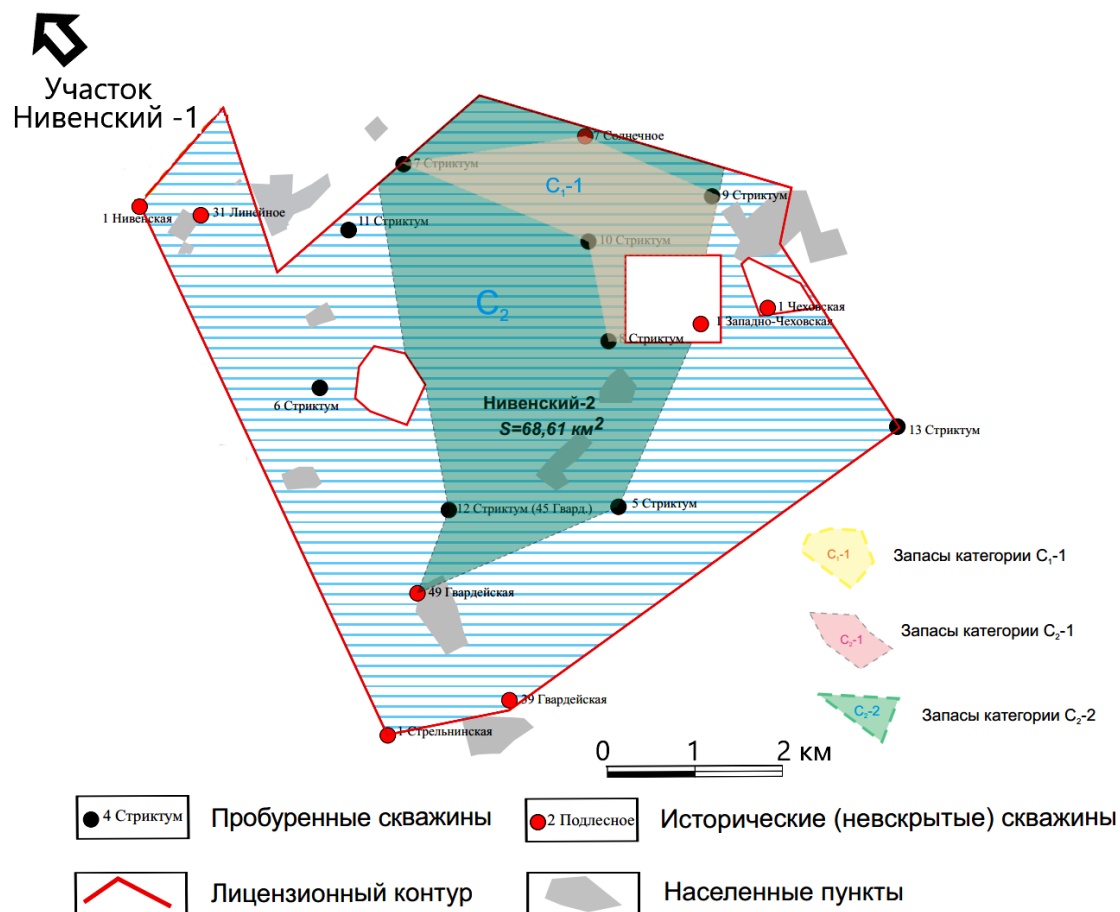


Рисунок 2. Схема участка Нивенский-2 Калининградско-Гданьского соленосного бассейна

Figure 2. Scheme of the Nivensky-2 site Kaliningrad-Gdansk salt-bearing basin

словлен различным содержанием глинистого материала. Калийно-магниевого минералы, за исключением полигалита, в пачке отсутствуют. Мощность ее 59 м.

На участке Нивенский-1 калийно-магниевого соли локализируются в средней и верхней частях толщи каменной соли в составе пачки, представленной чередованием преобладающей каменной соли и подчиненных, и более тонких прослоев калийных солей различного минерального состава [4]. Эта пачка прослеживается в разрезе соляной толщи по всем буровым скважинам, имея пологое падение к юго-западу. В целом залегание пачки калийно-магниевого солей согласно с соляной толщей. Вертикальная мощность меняется от 7–13 до 52–58 м, максимальная мощность фиксируется в центральной части площади развития калиеносной пачки (более 30–40 м по скважинам № 2 Бугринская, 1 Партизанская, 2 Енинская) и приблизительно совпадает с локальным раздувом толщи каменной соли (200–215 м).

На участке Нивенский-2 калийно-магниевого соли локализируются в средней и верхней частях толщи каменной соли в составе пачки, представленной чередованием преобладающей каменной соли и подчиненных, и более тонких прослоев калийных солей различного минерального состава.

Эта пачка прослеживается в разрезе соляной толщи по всем буровым скважинам, имея пологое падение к юго-западу. В целом залегание пачки калийно-магниевого солей согласно с соляной толщей. Вертикальная мощность меняется в пределах от 5 до 50 м, максимальная мощность фиксируется в южной и юго-западной частях площади участка калиеносной пачки [5].

Разрезы пачки переслаивания каменной и калийно-магниевого солей показывают существенные различия в составах последних. В разрезе по скв. 4 Поддубное среди калийно-магниевого солей преобладают каинитовые и галит-каинитовые породы (по классификации, принятой на Прикарпатских месторождениях), тогда как калийно-магниевого соли, вскрытые скв. 2 Подлесное, № 2, представлены существенно кизеритовыми разновидностями, близкими к хартзальцу Германии. Калийно-магниевого соли в разрезах скв. 7 Бугрино имеют промежуточный состав, каинит в них превалирует над кизеритом, постоянно присутствует сильвин. Характерны значительно более высокие концентрации карналлита.

Все рудные тела месторождения делятся на две группы. В первую группу входит одно тело – «основной пласт». Это тело имеет пластообразную форму и практически непрерывно прослежено по всей площади месторождения (исключением являются только окрестности скважины «Поддубное», где это тело отсутствует). Мощность тела 1,5–20 м. Тело внутренне неоднородно и имеет линзовидное строение, включая в себя подчиненное количество пустых прослоев, количество и положение которых меняется от скважины к скважине. Соответственно форме и изменчивости этого тела оно может быть околонушено с бурением с поверхности.

Во вторую группу входят маломощные линзовидные тела, располагающиеся, главным образом, выше (редко ниже) «основного пласта» на расстоянии до 50 м от него. Иногда они коррелируются между соседними скважинами, но чаще представляют собой линзы, не имеющие

аналогов в соседних скважинах. Эти тела не могут быть детально разведаны с поверхности без существенного нарушения водозащитной толщи солей.

Рудные тела калийно-магниевого солей имеют пластовую форму и соответствуют частям разреза пачки переслаивания, насыщенным прослоями хартзальца различного типа (кизеритового, каинитового, карналлитового и т. п.) или каинитовой породы. Их границы определяются бортовым содержанием K_2O и SO_4 в керновых пробах или соответствующим ему значением гамма-активности по каротажу (рис. 3).

Основные геологические запасы по участку Нивенский-1 составляют около 469 465 тыс. т сырых солей различного типа, содержащих значительные объемы калия и сульфатов, при этом сырья, содержащего магний (в основном карналлитовые и бишофитовые руды), фиксируется примерно 41 004 тыс. т (по MgO). Содержание же магния составляет около 8,15 % (по MgO).

Основные геологические запасы по участку Нивенский-2 составляют примерно 494 662 тыс. т сырых солей, при этом сырья, содержащего магний, 43 067 тыс. т (по MgO). Содержание же магния составляет около 8,65 % (по MgO).

Основным сырьем для получения металлического магния в условиях Калининградско-Гданьского солеродного бассейна предполагаются карналлитовые руды. Сам карналлит – минерал из группы двойных хлористых солей – назван по имени Р. Карналля, немецкого горного инженера. Состав карналлита $KCl \times MgCl_2 \times 6H_2O$: Mg – 8,7 %, K – 14,1 %, Cl – 38,3 %, вода (H_2O) – 38,9 %. Специфической особенностью карналлита является жгучий соленый вкус, он сильно гигроскопичен. Цвет красный (благодаря мелкочешуйчатым включениям гематита), желтый, белый, бесцветный. Блеск стеклянный. Прозрачность – мутный, просвечивающий, иногда прозрачный. Кристаллизуется в ромбической системе, но редко встречается в кристаллах, а чаще в сплошных массах. Особые оптические свойства – обладает очень сильным двойным преломлением. Перед паяльной трубкой легко плавится. В воде легко растворяется. На воздухе расплывается.

Еще одним минералом, использование которого также возможно в производстве магния, является бишофит. Бишофит представляет собой кристаллогидрат хлорида магния $MgCl_2 \times 6H_2O$. Является хемогенным веществом – осадочным образованием, получившимся в результате кристаллизации солей замкнутых водных бассейнов. Этот минерал был обнаружен в цехштейновых отложениях Германии, изучением его занимался немецкий химик и геолог Карл Густав Бишоф, в честь которого со временем этот минерал и назван. Минерал относится к классу галогенидов. В природе находится в составе отложений морской соли пермского периода. По составу это хлормagneвий комплекс с содержанием солей и микроэлементов: калия, кальция, натрия, меди, железа, кремния, титана, молибдена, лития, бора, брома, йода и др. В ископаемом состоянии бишофит встречается в виде соляной зернисто-кристаллической породы. В чистом виде кристаллы бишофита прозрачные, но могут иметь окраску от белого до бурого цвета в зависимости от примесей. Бишофит имеет горьковато-соленый острый жгучий вкус, твердость его 1,5; удельный вес 1,59–1,61 г/см³, электропрово-



Рисунок 3. Исходное сырье для получения металлического магния: а – карналлитовый керн Калининградско-Гданьского солеродного бассейна; б – проба карналлита; в – проба бишофита

Figure 3. Raw materials for the production of metallic magnesium: a – carnallite core of the Kaliningrad-Gdansk salt basin; b – carnallite sample; c – bischofite sample

дний, растворяется в поглощаемой из воздуха влаге. Растворимость: 1670 г/л в холодной воде, 3670 г/л в горячей воде. При температуре 116 °С бишофит разлагается.

Таким образом, существует вполне представительная сырьевая база для создания производства металлического магния. При этом необходимо отметить, что в пределах Калининградско-Гданьского солеродного бассейна помимо Нивенского месторождения полиминеральных солей существуют и другие выявленные перспективные соленосные структуры – Красноборская, Поддубная. Однако их разведка и изучение в настоящее время только начаты [6].

Отбор и исследование проб карналлита и бишофита. Технологические особенности получения металлического магния электролитическим способом. Говоря об использовании полиминеральных руд Калининградско-Гданьского солеродного бассейна и, в частности, Нивенского месторождения для получения металлического магния, следует рассмотреть технологические особенности данного процесса, а также характеристики исходных материалов, отобранных в рамках проекта геологоразведочных работ. Существуют два основных способа получения металлического магния – электролитический и термический. Для электролитического способа в качестве

сырья используется карналлит или бишофит, для термического – магнезит или магнезитодоломитовое сырье. При использовании электролитического способа магний выделяется из расплавленного и обезвоженного хлорида магния [7]. Обезвоживание в данном случае является важным условием, поскольку электролитическое получение магния из водного раствора невозможно ввиду более высокого потенциала выделения у водорода по сравнению с магнием. Термический способ включает в себя обжиг сырья, дробление обожженного доломита и магнезита, их ферросилицию, совместное измельчение и брикетирование. Затем проводят восстановление магния из брикетов в печи при температуре 1150–1200 °С в вакууме с конденсацией паров магния в твердом виде в холодной зоне.

В Российской Федерации на текущий момент основным способом получения металлического магния остается электролиз (производство основано на базе Верхнекамского полиминерального месторождения). Учитывая вещественный состав руд Нивенского месторождения, для получения металлического магния необходимо использовать электролитический способ [8].

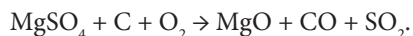
Безводный хлорид магния может быть получен из карналлита и бишофита Нивенского месторождения по-

лиминеральных солей. Карналлит непосредственно составляет солевую матрицу в минералогическом составе Нивенского месторождения. Бишофит может быть получен в ходе процесса обогащения полиминеральных руд как попутный компонент при получении сульфата калия.

Для исследования возможности получения металлического магния как из природного карналлита Нивенского месторождения полиминеральных солей, так и из бишофита, получаемого в процессе производства сульфата калия, был использован лабораторный комплекс Российского института титана и магния. Для этого был произведен отбор образцов карналлитовой руды (21 проба), образцов бишофита и бишофитового раствора (по 7 проб). При подготовке проб карналлитовой и бишофитовой руд проводилось их измельчение и квартование [9]. Правила хранения и транспортировки образцов (ввиду их высокой гигроскопичности) нарушены не были. Перед проведением химического анализа образцов бишофитового раствора производилось его перемешивание и усреднение.

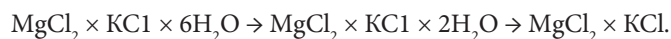
Далее осуществлялось химико-аналитическое определение образцов, в результате чего можно утверждать, что как полиминеральная руда Нивенского месторождения, так и бишофитовые растворы, образовавшиеся в ходе процесса обогащения, содержат высокую примесь сульфатов магния (2,75–3,10 %), что отрицательно сказывается на процессе электролиза и определяет необходимость десульфатизации. Тем не менее данное сырье можно непосредственно использовать для производства калимагнезии. С другой стороны, качество образцов карналлитовой руды позволяет рассматривать ее в качестве сырья для получения металлического магния. Так, по 21 пробе получены следующие химико-аналитические результаты (табл. 1).

В целом можно утверждать, что с учетом высокой концентрации хлорида магния (в среднем около 33,90 %), а также умеренной концентрации сульфатов (в среднем 0,7–0,88 %) карналлит Нивенского полиминерального месторождения может использоваться для получения металлического магния. При этом можно отметить, что на крупнейшем российском производстве металлического магния (на базе руд Верхнекамского месторождения полиминеральных солей) используется сырье с меньшим содержанием хлористого магния в руде (22–27 %), однако и концентрация сульфатов в данных рудах ниже (0,02–0,04 %). Приведенные сведения говорят о необходимости проведения операций по десульфатизации карналлита, для обеспечения качества электролитического процесса [10]. Разрушение сульфатов может быть достигнуто путем последовательного расплава, обезвоживания и добавления к карналлиту материалов, содержащих углерод:



После десульфатизации до проведения электролиза карналлит обезвоживают (рис. 4). Если карналлит подвергается нагреву до температуры выше 120 °С при нормальном давлении, происходит его расплавление в кристаллизационной воде. В связи с этим необходимо его нагревать медленно, ступенчато. Это позволит практически полностью удалить воду, связанную кристаллической

решеткой. В связи с этим обезвоживание часто проводят двухстадийно:



Нагрев можно проводить как в трубчатых вращающихся печах, так и в печах кипящего слоя (рис. 5). Однако первый способ не дает полного удаления кристаллизационной воды, при использовании такого технологического процесса степень обезвоживания составляет 85–90 %. По выходе из технологического процесса карналлит содержит 6–8 % H₂O.

Эффективное применение печей кипящего слоя – прокаливание материала – происходит за счет тепла от сжигания природного газа в специальных топках [11]. Структура печи представляет собой сложную цепь перегородочных камер, что позволяет обеспечить зигзагообразное движение прокаливаемой массы и предотвращает смешение менее обезвоженного и более обезвоженного карналлита [12]. Процесс проводится при 120–130 °С в голове печи и при 200–240 °С перед выгрузкой карналлита. Печи кипящего слоя более выгодны в экономическом плане. Следует отметить и более высокую степень обезвоживания карналлита. Так, в печах кипящего слоя в ряде случаев можно обеспечить проведение одностадийного процесса с понижением содержания влаги до 0,4–0,6 %.

В этом случае не требуется проводить вторичное обезвоживание карналлита в стационарных печах непрерывного действия. Однако если концентрация воды в массе руды превышает 1 %, то требуется проведение второй стадии обезвоживания, при которой процесс в печах ведется при 750–800 °С.

После стадии обезвоживания карналлит может быть направлен на электролиз. Исследование процесса электролиза из расплавленного карналлита впервые было выполнено П. П. Федотьевым и Н. Н. Ворониным в Петербургском политехническом институте в 1914–1916 гг. Сам металлический магний в России электролитическим способом был получен в 1915 г. в ходе лабораторных экспериментов в Петербургском электротехническом институте П. Ф. Антипиным и Н. А. Пушиным.

При переходе к самому процессу электролиза металлического магния следует учитывать ряд технологических моментов. Так, конструкция используемого электролизера должна иметь:

- а) высокую степень производительности при небольшом объеме и небольшой рабочей площади;
- б) удобство и безопасность в работе;
- в) возможность полного отвода хлора без значительного разбавления другими газами;
- г) низкий расход электроэнергии на единицу получаемого металла;
- д) высокую надежность оборудования в условиях воздействия тепла, электрического тока и расплавленных солей.

Расплавленный электролит, содержащий кроме MgCl₂ хлориды калия, натрия и иногда кальция, при температуре около 700 °С и посредством пропуска электрического тока разлагается на магний и хлор. Хлор выделяется в виде газа, а магний всплывает на поверхность электро-

Таблица 1. Химико-аналитические результаты проб образцов карналлита Нивенского месторождения полиминеральных солей
Table 1. Chemical-analytical results of carnallite samples from the Nivensky deposit of polymineral salts

Номер пробы	Содержание, мас. %							Расчетный состав, мас. %	
	H ₂ O	MgCl ₂	MgCl ₂ *	NaCl	KCl	SO ₄ ⁻²	Mg ₂ SO ₄	Карналлит	Каинит
1	0,02	35,00	34,01	0,68	29,00	1,00	1,25	96,80	2,50
2	0,20	34,90	34,09	1,20	28,60	0,82	1,03	96,80	2,00
3	0,04	34,20	32,52	1,00	27,90	1,70	2,13	94,60	4,40
4	0,04	34,40	33,86	2,50	28,10	0,54	0,68	96,20	1,30
5	0,03	34,60	34,20	1,60	28,00	0,40	0,50	97,50	1,00
6	0,01	34,60	34,45	1,50	27,60	0,15	0,19	98,10	0,40
7	0,04	35,10	34,69	0,33	27,60	0,41	0,51	98,70	1,00
8	0,04	34,90	34,19	0,66	27,70	0,72	0,90	97,60	1,80
9	0,18	35,00	32,62	0,76	28,50	2,40	3,01	93,10	6,10
10	0,02	35,10	34,68	0,42	28,50	0,42	0,53	98,50	1,10
11	0,01	34,90	34,61	0,43	27,70	0,29	0,36	98,80	0,70
12	0,05	34,90	34,56	0,66	28,00	0,34	0,43	98,50	0,90
13	0,01	34,20	33,65	2,80	26,50	0,55	0,69	95,80	1,40
14	0,02	34,30	33,74	2,20	26,20	0,57	0,71	96,30	1,50
15	0,01	34,70	34,29	1,20	26,60	0,41	0,51	97,70	1,10
16	0,03	34,10	33,45	2,90	26,00	0,66	0,83	95,40	1,70
17	0,02	34,80	34,44	0,86	26,60	0,36	0,45	98,70	0,90
18	0,02	34,00	33,46	2,20	26,30	0,54	0,68	96,40	1,40
19	0,03	34,40	33,78	1,90	26,60	0,63	0,79	96,50	1,60
20	0,02	34,10	33,01	3,10	26,00	1,10	1,38	94,00	2,90
21	0,10	34,40	33,70	1,50	26,40	0,71	0,89	96,60	1,90
Среднее	0,04	34,60	33,90	1,45	27,35	0,70	0,88	96,79	1,79

Примечание: звездочкой обозначена массовая доля хлорида магния, откорректированная с учетом массовой доли сульфата магния.

лита. В самом же электролите концентрация магния и хлора падает и растет концентрация примесей [13]. Выделяющийся на аноде хлор отсасывают в хлоропроводы и транспортируют и утилизируют, например, превращая в соляную кислоту. По мере расхода хлорида магния новые порции его периодически загружают в ванну, а накапливающийся на дне ванны шлам также периодически разгружают, таким образом, обеспечивают стабильность процесса электролиза [14].

Отметим, что температура плавления MgCl₂ составляет 718 °С, поэтому для ее снижения к электролиту в качестве флюсов добавляют KCl и NaCl. Обычно для электролиза используют смеси, содержащие 6–15 % MgCl₂, до 70 % KCl и до 20 % NaCl. К электролиту обязательно добавляется 1–2 % CaF₂. Это необходимо для ускорения слияния (на поверхности электролита) мелких капель образовавшегося металлического магния в крупные. Важную роль в получении магния электролизом хлоридов имеет соотношение плотностей магния и электролита. Необходимо поддерживать температуру и состав электролита такими, чтобы плотность магния была всегда меньше плотности электролита, иначе металл опустится на дно электролизера и будет потерян в шламе [15].

Полученный электролизом или термическими способами магниевый сырец содержит ряд примесей, отрицательно влияющих на его коррозионную стойкость и механические свойства. По ГОСТ 804–93 магний должен содержать 99,91 % Mg и не более 0,09–0,15 % суммы примесей (в зависимости от марки), в том числе: не более 0,04 % Fe; 0,03 % Si; 0,005 % Cl₂; 0,01 % Na; 0,005 % K; 0,01 % Cu и 0,001 % Ni. По тому же ГОСТу для марки МГ-2 общее количество примесей в магнии допускается не более 0,15 %. Рафинирование магния осуществляют или переплавкой его с флюсами или возгонкой. В качестве флюсов используют хлориды магния, калия и натрия, иногда также кальция и бария с обязательной добавкой фторида кальция. От теоретического описания технологического процесса обогащения и получения из карналлитового сырья металлического магния перейдем непосредственно к результатам испытаний электролитической обработки обезвоженного карналлита Нивенского месторождения полиминеральных солей.

Проведение лабораторных испытаний и результаты получения металлического магния из полиминеральных руд Нивенского месторождения электролитическим методом. В ходе проведения лабораторных

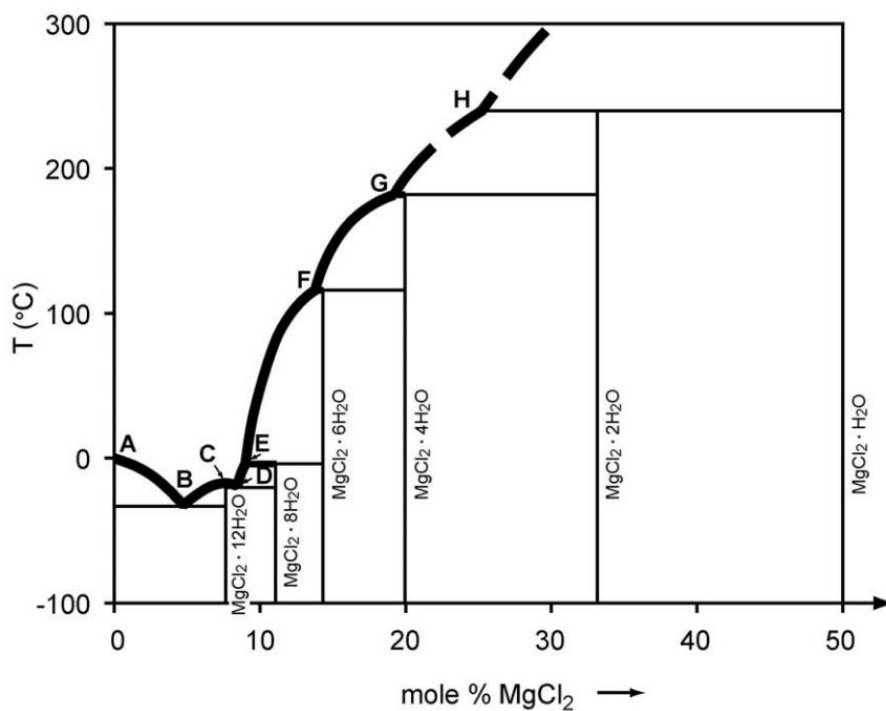


Рисунок 4. Фазовая диаграмма системы MgCl₂-H₂O (схематическая)
 Figure 4. Phase diagram of the system MgCl₂-H₂O (schematic)

Таблица 2. Содержание основных компонентов в образцах обезвоженного карналлита
 Table 2. The content of the main components in samples of dehydrated carnallite

Содержание, мас. %					
MgCl ₂	MgO	SO ₄ ⁻²	KCl	NaCl	C
54,0	0,09	< 0,03	47,7	1,4	< 0,1

исследований карналлита Нивенского месторождения, как было указано ранее, установлено, что процент содержания сульфатов в 17,5 раза превышает установленные технологические нормы для последующего электролиза. В результате чего при подготовке материала для электролитического процесса проведено его успешное обессульфачивание, в ходе которого на 2-й стадии обезвоживания карналлит Нивенского месторождения стал показывать содержание сульфатов на уровне менее 0,04 % по массе.

Далее была смонтирована лабораторная установка для проведения процесса электролиза; выбраны оптимальный состав электролита и параметры режима электролиза; получен образец магния из карналлита Нивенского месторождения и выполнен его химический анализ.

С учетом технологического опыта получения металлического магния в ОАО «РИТМ» был подобран оптимальный состав электролита, обеспечивающий наиболее высокие технико-экономические показатели электролиза карналлита. Для характеристик исследуемого сырья электролит, дающий наилучшие результаты, имеет состав:

– MgCl₂ – от 12–15 % после заливки сырья до 4–6 % в отработанном электролите, откачиваемом для удаления

накопившихся балластных солей, введенных с карналлитом;

- NaCl – 18–22 %;
- KCl – 72–76 %;
- F – 0,19–0,22 %.

Добавки фтор-иона в электролит в виде фторида кальция обеспечивают хорошее смачивание рабочей поверхности катодов выделяющимся на них магнием и обеспечивают слияние капель металла [16]. Содержание фтор-иона в рабочем расплаве электролизера, меньшее оптимального интервала, не позволяет достичь этих целей: в ходе опытов возрастала степень дисперсности магния и увеличивались его потери. Превышение оптимального содержания фтор-иона приводило к «оголению» накапливаемого металла, его воспламенению, к стеканию магния с катода [17]. В электролизерах при завышенных добавках фторсолей усиливалось взаимодействие магния с огнеупорными материалами футеровки, вредные примеси переходили в электролит и оседали на поверхности катодов, снижая выход по току. Все перечисленные факторы были учтены при подготовке электролита для проведения электролитического процесса в лабораторных условиях.

При температуре плавления магния, равной 651 °С, на промышленных электролизерах, работающих по карналлитовой схеме питания, выдерживается оптимальный интервал температуры электролита от 685 до 700 °С. Для предотвращения образования гарниссажа на стенках лабораторной ячейки такие же пределы установлены для лабораторной ячейки [18].

Выбор оптимальной катодной плотности тока для экспериментов основывался на результатах ранее проведенных исследований – работающих промышленных электролизеров и проектирования новых конструкций.

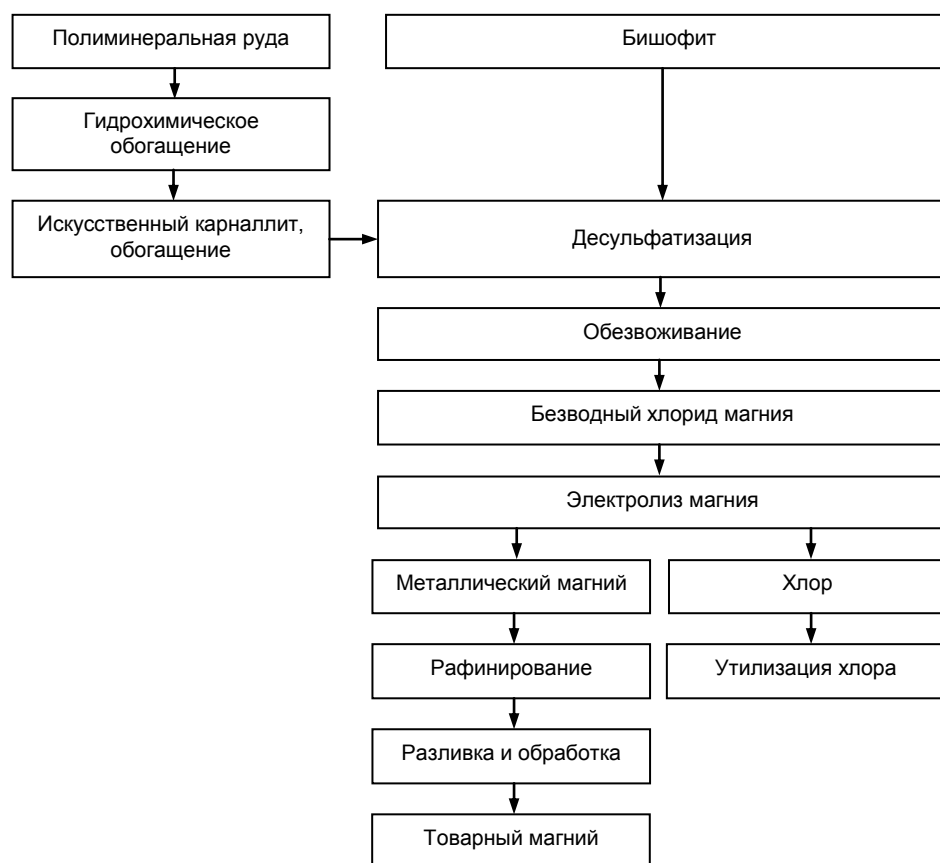


Рисунок 5. Электролитический способ получения металлического магния на основе карналлита и бишофита
Figure 5. Electrolytic method for obtaining metallic magnesium based on carnallite and bischofite

Опытным путем было определено, что максимальной производительности электролизера можно достичь путем уменьшения высоты катодов и повышения катодной плотности тока до $0,430,5 \text{ A/cm}^2$.

С целью визуальной оценки катодного процесса во время проводимого эксперимента и ускорения использования накопленного обезвоженного карналлита Нивенского месторождения рабочую поверхность изготовили размером $50 \times 100 \text{ мм}$. Перед опытом ее обработали наждачной бумагой и отшлифовали до блеска, тем самым удалили все оксидные примеси. Для электроизоляции электродных (анодного и катодного) вводов при погружении в расплав их изолировали фарфоровыми трубками [19].

В ходе электролитических опытов применялся переплавленный реактив хлорида калия (ХЧ) по ГОСТ 4234–77. При этом крупность частиц дробленого расплава составляла не более 20 мм . Также использовался природный флюорит (плавиковый шпат) по ГОСТ 4421–73 в виде порошка. Был использован аргон газообразный «чистый, марки А» по ГОСТ 10157–79 с объемной долей аргона не менее $99,993 \%$. Осушку аргона осуществляли по общепринятой методике барботажем через склянку с концентрированной серной кислотой и последующей фильтрацией через колонки с хлористым кальцием и перхлоратом магния [20]. Хлористый магний определялся титриметрическим методом с использованием динатриевой соли

этилендиаминтетрауксусной кислоты (трилон Б) по ГОСТ 16109–70.

Качественные показатели металлического магния определяли по методике атомно-эмиссионным методом. Определение выполнялось по примесям, указанным в ГОСТ 851.1–ГОСТ 851.13.

Использованная для опыта электролитическая ячейка представляла собой кварцевый сосуд цилиндрической формы диаметром 90 мм и высотой 300 мм (рис. 6) с крышкой из шамота 4. Графитовый анод 3 и стальной катод 2 закреплены в крышке при помощи фарфоровых трубок 5. Рабочая поверхность каждого прямоугольного электрода 6 ($50 \times 100 \text{ мм}$) составляет 50 см . Расстояние между электродами – 50 мм . К крышке ячейки прикреплена кварцевая гильза для термопары 1.

Установка включает блок питания, состоящий из выпрямителя со стабилизатором тока, вольтметра и амперметра. Для проведения опыта в сосуд ячейки было загружено $241,1 \text{ г}$ обезвоженного карналлита, $647,8 \text{ г}$ хлорида калия и $191,9 \text{ г}$ хлорида натрия. Емкость с навесками была помещена в шахтную печь, где была создана инертная атмосфера путем подачи аргона и далее постепенно была повышена температура от 20 до $750 \text{ }^\circ\text{C}$. По окончании разогрева и плавления компонентов расплав был размешан, и в него была добавлена навеска из $4,23 \text{ г}$ фторида кальция. Расплав был выдержан в течение 15 мин при температуре $750 \text{ }^\circ\text{C}$, при этом его

периодически помешивали. Далее он был охлажден до 700 °С, после чего был проведен отбор пробы для химико-аналитического определения массовой доли хлорида магния.

Далее в сосуд с приготовленным расплавом были опущены предварительно разогретые до 300 °С электроды. После подключения электропитания был начат процесс электролиза с плотностью тока на уровне 0,5 А/см. Остывший металл хранился в эксикаторе. Хлор в ходе процесса выделялся через отверстие в крышке и многократно разбавленный воздухом удалялся на обезвреживание. В течение всего опыта ток в цепи электродов поддерживался стабилизатором на уровне 25 А.

После первых трех часов электролиза во время приостановки с поверхности расплава было собрано 14,55 г металлического магния. Далее была произведена догрузка 108,2 г карналлита и 12,48 г хлорида натрия. За первые три часа электролитического процесса без дополнительных подгрузок солевых материалов содержание хлорида магния в электролите снизилось с 11,71 до 5,09 %.

Всего в ходе опыта на электролиз израсходовано хлорида магния, г:

$$m_1 = 1085 (11,71 - 5,09) / 100 = 71,83,$$

где m_1 – израсходованная масса хлорида магния.

Из него теоретически должно было быть получено магния, г:

$$m_2 = 71,83 \times 24,31 / 95,22 = 18,34,$$

где 24,31 – атомная масса магния; 95,22 – молярная масса хлорида магния.

Металлической ложкой с поверхности расплава за этот же период извлечено 14,55 г металлического магния-сырца. В результате выход готовой продукции (Π_T) составил, %:

$$\Pi_T = 14,55 \times 100 / 18,34 = 79,33.$$

Полученный показатель находится на уровне выхода по току на промышленных электролизерах, работающих при питании безводным карналлитом, заливаемым из хлораторов, что в целом говорит о высоком качестве карналлитового сырья для создания производства металлического магния.

Всего в ходе опыта в электролитическую ячейку было загружено 457,5 г карналлита, что в пересчете на хлорид магния составило $457,5 \times 0,54 = 247,05$ г $MgCl_2$. По окончании электролиза в отработанном электролите, по данным химического анализа, осталось 48,09 г $MgCl_2$. Израсходовано в процессе электролиза 198,96 г $MgCl_2$. Теоретический выход магния должен был составлять $198,96 \times 24,31 / 95,21 = 50,79$ г Mg. В процессе электролиза фактически извлечено магния-сырца 40,15 г. Механические потери с отработанным электролитом и остатком магния на катоде составили $50,79 - 40,15 = 10,64$ г.

Далее по окончании опыта отдельные собранные капли металлического магния расплавили и вместе с металлом, извлеченным с поверхности, слили в графитовую форму, по остывании металла в которой был получен небольшой слиток нерафинированного металлического магния (рис. 7).

Полученные показатели качества лабораторного образца магния удовлетворяют требованиям ГОСТ 804–93,

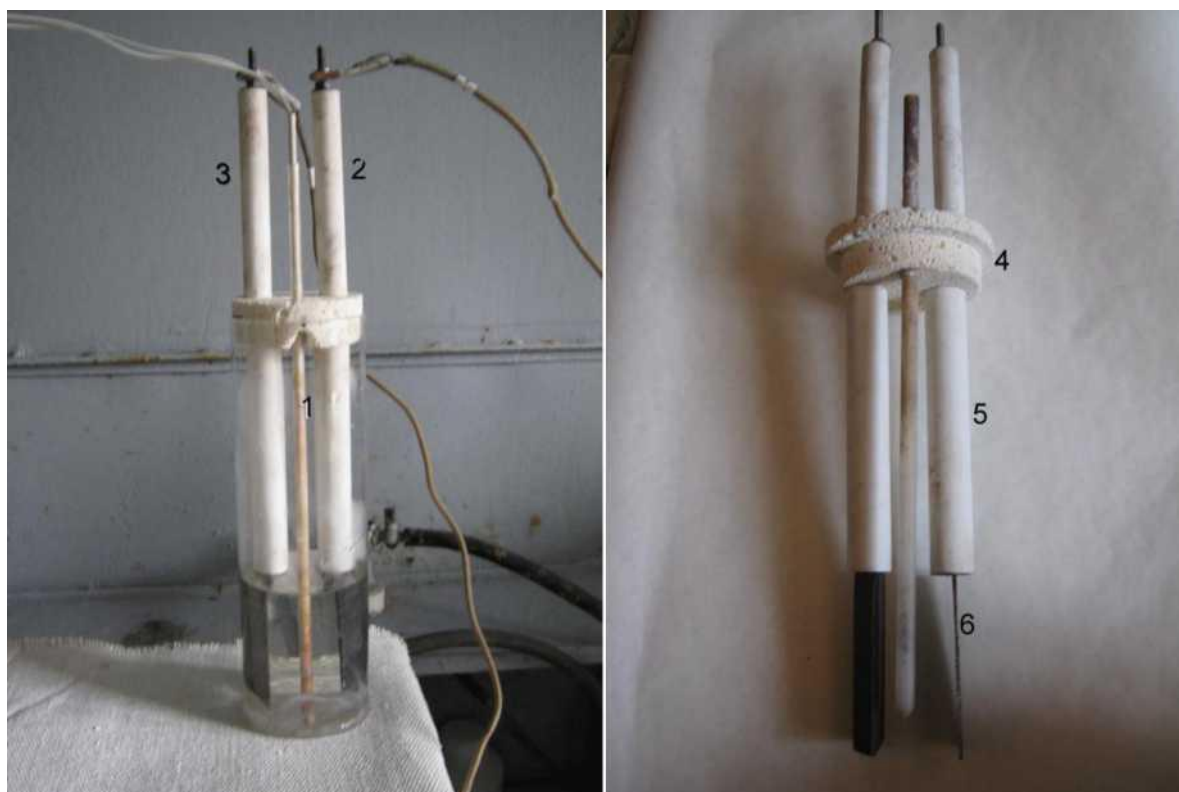


Рисунок 6. Электролитическая ячейка для получения металлического магния из обезвоженного карналлита Нивенского месторождения

Figure 6. Electrolytic cell for obtaining metallic magnesium from dehydrated carnallite of the Nivenskoye deposit



Рисунок 7. Полученный в ходе опыта металлический магний из карналлита Нивенского месторождения полиминеральных солей: а – капли металлического магния из расплава; б – отливка металлического магния в форме; в – слиток металлического магния
Figure 7. Metallic magnesium obtained during the experiment from the carnallite of the Nivensky deposit of polymineral salts: a – drops of metallic magnesium from the melt; b – casting of metallic magnesium in the form; c – an ingot of metallic magnesium

за исключением зафиксированных массовых долей кремния и хлора. Повышенное содержание кремния в опытном образце магния объясняется тем, что электролитическая ячейка и сосуд для переплавки магния были изготовлены из кварца, соответственно длительный контакт магния с диоксидом кремния обусловил повышенное содержание кремния в полученном образце магния.

Повышенное содержание хлора в магнии объясняется малым размером слитка, который при переплавке закристаллизовался очень быстро и процесс сепарации магния от эмульгированных в нем хлоридов рабочего расплава не завершился. Кроме того, полученный образец магния не подвергался рафинированию. В промышленных условиях рафинирование магния-сырца является обязательной регламентной операцией перед разливкой в тигли. Следует ожидать, что при получении магния на промышленных электролизерах из карналлита Нивенского месторождения показатели качества магния будут соответствовать ГОСТ 804–93.

Заключение

По результатам исследования 21 пробы карналлита и 7 проб бишофита, полученных в ходе разведочных работ на Нивенском месторождении полиминеральных солей Калининградско-Гданьского солевого бассейна, установлена возможность получения металлического магния в лабораторных условиях. Комплекс руд, формирующих полиминеральное месторождение, создает условия для его

использования как крупного нового источника сульфата калия. В связи с этим в разрабатываемом технологическом процессе переработки полиминеральных солей в качестве побочных продуктов будут образовываться карналлит и бишофит – непосредственное сырье для производства магния. Вместе с тем в ходе опытов установлено, что в карналлите и бишофите Калининградско-Гданьского солевого бассейна присутствует высокое содержание сульфат-иона. Для получения металлического магния электролитическим способом данные компоненты нуждаются в предварительной десульфатизации. В качестве исходного сырья для производства магния предпочтителен карналлит – ввиду меньших примесей сульфат-ионов.

Проведенный комплекс геологоразведочных работ, лабораторных экспериментов и предварительных технологических разработок показывает перспективность расширения сырьевой базы месторождений полиминеральных солей Калининградско-Гданьского солевого бассейна с целью получения металлического магния. С учетом высокой значимости для региона освоения данных ресурсов, дефицита сульфата калия, эпсомита, калимагнезии и металлического магния на внутреннем и европейском рынке, а также существующих государственных требований по рациональному недропользованию целесообразным представляется формирование максимально комплексной технологии разработки с получением наиболее широкой линейки конечных продуктов, включающей и металлический магний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разумович С. В. Анализ экономических перспектив разработки месторождений полиминеральных солей в Калининградской области // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. № 10-2. С. 64–69. <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2018-10089>
2. Barancev A., Kerusov I., Boyarkin R., Obolenskaya A., Kalinina E., Akulenko A., Gubachev O. Complicated Salt Strata Influence on the Seismo-Geological Model of Subsalt Structures in the Kaliningrad Region // Saint Petersburg 2020 (Saint Petersburg, Russia, 16–19 November 2020). European Association of Geoscientists & Engineers. 2020. Т. 2020. № 1. Р. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202053069>
3. Тибилов Д. П., Домахина Ю. А. Развитие потенциала добычи калийных руд, производства сульфатных удобрений на территории Калининградской области и реализации сульфата калия на мировом рынке // Экономика промышленности. 2020. Т. 13. № 2. С. 225–232. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-2-225-232>
4. Барях А. А., Смирнов Э. В., Квиткин С. Ю., Тенисон Л. О. Калийная промышленность России: проблемы рационального и безопасного недропользования // Горная промышленность. 2022. № 1. С. 41–50. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-41-50>

5. Ermolin E., Brisyuk A., Pakhunov A., Romanov V. Gravity Exploration for K-Mg Salts in Kaliningrad Region // Engineering and Mining Geophysics 2020 (Perm, Russia, 11–14 September 2020). European Association of Geoscientists & Engineers. 2020. T. 2020. № 1. С. 1–7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202051033>
6. Zhamoïda V., Sivkov V., Nesterova E. Mineral Resources of the Kaliningrad Region / V. A. Gritsenko, V. V. Sivkov, A. V. Yurov, A. G. Kostianoy (eds) // Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region: The Handbook of Environmental Chemistry. Cham: Springer, 2017. Vol. 65. P. 13–32. https://doi.org/10.1007/698_2017_115
7. Немчинова Н. В., Яковлева А. А. Кинетическая оценка возможности восстановления алюминия и магния из водных растворов их солей как альтернатива электролизу расплавов // Известия вузов. Цветная металлургия. 2019. № 5. С. 14–22. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2019-5-14-22>
8. Шевчук В. В., Поткина Т. Н., Войтенко А. И., Сметанина О. В. Синтез карналлита из растворов хлорида магния и калия // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2021. Т. 57. № 1. С. 87–93. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-1-87-93>
9. Wan Z., Zhou H. Process integration and energy analysis of bischofite producing metal magnesium // Chinese Journal of Process Engineering. 2020. Vol. 20. Issue 5. P. 609–618. <https://doi.org/10.12034/j.issn.1009-606X.219259>
10. Shevchuk V. V., Potkina T. N., Voitenko A. I., Smetanina O. V. Obtaining artificial carnallites from magnesium chloride brines // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical Series. 2020. Vol. 56. No. 2. P. 229–234. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-2-229-234>
11. Дихтиевская Л. В., Шломина Л. Ф., Осипова Е. О., Шевчук В. В., Можейко Ф. Ф. Флотационное обогащение калийных руд // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2019. Т. 55. № 3. С. 277–287. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-3-277-287>
12. Lalia B. S., Khalil A., Hashaikeh R. Selective electrochemical separation and recovery of calcium and magnesium from brine // Separation and Purification Technology. 2021. Vol. 264. Article number 118416. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118416>
13. Qin J.-T., Wang J.-W., Wang H.-F., Zhao P.-Yu., Lu F.-H. Equilibrium distribution of Mg in manganese electrolysis system // Materials Research Express. 2019. Vol. 6. No. 9. Article number 0965d4. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab34ac>
14. Sun Z., Liu C., Lu G., Song X., Yu G. Effects of operational and structural parameters on cell voltage of industrial magnesium electrolysis cells // Frontiers of Chemical Science and Engineering. 2015. Vol. 9. No. 4. P. 522–531. <https://doi.org/10.1007/s11705-015-1539-x>
15. Chesnokov A. S., Denisov D. E., Zhenisov B. Zh. The stability of refractory materials for use in magnesium electrolysis cells // Refractories and Industrial Ceramics. 2005. Vol. 46. No. 4. P. 233–234. <https://doi.org/10.1007/s11148-006-0014-0>
16. Fuelling K. M., Dale O. R., Choi S., Simpson M. F. Effect of Temperature on the Solubility of Metallic Magnesium in Molten MgCl₂–KCl–NaCl // JOM. 2023. Vol. 75. P. 987–993. <https://doi.org/10.1007/s11837-022-05537-0>
17. Lee T.-H., Okabe T. H., Lee J.-Y., Kim Y. M., Kang J. Molten Salt Electrolysis of Magnesium Oxide Using a Liquid-Metal Cathode for the Production of Magnesium Metal // Metallurgical and Materials Transactions B. 2020. Vol. 51. P. 2993–3006. <https://doi.org/10.1007/s11663-020-01976-9>
18. Tan J., Ramakrishna S. Applications of magnesium and its alloys: a review // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. No. 15. Article number 6861. <https://doi.org/10.3390/app11156861>
19. Xi X.-I., Feng M., Zhang L.-w., Nie Z.-r. Applications of molten salt and progress of molten salt electrolysis in secondary metal resource recovery // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. 2020. Vol. 27. P. 1599–1617. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2175-0>
20. Rutherford M., Telgerafchi A. E., Espinosa G., Powell A., Dussault D. Low-Cost Magnesium Primary Production Using Gravity-Driven Multiple Effect Thermal System (G-METS) Distillation / V. M. Miller, P. Maier, J. B. Jordon, N. R. Neelameggham (eds) // Magnesium Technology 2021. The Minerals, Metals & Materials Series. Cham: Springer, 2021. P. 139–144. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65528-0_21

Статья поступила в редакцию 09 января 2023 года

Production of metallic magnesium based on polymineral ores of the Kaliningrad-Gdansk salt basin

Aleksandr Olegovich GAPCHICH^{1*}
Pavel Sergeevich SHCHERBAN^{2**}
Ol'GA Nikolaevna LETUNOVSKAYA^{3***}
Ivan Sergeevich NOVIKOV⁴

¹Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, Moscow, Russia

²Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

³Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

⁴Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic

Abstract

Purpose of the work. Rational subsurface use implies the most complete and comprehensive development of mineral reserves. In this regard, the aim of the study is to determine the possibility of obtaining metallic magnesium from the ores of the Kaliningrad-Gdansk salt basin, along with planned potassium sulfate and magnesium sulfate production. **Methods.** In the course of the study, ore samples were selected, the existing technologies of polymineral (kainite, carnallite and kizerite) ore processing are analyzed, a technological process for obtaining metallic magnesium from the available ore raw materials and by-products of the main production was developed, tests were organized to obtain metallic magnesium by electrolytic means based on the Nivenskoye deposit ore, the quality of the obtained material was evaluated, the possibilities of creating production in Kaliningrad region based on the available raw materials were analyzed.

Results. As a result of the development of raw material processing technology and laboratory tests, the possibility of obtaining metallic magnesium from polymineral (carnallite) ores of the Kaliningrad-Gdansk salt basin has been established. At the same time, it was revealed that the production of magnesium by the electrolytic method is complicated by the presence of a high concentration of sulfate ions in the initial processed raw materials, which requires the inclusion of the desulfatization stage in the technological process.

Conclusions. Natural carnallite ores of the Kaliningrad-Gdansk salt basin, as well as the obtained by-products arising during the main technological process (production of potassium sulfate), can be used for the production of high-quality metallic magnesium according to GOST 804–93 quality level. The results of the study make it possible to develop the natural resources of the polymineral ores of the Kaliningrad-Gdansk salt basin in the most comprehensive way, obtaining a wide range of products, including metallic magnesium.

Keywords: rational subsurface use, polymineral ore, metallic magnesium, electrolytic method, desulfurization, quality management, quality of raw materials.

REFERENCES

1. Razumovich S. V. 2018, Analysis of economic prospects for the development of deposits of polymineral salts in the Kaliningrad region. *Economika i biznes: teoriya i praktika* [Economics and business: theory and practice], no. 10-2, pp. 64–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2018-10089>
2. Barancev A., Kerusov I., Boyarkin R., Obolenskaya A., Kalinina E., Akulenko A., Gubachev O. 2020, Complicated Salt Strata Influence on the Seismo-Geological Model of Subsalt Structures in the Kaliningrad Region. Saint Petersburg 2020 (Saint Petersburg, Russia, 16–19 November 2020). European Association of Geoscientists & Engineers, vol. 2020, no. 1. P. 1–5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202053069>
3. Tibilov D. P., Domakhina Yu. A. 2020, Development of potash mining potential, production of sulfate fertilizers on the territory of the Kaliningrad region and the sale of potassium sulfate on the world market. *Ekonomika promyshlennosti* [Economics of Industry], vol. 13, no. 2, pp. 225–232. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-2-225-232>
4. Baryakh A. A., Smirnov E. V., Kvitkin S. Yu., Tenison L. O. 2022, Potash industry in Russia: problems of rational and safe subsoil use. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry], no. 1, pp. 41–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-41-50>
5. Ermolin E., Brisyuk A., Pakhunov A., Romanov V. 2020, Gravity Exploration for K-Mg Salts in Kaliningrad Region. Engineering and Mining Geophysics 2020 (Perm, Russia, 11–14 September 2020). European Association of Geoscientists & Engineers, vol. 2020, no. 1, pp. 1-7. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202051033>
6. Zhamoida V., Sivkov V., Nesterova, E. 2017, Mineral Resources of the Kaliningrad Region. V. A. Gritsenko, V. V. Sivkov, A. V. Yurov, A. G. Kostianoy (eds). Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region: The Handbook of Environmental Chemistry. Cham: Springer, vol. 65, pp. 13–32. https://doi.org/10.1007/698_2017_115
7. Nemchinova N. V., Yakovleva A. A. 2019, Kinetic assessment of the possibility of reducing aluminum and magnesium from aqueous solutions of their salts as an alternative to the electrolysis of melts. *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Non-ferrous metallurgy], no. 5, pp. 14–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2019-5-14-22>

✉gapchich.alexander@gmail.com

**Ursa-maior@yandex.ru

***ol.let@yandex.ru

8. Shevchuk V. V., Potkina T. N., Voytenko A. I., Smetanina O. V. 2021, Synthesis of carnallite from solutions of magnesium and potassium chloride. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Sciences Series], vol. 57, no. 1, pp. 87–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-1-87-93>
9. Wan Z., Zhou H. 2020, Process integration and energy analysis of bischofite producing metal magnesium. *Chinese Journal of Process Engineering*, vol. 20, no. 5, pp. 609–618. <https://doi.org/10.12034/j.issn.1009-606X.219259>
10. Shevchuk V. V., Potkina T. N., Voitenko A. I., Smetanina O. V. 2020, Obtaining artificial carnallites from magnesium chloride brines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical Series*, vol. 56, no. 2, pp. 229–234. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-2-229-234>
11. Dikhtievskaya L. V., Shlolina L. F., Osipova E. O., Shevchuk V. V., Mozheiko F. F. 2019, Flotation enrichment of potash ores. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Sciences Series], vol. 55, no. 3, pp. 277–287. (In Russ.) <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-3-277-287>
12. Lalia B. S., Khalil A., Hashaikh R. 2021, Selective electrochemical separation and recovery of calcium and magnesium from brine. *Separation and Purification Technology*, vol. 264, article number 118416. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118416>
13. Qin J.-T., Wang J.-W., Wang H.-F., Zhao P.-Yu., Lu F.-H. 2019, Equilibrium distribution of Mg in manganese electrolysis system. *Materials Research Express*, vol. 6, no. 9, article number 0965d4. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab34ac>
14. Sun Z., Liu C., Lu G., Song X., Yu G. 2015, Effects of operational and structural parameters on cell voltage of industrial magnesium electrolysis cells. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, vol. 9, no. 4, pp. 522–531. <https://doi.org/10.1007/s11705-015-1539-x>
15. Chesnokov A. S., Denisov D. E., Zhenisov B. Zh. 2005, The stability of refractory materials for use in magnesium electrolysis cells *Refractories and Industrial Ceramics*, vol. 46, no. 4, pp. 233–234. <https://doi.org/10.1007/s11148-006-0014-0>
16. Fuelling K. M., Dale O. R., Choi S., Simpson M. F. 2023, Effect of Temperature on the Solubility of Metallic Magnesium in Molten $MgCl_2$ -KCl-NaCl. *JOM*, vol. 75, pp. 987–993. <https://doi.org/10.1007/s11837-022-05537-0>
17. Lee T.-H., Okabe T. H., Lee J.-Y., Kim Y. M., Kang J. 2020, Molten Salt Electrolysis of Magnesium Oxide Using a Liquid-Metal Cathode for the Production of Magnesium Metal. *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 51, pp. 2993–3006. <https://doi.org/10.1007/s11663-020-01976-9>
18. Tan J., Ramakrishna S. 2021, Applications of magnesium and its alloys: a review. *Applied Sciences*, vol. 11, no. 15, article number 6861. <https://doi.org/10.3390/app11156861>
19. Xi X.-L., Feng M., Zhang L.-w., Nie Z.-r. 2020, Applications of molten salt and progress of molten salt electrolysis in secondary metal resource recovery. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, vol. 27, pp. 1599–1617. <https://doi.org/10.1007/s12613-020-2175-0>
20. Rutherford M., Telgerafchi A. E., Espinosa G., Powell A., Dussault D. 2021, Low-Cost Magnesium Primary Production Using Gravity-Driven Multiple Effect Thermal System (G-METS) Distillation. V. M. Miller, P. Maier, J. B. Jordon, N. R. Neelameggham (eds). *Magnesium Technology 2021. The Minerals, Metals & Materials Series*. Cham: Springer, pp. 139–144. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65528-0_21

The article was received on January 09, 2023

Экономические науки

Economic sciences

UDC 330.15

<http://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-2-121-127>

Economic assessment of ecosystem services of the national natural capital

Oksana Aleksandrovna LOGVINENKO^{1*}
Margarita Nikolaevna IGNAT'EVA^{1,2**}

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

²Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance. The implementation of the principles of sustainable development of the national economy requires full consideration of the natural component in the national wealth. In modern conditions, the economic assessment of ecosystem services of forest ecosystems is of paramount importance in solving this problem. The Russian Federation, owning natural resources on a scale significantly superior to other countries of the world, having forest ecosystems unique in size and undisturbed characteristics on its territory, needs their comprehensive and most complete economic assessment.

The purpose of the research is development of theoretical and methodological foundations and development of methodological tools for the economic assessment of ecosystem services of Russia's national natural capital.

Research methodology. In the process of research, general scientific methods were used: dialectical, abstract-logical, as well as methods of comparative analysis, analogies, expert analysis.

Results. The procedure for assessing the ecosystem services of the national natural capital has been clarified, the priority of the contribution of forest ecosystems to the national natural capital has been substantiated; methodological approaches to the economic assessment of the most significant eco-services of Russian forest ecosystems, regulating the air quality of the atmosphere, water regulation and anti-erosion, have been developed. Calculation formulas for their economic assessment are proposed, economic equivalents are substantiated, allowing to obtain cost results. Approval of methodological approaches for federal districts and Russia as a whole has been carried out. The value of the increase in national natural capital is determined by taking into account the economic assessment of ecosystem services.

Conclusions. The developed methodological approaches to the economic assessment of the most significant environmental services: air quality regulation, water regulation and erosion control can be used in the economic assessment of these services at the national and regional levels, which will clarify the corresponding amount of natural capital within the boundaries of individual regions and the country as a whole.

Keywords: natural capital, economic assessment, ecosystem services, national wealth, sustainable development.

Introduction

The significant depletion of the world's natural resources, the increasing anthropogenic pressure on natural ecosystems, and the deterioration of the ecological situation have formed a new view of natural resources and their role in the formation of national wealth. The raw material function, traditional for economic relations, is increasingly being supplemented by the ecosystem one in studies of the natural resource potential [1, 2]. Its main task is to improve the quality of the human environment and preserve its potential for future generations [3]. All this at the end of the last century was the reason for

the emergence of a new economic category, associated with environmental management, called natural capital [4]. To natural resources, traditionally identified with raw materials, the concept of "ecosystem services" is added, considered by the founders of the modern theory of natural capital as the benefits received by society from ecosystems. Many countries, as experimental ones, already include monetary estimates of not only natural resources, but also ecosystem services in national accounts, thereby significantly increasing the size of national wealth [5]. Such an assessment allows, on the one hand, to car-

✉ oksana.logvinenko@m.ursmu.ru

**rinis@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9014-905X>

ry out a more rational management of national natural capital, tracking any changes in its value, and on the other hand, it gives new content to projects for the development of natural areas from the standpoint of alternative economic value for various components of the natural environment. Awareness of the need for a full cost accounting and assessment of natural resources requires further improvement and expansion of the methodology of natural capital and methodological approaches to the economic assessment of its components.

Results

To assess the national natural capital, the most reliable would be the summation of the values of natural capital for all administrative-territorial formations within the borders of the Russian Federation. However, this option is impossible for the following reasons: firstly, estimates of natural capital at the regional level are quite fragmentary; secondly, most often due to different methodological approaches to assessment and differences in the classifications of ecosystem services used, a few estimated indicators turn out to be incomparable. Particularly large differences arise when referring to foreign experience. In addition to the lack of uniformity in methodological support, the lack of required information causes major problems, which is most often associated with imperfect accounting of natural resources, not to mention ecosystem services. We believe that the following conditions must be observed in the economic assessment of ecosystem services of forest ecosystems:

- completeness of assessment coverage of all forest ecosystems within the borders of the Russian Federation;
- the use of a set of information relating to administrative-territorial formations and forest ecosystems;
- ensuring the comparability of compared ecosystems by introducing correction factors;
- the use of various methodological approaches to the implementation of economic assessment, depending on the degree of knowledge of the assessed ecosystem service.

In the study, the ecoservices of Russian forests that are of national importance were subject to assessment: by the regulation of atmospheric air quality (CO₂ deposition), regulation of runoff volume and anti-erosion eco-services in the context of administrative-territorial formations, since statistical data on the forest fund are given precisely for them [6]. Note that the boundaries of these territories do not coincide with the boundaries of natural ecological regions, which makes it difficult to identify natural patterns in the composition, productivity, and other characteristics of forest cover. The presence of this factor requires joint consideration of information on administrative-territorial formations and natural forest ecoregions. Three possible situations in the assessment of eco-services have been identified:

- the ecoservice has been thoroughly studied, there are multiple examples of assessments;
- episodic assessment of eco-services; information on economic assessments is scarce;
- lack of experience in the economic assessment of ecoservices.

In the first case, it becomes necessary to choose the most appropriate method of economic assessment and, if necessary, introduce correction factors into the calculation formulas. In the second case, the value (cost) transfer method is used and the improvement of those minor methodological recommen-

dations that take place to be. The third situation involves either the development of a methodological approach to the assessment of eco-services, or the rejection of its assessment.

Air quality regulation. The economic assessment of this eco-service assumes the presence of the first situation, i.e., many evaluation methods. At the same time, the issue of the absorbing capacity of forest ecosystems is highly debatable. Currently, most researchers recognize that, in general, the absorption capacity depends on the indicator of net ecosystem productivity (NEP) used by foresters and ecologists. Different methodological approaches are used to calculate the stocks and the amount of annual carbon sequestration, which leads to a difference in estimates [6]. There are many approaches with their own specifics proposed by researchers dealing with this problem [7–9], the generalization and analysis of which made it possible to propose methodological recommendations that include:

- inclusion of the area of all forest lands of the Russian Federation covered with vegetation by federal districts, including reserve ones, based on data from the state forest register, in the calculations;
- the use of conversion factors that take into account the contribution to the total sequestration of underground phyto-mass and mortmass;
- the use of the average increase in assessing the productivity, since in conditions of uneven-aged forests, the use of the current increase leads to an unjustified underestimation of the annual productivity indicator;
- taking into account the share of mature (mature and overmature forests) in the total CO₂ balance;

For the economic assessment of the ecosystem service of the annual CO₂ sequestration, it is proposed to use the formula:

$$\Theta_{a,y}^{CO_2} = \sum_{i=1}^n (V_{i \text{ год}} K_1 K_2 0,5) 3,67 \Pi_{CO_2},$$

where $V_{i \text{ год}}$ – volumetric indicator of average wood increase by administrative-territorial units, taking into account reserve forests and all age categories, m³/year; n – number of administrative – territorial units; K_1 – conversion coefficient for calculating carbon in mortmass based on the volume wood stock, t/m³; K_2 – conversion coefficient for calculating carbon in phyto-mass based on the volume wood stock, t/m³; 0,5 – percentage of carbon in the dry matter of wood (for the transition from biomass to carbon); 3,67 – conversion coefficient for the ratio of the molecular weight of carbon dioxide to carbon; Π_{CO_2} – cost equivalent of services for depositing a ton of CO₂, rub./t.

In the calculations of the economic assessment of ecoservices, the conversion coefficients were taken according to [10]. Due to the underdevelopment of the Russian carbon market in terms of the price per ton of CO₂, at present, in the opinion of the authors, one should adhere to a conservative policy and take the value of the price for 1 ton of CO₂ equal to 10 US dollars for calculation. Specialists of the Department of Multilateral Economic Cooperation of the Ministry of Economic Development of Russia in the study “International Approaches to Carbon Pricing”, conducted in 2021, indicate a price of \$10 as low, but the most common and covering almost half of the world’s CO₂ emissions [11]. Taking into account the insignificant scatter of estimates for carbon storage and the completeness of data on pools, one should adhere to a conserva-

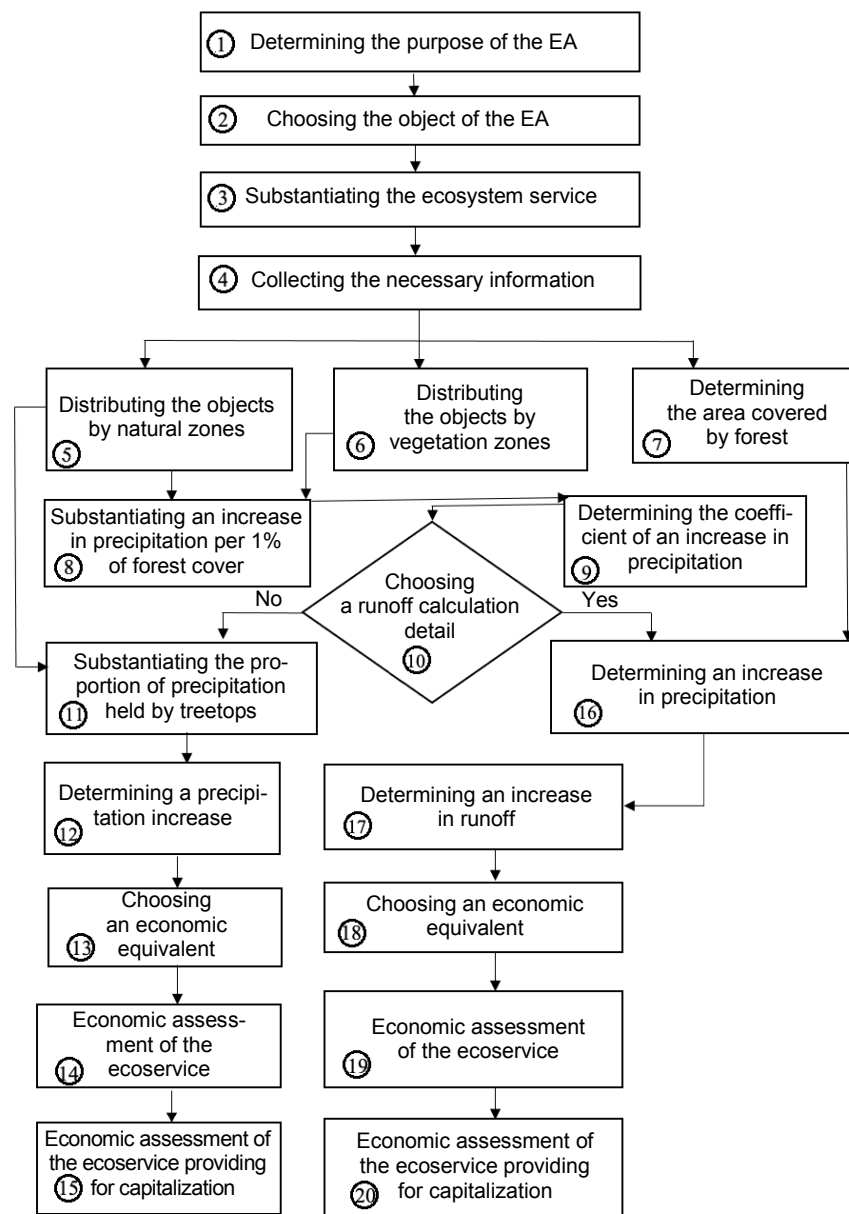


Figure 1. Algorithm for the economic assessment of the water regulating ecoservice
Рисунок 1. Алгоритм экономической оценки водорегулирующей экосистемы

tive approach and use the data on carbon stocks obtained by specialists of the Center for Ecology and Forest Productivity of the Russian Academy of Sciences when assessing an ecoservice. The economic assessment of the ecoservice for the annual sequestration of CO₂ by forest ecosystems of the Russian Federation and its storage amounted to 955.2 billion rubles and 331.6 trillion rubles, respectively, which significantly exceeds the valuation of forest resources in the structure of the national wealth of the Russian Federation in 2019. It should be noted that the obtained calculations basically do not contradict the results of assessments for individual territories of the Russian Federation [12].

Runoff volume control. The second situation is typical for the economic assessment of water regulating ecoservices, i.e. there is little information about its size. The water-regulating runoff volume eco-service is manifested in an increase in the amount of precipitation and a decrease in the surface

liquid runoff, the transfer of surface runoff into underground. The assessment of this eco-service in its essence involves an economic assessment of the use of the water volume determined by the increase in runoff, i. e., increase in water resources. The assessment of the economic equivalent is carried out on the basis of the rental approach. The figure reflects the algorithm developed by the authors for the economic assessment of water regulating ecoservices, which provides for an enlarged and detailed approach to the implementation of the assessment procedure.

The economic equivalent is the water tax, which is considered as an approximation of resource rent, as its conditional indicator and represents the value of the tax rate in rubles per 1000 m³ of water taken from surface or underground facilities for economic regions [13]. Its value, based on the calculation performed by the authors, was 4.48 rub./m³. The valuation of the considered eco-service is carried out according to the formula:

$$\Theta_{\text{в.э.у}} = \beta X_{\text{cp}} \Pi_c S_{\text{л}} \Pi_{\text{в}}$$

where β – rainfall increase coefficient, unit fraction; X_{cp} – average annual precipitation, mm; Π_c – share of runoff in the water balance, unit fraction; $S_{\text{л}}$ – area covered with forest, ha; $\Pi_{\text{в}}$ – economic equivalent, rub./m³.

The calculation of the economic assessment of the water regulatory system was carried out according to the proposed algorithm for all administrative-territorial formations, federal districts and the Russian Federation as a whole. The estimates obtained for the federal districts indicate that the highest value of eco-services is typical for the Far Eastern and Siberian districts. Privolzhsky and Northwestern Federal Districts occupy the third and fourth positions. The lowest values of the assessment of eco-services are in the North Caucasian and Southern districts. Comparison with the available regional assessments of the water regulating ecosystem service indicates a certain comparability of the results [14]. Thus, we believe that the proposed methodological approach to the integrated economic assessment of the water-regulating ecosystem service of forest ecosystems in Russia is quite reasonable. As follows from the calculations, the annual economic assessment is 918.8 billion rubles.

Anti-erosion ecosystem service. To assess the anti-erosion eco-service at the national level, the author’s methodological approach was proposed. An important role belongs to the anti-erosion ecoservice of forests, given its importance for the fruitful activity of agriculture. Reducing surface runoff due to forest reduces the possibility of erosion processes. By keeping runoff, forest ecosystems prevent soil loss and chemical leaching from fields. Most of all, potassium and nitrogen are removed in dissolved form, i. e. those substances that go into solution very quickly.

Generalization and analysis of the identified methodological approaches for the economic assessment of anti-erosion eco-services at the local level made it possible to combine them into three groups:

- the first approach, in which the object of assessment is chemicals, the removal of which is prevented by forest ecosystems;
- the second approach, focused on changes in crop yields;
- the third approach considers soil alluvium silting water bodies as an object of assessment, which requires cleaning of the latter.

We consider it most appropriate to use the first methodological approach, taking into account the prevention of silting of water bodies. The economic equivalent is the price of mineral fertilizers, which would have to be purchased when chemicals are removed from the soil during erosion, and the cost of extracting 1 ton of alluvium when cleaning a reservoir with a dredger. Taking into account that the distribution of agricultural land across the territory of Russia is very uneven and is concentrated mainly in the south and southwest, despite the fact that forest areas in the region of the southern black earth lands are few in number, a probabilistic approach is used in the economic assessment [15]. The probability reflects the reality of the implementation of the assessed eco-service for the considered forest area. The final formula for calculating the anti-erosion ecoservice is:

$$\Theta_{\text{в.э.у}} = (S_1 \cdot 1,0 + S_2 \cdot 0,86 + S_3 \cdot 0,62 + S_4 \cdot 0,38 + S_5 \cdot 0,3 + S_6 \cdot 0,13 + S_7 \cdot 0,05 + S_8 \cdot 0,01)(\Delta\Pi_N \Delta HC_{\text{д}})\alpha_s,$$

where $S_1 \cdot 1,0 \dots S_8 \cdot 0,01$ – areas of forest ecosystems, taking into account the probability of preventing erosion, ha;

Table 1. Economic assessment of forest ecosystem services by federal districts, million rubles

Таблица 1. Экономическая оценка лесных экосистемных услуг по федеральным округам, млн руб.

Federal district	Air quality regulation (CO ₂ storage)		Water regulating (regulation of runoff volume)		Anti-erosion	
	Rub./ha	Million rubles	Rub./ha	Million rubles	Rub./ha	Million rubles
Central	3761.2	85 249.4	685	15 532.3	704.1	15 887 865
Northwestern	1588.9	145 284.6	948	86 653.4	91.1	8 333 405
Southern	1984.9	5861.9	140	369.5	701.0	1 854 150
North Caucasian	2087.6	3526.4	320	541.1	701.0	1 184 222
Volga	3184.1	120 486.5	995	37 637.3	700.1	26 528 124
Ural	1589.4	110 295.7	697	48 381.7	266.4	18 486 432
Siberian	1364.5	306 030.6	1224	274 583.7	140.2	31 446 023
Far Eastern	518.2	178 485.0	1321	455 075.6	35.1	12 073 892

Table 2. Economic assessment of the annual flow of ecosystem services of forest ecosystems in the Russian Federation

Таблица 2. Экономическая оценка годового потока экосистемных услуг лесных экосистем РФ

Ecosystem service	Economic assessment, rub./ha	Economic assessment, million rubles
Air quality regulation (CO ₂ storage)	1202.00	955 220.1
Water regulating (regulation of runoff volume)	1157.00	918 774.7
Anti-erosion	145.76	115 794.1

ΔN – average amount of nitrogen removal from 1 ha, kg/ha; Π_N – price of 1 kg of nitrogen fertilizers; ΔH – average value of alluvium removal from 1 ha of eroded lands, t/ha; C_n – cost of extraction of 1 ton of alluvium during the cleaning of reservoirs by a dredger, rub./rub.; α_3 – the value of the eroded area due to 1 hectare of the territory covered with forest, ha/ha.

In the course of the study, a step-by-step algorithm for evaluating the ecoservice was developed. On the basis of the algorithm, calculations of its cost estimate for administrative-territorial formations and federal districts were made. The results of the assessment for the federal districts indicate that this eco-service is most significant in the Central, Southern, North Caucasian and Volga districts. In the Northwestern and Far Eastern Federal Districts, it is insignificant due to the insignificant size of agricultural land compared to the area covered by forests. Table 1 summarizes the assessment results for the three ecosystem services.

The results of the economic assessment of the flow of ecosystem services of forest ecosystems of the national natural capital are shown in table 2.

Thus, the value of the national natural capital (the natural component of Russia's national wealth) is increased by taking

into account the annual flow of ecosystem services by 1.9 trillion rubles. In addition, the asset of ecosystem services increases due to the economic value of stored carbon by 331,565.4 billion rubles.

Conclusions

The developed methodological toolkit for the economic assessment of ecosystem services of national natural capital, including: a methodological approach to assessing the annual storage of CO₂, which specifies the area of forest land, takes into account the expansion of forest age categories and the use of an indicator of average productivity; a methodical approach to the economic assessment of a water-regulating eco-service, based on taking into account the patterns of water balance formation, calculating the increase in runoff provided by an increase in atmospheric precipitation and the author's determination of the economic equivalent using the rental approach, as well as a methodical approach to assessing an anti-erosion eco-service, taking into account the possibility of preventing erosion of agricultural land by the assessed forest ecosystems, will make it possible to detail the economic assessment of the national natural capital of Russia through the most complete consideration of the natural component.

REFERENCES

- Ignatieva M. N., Yurak V. V., Logvinenko O. A. 2021, Natural Capital. Approaches to Economic Assessment. *Eurasian Mining*, no. 1, pp. 39–44. <https://doi.org/10.17580/em.2021.01.08>
- Ecosystem Services of Russia. Prototype of the national report. Vol. 2. Biodiversity and Ecosystem Services: Accounting Principles in Russia. Moscow, 2020, 252 p. (In Russ.)
- Mensah J., Casadevall S. R. 2019, Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, vol. 5(1), pp. 1–21. <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Ignatyeva M., Yurak V., Logvinenko O. 2020, A New Look at the Natural Capital Concept: Approaches, Structure, and Evaluation Procedure. *Sustainability*, vol. 12 (21), pp. 1–21, article number 9236. <https://doi.org/10.3390/su12219236>
- SEEA-2012. System of Natural and Economic Accounting 2012 – Central Framework / UN, European Commission, International Monetary Fund, OECD, World Bank. N. Y., 2017, 378 p. URL: https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/seea_cf_final_ru_0.pdf
- Fedorov B. G. 2017, Russian carbon balance. Moscow, 82 p. (In Russ.)
- Dolman A. J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchebakova N., Chen T., van der Molen M. K., Beileli Marchesini L., Maximov T. C., Maksyutov S., Schulze E.-D. 2012, An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods. *Biogeosciences*, vol. 9, issue 12, pp. 5323–5340. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012>
- Filipchuk A., Moiseev B., Malysheva N., Strakhov V. 2018, Russian Forests: A New Approach to the Assessment of Carbon Stocks and Sequestration Capacity. *Environmental Development*, vol. 26, pp. 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.03.002>
- Filipchuk A. N., Malysheva N. V., Zolina T. A., Yugov A. N. 2020, Russian boreal forests: opportunities for climate regulation. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], vol. 1, pp. 92–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.2.08>
- Alekseev V. A., Birdsey R. A. 1994, Carbon in ecosystems of forests and swamps of Russia. Krasnoyarsk, 224 p. (In Russ.)
- International approaches to carbon pricing. Review of the Department of Multilateral Economic Cooperation of the Ministry of Economic Development of Russia in a study dated 01/21/2021. (In Russ.) URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c13068c695b51eb60ba8cb2006d-d81c1/13777562.pdf>
- Fomenko G. A., Fomenko M. A., Loshadkin K. A., Mikhailova A. V. 2019, Accounting and assessment of ecosystem services of the Novokuznetsk coal-mining region. *Izvestiya RAN seriya geograficheskaya* [Proceedings of the RAS, geographical series], no. 3, pp. 88–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019388-97>
- Artemenkov A. I., Medvedeva O. E. 2017, Valuation of water resources in Russia by water rent. *Imushchestvennyye otnosheniya v RF* [Property relations in the Russian Federation], no. 8(191), pp. 62–73. (In Russ.)
- Tikhonova T. V. 2017, Ecological and economic assessment of the water regulation function of rural areas of the Komi Republic. *Ekonomicheskiye i sotsial'nyye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* [Economic and social changes: facts, trends, forecast], vol. 10, no. 3, pp. 209–226. (In Russ.) <https://doi.org/10.15838/esc.2017.3.51.11>
- Report on the state and use of agricultural land of the Russian Federation in 2019, Moscow, 2021, 404 p. (In Russ.)

The article was received on April 29, 2023

Экономическая оценка экосистемных услуг национального природного капитала

Оксана Александровна ЛОГВИНЕНКО^{1*}
Маргарита Николаевна ИГНАТЬЕВА^{1,2**}

¹Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

²Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность. Реализация принципов устойчивого развития национальной экономики требует полноценного учета природной составляющей в национальном богатстве. В современных условиях первоочередное значение в решении данной проблемы приобретает экономическая оценка экосистемных услуг лесных экосистем. Российская Федерация, владея природными ресурсами в масштабах, значительно превосходящих другие страны мира, имея на своей территории уникальные по величине и характеристикам ненарушенности лесные экосистемы, нуждается в их всеобъемлющей и максимально полной экономической оценке.

Цель исследования – развитие теоретико-методологических основ и разработка методического инструментария экономической оценки экосистемных услуг национального природного капитала России.

Методы исследования. В процессе исследования применялись общенаучные методы: диалектический, абстрактно-логический, а также методы сравнительного анализа, аналогий, экспертного анализа.

Результаты исследования. Уточнена процедура оценивания экосистемных услуг национального природного капитала, обоснована приоритетность вклада лесных экосистем в национальный природный капитал; разработаны методические подходы к экономической оценке наиболее значимых экоуслуг лесных экосистем России, регулирующих качество воздуха атмосферы, – водорегулирующей и противоэрозионной. Предложены расчетные формулы по их экономической оценке, обоснованы экономические эквиваленты, позволяющие получить стоимостные результаты. Выполнена апробация методических подходов для федеральных округов и России в целом. Определена величина прироста национального природного капитала за счет учета экономической оценки экосистемных услуг.

Выводы. Разработанные методические подходы к экономической оценке наиболее значимых экоуслуг регулирования качества атмосферного воздуха – водорегулирующей и противоэрозионной – могут быть использованы при экономической оценке данных услуг на национальном и региональном уровнях, что позволит уточнить соответствующую величину природного капитала в границах отдельных регионов и страны в целом.

Ключевые слова: природный капитал, экономическая оценка, экосистемные услуги, национальное богатство, устойчивое развитие.

ЛИТЕРАТУРА

- Ignatieva M. N., Yurak V. V., Logvinenko O. A. Natural Capital. Approaches to Economic Assessment // Eurasian Mining. 2021. No. 1. P. 39–44. <https://doi.org/10.17580/em.2021.01.08>
- Экосистемные услуги России. Прототип национального доклада. Т. 2. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учета в России. М., 2020. 252 с.
- Mensah J., Casadevall S. R. Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review // Cogent Social Sciences. 2019. Vol. 5(1). P. 1–21. <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Ignatyeva M., Yurak V., Logvinenko O. A New Look at the Natural Capital Concept: Approaches, Structure, and Evaluation Procedure // Sustainability. 2020. Vol. 12(21). P. 1–21. Article number 9236. <https://doi.org/10.3390/su12219236>
- СЭЭУ-2012. Система природно-экономического учета 2012 – центральная основа / ООН, Европейская комиссия, Международный валютный фонд, ОЭСР, Всемирный банк. Нью-Йорк, 2017. 378 с. URL: https://seea.un.org/sites/seea.un.org/files/seea_cf_final_ru_0.pdf
- Федоров Б. Г. Российский углеродный баланс. М.: Научный консультант, 2017. 82 с.
- Dolman A. J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M. K., Belli Marchesini L., Maximov T. C., Maksyutov S., Schulze E.-D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods // Biogeosciences. 2012. Vol. 9. Issue 12. P. 5323–5340. <https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012>
- Filipchuk A., Moiseev V., Malysheva N., Strakhov V. Russian Forests: A New Approach to the Assessment of Carbon Stocks and Sequestration Capacity // Environmental Development. 2018. Vol. 26. P. 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.03.002>
- Филипчук А. Н., Малышева Н. В., Золина Т. А., Югов А. Н. Бореальные леса России: возможности для смягчения изменения климата // Лесохозяйственная информация. 2020. № 1. С. 92–113. <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2022.2.08>
- Алексеев В. А., Бердси Р. А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Изд-во Института леса СО РАН, 1994. 224 с.

✉ oksana.logvinenko@m.ursmu.ru

**rinis@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9014-905X>

11. Международные подходы к углеродному ценообразованию // Обзор департамента многостороннего экономического сотрудничества минэкономразвития России в исследовании от 21.01.2021. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c13068c695b51eb60ba8cb2006d-d81c1/13777562.pdf>
12. Фоменко Г. А., Фоменко М. А., Лошадкин К. А., Михайлова А. В. Учет и оценка экосистемных услуг Новокузнецкого угледобывающего района // Известия РАН. Сер. геогр. 2019. № 3. С. 88–97. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019388-97>
13. Артеменков А. И., Медведева О. Е. Стоимостная оценка водных ресурсов России по водной ренте // Имущественные отношения в РФ. 2017. № 8(191). С. 62–73.
14. Тихонова Т. В. Эколого-экономическая оценка водорегулирующей функции сельских территорий Республики Коми // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2017. Т. 10. № 3. С. 209–226. <https://doi.org/10.15838/esc.2017.3.51.11>
15. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 404 с.

Статья поступила в редакцию 29 мая 2023 года

Продуктивность труда как фактор повышения конкурентоспособности и жизнеспособности горнодобывающих предприятий

Сергей Владимирович РОСЛЯКОВ*

ПАО «Уральский асбестовый горно-обогатительный комбинат», Асбест, Свердловская область, Россия

Аннотация

Актуальность. Вопрос повышения эффективности использования персонала является важной общегосударственной задачей, решение которой обеспечивает отечественным предприятиям способность выживать и развиваться в условиях острой международной конкуренции. Для всех хозяйствующих субъектов важен вопрос выявления факторов, способствующих росту эффективности персонала, и инструментов, которые позволяют управлять этими факторами. Использование категории «продуктивность труда» является перспективным инструментом повышения эффективности сотрудников горнодобывающих предприятий и, таким образом, является важным фактором обеспечения их конкурентоспособности и жизнеспособности.

Цель исследования – выявить возможности использования для управления деятельностью сотрудников категории «продуктивность труда», показать преимущества и обосновать необходимость ее введения в экономические механизмы хозяйствования горнодобывающих предприятий.

Методы исследования. Используются методы структурно-функционального анализа, научного обобщения, производственного эксперимента.

Результаты. Приведены отличительные характеристики категории «продуктивность труда», доказана целесообразность ее использования в управлении деятельностью персонала. Показана взаимосвязь между управлением продуктивностью деятельности сотрудников и уровнем жизнеспособности горнодобывающего предприятия (ГДП). Представлены характеристики внутренней среды ГДП, которые снимают ограничения, связанные с измерением данной категории. Определены условия и социально-экономические модели взаимоотношений между сотрудниками ГДП, в которых проявляются преимущества применения категории «продуктивность труда». Выявлены преимущества применения категории «продуктивность труда» для повышения эффективности деятельности ГДП, обеспечения жизнеспособности и конкурентоспособности последнего. Показана классификация типов поведения внутренних производителя и потребителя в зависимости от стабильности среды, в которой работает предприятие.

Выводы. Применение понятия «продуктивность» как управленческой категории в системе социально-экономических отношений ГДП позволяет управлять соотношением полезность–себестоимость на всех этапах производственного цикла, предоставляет новые возможности выявления и устранения потерь, повышает конкурентоспособность и жизнеспособность предприятия.

Ключевые слова: горнодобывающее предприятие, конкурентоспособность, жизнеспособность, сотрудники, персонал, продукт, внутренняя цена, полезность, внутренний финансовый результат, продуктивность труда, эффективность деятельности сотрудников.

Введение

В условиях острой конкуренции на рынках сбыта и производственных ресурсов вопросы повышения эффективности использования всех видов ресурсов являются чрезвычайно важными для обеспечения конкурентоспособности и жизнеспособности ГДП. Наибольшую значимость приобретает эффективное управление деятельностью персонала, который является основным фактором производства, определяющим эффективность использования других видов ресурсов [1–5]. Наиболее распространенные в настоящее время категории – производительность труда, рентабельность персонала – не позволяют в полной мере использовать потенциальные возможности управления данным ресурсом.

Результаты

Предлагаем рассмотреть категорию «продуктивность труда» с точки зрения возможностей, которые предоставляет ее использование в системе управления эффективностью деятельности сотрудников. Под продуктивностью деятельности сотрудников предполагается понимать количество продукта, произведенного сотрудником и принятого предприятием за определенную единицу времени [6]:

$$P_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Pi_{ti}}{T_{\text{раб}}}$$

где P_c – продуктивность сотрудника; Π_{ti} – объем i -го вида продукта, произведенного за выбранную единицу рабоче-

*vice-econ@uralasbest.ru

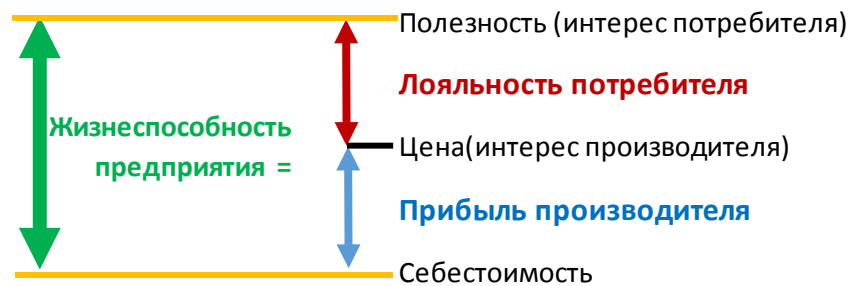


Рисунок 1. Взаимосвязь полезности, цены, и себестоимости продукта в системе управления жизнеспособностью предприятия
Figure 1. Relationship between utility, price, and cost price in the system of enterprise viability management

го времени; i – количество видов продукции, производимых коллективом; $T_{\text{раб}}$ – период времени (час, смена, месяц, год).

Понятие «продукт», используемое в данной формуле, обладает следующим минимальным набором характеристик:

- имеет определенные характеристики (назначение, качественные свойства, преимущества), в связи с которыми он может служить предметом потребления [7];
- средство удовлетворения потребностей внутреннего или внешнего заказчика [8];
- обладает потребительской стоимостью (полезностью) и стоимостью [9];
- результат труда или производственного процесса, выраженный в материальной или нематериальной форме [10].

Таким образом, продукт определяется как результат производства в материальной или нематериальной форме, имеющий целевое назначение и определенный уровень полезности для внешнего или внутреннего потребителя. Одной из ключевых характеристик категории «продукт» является полезность, или потребительская стоимость, под которой понимается комплекс взаимосвязанных и взаимодополняемых характеристик продукта, удовлетворяющих потребности и ощущаемых потребителем [10].

Попытаемся понять, каким образом использование понятия «продукт» может способствовать росту эффективности управления деятельностью сотрудников и, как результат, повышению жизнеспособности предприятия. Принципиальная схема взаимодействия факторов, определяющих жизнеспособность любого предприятия, показана на рис. 1.

На конкурентном рынке необходимо обеспечивать условие:

Полезность продукции для потребителя > цены продукции.

Если это неравенство не обеспечено, потребитель не будет покупать ваш продукт. Чем больше разница между полезностью и ценой, тем выше удовлетворенность и лояльность потребителей создаваемого продукта. Управление разницей между этими показателями позволяет производителю удерживать существующих и (или) привлекать новых потребителей. Разница между ценой проданной продукции и ее себестоимостью определяет сумму получаемой производителем прибыли, которая важна для устойчивого развития. В зависимости от ситуации на

рынке производитель может отдавать приоритет максимизации прибыли, обращая меньше внимания на лояльность, либо наоборот – максимизации лояльности потребителя. В любом случае жизнеспособность в конечном итоге обеспечивается эффективным управлением разницей между полезностью и себестоимостью продукции. Таким образом, управление продуктивностью труда как деятельность должно быть направлено на решение двух задач: максимизации полезности результатов труда и минимизации себестоимости. На практике второй из перечисленных задач в любом ГДП уделяется довольно много внимания, первая же редко рассматривается как предмет управления.

Какие преимущества дает применение категории «продуктивность» для повышения эффективности ГДП? Основной производственный процесс ГДП, как правило, состоит из нескольких переделов. Каждый передел, по своей сути, является потребителем продукта предыдущего передела. Кроме того, каждый передел является потребителем услуг большого количества вспомогательных и обслуживающих процессов, т. е. в ходе производственного процесса внутри ГДП образуются продукты, обладающие полезностью и себестоимостью, общее количество которых на несколько порядков превышает количество конечных продуктов предприятия. Между внутривозвратными единицами, которые в ходе производственного процесса осуществляют прием-передачу внутренних продуктов, возникают следующие ситуации:

- достаточная полезность – потребительские свойства продукта, передаваемого потребителю, являются необходимыми и достаточными, способствуют получению качественного результата и минимизации затрат на получающем переделе;

- недостаточная полезность – потребительские свойства продукта, передаваемые потребителю, не позволяют достичь желаемого результата либо приводят к росту себестоимости на получающем переделе; например, брак поставщика; в крайней ситуации это может принимать форму отрицательной полезности;

- нулевая полезность – когда у производимого продукта нет потребителя либо передаваемый продукт не нужен потребителю для достижения результата; наиболее распространенный пример – отчет, которым много лет никто не пользуется;

- отрицательная полезность (вредная работа) – результат, переданный потребителю, приводит к разрушению созданной стоимости или значительному росту за-

трат на принимающем переделе; например, размещение отходов с нарушением природоохранного законодательства, влекущее значительные штрафы;

– избыточная полезность – уровень потребительских свойств продукта, передаваемых потребителю, является излишним для достижения желаемого результата или снижения себестоимости на получающем переделе; избыточная полезность – частный случай нулевой полезности.

Все ситуации, кроме варианта «достаточная полезность», являются источником потерь, характеризуемых в терминологии бережливого производства как потери второго рода, или «muda» [11, 12]. Состояние достаточной полезности оптимально для предприятия, но не должно быть статичным, поскольку в условиях конкуренции отсутствие непрерывного роста полезности приводит к потере конкурентных преимуществ и жизнеспособности предприятия.

Практическую сложность может вызывать вопрос измерения полезности. Большинство экономических теорий указывают на сложности в этом вопросе [13–15], тем не менее из тех же положений можно сделать вывод о том, что сложности измерения полезности вызваны субъективностью ее восприятия и возникают в условиях неограниченной корзины потребительского выбора. В условиях же сформировавшейся потребности выбор делается на основании критериев, поддающихся измерению, за исключением таких случаев, когда потребителю важны восприятие органами чувств, эстетика, мода и престижность, морально-этические вопросы. В условиях технологического процесса ГДП, во-первых, значительно ограничена субъективность, во-вторых, влияние выделенной группы факторов минимально, поэтому на практике с приемлемой точностью можно считать, что полезность продукта на внутрифирменном рынке складывается из двух групп факторов:

– физических характеристик предмета либо результатов исполнения услуги, например, размер, масса, цвет, форма, температура, химический состав, гранулометрический состав, время выполнения, точность размещения, скорость и равномерность выполнения, продолжительность устойчивой работы после ремонта и т. п.;

– показателей сервиса: например, своевременность поставки, размер партии, последовательность подачи, каким способом передается с получающего передела, время ожидания и т. п.

Важным фактором успешного применения категории «продуктивность» является адекватная модель социально-экономических отношений в ГДП. В условиях, когда взаимоотношения между внутренними производителем и

потребителем построены на модели «донор–реципиент», введение в систему взаимоотношений понятия «полезность» может привести к отрицательному эффекту за счет возрастания ситуаций, когда потребитель требует избыточной полезности. Применение категории «продуктивность» эффективно в условиях, когда действует модель «производитель–потребитель», т. е. когда между внутренними коллективами предприятия применяются рыночные отношения на основе трансфертного ценообразования со следующим минимальным набором условий:

– цена внутреннего продукта определяется на основе его полезности;

– учитываемый финансовый результат равен разности между внутренними доходами и фактическими затратами;

– на предприятии отработаны функционирующие механизмы запроса или предложения об изменении полезности, определения внутренней цены.

Указанный набор условий способствует росту активности производителя и потребителя. Сочетание первого и второго условий поставщика стимулирует искать способ повышения полезности внутреннего продукта, соблюдая при этом требование минимизировать себестоимость собственного передела для снижения затрат. Потребителя эти же условия стимулируют оценивать получаемую полезность внутренней ценой, мотивируя поставщика достигать требуемого уровня и в то же время не запрашивать избыточной полезности, которая отразится на цене.

В табл. 1, 2 показана классификация типов поведения внутренних производителя и потребителя в зависимости от стабильности среды, в которой работает предприятие. Типы поведения, указанные в табл. 1, 2, отвечают следующим характеристикам сотрудников, проявляющих такое поведение:

– активный – действует на опережение, улучшает текущее состояние, продукт, процесс, пытается создать конкурентные преимущества;

– ведомый – действует по просьбе, проявляет активность при очевидном изменении условий, пытается не допустить негативных последствий изменений, реагирует на действия конкурентов;

– пассивный – не пытается проявлять активность, улучшать продукт, процесс, создавать конкурентные преимущества в отсутствие сильных сигналов, просьб, приказов;

– безответственный – пытается сохранить привычное поведение, ход процесса даже при наличии сильных сигналов о необходимости изменения, просьб, приказов.

Опыт подтверждает, что отсутствие третьего условия приводит к сложным переговорам о внутрифирменной

Таблица 1. Поведение внутреннего потребителя в отношении получаемой полезности внутреннего продукта

Table 1. Behavior of the internal consumer in relation to the resulting utility of the internal product

Изменение свойств продукта	Окружающая среда предприятия	
	Изменилась	Не изменилась
Запрашивается	Ведомое	Активное
Не запрашивается	Безответственное	Пассивное

Таблица 2. Поведение внутреннего производителя в отношении передаваемой полезности внутреннего продукта

Table 2. Behavior of the internal producer in relation to the transferable utility of the internal product

Предложение свойств продукта	Окружающая среда предприятия	
	Изменилась	Не изменилась
Меняется	Ведомое	Активное
Не меняется	Безответственное	Пассивное

цене, что не стимулирует производителя и потребителя к активным формам поведения в отношении полезности продукта даже в ответ на изменение требований к их деятельности.

Например, ОАО (с 2020 г. ПАО) «Ураласбест» в 2016 г. столкнулось со следующей ситуацией – средневзвешенная цена продукции предприятия по отношению к 2015 г. снизилась на 6,1 %, в то время как средний индекс потребительских цен в РФ (ИПЦ) в 2016 г. составил 1,054. Для активизации работы по снижению себестоимости и приведению ее в соответствие с ситуацией на рынке генеральный директор использовал внутрифирменные рыночные отношения на основе трансфертных цен в расчетах за продукцию между структурными единицами общества (хозрасчет). Результат этого шага был положительным – за последующие три года индекс средневзвешенной себестоимости продукции составил 1,001, для сравнения: величина ИПЦ в РФ за период *декабрь 2019 г. к декабрю 2016 г.* была 1,101 [16].

По действовавшим на предприятии условиям хозрасчета внутренняя (трансфертная) цена не учитывала изменения в качестве продукции. В результате ряд улучшений в этот период не был введен. Например, Промтехвзрыв предложил увеличить затраты на взрывчатые материалы для повышения качества взрыва, результат должно было ощутить рудоуправление, но это требовало увеличения трансфертной цены для компенсации затрат Промтехвзрыва. Данное увеличение не было согласовано. Встречались и более негативные примеры, когда производитель снижал расходы за счет снижения качества ус-

луг, в результате чего потребитель был вынужден нести возросшие затраты. В силу нарастания таких явлений в 2020 г. данная модель перестала давать ощутимые результаты. Для ее усиления в настоящее время внедряется инструмент «Внутренний договор об уровне качества», цель которого – устранить допущенный ранее недостаток и создать механизмы: а) контроля уровня полезности; б) установления внутренней цены.

Выводы

Развитие во внутрифирменной среде рыночных взаимоотношений, в которых сотрудник может повышать личный доход за счет улучшения результатов своей деятельности и повышения удовлетворенности коллег этими результатами, дает мощный стимул к повышению эффективности деятельности сотрудника, гармонизации его интересов и интересов собственника капитала. Развитие такой среды невозможно без измерения количества создаваемого продукта, учета его полезности и ценности для потребителя. Применение понятия «продуктивность» как управленческой категории в системе социально-экономических отношений ГДП дает инструмент управления соотношением «полезность–себестоимость» на всех этапах производственного цикла, способствует организации деятельности персонала на основе модели «производитель–потребитель». Таким образом, использование в управлении индикатора «продуктивность труда» предоставляет руководителям новые возможности повышения эффективности деятельности персонала и в конечном итоге повышает уровень конкурентоспособности и жизнеспособности предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карасёв М. А. Персонал организации: понятие, структура и методы управления // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. № 5. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/57EVN515.pdf>
2. Arnold M., Artz M. The use of a single budget or separate budgets for planning and performance evaluation // Accounting, Organizations and Society. 2019. Vol. 73. P. 50–67. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.06.001>
3. Chimhowu A. O., Hulme D., Munro L. T. The “New” national development planning and global development goals: Processes and partnerships // World Development. 2019. Vol. 120. P. 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.03.013>
4. Килин А. Б., Галкин В. А., Макаров А. М. Рыночные отношения на угледобывающем предприятии и эффективность производства // Уголь. 2020. № 9. С. 29–34. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-9-29-34>
5. Артемьев В. Б., Волков С. А., Лисовский В. В., Галкин В. А., Макаров А. М., Захаров С. И. Подходы к повышению конкурентоспособности угледобывающего предприятия и его персонала // Уголь. 2019. № 6. С. 4–9. <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-6-4-9>
6. Галкин В. А., Макаров А. М., Росляков С. В. Продуктивность труда на горнодобывающих предприятиях как фактор обеспечения их конкурентоспособности // Известия УГГУ. 2020. Вып. 4 (60). С. 228–236. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-4-228-235>
7. Харин А. А., Коленский И. Л., Харин А. А. (мл.). Словарь инновационных терминов. М.: Берлин: Директ-Медиа, 2016. 255 с.
8. Лозовский Л. Ш., Райзберг Б. А., Ратновский А. А. Универсальный бизнес-словарь. М.: ИНФРА-М, 1997. 631 с.
9. Челенков А. П. Маркетинг услуг: продукт // Маркетинг. 1997. № 6. С. 12–18.
10. Прищепенко В. В. Семантика, дефиниции и соотношение понятий «продукт», «товар», «услуга» // Маркетинг в России и за рубежом. 2001. № 2. URL: <http://www.mavriz.ru/articles/2001/2/1448.html>
11. Вумек Дж. П., Джонс Д. Т. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / пер. с англ. 4-е изд. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 472 с. (Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций»).
12. Оно Т. Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства / пер. с англ. М.: Ин-т комплексных стратегических исследований, 2005. 192 с.
13. Мелкумян В. М. О некоторых механизмах формирования спроса в кардиналистской теории // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Т. 10. № 8А. С. 517–527. <http://dx.doi.org/10.34670/AR.2020.87.82.058>
14. Мелкумян В. М. К характеристике исходных определений теории потребительского спроса // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2015. № 2. С. 53–57.
15. Мельник Д. В. Полезность // Большая российская энциклопедия. Том 26. Москва, 2014. С. 632.
16. Система «КонсультантПлюс». Справочная информация: «Индекс потребительских цен» (Материал подготовлен специалистами КонсультантПлюс по данным Росстата).

Статья поступила в редакцию 16 марта 2023 года

Labor productivity as a factor in increasing the competitiveness and viability of mining enterprises

Sergey Vladimirovich ROSLYAKOV*

PJSK “Ural Asbestos Mining and Processing Plant”, Asbest, Sverdlovsk region, Russia

Abstract

Relevance. The issue of increasing the efficiency of personnel use is an important national task, the solution of which provides domestic enterprises with the ability to survive and develop in the face of intense international competition. For all business entities, it is important to identify factors that contribute to the growth of personnel efficiency, and tools that allow you to manage these factors. The use of the labor productivity category is a promising tool for improving the efficiency of mining employees and, thus, is an important factor in ensuring their competitiveness and viability.

The purpose of the research is to identify the possibilities of using employees of the category “labor productivity” for managing the activities, show the advantages and justify the need for its introduction into the economic mechanisms of managing mining enterprises.

Research methodology. The methods of structural-functional analysis, scientific generalization and production experiment were used.

Results. The distinctive characteristics of the category “labor productivity” are given, the expediency of its use in the management of personnel activities is proved. The relationship between the management of the productivity of employees and the level of viability of a mining enterprise is shown (ME). The characteristics of the internal environment of the ME are presented, which remove the restrictions associated with the measurement of this category. The conditions and socio-economic models of relations between the employees of the ME were determined, in which the advantages of using the category of labor productivity are manifested. The advantages of using the category of labor productivity to improve the efficiency of the ME, ensure the viability and competitiveness of the latter are revealed. The classification of the behavior types of the internal producer and consumer is shown depending on the stability of the environment in which the enterprise operates.

Conclusions. The use of the concept of “productivity” as a managerial category in the system of socio-economic relations of the ME allows you to manage the utility-cost ratio at all stages of the production cycle, provides new opportunities for identifying and eliminating losses, and increases the competitiveness and viability of the enterprise.

Keywords: mining enterprise, competitiveness, viability, employees, personnel, product, internal price, utility, internal financial result, labor productivity, efficiency of employees.

REFERENCES

1. Karasev M. A. 2015, Personnel of the organization: concept, structure and methods of management. *Internet-zhurnal «Naukovedeniye»* [Internet journal “Science”], vol. 7, no. 5. (In Russ.) URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/57EVN515.pdf>
2. Arnold M., Artz M. 2019, The use of a single budget or separate budgets for planning and performance evaluation. *Accounting, Organizations and Society*, vol. 73, pp. 50–67. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.06.001>
3. Chimhowu A. O., Hulme D., Munro L. T. 2019, The ‘New’ national development planning and global development goals: Processes and partnerships. *World Development*, vol. 120, pp. 76–89. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.03.013>
4. Kilin A. B., Galkin V. A., Makarov A. M. 2020, Market relations at a coal mining enterprise and production efficiency. *Ugol’* [Coal], no. 9, pp. 29–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-9-29-34>
5. Artemiev V. B., Volkov S. A., Lisovsky V. V., Galkin V. A., Makarov A. M., Zakharov S. I. 2019, Approaches to increasing the competitiveness of a coal mining enterprise and its personnel. *Ugol’* [Coal], no. 6, pp. 4–9. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-6-4-9>
6. Galkin V. A., Makarov A. M., Roslyakov S. V. 2020, Labor productivity at mining enterprises as a factor in ensuring their competitiveness. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 4 (60), pp. 228–236. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-4-228-235>
7. Kharin A. A., Kolensky I. L., Kharin A. A. (Jr.). 2016, Dictionary of innovative terms. Moscow, 255 p. (In Russ.)
8. Lozovsky L. Sh., Raizberg B. A., Ratnovsky A. A. 1997, Universal business dictionary, 631 p. (In Russ.)
9. Chelenkov A. P. 1997, Marketing services: product. *Marketing*, no. 6, pp. 12–18. (In Russ.)
10. Prishchepenko V. V. 2001, Semantics, definitions and correlation of the concepts “product”, “goods”, “service”. *Marketing v Rossii i za rubezhom* [Marketing in Russia and abroad], no. 2. (In Russ.) URL: <http://www.mavriz.ru/articles/2001/2/1448.html>
11. Womack J. P., Jones D. T. 2008, Lean Manufacturing: How to get rid of waste and make your company prosper. Moscow, 472 p. (In Russ.)
12. Ono T. 2005, The Toyota Production System. Moving away from mass production. Moscow, 192 p. (In Russ.)

*vice-econ@uralasbest.ru

13. Melkumyan V. M. 2020, On some mechanisms of demand formation in the cardinal theory. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: yesterday, today, tomorrow], vol. 10, no. 8A, pp. 517–527. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.34670/AR.2020.87.82.058>
14. Melkumyan V. M. 2015, On the characterization of the initial definitions of the theory of consumer demand. *Uchenyye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnyye i sotsial'nyye nauki* [Scientific notes of the Oryol State University. Series: Humanities and social sciences], no. 2, pp. 53–57 (In Russ.)
15. Melnik D. V. 2014, UTILITY. Great Russian Encyclopedia, vol. 26. Moscow, 632 p. (In Russ.)
16. "ConsultantPlus" system. Reference information: "Consumer Price Index" (The material was prepared by ConsultantPlus specialists according to Rosstat).

The article was received on March 16, 2023

Экономико-технологический подход к проектированию обустройства морских месторождений. Обзор зарубежных практик

Лариса Владимировна ПАПАДМИТРИЕВА^{1*}
Дмитрий Владимирович КАЗАКОВЦЕВ^{2**}

¹РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Москва, Россия

²ООО «Морнефтегазпроект», Москва, Россия

Аннотация

Актуальность. Высокий потенциал рентабельности добычи углеводородов на арктическом шельфе России – один из значимых факторов дальнейшего развития российского нефтегазового комплекса. На протяжении десятилетий международные нефтегазовые компании (НГК) успешно выполняют крупные капиталоемкие проекты разработки морских месторождений в малоосвоенных регионах с тяжелыми климатическими условиями, в том числе при неблагоприятной цене нефти.

Цель исследования – выявление особенностей применяемой международными нефтегазовыми компаниями методологии реализации проектов, обеспечивающих их успешность.

Методы исследования – системный подход, методы анализа, сравнения, дифференциации.

Результаты. В ходе выполненного исследования раскрыто содержание системного подхода к обустройству морских месторождений как основы методологии в части оптимального по соотношению стоимости и эффективности выбора и комплексирования технологий в систему обустройства месторождения. Определены понятия и взаимосвязи между системой, подсистемой и технологией. Показано, что рентабельность разработки месторождения обеспечивается соблюдением необходимых критериев применимости технологий в составе системы обустройства. При этом технологии должны быть подтверждены практикой выполнения аналогичной производственной задачи в сравнимых условиях и доступны для приобретения на конкурентном рынке, а также должны в комплексе удовлетворять требованиям к эффективности выполнения производственной задачи и ограничениям на стоимость освоения месторождения. Теоретические аспекты методологии проиллюстрированы практическими примерами оценки и выбора технологий по указанным критериям, в том числе рассмотрена реализованная система обустройства морского месторождения в малоосвоенном регионе. На основании результатов исследования сформулированы рекомендации по выбору морских месторождений для первоочередного освоения и разработки, выбору технологий для обустройства месторождений, а также применению принятых международных регламентов для более активной реализации нефтегазовых проектов на арктическом шельфе России.

Выводы. На основании выполненного обзора зарубежных практик рекомендуется: 1) в первую очередь сосредоточиться на проектах с использованием подтвержденных и доступных технологий; 2) четко формировать набор требований для разрабатываемых проектов; 3) применять принципы и правила, заложенные в проектные регламенты зарубежных НГК и ЕРС компаний.

Ключевые слова: нефтегазовая компания, рентабельность разработки морского месторождения углеводородов, системный подход, система обустройства, технология, арктический шельф, морское нефтегазопромысловое сооружение, добыча нефти.

Введение

На протяжении ряда лет идет дискуссия об экономической целесообразности добычи нефти и газа на арктическом шельфе России – одном из самых перспективных источников углеводородов в грядущие десятилетия. Многие участники дискуссии сходятся во мнении,

что соотношение затрат и цены нефти как минимум в обозримой перспективе не позволяет говорить о положительной рентабельности нефтегазовых проектов в арктических морях [1]^{1,2}. Более оптимистичные оценки встречаются реже.

✉ papadmitrieva.l@gubkin.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1444-3174>

**dmitry.kazakovtsev@gmail.com, d.kazakovtsev@mngproject.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5991-8508>

¹Эксперты: освоение шельфа Арктики невыгодно при ценах на нефть ниже \$ 100 за баррель / Государственное информационное агентство России (ТАСС). URL: <https://tass.ru/ekonomika/6927654>

²Освоение Арктики в перспективе / ЦДУ ТЭК. URL: https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2020/1/705/?ysclid=lcylh5wyws768828947

На этом фоне требуется нестандартная оценка потенциала рентабельной добычи углеводородов на арктическом шельфе России. Для начала откажемся от теоретических расчетов экономических показателей и посмотрим на рис. 1, представляющий знаковые зарубежные морские проекты и динамику цены нефти в ретроспективе. Видно, что крупные капиталоемкие морские проекты выполнялись в разное время в разных регионах мира и при высокой, и при низкой цене нефти. Проекты на рис. 1 специально отобраны по критериям уникальности в части технических решений и (или) места расположения, включая арктический и субарктический шельф (по данным³ и других открытых источников). Эта особенность роднит их с потенциальными проектами на неосвоенных участках шельфа России и отличает от проектов в районах «массовой застройки» морскими нефтегазодобывающими сооружениями (МНГС) на основе унифицированных и оптимизированных по затратам решений. К таким районам, в частности, относятся Северное море и Мексиканский залив. Также вспомним, что во второй половине 2010-х гг. новостные ленты пестрели заголовками, анонсирующими чуть ли не полную остановку инвестиционной активности зарубежных нефтегазовых компаний (НГК) на фоне падения и колебаний цены нефти⁴. Однако и в этот период реализация многомиллиардных проектов на шельфе не прекращалась⁵. Что касается низкой современной активности на арктическом шельфе США, Канады, Дании и

Исландии, то это объясняется законодательными ограничениями, обосновываемыми высокой чувствительностью региона к экологическому воздействию [2].

Отсюда следует необходимость занять более оптимистичную позицию в отношении потенциала рентабельной добычи нефти и газа на арктическом шельфе России. Логично считать, что если иностранные НГК могут обеспечивать рентабельность морских проектов в самых разных экономических, климатических и географических условиях, то и российским НГК это по силам. В этом контексте важно найти ответ на вопрос, какая методологическая база составляет основу успеха иностранных НГК.

Результаты

За рубежом ключевую роль в выполнении сложных капиталоемких проектов в нефтегазовой промышленности и во всех без исключения отраслях хозяйственной деятельности играет так называемый системный подход [3]. Соответственно системы являются основными объектами планирования и управления в бизнес-процессах НГК и других хозяйственных субъектов – промышленных корпораций, научно-исследовательских центров, учебных заведений, государственных ведомств. Этот тезис в той или иной степени подтверждается практически всеми источниками, на которые приведены ссылки в статье.

Назначение и основную идею системного подхода в части разработки месторождений углеводородов можно определить следующей цитатой: «Системный подход со-

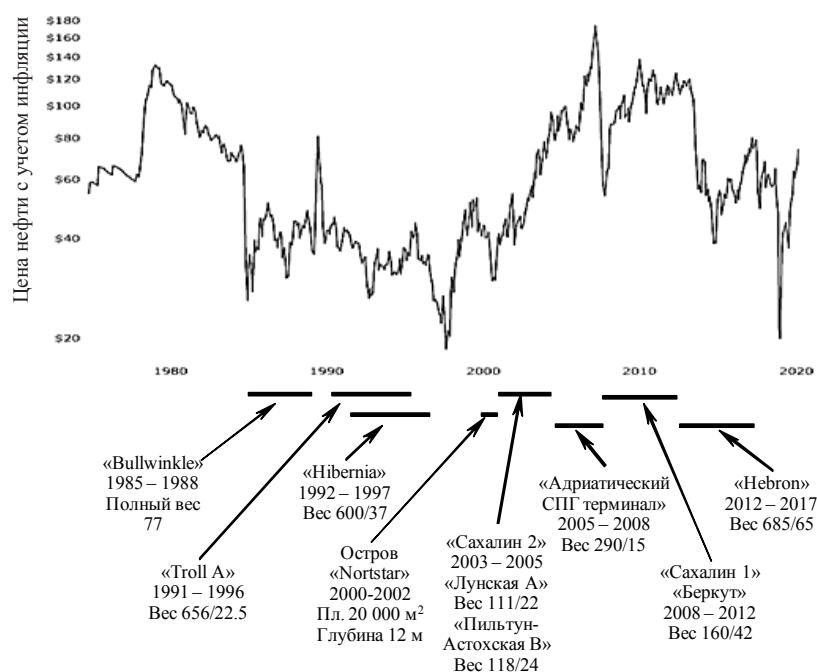


Рисунок 1. Примеры морских проектов и динамика цены нефти. Указаны периоды времени от начала стройки до ввода платформ в эксплуатацию и вес основания/верхнего строения, тыс. т. Составлено авторами по данным⁵ и других открытых источников

Figure 1. Examples of offshore projects and oil price dynamics. The time periods from the beginning of construction to the commissioning of platforms and the weight of the base/topside, thousand tons are indicated. Compiled by the authors according to data⁵ and other open sources

³ Crude Oil Prices – 70 Year Historical Chart / Macrotrends. URL: <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>

⁴ Нефтегазовые компании отменили проекты на \$ 380 млрд / Интерфакс. URL: <https://www.interfax.ru/business/489563>

⁵ Offshore Technology / Projects. URL: <https://www.offshore-technology.com/projects>

стоит в том, что для достижения целевых экономических показателей полномасштабного освоения и разработки месторождения система обустройства должна проектироваться по критериям, охватывающим всю продолжительность ее жизненного цикла, включая капитальные затраты, затраты на бурение, эксплуатационные затраты, промежуток времени от открытия до максимальной добычи, доступность добычных и отгрузочных мощностей, управление разработкой. Должен выполняться структурированный процесс выбора существующих и перспективных технологий для каждой подсистемы в составе системы обустройства месторождения – от пласта до экспортных трубопроводов⁶. Системный подход в зарубежной практике реализуется в форме унифицированных и увязанных между собой нормативных документов межгосударственного, государственного и корпоративного уровня – стандартов, сводов правил, регламентов и т. п. В частности, это относится к проектным регламентам зарубежных НГК – BP, ExxonMobil, Shell и других, а также инжиниринговых, производственных и EPC компаний [4]⁷.

Система как предмет системного подхода определяется, например, в соответствующем стандарте Министерства энергетики (МЭ) США следующим образом: «Система – это комплекс взаимосвязанных подсистем, конструкций, модулей, устройств, узлов и соединительных элементов, обеспечивающий выполнение определенной функции или совокупности функций для получения полезного результата»⁸. В этом определении ключевым словом является «комплекс» компонентов, обеспечивающих выполнение функции. Исключение хотя бы одного значимого компонента из комплекса превращает систему в дорогостоящий и малополезный набор строительных конструкций, кабелей, емкостей и других изделий. Определения системы, полностью аналогичные приведенному, содержатся в регламентах крупных производственных компаний, документации Международного совета по проектированию систем (INCOSE), NASA и т. д.

Одним из важных свойств систем является иерархичность. На каждом уровне сложности система состоит из подсистем. На более высоком уровне сложности система становится подсистемой более сложной системы. На более низком – все подсистемы в составе системы сами становятся системами. Так, морское нефтегазопромысловое сооружение (МНГС) – платформа, искусственный остров и др. – является подсистемой в составе системы обустройства морского месторождения. В свою очередь, МНГС является системой по отношению к составляющим ее модулям. Модули МНГС – подготовки продукции, буровой, устьев скважин, подготовки бурового раствора и

др. – являются подсистемами МНГС. Подразделение подсистем МНГС можно продолжать вплоть до уровня неделимых компонентов. В процитированном стандарте МЭ США приводится следующее определение: «Подсистема – это совокупность компонентов, модулей, устройств и программного обеспечения в составе системы, обеспечивающая выполнение функции или определенной составной части функции».

Опираясь на определение системы, можно перейти к определению понятия технологии. Для этого снова обратимся к цитатам из авторитетных источников. Например, в материалах Американского института нефти (American Petroleum Institute/API) говорится: «Системы обустройства глубоководных месторождений – стационарные платформы на ферменном основании, платформы на натянутых связях, СПАРы, подводные добычные системы, плавучие добычные системы сегодня эксплуатируются на глубинах воды более 450 м. Все эти системы являются подтвержденными технологиями и применяются в морской добыче повсеместно»⁹. Основываясь на приведенной цитате, можно считать, что технология подходит под данное определение системы и, соответственно, подсистемы системы.

Для того чтобы разобраться, что объединяет понятия системы и технологии и чем они различаются, обратимся к практике создания технологий. Можно привести множество примеров применения системного подхода к разработке, производству и сопровождению в процессе эксплуатации технологий производственными и нефтесервисными компаниями. Технология производства и сварки труб из стали X120 для прокладки газопроводов была разработана и коммерциализирована компанией Nippon Steel по заказу ExxonMobil¹⁰. Технология многоступенчатого перфорирования и гидроразрыва PerfFRAC – компанией Schlumberger, также по заказу ExxonMobil¹¹. Технология механизированной добычи УЭЦН без насосно-компрессорных труб с выполнением спускоподъемных операций УЭЦН на каротажном кабеле – компанией ZEI TECS по заказу Shell¹². Также заметим, что, например, разработки Калифорнийского университета (University of California) в области создания новых технологий содержат такой тезис: «Разрабатываемые технологии обычно называются системами и подсистемами» [5]. На основе сказанного можно констатировать следующее. Система является универсальной методологической категорией, т. е. предметом системного подхода – методологии анализа, проектирования и материализации объектов, подпадающих под определение системы. В этом качестве она может существовать не только как материальный объект, но

⁶ A new generation deep-water field development system // Offshore Magazine. URL: <https://www.offshore-mag.com/business-briefs/equipment-engineering/article/16759530/a-new-generation-deepwater-field-development-system>

⁷ Dr. Cliff Mitchell, Dr. Lynn Holdsworth, and Professor Graham Winch, Centre for Research in the Management of Projects, Manchester Business School, University of Manchester, Manchester, UK, and Alan Johnston BP p.l.c, London, UK. Managing projects practitioner development – a successful university-industry partnership / Project Management Institute. 2010. https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/33529620/FULL_TEXT.PDF

⁸ DOE Standard. Content of System Design Descriptions. DOE-STD-3024-98. October 1998. 48 p.

⁹ Offshore Production Facilities. URL: <https://www.api.org/oil-and-natural-gas/wells-to-consumer/exploration-and-production/offshore/offshore-production-facilities>

¹⁰ ExxonMobil Grants Nippon Steel First License for Patented Field Welding Technology for X120 Ultra High-Strength Linepipe. URL: https://www.nipponsteel.com/en/news/old_nsc/detail/index.html?rec_id=4104

¹¹ PerfFRAC Stimulation Service. <https://www.slb.com/-/media/files/stimulation/product-sheet/perfrac-ps>

¹² Schlumberger acquires leading artificial lift developer ZEI TECS. <https://members.luxresearchinc.com/research/insight/16618>

и в «виртуальной» форме как содержание документации, описывающей систему в процессе ее создания. В отличие от системы, технология существует только как материальный объект в неразрывной взаимосвязи с компанией или компаниями, разрабатывающими, производящими, поставляющими на рынок и обеспечивающими функционирование этой технологии в процессе эксплуатации.

Основными критериями проектирования систем и, соответственно, технологий является их стоимость и эффективность. При этом задача проектирования системы состоит в выборе решения, оптимального по соотношению стоимости и эффективности, т. е. такого решения, которое минимизирует стоимость для заданной эффективности [6, 7]. При этом «эффективность» понимается как разница между требуемым результатом выполнения производственной задачи и фактическим результатом выполнения функции системы [8]. Категория эффективности является весьма сложной и многоплановой, и ее конкретизация выходит за рамки настоящей статьи. Ограничимся замечанием, что эффективность может использоваться для сравнения производственных параметров технологий, например, производительности, свойств выпускаемой продукции, а также эксплуатационных параметров технологий, например, технической готовности, интегральных уровней безопасности и других параметров. Обычно требования к эффективности технологии определяются описанием производственной задачи и нормативными документами [9].

Таким образом, можно сформировать следующую структуру взаимосвязанных понятий:

1. Системный подход – методология, обеспечивающая оптимизацию показателей стоимости и эффективности освоения и разработки месторождения углеводородов путем регламентации правил проектирования, производства/строительства и эксплуатации системы обустройства месторождения;

2. Система обустройства месторождения представляет собой комплекс взаимосвязанных технологий, обеспечивающих выполнение производственной задачи – добычу, подготовку и экспорт нефти и (или) газа с заданной эффективностью;

3. Технология – это подсистема или компонент системы обустройства, являющаяся продуктом деятельности определенной компании или другого хозяйственного субъекта, применимость которой для обустройства месторождения определяется ее стоимостью.

Определившись с основными понятиями и их взаимосвязью, можно перейти к обзору экономико-технологического подхода в практике зарубежных НГК. Этот общепринятый в мире подход основывается на одновременном соблюдении трех условий рентабельного освоения месторождения, согласно которым технологии в составе системы обустройства должны быть:

1. Подтвержденными предшествующим опытом практического применения в конкретных условиях окружающей среды;

2. Доступными для приобретения на конкурентном рынке;

3. В комплексе должны удовлетворять требованиям к эффективности выполнения производственной задачи и ограничениям на стоимость освоения месторождения.

Рассмотрим эти условия более подробно. Для реализации системы обустройства месторождения надо применить технологии с требуемыми функциями. Весь спектр таких технологий можно подразделить на подтвержденные и неподтвержденные. Det Norske Veritas¹³ предлагает следующее определение: «Технология является подтвержденной, если все функциональные элементы и процессы, обеспечивающие выполнение функций технологии, изучены и задокументированы, например, если все применимые стандарты, отраслевая практика производства работ и спецификации описывают квалификационные требования, которые должны быть соблюдены для того, чтобы определить соответствие технологии этим требованиям, и эти требования могут быть соблюдены в рамках действующей практики проектирования» [10]. Под квалификационными в данном определении подразумеваются требования, определяющие применимость технологии в определенных условиях. Все технологии, не подпадающие под определение подтвержденной технологии, считаются «новыми технологиями», применение которых для реализации МНГС возможно только после их подтверждения.

Таблица 1. Категоризация технологий (пояснения в тексте) [10]
Table 1. Categorization of technologies (explanations in the text) [10]

Область применения	Степень новизны технологии		
	Подтвержденная	Ограниченный опыт практического применения	Новая или неподтвержденная
Известная	1	2	3
Ограниченно известная	2	3	4
Новая	3	4	4

Где категории технологий по степени новизны:

1. Нет новых технических неопределенностей (подтвержденная технология);
2. Имеются новые технические неопределенности;
3. Имеются новые технические проблемы;
4. Имеются новые значительные технические проблемы

¹³ Det Norske Veritas (в настоящий момент – DNV GL) является международным сертификационным и классификационным обществом, ключевой компетентностью которого являются оценка, консалтинг и менеджмент риска (комментарий авторов статьи).

Причем ограничения на применение новых технологий весьма жесткие. В том же источнике [10] подчеркивается: «Даже если отдельные компоненты технологии являются подтвержденными, но интегрированы новым способом, такая технология считается новой. Также подтвержденная технология считается новой технологией, если ее предполагается применить в новых условиях». Причиной ограничений являются неопределенности, связанные с применением новых технологий, которые, согласно [10], могут быть категоризованы в виде, представленном в табл. 1 (применяется как к технологии в целом, так и к каждому ее компоненту).

Что касается использованных в табл. 1 терминов, то «область применения» означает режимы эксплуатации технологии и (или) условия окружающей среды, и (или) назначение технологии. Изменения в области применения технологии неизбежно ведут к росту неопределенности. Категория «новая» характеризуется наибольшей неопределенностью и выбирается в случаях, когда отсутствует предшествующий опыт применения технологии в данной области. Наоборот, категория «известная» характеризуется наименьшей степенью неопределенности и выбирается в случаях, когда имеется достаточный объем задокументированных знаний о применении технологии для выполнения аналогичной производственной задачи в аналогичных условиях окружающей среды. Степень новизны относится непосредственно к технологии. Изменение в каком-либо компоненте существующей технологии (подсистема, компонент, процесс, функция) ведет к росту неопределенности, что должно быть отражено в выборе категории «ограниченный опыт практического применения» или «новая или неподтвержденная». Изменения могут быть и в средствах (материальных компонентах), и в способах (нематериальных компонентах) в составе технологии. Изменения могут быть в архитектуре технологии, интерфейсах, или более высоких требованиях к надежности. Более высокая неопределенность может повлиять на функционирование технологии в целом, а также на критерии определения готовности технологии к эксплуатации. Таким образом, единственным вариантом, характеризующим безусловную применимость технологии, является «подтвержденная» технология в «известной» области применения. Во всех остальных случаях требуется про-

ведение квалификации (подтверждение применимости) технологии для ее использования в составе системы обустройства.

Для пояснения сказанного приведем два примера. В начале 2010-х гг. норвежская компания Kvaerner AS разработала концепцию мобильной буровой установки (МБУ) CONDRILL [11] на бетонном основании гравитационного типа (БОГТ) для круглогодичного поисково-разведочного бурения на Арктическом шельфе (рис. 2). Техническую реализуемость МБУ норвежцы обосновывали успешным применением внешне похожих БОГТ, построенных для проектов «Сахалин-1» и «Сахалин-2». Однако при внешнем сходстве сахалинские платформы не позволяют считать БОГТ подтвержденной технологией для реализации МБУ CONDRILL. В функциональном отношении эти платформы и, соответственно, БОГТ имеют принципиальные отличия. Функционирование МБУ CONDRILL предполагает многократное погружение для постановки платформы на морское дно с последующим отрывом от дна и всплытием, многократную буксировку на очередную точку бурения, погружение/всплытие на ровном киле с установленным на БОГТ верхним строением, многократную балластировку и дебалластировку. Ни одна из перечисленных функций не предусмотрена технологией БОГТ платформ, построенных для проектов «Сахалин-1» и «Сахалин-2», равно как и какой-либо другой, ранее построенной платформы на БОГТ.

С другой стороны, имеются реализованные морские сооружения, которые не являются МНГС и при этом подтверждают потенциальную применимость технологий для обустройства месторождений углеводородов на шельфе. В качестве примера можно привести представленные на рис. 3 мол-причал для плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» в г. Певек (введена в эксплуатацию в 2019 г. [12]) и причальные сооружения Салмановского газоконденсатного месторождения (введены в эксплуатацию в 2016 г. [13]). Оба сооружения подтверждают применимость технологии оконтуренных трубчатым шпунтом искусственных грунтовых островов в качестве основания для размещения оборудования для бурения скважин, добычи, подготовки и экспорта нефти и газа на мелководном арктическом шельфе России. Эти сооружения являются примерами успешного применения



Рисунок 2. Внешний вид буровой установки CONDRILL (проект) и платформы «Лунская-А» (проект «Сахалин-2») [11]
Figure 2. External view of the CONDRILL drilling rig (project) and the Lunskaia-A platform Sakhalin-2 project [11]



**Рисунок 3. Мол-причал ПАТЭС в г. Певек и причальные сооружения Салмановского ГКМ [12, 13]
Figure 3. Mole-berth of FNPP in Pevек and berthing facilities of the Salmanovskoye GCF [12, 13]**

определенной технологии для выполнения функции с характеристиками, аналогичными требованиям к функции основания МНГС в сравнимых условиях окружающей среды.

Итак, в соответствии с принятыми в мире практиками в проект системы обустройства месторождения должны закладываться подтвержденные технологии [14]. Включение в проект неподтвержденной (новой) технологии ведет к появлению непредсказуемых технических проблем. В случае, если возникает необходимость использовать неподтвержденную технологию для реализации системы обустройства, то такая технология должна пройти дорогостоящий и продолжительный процесс разработки и (или) квалификации. В любом случае применение неподтвержденной технологии неизбежно ведет к резкому росту стоимости и сроков реализации проекта, оказывающему негативное влияние на его рентабельность. Отраслевым специалистам хорошо известны примеры такого рода из практики отечественных нефтегазовых компаний.

Подтвержденность технологии является важным, но не единственным необходимым условием, обеспечивающим минимизацию затрат на реализацию системы обустройства. Технология также должна быть доступной. Это значит, что на рынке в свободном доступе по конкурентным ценам для НГК должны быть доступны:

- оборудование и материалы (в том числе с длительным сроком поставки);
- услуги производственных, строительных и транспортных предприятий с возможностями, достаточными для изготовления, транспортировки и интеграции подсистем и конструкций (в части ограничений по весу, габаритным размерам, производственным процессам и др.);
- услуги по проектированию, строительству и эксплуатации (т. е. на рынке должны присутствовать профильные компании, имеющие в своем штате инженеров, производственных и строительных рабочих, специалистов по эксплуатации и др. в необходимом количестве и с требуемыми компетенциями).

Следует обратить внимание, что на предмет доступности должны анализироваться не только технологии, непосредственно входящие в состав объектов обустройства, но и обеспечивающие технологии¹⁴, в том числе производственные, строительные и другие предприятия,

участие которых необходимо для реализации и эксплуатации МНГС, а также продукция этих предприятий. В противоположность доступной технология является недоступной, если отсутствует возможность приобрести ее на условиях, приемлемых для потребителя. Технология может быть недоступной из-за того, что она просто не существует. Например, технологии подводной добычи не существовали до 1970-х гг., когда они были созданы для выполнения новых задач по добыче углеводородов на глубинах воды за пределами возможностей МНГС с опорой на морское дно. Технология может быть недоступной и по другим причинам. Например, если проектная организация сконструирует стальное кессонное основание МНГС с размерно-весовыми характеристиками, превышающими производственные возможности региональных судостроительных заводов, или если эти судостроительные заводы загружены заказами на годы вперед. В обоих случаях технология стального кессонного основания будет недоступной. Наконец, технология может быть недоступной из-за того, что ее цена превышает ограничения, накладываемые экономической моделью разработки месторождения в части рентабельности.

Зарубежные НГК предусмотрительно избегают применения недоступных технологий для реализации МНГС. Этому способствует то, что в настоящее время основной объем выполняемых зарубежными НГК работ приходится на Северное море, Мексиканский залив, Персидский залив, Западную Африку и другие районы, где уже эксплуатируются тысячи МНГС. За десятилетия, прошедшие с начала освоения месторождений в этих районах (Мексиканский залив – с конца 1930-х гг., Северное море – с конца 1960-х гг.), зарубежные НГК вложили в обустройство сотни миллиардов долларов. Опираясь на эти инвестиции, проектные и производственные компании-подрядчики разработали унифицированные и оптимизированные технологии, позволяющие собирать МНГС как из блоков «LEGO». В результате проблема доступности технологий для обустройства шельфовых месторождений за пределами России сегодня сохраняет свою актуальность только для проектов, являющихся уникальными в части технических решений и (или) места расположения.

Наличие доступных технологий (которые также должны быть и подтвержденными) позволяет значитель-

¹⁴ ISO/IEC/IEEE 15288:2015. Systems and software engineering – System life cycle processes. 2015. 108 p.

Таблица 2. Сравнение продолжительности стадий шельфовых проектов в неосвоенных (месторождения Hibernia, Hebron) и освоенных (месторождения Edvard Grieg, Johan Sverdrup) районах Мирового океана. Составлено авторами по данным веб-сайтов перечисленных проектов

Table 2. Comparison of the duration of the stages of offshore projects in the undeveloped (fields Hibernia, Hebron) and developed (fields Edvard Grieg, Johan Sverdrup) areas of the World Ocean. Compiled by the authors based on the websites of the listed projects

Проект (месторождение)	Стадия «Оценка»/ Анализ реализуемо- сти, лет	Стадии «Выбор и Определе- ние»/Разработка концепции, лет	Начало добычи (количество лет после завершения стадии «Определение»)	Добыча, макс. барр./ сут
Hibernia	7	5	7	230 000
Hebron	28	6	4*	150 000
Edvard Grieg	3	2	3	535 000
Johan Sverdrup	3	2	4	440 000

*Для реализации проекта Hebron была использована производственная инфраструктура, ранее построенная для реализации проекта Hibernia, и специальные марки бетона, разработанные также для проекта Hibernia. Доступность технологии позволила сократить продолжительность детального проектирования и строительства платформы Hebron почти в 2 раза по сравнению с Hibernia.

но улучшить экономические показатели проекта, в том числе за счет сокращения периода времени до ввода месторождения в эксплуатацию. Для примера в табл. 2 показаны продолжительности стадий реализации проектов освоения четырех месторождений. Первые два – Hibernia и Hebron – расположены в малоосвоенном районе субарктической акватории Атлантического океана на расстоянии примерно 350 км от побережья о. Ньюфаундленд (Канада), где на сегодняшний день эксплуатируется всего четыре МНГС – две платформы на БОГТ и две FPSO (плавучая платформа судового типа для добычи, хранения и отгрузки нефти). Вторые два – Edvard Grieg и Johan Sverdrup – расположены в Северном море, где эксплуатируется более 1000 МНГС [15]¹⁵.

Следует обратить внимание, на то, что большинство месторождений на шельфе России расположены в новых и малоосвоенных районах и для их обустройства требуются уникальные решения. В связи с этим российским НГК следует проявлять осторожность, привлекая для выполнения работ иностранные инжиниринговые компании с опытом работы в освоенных районах Мирового океана. Разработка МНГС для малоосвоенного региона и «сборка» МНГС из унифицированных блоков подразумевают принципиально разные компетенции проектных команд.

Место расположения МНГС может сделать безальтернативным применение технологии, недоступной в данном регионе. Хорошо известными примерами являются БОГТ платформ Беркут (проект «Сахалин-1»), Лунская-А и Пильтун-Астоская-Б (проект «Сахалин-2»), Hibernia, Hebron, расширение проекта White Rose, БОГТ для завода СПГ проекта «Арктик СПГ-2». Во всех случаях для обеспечения доступности технологии БОГТ потребовалось создание или модернизация строительной инфраструктуры, включая сухой док, подъемное и транспортное оборудование, бетонный завод, цеха для изготовления компонентов механического оснащения БОГТ, складов, офисов, жилого комплекса, логистического обеспечения и т. д. Строительная инфраструктура является «обеспечи-

вающей технологией» и необходимой частью технологии самой БОГТ. В соответствии с принятыми в мире практиками разработка БОГТ и строительной инфраструктуры должны выполняться в тесной взаимосвязи с самых ранних этапов проектирования обустройства [16].

Аналогично подтвержденным технологиям, в проект системы обустройства должны закладываться только доступные технологии. Применение технологии с непроверенной доступностью, как правило, заканчивается значительными затратами денежных средств и времени на переработку проекта с очевидным негативным влиянием на рентабельность разработки месторождения. Примеры включения в проекты МНГС технологий с непроверенной доступностью встречаются в отечественной практике также достаточно часто.

Третье условие обеспечения рентабельности разработки морских месторождений углеводородов зарубежными НГК рассмотрим на практическом примере концептуальной стадии проектирования обустройства. Напомним, что третье условие состоит в том, что комплекс формирующих систему обустройства технологий должен удовлетворять требованиям к эффективности выполнения производственной задачи и ограничениям на стоимость освоения месторождения. В качестве примера выбрано месторождение White Rose [17], открытое в 1984 г. и введенное в эксплуатацию в 2005 г. Проект расположен вблизи уже упомянутых проектов Hibernia и Hebron. Оператор проекта – компания Husky Oil Operations Limited (Канада). Изучение опыта обустройства именно этого месторождения имеет для наших целей двойной интерес. Во-первых, проект реализован в малоосвоенной нефтегазоносной провинции на субарктическом шельфе с высокими рисками окружающей среды, что роднит его с потенциальными проектами на шельфе России. Во-вторых, проект реализован в период, когда крупнейшие зарубежные НГК массово внедряли в свою практику системный подход [18]. Внедрение системного подхода было в значительной мере мотивировано необходимостью повышения

¹⁵ As North Sea Oil Wanes, Removing Abandoned Rigs Stirs Controversy. <https://e360.yale.edu/features/as-north-sea-oil-wanes-removing-abandoned-rigs-stirs-controversy>

Таблица 3. Этап 1 выбора системы обустройства для месторождения White Rose. Составлено авторами по данным [19]
Table 3. Phase 1 selection of infrastructure system for the White Rose field. Compiled by the authors according to [19]

Потенциально реализуемые варианты	Критерии принятия решения
Стальная FPSO	Стальные FPSO с турелями, обеспечивающими отсоединение в случае ледовой опасности, применялись с 1980-х гг. и были подтвержденной и потенциально доступной технологией. В 2002 г. в эксплуатацию была введена аналогичная FPSO Terra Nova на одноименном месторождении, на удалении примерно 50 км от White Rose. FPSO и другие плавучие платформы подразумевают подводное заканчивание скважин
Бетонная FPSO	На продолжении разработки варианта бетонной FPSO настоял инжиниринговый подрядчик – компания Kvaerner SNC Lavalin Offshore, эксперт в области бетонных сооружений для обустройства морских месторождений. Решение было принято с учетом рисков и неопределенностей на фоне отсутствия примеров практического применения бетонных FPSO. Также была учтена доступность решения из-за наличия производственной инфраструктуры на о. Ньюфаундленд (см. ниже)
Стальная FPDSO (плавучая платформа судового типа для добычи, бурения, хранения и отгрузки нефти)	Исключена как неподтвержденная технология
Стационарная платформа на БОГТ	Стационарная платформа на БОГТ Hibernia была введена в эксплуатацию в 1997 г. на одноименном месторождении, расположенном приблизительно в 50 км от месторождения White Rose. Для строительства платформы Hibernia на о. Ньюфаундленд была создана производственная инфраструктура. Таким образом, технология платформ на БОГТ была подтвержденной и потенциально доступной
Стальная полупогружная платформа в вариантах с хранением нефти и без хранения	Стальные полупогружные платформы для добычи нефти эксплуатировались с 1975 г. и были подтвержденной и потенциально доступной технологией. Отсоединение платформ в случае ледовой опасности выполняется аналогично FPSO
Бетонная полупогружная платформа	Решение о продолжении разработки бетонной полупогружной платформы было принято аналогично решению в отношении бетонного FPSO. Единственной в мире бетонной полупогружной платформой была и остается Troll B, введенная в эксплуатацию в 1995 г. в Северном море
Отсоединяемая бетонная TLP (полупогружная платформа с натяжными опорами)	Исключена как неподтвержденная технология
Плавучая добычная платформа (FPU) с бетонной защитной стеной	Исключена как неподтвержденная технология

рентабельности сложных и дорогостоящих шельфовых проектов на фоне продолжительного периода сравнительно невысокой цены нефти, начавшегося в конце 1980-х гг.

Прежде всего, надо обратить внимание, на то, что проектирование обустройства месторождения по критерию оптимального соотношения стоимости и эффективности возможно только после определения параметров разработки месторождения. В период с 1984 по 2000 г. на месторождении White Rose было пробурено четыре поисково-разведочные и четыре оконтуривающие скважины, проведены 3D сейсмические исследования, выполнены инженерные изыскания. На основании результатов бурения и испытания скважин, исследования керна, интерпретации результатов сейсмических исследований были подтверждены коммерческие запасы углеводородов и подготовлен проект разработки месторождения. Параллельно геологоразведочным работам были выполнены рыночные исследования и разработана экономическая модель разработки месторождения, охватывающая рыночный спрос на углеводороды, прогнозы цен, затраты на

доставку продукции потребителям. По совокупности выполненных работ были сформулированы производственные требования к системе обустройства месторождения и определены технические и экономические ограничения на ее реализацию.

В ноябре 1999 г. (т. е. по достижении определенности в части проекта разработки месторождения и экономической модели) были инициированы работы по выбору системы обустройства [19]. На первом этапе были синтезированы восемь «потенциально реализуемых» вариантов обустройства месторождения. Анализ технологий по критериям подтвержденная/неподтвержденная и доступная/недоступная позволил сразу исключить три варианта. Схема реализации первого этапа представлена в табл. 3. Все технологии для комплексирования прошедших отсева вариантов системы обустройства месторождения можно было приобрести на конкурентном рынке.

После исключения неподтвержденных технологий на первый план вышел анализ стоимости и эффективности выполнения производственных задач освоения и раз-

работки месторождения. При оптимизации системы по критериям стоимости и эффективности надо помнить, что зависимость между этими параметрами всегда описывается законом убывающей результативности. Согласно этому закону, в области достаточно высоких и поэтому приемлемых для практической деятельности значений эффективности затраты на реализацию системы растут значительно быстрее эффективности [20]. Как следствие, даже небольшое превышение «достаточного» уровня эффективности любой технологии в составе системы ведет к резкому росту стоимости системы на всех стадиях жизненного цикла. Эффективность системы обустройства является интегральным параметром и охватывает промышленную безопасность, охрану окружающей среды, количество, состав и качество продукта, экономические показатели, надежность, ремонтпригодность, материально-техническое снабжение и пр. Таким образом, эффективность является сложной функцией многих переменных, нелинейно влияющих друг на друга и на общую эффективность. Проектирование системы с оптимальной эффективностью является трудной задачей, выполнение которой доступно сегодня только командам высококвалифицированных проектировщиков. Для оценки вариантов системы обустройства месторождения White Rose стоимость каждого оптимизированного по эффективности варианта была выражена через капитальные и операционные затраты, продолжительность производства и строительства, риски и пр. Затем полученные стоимости вариантов обустройства были при помощи экономической модели разработки месторождения проверены на соответствие ограничениям сверху с использованием чистой приведенной текущей стоимости, нормы рентабельности

и других экономических критериев. Соотношения между вариантами обустройства месторождения White Rose проиллюстрированы на рис. 4, 5. Со ссылкой на НГК-оператора проекта, только два варианта обустройства месторождения из пяти оказались доступными по затратам, а именно FPSO и стальная полупогружная платформа. По критерию «стоимость–эффективность» обустройства месторождения был выбран вариант FPSO.

В октябре 2000 г. был подписан контракт на разработку FEED с компанией Maersk Contractors, которая в дальнейшем выполнила функцию EPCIC подрядчика¹⁶. В 2002 г. были подписаны контракты на производство и строительство FPSO. Корпус судна был построен компанией Samsung Heavy Industries (Южная Корея), турель с возможностью отсоединения FPSO – компанией SBM IMODCO (Дания) и верхнее строение – компанией Aker Maritime Kiewit Contractors (АМКК), совместным предприятием компаний Peter Kiewit Sons Co. Ltd. (Канада) и Aker Oil and Gas Technology Ltd. (Великобритания)¹⁷.

На основании выполненного обзора зарубежных практик по реализации экономико-технологического подхода к обустройству морских месторождений углеводородов можно сформулировать три рекомендации с потенциалом реализации рентабельных нефтегазовых проектов на российском шельфе:

1. При выборе для реализации нефтегазовых проектов на арктическом шельфе в первую очередь рекомендуется сосредоточиться на проектах, которые могут быть выполнены с использованием как можно более простых технологий – подтвержденных и доступных. Например, месторождения в Обско-Тазовской губе и на мелководном Приямальском шельфе потенциально могут быть

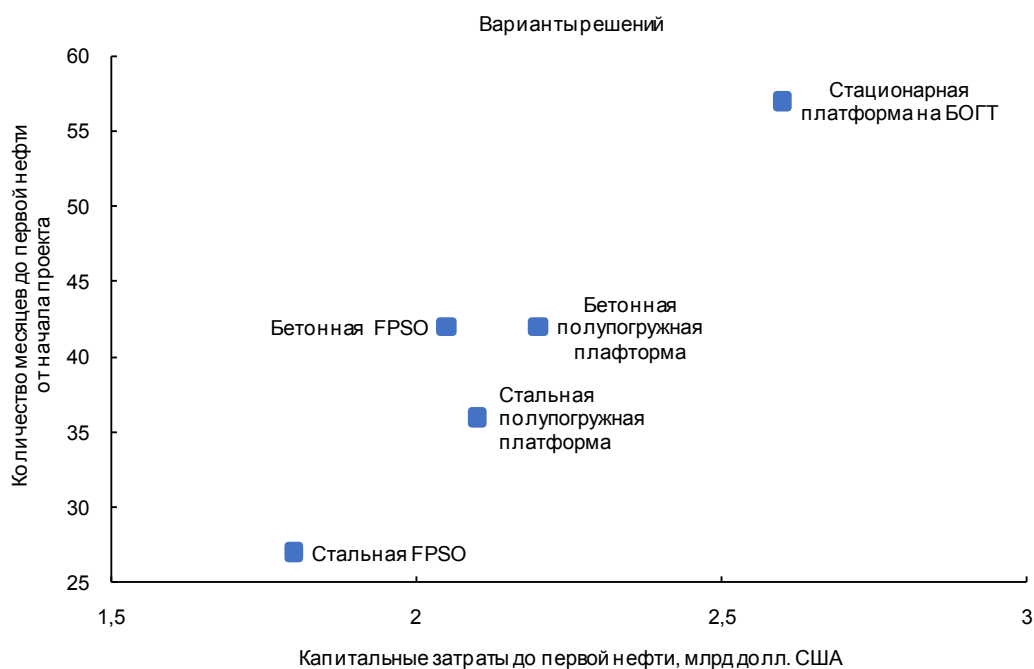


Рисунок 4. Капитальные затраты и продолжительность строительства по вариантам обустройства месторождения White Rose [17]
 Figure 4. Capital costs and construction time for White Rose field development options [17]

¹⁶ Searose Floating Production, Storage and Offloading (FPSO) Vessel / Ship Technology. URL: <https://www.ship-technology.com/projects/searose/>

¹⁷ White Rose Oil and Gas Field, Canada / Offshore Technology. URL: https://www.offshore-technology.com/projects/white_rose

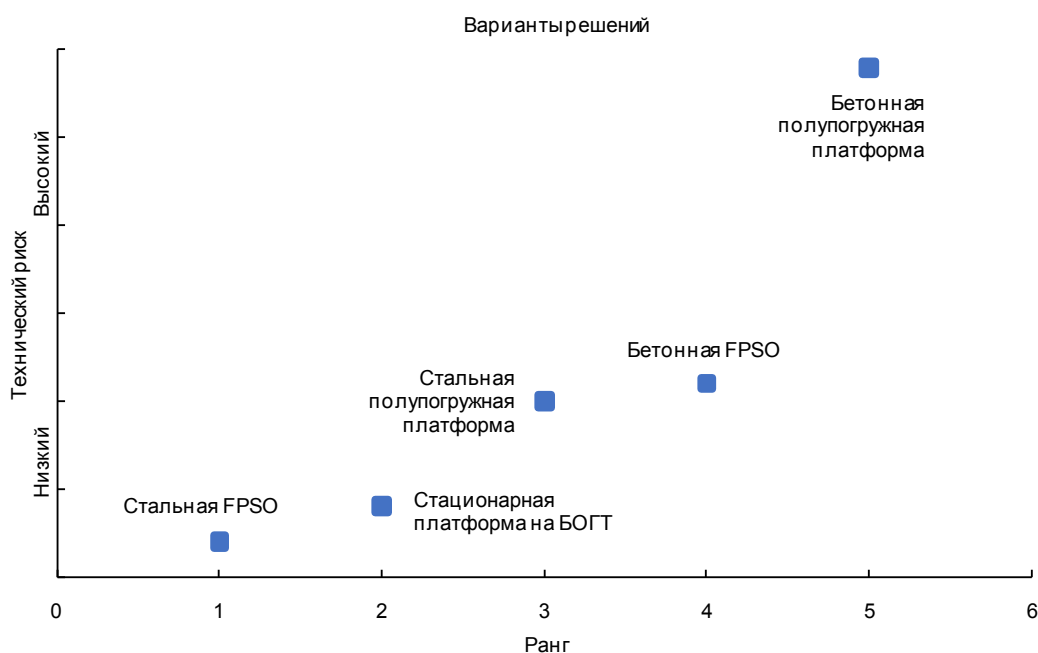


Рисунок 5. Относительный технический риск по вариантам обустройства месторождения White Rose [17]
Figure 5. Relative technical risk by White Rose field development options [17]

обустроены искусственными насыпными островами с укрепленным периметром и обычным наземным нефтегазодобывающим оборудованием;

2. При контрактовании инжиниринговых компаний для разработки концептуальных проектов МНГС для обустройства месторождений рекомендуется формировать четкий набор производственных требований (описание хозяйственной задачи, включая проект разработки месторождения), технических ограничений (окружающая среда, логистика, интерфейс), а также ограничений на

капитальные и операционные затраты (экономическая модель разработки месторождения);

3. Рекомендуется изучить, освоить и активно применять принципы и правила, заложенные в проектные регламенты зарубежных НГК и ЕРС компаний. Состав, содержание, последовательность и взаимосвязи определяемых этими регламентами проектных работ доведены до совершенства десятилетиями практики. Их эффективность подтверждается тысячами успешно построенных и эксплуатирующихся МНГС во всех регионах мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мастепанов А. М. О конкурентоспособности нефтегазовых проектов арктического шельфа в условиях низких цен на энергоресурсы // Деловой журнал NEFTGAZ.RU. 2017. № 1(61). С. 20–30.
2. Status of Offshore Oil and Gas Activities and Regulatory Framework in the Arctic. Arctic Council. PAME. Protection of the Arctic Marine Environment. May 2021. 72 p.
3. Badiru A. B., Osisanya S. O. Project Management for the Oil and Gas Industry: A World System Approach. 1st edition. Boca Raton: CRC Press, 2013. January 23. 784 p. <https://doi.org/10.1201/b13755>
4. Пападмитриева Л. В. Концептуальное проектирование при освоении месторождений углеводородов на шельфе // Микроэкономика. 2021. № 5. С. 62–73. <https://doi.org/10.33917/mic-5.100.2021.62-73>
5. Bergman M., Mark G. Technology Choice as a First Step in Design: The Interplay of Procedural and Sensemaking Processes // Symposium on Designing Interactive Systems. 2002. P. 224–234. <https://doi.org/10.1145/778712.778744>
6. Arctic Leadership. ExxonMobil. URL: <https://www.imperialoil.ca/-/media/Imperial/Files/Arctic-leadership.pdf?la=en-CA&hash=C8FD-C74F37E0890D4B11BF552FB1C2E8BE743545>
7. Li G., Zhang D., Yue Q. Life-Cycle Cost-Effective Optimum Design of Ice-Resistant Offshore Platforms // Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. 2009. August. Vol. 131. P. 1–9. <https://doi.org/10.1115/1.3124138>
8. Hitchins D. Systems Engineering: A 21st Century Systems Methodology. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2007. 544 p. <https://doi.org/10.1002/9780470518762>
9. Kawauchi Y., Rausand M. Life Cycle Cost (LCC) Analysis in Oil and Chemical Process Industries / Department of Production and Quality Engineering. Norwegian University of Science and Technology. Report no. NTNU 99007. June 22, 1999. 78 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228594034>
10. Qualification of New Technology. Recommended Practice. DNV-RP-A203. Det Norske Veritas AS. July 2011. 78 p.
11. Concrete drilling platform could extend exploration season offshore northern Russia. URL: <https://www.offshore-mag.com/home/article/16804521/concrete-drilling-platform-could-extend-exploration-season-offshore-northern-russia>
12. Певек ожидает прибытия кораблей по трассам Северного морского пути / Атомная энергия. URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/11/17/119476>
13. Обустройство причальных сооружений Салмановского (Утреннего) нефтегазоконденсатного месторождения / Морстройтехнология. URL: <https://morproekt.ru/projects/430-obustrojstvo-prichalnykh-sooruzhenij-salmanovskogo-utrennego-neftegazokondensatnogo-mestorozhdeniya>
14. O'Connor P. A Preliminary Concept for an LNG Import Terminal for Saldanha Bay. Stellenbosch University. 2014. April. 231 p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/37421142.pdf> MAG: 2117829520
15. As North Sea Oil Wanes, Removing Abandoned Rigs Stirs Controversy / Yale Environment 360. URL: <https://e360.yale.edu/features/as-north-sea-oil-wanes-removing-abandoned-rigs-stirs-controversy>

16. Gervais F., Collet P., Fourneraut M. (Total SA). GBS LNG as a near shore concept for LNG development // 19-th International Conference and Exhibition on Liquefied Natural Gas (Shanghai, 1–5 April, 2019). 12 p.
17. White Rose Oilfield Development Application. Project Summary. Submitted by Husky Oil Operations Limited (as Operator). 2001. January. 121 p.
18. Parth F. R. Successful Program Delivery Starts Long Before the Program Does. Part 2 // PM World Journal. 2016. August. Vol. V. Issue VIII. P. 1–20. URL: <https://pmworldlibrary.net/wp-content/uploads/2016/09/pmwj50-Sep2016-Parth-Successful-Program-Delivery-part3-featured-paper.pdf>
19. White Rose Development Application. Vol. 2. Development Plan. Submitted by Husky Oil Operations Limited (as Operator). 2001. January. 40 p.
20. Farr J. V. Life Cycle Cost Considerations for Complex Systems // Systems Engineering: Practice and Theory. 2012. P. 127–146. <https://doi.org/10.5772/32063>

Статья поступила в редакцию 11 февраля 2023 года

Economic and technological approach to the design of offshore field development. Review of foreign practices

Larisa Vladimirovna PAPADMITRIEVA^{1*}
Dmitriy Vladimirovich KAZAKOVTSSEV^{2**}

¹Gubkin University, Moscow, Russia

²LLC "Morneftegazproekt", Moscow, Russia

Abstract

Relevance. The high profitability potential of hydrocarbon production on the Russian Arctic shelf is one of the significant factors for the further development of the Russian oil and gas complex. For decades, international oil and gas companies (OGCs) have been successfully implementing large capital-intensive projects to develop offshore fields in underdeveloped regions with severe climatic conditions, including at unfavorable oil prices.

The purpose of the research is to identify the features of the methodology used by international oil and gas companies to implement projects that ensure their success.

Methodology. Systematic approach, methods of analysis, comparison, differentiation.

Results. In the course of the study, the content of a systematic approach to the development of offshore fields was disclosed as the basis of the methodology in terms of the optimal choice and integration of technologies in the field development system in terms of cost and efficiency. The concepts and relationships between the system, subsystem and technology are defined. It is shown that the profitability of field development is ensured by compliance with the necessary criteria for the applicability of technologies as part of the development system. At the same time, the technologies must be confirmed by the practice of performing a similar production task under comparable conditions and are available for purchase in a competitive market, and they must also meet the requirements for the efficiency of performing a production task and restrictions on the cost of developing a field. The theoretical aspects of the methodology are illustrated with practical examples of the assessment and selection of technologies according to the specified criteria, including the implemented system of offshore field development in a poorly developed region. Based on the results of the study, recommendations were formulated on the selection of offshore fields for priority development and exploitation, the choice of technologies for field construction, as well as the application of accepted international regulations for more active implementation of oil and gas projects on the Russian Arctic shelf.

Conclusions. Based on the review of foreign practices, it is recommended to: 1) focus primarily on projects using proven and available technologies; 2) clearly form a set of requirements for the developed projects; 3) apply the principles and rules laid down in the design regulations of foreign oil and gas companies and EPC companies.

Keywords: oil and gas company, profitability of offshore hydrocarbon field development, systemic approach, development system, technology, Arctic shelf, offshore oil and gas facility, oil production.

REFERENCES

1. Mastepanov A. M. 2017, On the competitiveness of oil and gas projects on the Arctic shelf in the context of low energy prices. *Delovoy zhurnal NEFTEGAZ.RU* [business magazine NEFTEGAZ.RU], no. 1(61), pp. 20–30. (In Russ.)
2. Status of Offshore Oil and Gas Activities and Regulatory Framework in the Arctic. Arctic Council. PAME. Protection of the Arctic Marine Environment, 2021. 72 p.
3. Badiru A. B., Osisanya S. O. 2013, Project Management for the Oil and Gas Industry: A World System Approach. 1st edition. Boca Raton: CRC Press, 2013, 784 p. <https://doi.org/10.1201/b13755>
4. Papadmitrieva L. V. 2021, Conceptual design in the development of hydrocarbon deposits on the shelf. *Microekonomika* [Microeconomics], no. 5, pp. 62–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.33917/mic-5.100.2021.62-73>
5. Bergman M., Mark G. 2002, Technology Choice as a First Step in Design: The Interplay of Procedural and Sensemaking Processes. Symposium on Designing Interactive Systems, pp. 224–234. <https://doi.org/10.1145/778712.778744>
6. Arctic Leadership. ExxonMobil. URL: <https://www.imperialoil.ca/-/media/Imperial/Files/Arctic-leadership.pdf?la=en-CA&hash=C8FD-C74F37E0890D4B11BF552FB1C2E8BE743545>
7. Li G., Zhang D., Yue Q. 2009, Life-Cycle Cost-Effective Optimum Design of Ice-Resistant Offshore Platforms. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 131, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1115/1.3124138>
8. Hitchins D. 2007, Systems Engineering: A 21st Century Systems Methodology. Chichester, England, 544 p. <https://doi.org/10.1002/9780470518762>
9. Kawauchi Y., Rausand M. 1999, Life Cycle Cost (LCC) Analysis in Oil and Chemical Process Industries. Department of Production and Quality

✉ papadmitrieva.l@gubkin.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1444-3174>

**dmitry.kazakovtsev@gmail.com, d.kazakovtsev@mngproject.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5991-8508>

- Engineering. *Norwegian University of Science and Technology*. Report no. NTNU 99007, 78 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228594034>
10. Qualification of New Technology. Recommended Practice. DNV-RP-A203. Det Norske Veritas AS. July 2011. 78 p.
11. Concrete drilling platform could extend exploration season offshore northern Russia. URL: <https://www.offshore-mag.com/home/article/16804521/concrete-drilling-platform-could-extend-exploration-season-offshore-northern-russia>
12. Pevek awaits the arrival of ships along the Northern Sea Route. *Atomnaya energiya* [Atomic Energy]. (In Russ.) URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/11/17/119476>
13. Arrangement of berthing facilities of the Salmanovskoye (Utrenneye) oil and gas condensate field. *Morstroitekhnologiya* [Morstroytechnologiya]. (In Russ.) URL: <https://morproekt.ru/projects/430-obustrojstvo-prichalnykh-sooruzhenij-salmanovskogo-utrennego-neftegazokondensatnogo-mestorozhdeniya>
14. O'Connor P. A Preliminary Concept for an LNG Import Terminal for Saldanha Bay. Stellenbosch University, 2014, 231 p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/37421142.pdf> MAG: 2117829520
15. As North Sea Oil Wanes, Removing Abandoned Rigs Stirs Controversy. *Yale Environment* 360. URL: <https://e360.yale.edu/features/as-north-sea-oil-wanes-removing-abandoned-rigs-stirs-controversy>
16. Gervais F., Collet P., Fourneraut M. (Total SA) 2019, GBS LNG as a near shore concept for LNG development. 19-th International Conference and Exhibition on Liquefied Natural Gas, 12 p.
17. White Rose Oilfield Development Application. Project Summary. Submitted by Husky Oil Operations Limited (as Operator). 2001. January. 121 p.
18. Parth F. R. 2016, Successful Program Delivery Starts Long Before the Program Does. Part 2. *PM World Journal*, vol. 5, issue 8, pp. 1–20. URL: <https://pmworldlibrary.net/wp-content/uploads/2016/09/pmwj50-Sep2016-Parth-Successful-Program-Delivery-part3-featured-paper.pdf>
19. White Rose Development Application, vol. 2. Development Plan. Submitted by Husky Oil Operations Limited (as Operator), 2001, 40 p.
20. Farr J. V. 2012, Life Cycle Cost Considerations for Complex Systems. *Systems Engineering: Practice and Theory*, pp. 127–146. <https://doi.org/10.5772/32063>

The article was received on February 11, 2023

К вопросу о привлечении инвестиций в мероприятия по повышению эффективности использования энергетических ресурсов

Илья Юрьевич ПОЛЕТАЕВ*

АО «Институт региональных экономических исследований (ИРЭИ)», Москва, Россия

Аннотация

Цель и актуальность работы. Проблема экономии всех видов энергии и эффективности использования ископаемого топлива для России является ключевой. Финансирование мероприятий по повышению эффективности использования энергетических ресурсов по-прежнему является актуальной проблемой современности. Важнейшим вопросом является определение условий, необходимых для успешного привлечения инвестиционного капитала в общегосударственные и региональные мероприятия по повышению энергоэффективности в Российской Федерации. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования мероприятий в данной сфере.

Методология. На основе анализа действующих нормативных документов в области энергосбережения и энергоэффективности и практики их реализации рассмотрены теоретико-методологические вопросы и возможности привлечения инвестиционного капитала в сферу энергосбережения и энергоэффективности.

Результаты и область применения. Показана определяющая роль государственных, муниципальных и региональных органов исполнительной власти и банковского сектора в содействии инвестициям в энергоэффективные мероприятия. Обращается особое внимание на важность проведения работы по стимулированию энергосберегающего поведения потребителей энергии (организаций и населения), а также на необходимость повышения ответственности федеральных органов исполнительной власти и руководителей предприятий и организаций всех отраслей экономики за выполнение запланированных мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности. Материалы работы могут быть использованы в процессе формирования и реализации федеральных и региональных целевых программ в области энергосбережения.

Выводы. Автором сформулирован вывод о необходимости усиления государственной поддержки повышения инвестиционной привлекательности мероприятий по повышению энергоэффективности, корректировки государственной политики в части популяризации этих мероприятий и усиления государственного контроля за их выполнением.

Ключевые слова: государство, инвестиции, регион, ресурсы, энергоносители, энергосервисный контракт, энергоэффективность.

Введение

Эффективное использование энергетических ресурсов – один из ключевых аспектов развития и повышения благосостояния общества. Мероприятия по повышению энергоэффективности уменьшают объем потребляемых энергетических ресурсов и выбросы парниковых газов, одновременно снижая нагрузку на линии передач и снижая затраты конечных потребителей. Международное энергетическое агентство (МЭА) называет энергоэффективность первым топливом устойчивой глобальной энергетической системы [1].

Задача руководства муниципальных образований, организаций и предприятий регионов Российской Федерации в решении запланированных задач региональных Программ повышения энергоэффективности и аналогичных Программ организаций заключается в определении необходимости, разработке и осуществлении меропри-

ятий по привлечению финансирования или инвестиций для этих нужд [2].

Содержание исследования и его результаты

В настоящее время, согласно тому, что частные коммерческие предприятия «и так» заинтересованы в экономии всех видов ресурсов (материальных, энергетических и других), основное внимание государства (финансирование и управление мероприятиями) обращено на компании с государственным участием и государственные учреждения или организации с участием муниципального образования. Примером тому может служить и ряд других нормативов [3].

Тем не менее количество компаний с государственным участием ежегодно сокращается. Так, согласно прогнозному плану приватизации федерального имущества, в 2020–2022 гг. была предусмотрена приватизация нахо-

*poletaev1@gmail.com

дящихся в федеральной собственности 86 федеральных государственных унитарных предприятий и акций 186 акционерных обществ [4]. Кроме того, приватизации подлежали также доли участия Российской Федерации в 13 обществах с ограниченной ответственностью и более одной тысячи объектов другого имущества государственной казны. По итогам 2024 г. (к уровню 2020 г.), за пять лет количество компаний с государственным участием должно сократиться более чем в 1,5 раза, до 961 организаций, как следует из [5]. Согласно данному документу, при 1465 организациях с государственным участием в 2020 г. их количество в 2021 г. снизится до 1319, в 2022 г. – до 1187, в 2023 г. – до 1068 и в 2024 г. достигнет 961.

Влияние государства на деятельность коммерческих организаций осуществляется с учетом сложившейся экономической ситуации, посредством различных налоговых механизмов, субсидирования некоторых отраслей экономики, регулирования трудовых отношений и прочих правовых и экономических норм. При этом в стране отсутствует единый механизм координации взаимодействия и развития исполнительной власти и бизнеса [6]. Также слабо развито эффективное взаимодействие органов государственного управления с ассоциациями и союзами бизнеса в части обеспечения развития экономики и предприятий бизнеса.

На фоне фактического отказа государства с марта 2019 г. от централизованной поддержки мероприятий по энергоэффективности на федеральном уровне и прекращения финансирования как отраслевых, так и региональных мероприятий по повышению энергоэффективности требования Указа Президента [7] и положения Федерального закона [8] остаются в силе.

Во исполнение требований указанных документов, в конце 2021 г. по поручению Президента России и для достижения целей «Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» Министерство экономического развития РФ начало работу над разработкой новой государственной программы «Энергосбережение и повышение энергоэффективности на период до 2035 года».

Дополнительно приказом Минэкономразвития № 636 от 2022 г. [9] определены 5 факторов (всего 15 индикаторов), по которым субъекты Российской Федерации оцениваются по уровню реализации государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Пунктом 2 приложения 4 к данному документу определен Перечень мероприятий, относящихся к организационному и методическому обеспечению развития энергосбережения и повышения энергетической эффективности в субъекте Российской Федерации:

- разработка и актуализация соответствующих программ, проектов и мероприятий внедрения технологий энергосбережения;
- разработка проектов нормативных правовых актов;
- разработка методических материалов и рекомендаций;
- информационно-просветительская и образовательная деятельность в данной области;
- обеспечение функционирования и сопровождение информационных систем;

– оказание услуг в сфере обследований, измерений, испытаний в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

При наличии в данном Перечне таких малозатратных мероприятий, как разработка проектов нормативных актов, многие из них, к примеру, осуществление мероприятий по внедрению новых технологий, требуют существенных начальных финансовых вложений. При этом, как правило, первоначальное финансирование таких мероприятий и Программ повышения энергоэффективности осуществляется за счет ограниченных собственных средств субъектов Российской Федерации и организаций.

Разработку и осуществление проектов по энергоэффективности государственных или муниципальных предприятий и организаций осуществляют органы регионального и муниципального уровней.

При этом опыт выполнения предыдущих программ по энергоэффективности показал, что наиболее важным вопросом является финансирование планируемых мероприятий. **Во-первых**, в случае привлечения сторонних (частных) инвестиций и (или) получения кредитов инвесторам и кредиторам требуется гарантия погашения и получения в назначенный срок определенной доли экономического эффекта от реализованных мероприятий. Помимо этого необходимы гарантии о расходе полученных денежных средств по целевому назначению. Государственная и региональная политика в данном случае играет важнейшую роль по содействию инвестиционного финансирования и должна целенаправленно стимулировать капиталовложения в энергоэффективные методы и технологии. Государство должно обеспечить предоставление субсидий, государственных гарантий, обеспечение обязательств по кредитам, привлекаемым в сферу энергосбережения и энергоэффективности. В то же время крайне важно, чтобы такая государственная поддержка не ослабляла стимулы конечных потребителей к экономии энергии и повышению эффективности использования полученной (оплаченной) энергии.

Во-вторых, нестабильность мировых цен на нефть, скачки цен на сырье и сырьевые полуфабрикаты при существующей экономической и кредитной политике затрудняют стоимостную оценку ожидаемого экономического эффекта и сроки окупаемости. Это делает инвестиции в энергоэффективность менее приоритетными по сравнению с другими отраслями экономики из соображений экономической и энергетической безопасности.

В связи с этим государству и регионам необходимо проводить политику и создавать на местах условия, которые позволили бы государственному, муниципальному и частному предприятию (организации) разрабатывать и представлять потенциальному инвестору экономически оправданные и реальные к исполнению планы (программы) повышения энергоэффективности. В федеральных органах исполнительной власти на местах и организациях региона необходимо осуществить структурные изменения и деятельность так, чтобы это способствовало капиталовложениям в энергоэффективность. Также необходимо создавать привлекательные условия для инвестирования средств финансовых учреждений и коммерческих предприятий.

Инвестору, в том числе частному, важно анализировать все возможные существующие предложения рынка и провести предварительную оценку результативности вложений, ведь вложенные деньги должны как минимум окупаться. По отношению к мероприятиям по повышению энергетической эффективности инвестору необходимо понимание того, насколько они успешны и результативны и есть ли перспективы у этого направления в дальнейшем. Таким образом, произойдет отбор оптимальных объектов (мероприятий) энергосбережения, наиболее полно соответствующих целям одновременно и инвестора, и получателя инвестиций. Получение положительного результата (прибыль, маржа) от эффективных мероприятий неизбежно увеличит инвестиционную заинтересованность в данной сфере экономики и позволит определить приоритетные направления энергоэффективности. Станет возможным планировать размер прибыли и определять срок окупаемости проекта.

В-третьих, одним из основных препятствий, с которыми сталкиваются коммерческие организации при рассмотрении возможности инвестиций в повышение энергоэффективности, является ее заниженная приоритетность, обусловленная тем, что энергоэффективность не относится к основной производственной деятельности. Необходимо учитывать, что частная коммерческая компания преследует только свои интересы и цели бизнеса. Как следствие, у руководящего состава организаций и исполнителей не хватает понимания необходимости внедрения энергоэффективных технологий. В данном случае приоритетную роль будут играть информационно-просветительские мероприятия и обучение персонала. К таковым могут относиться обучающие курсы, лекции и вебинары, а также использование готовых решений, демонстрирующих финансовую выгоду. Руководители организаций всех уровней отраслей экономики помимо личного бытового потребительского поведения должны осознавать необходимость и важность проводимой общественной работы по воспитанию энергоэффективного поведения сотрудников в возглавляемых организациях. Кроме того, они (руководители) должны понимать, что любые финансовые вложения в энергоэффективность и энергосбережение сразу же начнут приносить экономию за счет сокращения расходов на потребляемую энергию. Расчетный эффект от принятых мер в организациях в частности и в регионах необходимо учитывать при планировании деятельности органов исполнительной власти и всех хозяйствующих субъектов региона.

Инвестирование в энергосбережение предприятия приносит два основных вида полезных экономических эффектов: первый – сокращение спроса на энергию и затрат на приобретение энергоносителей, второй – внедрение современного оборудования и технологий снижает себестоимость выпускаемой продукции и услуг и улучшает их качество. В свою очередь, высвободившиеся ресурсы способны в дальнейшем стать источниками финансирования инвестиционной деятельности.

Для каждого конкретного предприятия первоочередные меры повышения энергоэффективности и энергосбережения определяются на основе анализа показаний приборов учета потребления энергетических ресурсов,

сведений проведенных энергетических обследований (энергоаудита) и другой информации о деятельности организации. В частности, для производств одним из показателей будет являться количество бракованной продукции в процентах от общего объема в связи с затратами ресурсов не только на производство, но и на ремонт или утилизацию (переработку) бракованной продукции.

Следует отметить, что при отсутствии государственной поддержки финансирование проектов в данной области воспринимается инвесторами как более рискованное по сравнению с традиционными направлениями. Стабильные показатели экономической доходности инвестиций (с учетом риска) могут обеспечить планируемые инвестиции без необходимости проводить комплексную оценку «экологичности» проекта.

Энергоэффективность как товар потребует перестройки экономики с целью создания рынка, при котором инвестиции участников могут быть осуществлены с минимальными операционными издержками и с допустимым соотношением «доход–риск» в приемлемые сроки. Для этого могут потребоваться разработка и введение общероссийской системы стоимостной оценки неэкономических выгод, чтобы такие выгоды могли быть надлежащим образом учтены при принятии инвестиционных решений.

В-четвертых, инвестор должен быть мотивирован благоприятной для инвестиций средой. Для повышения инвестиционной привлекательности вложений в энергоэффективные мероприятия государству необходимо принять методику оценки бизнесом эффективности инвестиционных проектов, учесть в нормативных документах принципы принятия инвестиционных решений. Именно с экономической точки зрения необходимо организовать планирование инвестиционных мероприятий (проектов).

Управление и контроль реализации инвестиционных проектов в каждом регионе также должно осуществляться по единым для Российской Федерации принципам и показателям. В то же время зачастую региональные органы власти не могут «разрекламировать» свои проекты таким образом, чтобы сделать их привлекательными для инвестора. Регионам необходимо провести рационализацию управления, улучшение качества исходных данных и создание нормативного и организационно-правового режима, стимулирующего принятие потенциальными инвесторами эффективных инвестиционных решений. Также необходимо предоставление льготных условий налогообложения как для инвесторов, так и для получателей инвестиций [10]. При этом необходима разработка на государственном уровне дополнительных налогово-бюджетных мер, стимулирующих не только снижение объема расходования энергетических ресурсов конечными потребителями, но и снижение потерь при передаче как энергетических ресурсов (в том числе при их транспортировке), так и их производных (тепловая и электрическая энергия и т. п.) [11].

Безусловно, в настоящий момент разработаны и внесены в Налоговый кодекс РФ льготы организациям, осуществляющим мероприятия по энергосбережению и энергетической эффективности. Согласно статье 67 Налогового кодекса РФ, организациям, инвестирующим в

создание объектов и технологий высокой энергетической эффективности, может быть предоставлен инвестиционный налоговый кредит или инвестиционный налоговый вычет.

Кроме того, согласно статье 381 НК «Налоговые льготы» (п. 21), освобождаются от налогообложения: организации – в отношении вновь вводимых объектов, имеющих высокую энергетическую эффективность, в течение трех лет со дня постановки на учет указанного имущества; согласно [12], такими объектами являются тепловые насосы, солнечные коллекторы, солнечные батареи, инфракрасные обогреватели и т. п. К сожалению, в указанном нормативе не определены льготы для сторонних инвесторов данных мероприятий.

Налоги являются мощной стимулирующей мерой государства, которая может быть использована для привлечения средств на проекты в области энергоэффективности: через налоги на энергию с учетом планируемого объема потребления при помощи поощрения мер по энергосбережению или через налоговые льготы для привлечения инвестиций в повышение энергоэффективности. Освобождение от уплаты налогов – самая простая мера поддержки со стороны государства, которая использует уже существующие структуры и коммуникации, к тому же не требует значительных административных расходов.

При этом необходимо, чтобы налоговые меры соответствовали государственной политике, в которой повышенное потребление энергии наказывается, а эффективное использование ресурсов всех видов вознаграждается. При этом крайне важен регулярный пересмотр действующих нормативов и стандартов. Старые нормативно-правовые акты опираются на старые нормы и не способствуют прогрессу.

Должен быть разработан и отлажен на пилотных проектах механизм государственной поддержки финансирования в сфере проектов энергоэффективности. С 1 декабря 2022 г. в Сахалинской области стартовал шестилетний эксперимент по ограничению выбросов CO₂ [13]. В рамках данного эксперимента планируется модернизировать более половины имеющихся в регионе муниципальных котельных, перевести на газ более 37 тысяч домовладений и 157 предприятий, увеличить количество автомобильного электротранспорта, построить 5 ветропарков суммарной мощностью 200 мВт. Интерес к пилотному проекту проявили такие крупнейшие компании, работающие в регионе, как «Газпром», «Росатом», РЖД, ПАО «Сбербанк» и ряд других. Региональное правительство, со своей стороны, установит налоговые льготы, субсидии и компенсации за использование технологий декарбонизации [14]. По мере проведения эксперимента и по конечным результатам данного и аналогичных пилотных проектов всем регионам необходимо тщательно анализировать ход исполнения данного и аналогичных проектов, реально оценивать свои потребности и возможности, местные реалии, а также региональные специфические приоритеты в сфере энергоэффективности.

Результаты

Государственная и региональная политика повышения энергоэффективности играет важнейшую роль по содействию инвестиционного финансирования и долж-

на целенаправленно стимулировать капиталовложения в энергоэффективные методы и технологии. На текущий момент реализацию мероприятий по энергосбережению в промышленности тормозят как неэффективность мер государственной поддержки (отмечают более 45 % опрошенных предприятий), так и бюрократические препоны (существенные затраты времени и средств на подготовку необходимых документов), а также отсутствие доступной и полной информации о существующих мерах государственной поддержки, условиях ее получения [15].

Энергоэффективность должна стать неотъемлемой частью законодательства, касающегося производственной и транспортной сферы, жилищного строительства и сетей передачи энергетических ресурсов. Разрешения на строительство, экологические разрешения, концессионные разрешения, лицензии на производство тепловой и электрической энергии, а также государственный надзор должны включать требования к показателям энергоэффективности [16]. Само понятие энергетической эффективности должно ассоциироваться с дополнительным отдельным источником энергии, экономическая ценность которого равна стоимости сэкономленных энергоресурсов. При принятии и реализации поддерживающих мер государственной политики, обеспечении благоприятных для этого условий и стимулов российская финансовая система и частные инвесторы смогут предоставлять необходимые ресурсы на реализацию значительного количества экономически обоснованных «зеленых» проектов [17].

Помимо этого, одним из приоритетных и наименее ресурсоемких планируемых мероприятий Программы энергоэффективности должна являться работа, направленная на изменение поведения потребителей энергии. Проведение эффективных кампаний, направленных на то, чтобы заставить потребителей сократить потребление энергии, не требует существенных финансовых или ресурсных затрат, в то время как изменение поведения может практически мгновенно сэкономить энергию, когда люди и предприятия понимают, что делать и почему. Найти способы побудить потребителей энергии изменить свое поведение не всегда легко и быстро, но это вполне реально осуществимо в сравнительно короткие сроки.

Низкий уровень осведомленности населения, должностных лиц организаций и сотрудников о многочисленных выгодах от реализации таких проектов является существенным препятствием для увеличения инвестиционных и финансовых потоков в проекты по энергоэффективности. Законодательные, саморегулирующие и оценочные меры не окажутся действенными, если никто о них не знает, и нет понимания этих мер и того, что они подразумевают. Для банков и других финансовых учреждений необходимо понимание практики финансирования энергоэффективности [18]. Огромную роль в обеспечении достижения целей энергоэффективности и энергосбережения играет работа по повышению осведомленности общества с помощью предоставления информации о необходимости и мерах в области энергоэффективности для конечного потребителя как в жилых и в общественных зданиях, так и в организациях и предприятиях всех форм собственности. В частности, в квитанциях на оплату счетов за энергию возможно размещение информации

о графике (почасовом) потребления энергии, действующих тарифах, а также рекомендаций о возможности сокращения суммы платежей. Также возможна организация информирования граждан через телевизионные объявления и сайты государственных органов власти и коммерческих коммунальных предприятий в сети Интернет об эффективных способах экономии энергии. Стоимость упущенной выгоды и экономическая необходимость мероприятий по повышению эффективности использования энергоресурсов должны стать очевидными для каждого участника сферы добычи, производства, передачи и использования энергоресурсов. Помимо подготовки соответствующих специалистов, должны проводиться организационно-консультационные мероприятия, повышающие информированность руководителей региональных и муниципальных органов государственной власти, потенциальных инвесторов, организаций банковского сектора. Всем заинтересованным лицам должна предоставляться информация о передовом, в том числе зарубежном, опыте в отношении наиболее эффективных (в том числе с учетом временных и финансовых затрат) мероприятий и технологий, финансовых инвестиционных механизмов. Общеизвестны должны быть также методические рекомендации по разработке и осуществлению проектов, пригодных для банковского кредитования. При этом следует иметь в виду, что основными недостатками кредитного финансирования на сегодняшний день являются следующие:

- начисляемые проценты должны быть выплачены независимо от доходов предприятия;
- долговое обязательство должно быть погашено к сроку платежа [19].

Государству также необходимо осуществлять стимулирование мероприятий в области энергоэффективности с помощью создания привлекательных условий для заключения энергосервисных контрактов на повышение энергоэффективности для энергосервисных компаний (ЭСКО). Энергосервисный контракт является одним из способов привлечения инвестиций. Он представляет собой договор между владельцем объекта и лицом, оказывающим услуги по выполнению мероприятий по повышению энергоэффективности функционирования объекта. При этом вложенные ЭСКО финансовые инвестиции в указанные мероприятия окупаются при достижении указанного в договоре уровня энергоэффективности объекта, за счет сэкономленных на оплате коммунальных (и иных) платежей за потребленные энергоресурсы. Самое главное преимущество энергосервисного контракта для потребителя услуги заключается в том, что он гаран-

тирует не фактическую установку оборудования, а экономический эффект. В противном случае ЭСКО не получит оплаты, которую потребитель погашает деньгами, сэкономленными за счет проведения энергоэффективных мероприятий. Таким образом, ЭСКО должны предоставлять глобальный сервис, предлагая разнообразные услуги в области энергоэффективности, включая получение и анализ необходимой информации, проектирование, финансирование, инжиниринг, управление проектами, техническое обслуживание оборудования, мониторинг и оценку, принимая на себя возможные риски.

Вывод

Основными общими барьерами для мероприятий по повышению энергоэффективности, как правило, являются недостаток или высокая стоимость оборотного капитала, низкая приоритетность энергоэффективности как вопроса, который не является частью основного бизнеса, и недостаток государственных стимулов. Следующими по значимости факторами являются отсутствие желания руководства, а также низкие затраты на энергию, которые не обеспечивают экономических стимулов.

Для успешного привлечения инвестиционного капитала в мероприятия по повышению энергоэффективности необходимы следующие условия:

- потребность и готовность общества к сбережению и эффективному использованию всех видов энергетических ресурсов;
- наличие и исполнение на государственном, муниципальном и региональном уровнях соответствующих законов, нормативов и стандартов, программ и политики;
- поддержка со стороны государства, муниципальных и региональных органов исполнительной власти разработки и проведения мероприятий по энергоэффективности;
- понимание необходимости и готовность руководства региональных органов власти, предприятий и организаций всех форм собственности внедрять решения, повышающие энергоэффективность;
- готовность организаций банковского сектора к финансированию мероприятий по энергоэффективности;
- наличие подготовленных специалистов;
- окупаемость проводимых мероприятий;
- возможность компенсации понесенных затрат и полученных кредитов из средств, сэкономленных за счет повышения энергоэффективности;
- наличие специализированных организаций, проведение энергоаудитов и заключение энергосервисных контрактов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Energy efficiency. The first fuel of a sustainable global energy system / International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/topics/energy-efficiency>
2. Полетаев И. Ю. Анализ и методы координации мероприятий по энергоэффективности экономики регионов // Вестник ЮРГТУ (НПИ). 2020. Т. 13. № 6. С. 217–223. <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2020-6-217-223>
3. Об утверждении методических рекомендаций по определению целевого уровня снижения потребления государственными (муниципальными) учреждениями суммарного объема потребляемых ими энергетических ресурсов и воды: Приказ Министерства экономического развития РФ от 15.07.2020 № 425.
4. Об утверждении программы приватизации федерального имущества и основных направлений приватизации федерального имущества на 2020–2022 годы: Распоряжение Правительства РФ от 31.12.2019 № 3260-р. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73276129/>
5. План деятельности Министерства финансов РФ на 2020–2025 годы, п. 5, 6 раздела Е и Направление 16.4. URL: https://www.minfin.ru/ru/ministry/planMF/Plani_otcheti?id_67=131303-plan_deyatelnosti_ministerstva_finansov_rossiiskoi_federatsii_na_2020-2025_gg

6. Гончаров В. В. Исполнительная власть и бизнес: современные проблемы взаимодействия и развития // Пробелы в Российском законодательстве. 2010. № 2. С. 12–15.
7. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: Указ Президента Российской Федерации от 04.06.2008 № 889 // Российская газета. Федеральный выпуск. 2008. № 4680. полоса 16, URL: <https://rg.ru/documents/2008/06/07/ukaz-dok.html>.
8. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ // Собрание законодательства РФ. 2009. № 48. с. 5711–5824.
9. Об утверждении методических рекомендаций по оценке эффективности реализации государственной политики и нормативно-правового регулирования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности на региональном уровне: Приказ Министерства экономического развития РФ от 21.11.2022 № 636.
10. Полетаев И. Ю. Концептуальные подходы к построению систем управления энергоэффективностью на региональном уровне // Энергетика Татарстана. 2012. № 4. С. 87–90.
11. Полетаев И. Ю., Ротанов А. В. Меры по энергоэффективности в период пандемии COVID-19-22 // Вопросы региональной экономики. 2021. № 3 (48). С. 52–60.
12. Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности: Постановление Правительства РФ от 17.06. 2015 № 600.
13. В Сахалинской области стартовал 6-летний эксперимент по ограничению выбросов CO₂. URL: <https://sakhalinmedia.ru/news/1407833/>
14. Чистый эксперимент. Сахалин решил стать углеродно-нейтральным за три года. Насколько это реально? URL: <https://lenta.ru/articles/2021/12/24/ecosahalin/>
15. ИТС 48-2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. М.: Бюро НТД, 2017. 171 с.
16. Energy Charter. Investing in Energy Efficiency – Removing the Barriers // OGEL. 2006. Vol. 4. Issue 4. 144 p. URL: www.ogel.org/article.asp?key=2352
17. «Зеленое финансирование» в России: создание возможностей для «зеленых» инвестиций». Группа Всемирного Банка. М., 2018. 127 с. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/699051540925687477/pdf/131516-RUSSIAN-PN-P168296-P164837-PUBLIC-Green-finance-Note.pdf>
18. Overcoming Barriers to Investing in Energy Efficiency. UNEC EU. N. Y.; Geneva, 2017. 56 p.
19. Зубкова А. Г., Фрей Д. А. Анализ применимости действующих механизмов привлечения инвестиций в энергосбережение // Труды ВЭО России. 2017. Т. 207. № 5. С. 480–501.

Статья поступила в редакцию 01 февраля 2023 года

On the issue of attracting investments in improving energy efficiency

Il'ya Yur'evich POLETAEV*

JSC "Institute of Regional Economic Research (IREI)", Moscow, Russia

Abstract

The purpose and relevance of the work. The problem of saving all types of energy and the efficiency of using fossil fuels is a key one for Russia. Financing of measures to improve the efficiency of the use of energy resources is still an urgent problem of our time. The most important issue is to determine the conditions necessary for the successful attraction of investment capital in national and regional measures to improve energy efficiency in the Russian Federation. The relevance of the study is due to the need to improve measures in this area.

Methodology. Based on the analysis of existing regulatory documents in the field of energy saving and energy efficiency and the practice of their implementation, theoretical and methodological issues and the possibility of attracting investment capital in the field of energy saving and energy efficiency are considered.

Results and scope of application. The defining role of state, municipal and regional executive authorities and the banking sector in promoting investments in energy efficiency measures is shown. Special attention is paid to the importance of work to stimulate energy-saving behavior of energy consumers (organizations and the population), as well as to the need to increase the responsibility of federal executive authorities and heads of enterprises and organizations of all sectors of the economy for the implementation of planned energy conservation and energy efficiency measures. The materials of the work can be used in the process of formation and implementation of federal and regional target programs in the field of energy conservation.

Conclusions. The author formulates a conclusion about the need to strengthen state support for increasing the investment attractiveness of energy efficiency measures, to correct state policy in terms of popularizing these measures and strengthening state control over their implementation.

Keywords: investments, region, resources, energy carriers, energy service contract, energy efficiency.

REFERENCES

1. Energy efficiency. The first fuel of a sustainable global energy system. International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/topics/energy-efficiency>
2. Poletaev I. Yu. 2020, Analysis and methods of coordination of measures for energy efficiency of the regional economy. *Vestnik YURGTU (NPI)* [Bulletin of SRSTU (NPI)], vol. 13, no. 6, pp. 217–223. (In Russ.) <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2020-6-217-223>
3. On the approval of guidelines for determining the target level for reducing the consumption by state (municipal) institutions of the total volume of energy resources and water consumed by them: Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated July 15, 2020, no. 425. (In Russ.)
4. On the approval of the program for the privatization of federal property and the main directions for the privatization of federal property for 2020–2022: Decree of the Government of the Russian Federation of December 31, 2019 no. 3260-r. (In Russ.) URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73276129/>
5. Activity plan of the Ministry of Finance of the Russian Federation for 2020–2025, paragraphs 5, 6 of section E and Direction 16.4. (In Russ.) URL: https://www.minfin.ru/ru/ministry/planMF/Plani_otcheti?id_67=131303-plan_deyatelnosti_ministerstva_finansov_rossiiskoi_federatsii_na_2020-2025_gg
6. Goncharov V. V. 2010, Executive power and business: modern problems of interaction and development. *Probely v Rossiyskom zakonodatel'stve* [Gaps in Russian legislation], no. 2, pp. 12–15. (In Russ.)
7. On some measures to improve the energy and environmental efficiency of the Russian economy: Decree of the President of the Russian Federation dated 04.06.2008 no. 889. *Rossiyskaya gazeta. Federal'nyy vypusk* [Russian newspaper. Federal release], no. 4680. (In Russ.) URL: <https://rg.ru/documents/2008/06/07/ukaz-dok.html>.
8. On energy saving and on improving energy efficiency and on amending certain legislative acts of the Russian Federation: Federal Law no. 261-FZ dated November 23, 2009. *Sobraniye zakonodatel'stva RF* [Collection of legislation of the Russian Federation], no. 48, pp. 5711–5824. (In Russ.)
9. On approval of guidelines for assessing the effectiveness of the implementation of state policy and legal regulation in the field of energy conservation and energy efficiency at the regional level: Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation dated November 21, 2022 no. 636.
10. Poletaev I. Yu. 2012, Conceptual approaches to building energy efficiency management systems at the regional level. *Energetika Tatarstana* [Energy of Tatarstan], no. 4, pp. 87–90. (In Russ.)
11. Poletaev I. Yu., Rotanov A. V. 2021, Energy efficiency measures during the COVID-19-22 pandemic. *Voprosy regional'noy ekonomiki* [Issues of regional economy], no. 3 (48), pp. 52–60. (In Russ.)
12. On the approval of the list of objects and technologies that relate to objects and technologies of high energy efficiency: Decree of the Government of the Russian Federation of 17.06. 2015 no. 600. (In Russ.)
13. A 6-year experiment to limit CO2 emissions has started in the Sakhalin Region. (In Russ.) URL: <https://sakhalinmedia.ru/news/1407833/>

*poletaev1@gmail.com

14. Pure experiment. Sakhalin has decided to become carbon neutral in three years. How realistic is this? (*In Russ.*) URL: <https://lenta.ru/articles/2021/12/24/ecosahalin/>
15. ITS 48-2017. Increasing energy efficiency in the implementation of economic and (or) other activities. Moscow, 171 p. (*In Russ.*)
16. Energy Charter. Investing in Energy Efficiency – Removing the Barriers. *OGEI*. 2006, vol. 4, Issue 4, 144 p. URL: www.ogel.org/article.asp?key=2352
17. Green Finance in Russia: Creating Opportunities for Green Investments. World Bank Group. Moscow, 127 p. (*In Russ.*) URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/699051540925687477/pdf/131516-RUSSIAN-PN-P168296-P164837-PUBLIC-Green-finance-Note.pdf>
18. 2017, Overcoming Barriers to Investing in Energy Efficiency. UNEC EU. N. Y.; Geneva, 56 p.
19. Zubkova A. G., Frei D. A. 2017, Analysis of the applicability of existing mechanisms for attracting investments in energy saving. *Trudy VEO Rossii* [Proceedings of the VEO of Russia], vol. 207, no. 5, pp. 480–501. (*In Russ.*)

The article was received on February 01, 2023

Природно-ресурсный потенциал региона: состояние и оценка

Владимир Григорьевич ЛОГИНОВ*

Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Цель исследования – анализ состояния и оценки природно-ресурсного потенциала сырьевых регионов России.

Актуальность. Природно-ресурсный потенциал остается основой промышленного развития не только сырьевых территорий, но и страны в целом, что обусловлено огромными запасами, высокой эффективностью разработки невозобновляемых природных ресурсов, потребностями российского и мирового рынка. В статье выполнен анализ их состояния, отмечена роль в экономике страны и обоснованы методические подходы к стоимостной оценке добычи полезных ископаемых.

Методология исследования заключается в обобщении и анализе информации, касающейся стоимостной оценки добычи полезных ископаемых ресурсных территорий. Особое внимание обращено на нефтегазовый потенциал Уральского Севера. При подготовке статьи были использованы методы: статистический, ретроспективного, сравнительного и кластерного анализа, сопоставления, группировок, аналогии. Информационная база настоящего исследования – данные федеральной, региональной и муниципальной статистики.

Результаты. В процессе исследования дана характеристика природно-ресурсного потенциала, выполнены группировка и ранжирование сырьевых регионов по объему добычи полезных ископаемых. Выявлена зависимость оценочных показателей от сырьевой специализации региона. Подчеркнута особая роль нефтегазовых ресурсов в экономике страны. Предложены методические подходы к оценке природно-ресурсного потенциала с позиции его фактического использования в хозяйственной деятельности сырьевых субъектов федерации и муниципальных образований.

Выводы. Предложены методические подходы к оценке природно-ресурсного потенциала сырьевых регионов страны. В качестве показателей оценочного инструментария использованы формы открытой региональной и муниципальной статистики, касающиеся производства валового регионального продукта, счета производства по видам экономической деятельности и объема добычи полезных ископаемых.

Ключевые слова: природно-ресурсный потенциал, ресурсный регион, добыча полезных ископаемых, нефтегазовые ресурсы, валовой региональный продукт, кластер.

Введение


В научной литературе имеются различные трактовки понятия *природно-ресурсного потенциала*, отличающиеся по содержанию и полноте изложения. В общем виде он представляет собой оцененные запасы и источники имеющихся в наличии природных ресурсов, как вовлеченных в процессы общественного производства, так и тех, которые могут быть использованы в *хозяйственной деятельности* для достижения определенной цели.

В современной экономике важнейшее место занимают невозобновляемые природные ресурсы, которые являются основой добывающего сектора промышленного производства и экономики в целом и важнейшим источником валютных поступлений в России, занимающей по многим видам (как по запасам, так и по добыче) ведущее место в мире. Главенствующее место в добыче полезных ископаемых принадлежит северным и арктическим районам страны. Проблеме освоения этих районов, в том числе их природно-ресурсного потенциала, посвящены многочисленные работы отечественных исследователей [1–6].

Степень территориальной обеспеченности невозобновляемыми природными ресурсами обуславливает специализацию промышленного производства ресурсных регионов и их роль в экономике страны. В настоящее время главными драйверами экономического развития остаются (по мере значимости) нефтегазовые ресурсы, руды черных, цветных и редких металлов, химическое сырье. Источниками информации о природно-ресурсном потенциале территории являются как открытая, так и закрытая для общего пользования государственная и муниципальная статистика, данные отраслей и ведомств, предприятий и учреждений.

В рамках данной статьи основное внимание уделено *производственной части природно-ресурсного потенциала*, представляющего совокупность полезных ископаемых (минеральные, топливно-энергетические и др.), используемого в различных отраслях экономики, так как оценка потенциального запаса в недрах в большинстве случаев отсутствует в открытых источниках. В связи с этим оцен-

✉ log-wg@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2466-5686>

ке подлежит производство или выпуск продукции в натуральном и стоимостном выражении на региональном и локальном уровне. В настоящее время регионы топливно-энергетического и минерально-сырьевого профиля доминируют на российском севере и востоке, ресурсы которых пользуются высоким спросом на мировом рынке. Воспроизводство этих ресурсов осуществляется за счет новых разведанных запасов, ввода в строй отработанных или малорентабельных месторождений в связи с изменением конъюнктуры или (и) с появлением новых технологий добычи и использования отходов производства горнорудных предприятий.

Природно-ресурсный потенциал подразделяется на фактический и используемый потенциал. Фактический потенциал представлен в оцененных запасах, которые при их разработке подлежат воспроизводству. Для невозобновляемых источников это открытие новых месторождений (развитие вширь – экстенсивный путь), или переход добычи на более низкие горизонты, или использование месторождений с более низкими запасами и нерента-

бельными в настоящее время, но возможными для эксплуатации с истощением их в основных районах добычи и ростом цен на сырье (развитие вглубь – интенсивный путь). Этому способствует появление новых технологий добычи (в нефтегазовых районах извлекалось не более 30 % ресурса, а горнодобывающих – значительная часть их оказывалась в отвалах и отходах производства). Так, подавляющая часть углеводородного потенциала ХМАО – Югры сосредоточена в трудноизвлекаемых запасах, доля которых с каждым годом увеличивается. В 2022 г. на них пришлось четверть добываемой в регионе нефти.

Вследствие этого процесс промышленного освоения северных районов страны, несмотря на снижение его масштабов по сравнению с советским периодом, охватывает все большую территорию в связи с разработкой менее крупных по запасам, но дисперсно разбросанных многочисленных месторождений углеводородов и других полезных ископаемых как уже в освоенных, так и в новых районах добычи. «Надо учесть, прежде всего, неизбежность перехода добычи углеводородов на преимущественно

Таблица 1. Объем ВРП и раздел «В», млн руб.
Table 1. Volume of GRP and section "B", million rubles

Место в РФ	Федеральный округ, субъект РФ	ВРП		Раздел «В» ВРП		Удельный вес, %	
		2017 г.	2020 г.	2017 г.	2020 г.	2017 г.	2020 г.
	Российская Федерация	75 534 248,6	79 481 464,7	7 714 066,4	8 085 700,8	10,2	10,2
VII.	Центральный ФО	808 776,6	876 417,7	90 923,1	125 538,5	11,2	14,3
16.	Белгородская обл.	808 776,6	876 417,7	90 923,1	125 538,5	11,2	14,3
V.	Северо-Западный ФО	814 845,4	700 073,5	361 657,6	312 144,2	44,4	44,6
13.	Республика Коми	557 324,9	503 984,2	179 583,3	163 769,8	32,2	32,5
14.	Ненецкий АО	257 520,5	196 089,3	182 074,3	148 374,4	70,7	75,7
VI.	Южный ФО	413 246,9	515 879,8	137 670,1	249 810,1	33,3	48,4
10.	Астраханская обл.	413 246,9	515 879,8	137 670,1	249 810,1	33,3	48,4
II.	Приволжский ФО	6 250 668,4	6 153 438,3	1 176 356,5	1 132 705,8	18,8	18,4
5.	Республика Татарстан	2 264 655,8	2 207 044,6	412 637,6	383 065,8	18,2	17,4
7.	Оренбургская обл.	872 857,1	869 742,1	269 131,3	298 230,8	30,8	34,3
11.	Самарская обл.	1 375 711,0	1 333 837,8	189 834,0	168 199,2	13,8	12,6
12.	Пермский край	1 169 237,6	1 183 502,0	185 351,6	174 958,7	15,9	14,8
17.	Удмуртская Республика	568 206,9	559 311,8	119 402,0	108 251,3	21,0	19,4
I.	Уральский ФО	7 033 681,3	6 705 044,2	3 384 227,6	3 719 875,0	48,1	55,5
2.	ХМАО – Югра	3 557 367,1	2 907 738,9	1 978 064,0	1 775 632,0	55,6	61,1
1.	Ямало-Ненецкий АО	2 456 293,7	2 711 451,0	1 269 901,9	1 823 430,5	51,7	67,2
15.	Тюменская обл. (без АО)	1 020 020,5	1 085 854,3	136 261,7	140 812,5	13,4	13,0
III.	Сибирский ФО	4 167 836,3	4 081 591,2	899 691,6	870 116,4	21,6	21,3
6.	Красноярский край	1 977 016,1	1 908 495,9	357 390,0	348 174,0	17,6	18,2
8.	Иркутская область	1 268 311,7	1 249 122,9	277 061,5	262 291,4	21,8	21,0
9.	Кемеровская обл. – Кузбасс	922 508,5	923 972,4	265 240,1	259 651,0	28,8	28,1
IV.	Дальневосточный ФО	1 889 982,0	1 807 526,7	884 257,7	912 470,6	46,8	50,5
3.	Сахалинская обл.	784 503,4	727 390,5	401 948,4	422 927,6	51,2	58,1
4.	Республика Саха (Якутия)	942 029,6	880 671,2	417 505,5	391 123,4	44,3	44,4
18.	Магаданская обл.	163 287,0	199 465,0	64 803,8	98 419,6	39,7	49,3
19.	Чукотский АО	72 231,3	84 061,4	28 961,9	26 288,4	40,1	31,3
	Итого	21 451 267,0	20 924 883,0	6 963 746,0	7 348 949,0	32,5	35,1
	Удельный вес в РФ, %	28,4	26,3	90,3	90,9	-2,1	0,6

Примечание: рассчитано по данным Росстата: валовой региональный продукт в 2017 и 2020 гг. (в постоянных ценах 2016 г.).

средние и малые месторождения. В хорошо изученных нефтегазоносных провинциях Европейского Севера и Западной Сибири на одно крупное приходится 50 и более малых и средних месторождений нефти и газа. Кроме того, чтобы продлить эксплуатационный срок освоенных месторождений и провинций, необходимо существенно увеличить показатель отдачи пластов – с 30 до 40–50 %. Но и при таких условиях (по «чисто экономическим» причинам, включая инвестиционные ограничения) рост добычи нефти и газа на разрабатываемых материковых площадях оказывается предпочтительнее ширококомасштабного перехода в зону шельфа арктических морей» [7]. В частности, это многочисленные нефтегазовые месторождения для разработки на территории Ханты-Мансийского автономного округа и других регионов, если им предоставить налоговые льготы.

Названные направления использования ресурсного потенциала являются затратными и в какой-то степени альтернативными вариантами. В первом случае требуются затраты на обустройство территории, создание логистики и транспортных путей. Во втором – при использовании уже созданной инфраструктуры – увеличение эксплуатационных затрат, а также капитальных – при использовании новых технологий.

На фактическое использование природных ресурсов (ПР) кроме экономических накладываются социальные и экологические ограничения, а также противоречия в эксплуатации возобновляемых и невозобновляемых ресурсов. Например, нефтегазовые ресурсы и оленеводство или рыболовство и охота. Первые представляют интенсивный путь использования территории, вторые – экстенсивный. Данный момент особенно ярко проявляется в районах нового освоения Арктики и Севера, где возникают противо-

речия по поводу использования ПР между корпорациями и коренными сообществами.

Результаты

Распределение природных ресурсов и их территориальное сочетание по отдельным регионам страны имеет значительные отличия. Общая закономерность состоит в повышении большей обеспеченности ими по мере удаления от центра страны, особенно на восток и север, что обуславливает сырьевую специализацию периферийных регионов.

Важным методическим аспектом является определение ресурсного региона. Авторы в своих исследованиях по-разному выделяют их критерии. Так, в работе [8], авторами в качестве критерия отбора региона взят объем добычи нефти (5 млн т и более). Далее для анализа брали показатели, характеризующие общее экономическое и социальное развитие региона (ВРП, инвестиции и др.). В данной статье к ресурсным регионам для оценки их природно-ресурсного потенциала были отнесены субъекты РФ с объемом добычи ПИ в стоимостном исчислении свыше 100 млрд руб. (17 административных единиц) и высоким удельным весом горнодобывающих отраслей в ВРП (от 30 % и выше) – Магаданская область и Чукотский АО.

В территориальном отношении природно-ресурсный потенциал доминирует или составляет значительную часть в 19 субъектах Федерации (более одной пятой их в стране), расположенных в Южном (1 субъект), Центральном (1), Северо-Западном (2), Приволжском (5), Уральском (3), Сибирском (3) и Дальневосточном (4) федеральных округах России (табл. 1).

Из 19 приведенных субъектов наибольшая локализация добывающих отраслей отмечена в 11 регионах, относящихся к северным и арктическим, на долю которых

Таблица 2. Счет производства по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» (ХМАО – Югра) в текущих основных ценах, млн руб.

Table 2. Production account by type of economic activity "Mining" (KhMAO – Yugra) in current basic prices, million rubles

Показатель	Год	Ресурсы		Использование	
		Выпуск	Промежуточное потребление	Валовая добавленная стоимость	
ВРП		5 314 376,7	2 184 180,2/41,1	3 130 196,4/58,9	
Добыча ПИ	2016	301 610,0	1 023 036,0/33,9	1 993 123,9/66,1	
ВРП		5 893 336,2	2 335 969,1/39,6	3 557 367,1/60,4	
Добыча ПИ	2017	3 468 264,3	1 110 063,8/32,0	2 358 200,5/68,0	
ВРП		6 906 632,5	2 399 892,7/34,7	4 506 739,7/65,3	
Добыча ПИ	2018	4 367 666,4	1 103 854,6/25,3	3 263 811,7/74,7	
ВРП		6 963 881,6	2 405 001,8/34,5	4 558 879,8/65,5	
Добыча ПИ	2019	4 504 676,6	1 190 937,5/26,4	3 313 739,1/73,6	
ВРП		5 667 120,9	2 313 818,2/40,8	3 353 302,7/59,2	
Добыча ПИ	2020	3 168 473,2	1 109 317,0/35,0	2 059 156,2/65,0	

Примечание: за косой чертой – удельный вес, %.

Источники: статистический ежегодник: стат. сб. В 2 ч. Ч. I (II). Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (1990–2016) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Тюмень, 2022. 335 с.

Счет производства по видам экономической деятельности в 2016 г. С. 17.

Статистический ежегодник: стат. сб. В 2 ч. Ч. II. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (2017–2021) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Тюмень, 2022. Раздел 12. Валовой региональный продукт. 12.3. Счет производства по видам экономической деятельности.

приходится соответственно 76,0 (2017 г.) и 75,9 % (2020 г.) добавленной стоимости раздела «В»¹. Лидерами этого списка являются нефтегазодобывающие регионы. Первые два места по добыче ПИ (46,6 и 50,5 % в эти годы) за Югрой и Ямалом, которые также в целом по ВРП занимали 4-е и 5-е место в стране.

Региональную стоимостную оценку добычи полезных ископаемых в сырьевых субъектах РФ можно получить, используя отраслевую структуру объемов ВРП. В целом за четыре года (2017–2020) величина ВРП добавленной стоимости раздела «В» в этих субъектах в сопоставимых ценах выросла на 5,5 % даже в условиях пандемии (2020 г.), хотя этот год не является показательным. При этом произошло снижение доли добычи ПИ в объеме ВРП на 2,6 процентных пункта. Увеличение его произошло только в двух регионах: ЯНАО – 10,4 % и Астраханская обл. – 24,8 %, в восьми он почти не изменился, в остальных (6 ед.) – снизился. Самое значительное снижение раздела «В» произошло в Ненецком (23,9 %) и Ханты-Мансийском (18,3 %) автономных округах соответственно на 18,5 и на 10,2 %, что было обусловлено в основном сокращением объемов добычи нефти и доходов от нее.

Другим источником для определения региональной оценки добычи ПИ является «Счет производства по видам экономической деятельности», отражающий не только валовую добавленную стоимость по видам экономической деятельности, но и выпуск, и промежуточное потребление, что отражено в табл. 2, 3 на примере субъектов-лидеров по добыче полезных ископаемых.

В обоих регионах величина промежуточного потребления раздела «Добыча полезных ископаемых» ниже, чем в целом по ВРП, а для ЯНАО она ниже, чем в Югре,

что объясняется особенностью ресурсной специализации – газовой отраслью в первом и нефтяной – во втором субъекте; возрастом и выработанностью запасов месторождений – более молодой возраст в ЯНАО, выработанность до 30 %, в Югре данный показатель составляет до 50–70 % [9].

При этом следует отметить, что данные поступают с опозданием более чем на 2 года, как и в случае с таковыми ВРП. В последующие два года (2021–2022) эти показатели улучшатся, о чем свидетельствуют данные регионального и локального источника информации, отражающие стоимость объема отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами организаций по видам экономической деятельности (млн руб.). В связи с отсутствием открытой информации по отдельным видам минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов они являются основными источниками оценки деятельности горно- и нефтегазодобывающих предприятий, которые отражены в открытых данных региональной и муниципальной статистики (табл. 4).

В каждом из этой совокупности регионов можно выделить типологические группы методом кластерного анализа. Параметры кластеризации³ могут отличаться в зависимости от решаемых задач. Пример такой кластеризации можно найти в работе [10], в которой одним из показателей служит «Объем отгруженных товаров собственного производства, раздел «В», добыча ПИ». Такой подход применим и для выделения внутрирегиональных кластеров, что было предпринято автором на примере локальных районов ХМАО – Югры и ЯНАО, где было выделено 4 кластера, по 2 в каждом субъекте (табл. 5).

Таблица 3. Счет производства по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» (ЯНАО) в текущих основных ценах³, млн руб.

Table 3. Production account by type of economic activity "Mining" (YaNAO) in current basic prices, million rubles

Показатель	Год	Ресурсы		Использование	
		Выпуск	Промежуточное потребление	Валовая добавленная стоимость	
ВРП		3 651 212,0	1 625 703,9/44,5	2 025 508,1/55,5	
Добыча ПИ	2016	1 586 137,7	456 281,2/28,8	1 129 856,5/71,2	
ВРП		4 116 368,7	1 660 075,0/40,3	2 456 293,7/59,7	
Добыча ПИ	2017	2 005 386,9	504 574,4/25,2	1 500 812,5/74,8	
ВРП		4 825 902,5	1 774 289,4/36,8	3 051 613,1/63,2	
Добыча ПИ	2018	2 575 005,5	497 012,0/19,3	2 077 993,5/80,7	
ВРП		4 733 348,8	1 574 521,2/33,3	3 158 827,6/66,7	
Добыча ПИ	2019	2 738 831,3	524 967,5/19,2	2 213 863,7/80,8	
ВРП		4 350 528,9	1 582 337,6/36,4	2 768 191,3/63,6	
Добыча ПИ	2020	2 393 998,9	554 337,4/23,2	1 839 661,4/76,8	

Примечание: за косой чертой – удельный вес, %.

Источники: Ямало-Ненецкий АО: стат. ежегодник. Тюмень, 2019. Ч. 1 (11). С. 17.

Статистический ежегодник: стат. сб. В 2 ч. Ч. II. Ямало-Ненецкий автономный округ (2017–2021) / Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области, Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре и Ямало-Ненецкому автономному округу. Тюмень, 2022. Раздел 12. Валовой региональный продукт. 12.3. Счет производства по видам экономической деятельности.

¹ Добыча полезных ископаемых в соответствии ОКВЭД 2 – Общероссийский классификатор видов экономической деятельности ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2).

² Цена, получаемая производителем за единицу товара или услуги, без налогов на продукты, но включая субсидии на продукты.

³ ВРП и инвестиции в основной капитал (на душу населения), объем инновационных товаров, численность населения и др.

Таблица 4. Объем отгруженных товаров собственного производства, добыча ПИ в действующих ценах, млн руб.
Table 4. The volume of shipped goods of own production, mining in current prices, million rubles

Субъект РФ	Год				
	2017	2018	2019	2020	2021
Российская Федерация	13 916 165	18 193 870	18 324 127	14 611 770	23 598 403
1. ХМАО – Югра	2 983 368	3 778 782	3 859 612	2 667 269	4 553 666
2. ЯНАО	1 911 722	2 470 590	2 664 635	2 359 770	3 700 418
3. Москва	1 272 415	1 808 823	1 760 325	1 090 331	1 765 556
4. Кемеровская обл. – Кузбасс	899 156	1 097 995	947 068	728 737	1 447 933
5. Республика Саха (Якутия)	599 620	804 388	886 422	834 442	1 335 542
6. Республика Татарстан	547 515	689 612	688 510	581 775	1 012 861
7. Красноярский край	552 416	748 109	780 629	636 161	902 926
8. Иркутская обл.	455 207	603 873	6190 92	530 680	802 009
9. Оренбургская обл.	38 9692	542 497	589 756	483 119	774 984
10. Пермский край	294 130	387 065	396 476	291 513	515 049
11. Республика Коми	314 270	400 373	425 992	303 588	508 036
12. Самарская обл.	273 744	368 183	371 282	275 452	495 044
13. Ненецкий АО	267 858	352 134	359 496	255 515	470 123
14. Астраханская обл.	226 961	346 022	339 168	249 598	381 324
ТОП-14	10 988 074	14 398 446	14 688 463	11 287 950	18 683 529
Удельный вес в РФ, %	79,0	79,1	80,2	77,3	79,2

Таблица 5. Отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами (без субъектов малого предпринимательства), млн руб.

Table 5. Shipped goods of own production, performed works and services by own efforts (excluding small businesses), million rubles

Кластер	Год					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1. Нижневартовский*	886 878,3	1 145 268,3	1 154 530,2	748 178,7	1 307 403,0	1 516 043,4
2. Сургутский*	1 444 816,1	1 925 414,0	1 335 279,9	1 214 548,1	2 126 313,7	2 592 095,1
3. Пуровский*	922 729,7	1 039 133,7	1 070 191,1	940 089,9	1 419 911,0	1 744 991,2
4. Заполярный**	636 313,5	845 129,6	914 000,5	107 763,5	1 665 374,4	2 471 976,7

Примечание: *муниципальный район (МР) с городами, расположенными в его пределах; **Тазовский и Ямальский МР.

По своей мощи два из выделенных кластеров (Сургутский и Заполярный) превышали таковую остальных сырьевых регионов, два других уступали только Кемеровской области – Кузбассу и Республике Саха (Якутия), 2021 г., без учета по понятной причине г. Москвы (табл. 4). Три из четырех кластеров приурочены к освоенным территориям, где процесс разработки ПР составляет 40–50 лет. Многие месторождения здесь уже отработаны и темпы их развития хотя и замедлились, объем отгрузки товаров собственного производства в последние годы продолжает расти. С 2017 по 2022 г. рост объема отгрузки в действующих ценах составил: в Нижневартовском кластере 1,7 раза; Сургутском – 1,8; в Пуровском – 1,9 раза. Беспрецедентно быстро рос Заполярный кластер, становление которого началось во второй половине 2010-х гг. Здесь за короткий срок показатель объема отгрузки увеличился почти в 4 раза, а в наиболее активно развивающейся его части – Ямальском МР – в 6 раз, несмотря на санкции недружественных стран и начавшуюся специальную во-

енную операцию. Этому способствовали открытие и освоение месторождений нефти и газа; транспортная логистика (наличие морского, трубопроводного и железнодорожного транспорта); удобное географическое положение между западным и восточным секторами Арктической зоны РФ. Рост рыночных цен на углеводороды позволил даже при снижении общей их добычи в последние годы получить больший объем выручки (табл. 6).

Позитивным для отечественного ТЭКа было начало 2023 г., когда нефтедобыча достигла досанкционного уровня, но далее ее пришлось сократить, чтобы добиться более высоких цен на нефть, решения проблем с доходами бюджета и выполнением Россией обязательств по сдерживанию национальной добычи нефти на уровне квот, установленных в рамках соглашения ОПЕК+.

Динамика «Объема отгруженных товаров собственного производства, раздел «В», добыча ПИ» находится в тесной связи с изменением трудовых ресурсов в данной отрасли экономики. Этот тезис подтверждают и другие

исследования, проведенные в северных районах, которые на примере формирования ВРП свидетельствуют о тесной связи величины валового регионального продукта с объемом вовлекаемого живого труда [11]. В этом отношении наиболее позитивная ситуация сложилась в ЯНАО, где в целом по экономике прирост их за 20 лет (2000–2020) составил 109 тыс. чел., или 29,9 % [12], значительная доля которых пришлось на нефтегазовую отрасль и привлекалась по межрегиональной вахте. Данный момент статистически подтверждается на примере нефтегазовых кластеров Уральского Севера, тенденции развития которых схожи и имеют положительный вектор как по объему отгрузки и численности занятых, так и по производительности труда. Провальным по известной причине оказался 2020 г. (исключение – Заполярный кластер). В отношении численности занятых рост был не всегда очевиден (Сургутский кластер), где в результате оптимизации работающих наблюдался спад, но затем шло небольшое увеличение (табл. 7).

Таблица 6. Динамика добычи нефти и газа
Table 6. Dynamics of oil and gas production

Год	Нефть, млн т		Газ, млрд м³	
	Югра	Ямал	Югра	Ямал
2017	234,8	31,9	34,0	556,9
2018	235,9	32,9	34,3	591,3
2019	235,3	35,4	34,7	604,0
2020	209,7	37,1	32,4	558,0
2021	214,1	37,5	32,0	622,0
2022	223,1	37,3	31,0	529,4

Примечание: рассчитано по данным Ханты-Мансийскстата и Ямалстата.

Таблица 7. Сравнительные динамические показатели нефтегазовых кластеров Югры и Ямала
Table 7. Comparative dynamic indicators of the oil and gas clusters of Yugra and Yamal

Кластер	№ п/п	Год					
		2017	2018	2019	2020	2021	2022
Нижневартовский	1.	886 878	1 145 268	1 154 530	748 179	1 307 403	1 516 043/170,9
	2.	53 515	57 619	58 646	57 406	56 583	59 301/110,8
	3.	16 573	19 877	19 686	13 033	23 106	25 565/1,5
Сургутский	1.	1 444 816	1 925 414	1 335 280	1 214 548	2 126 314	2 592 095/176,9
	2.	109 431	83 896	83 892	84 445	83 493	84 466/77,2
	3.	13 203	22 950	15 916	14 383	25 467	30 688/232,4
Пуровский	1.	922 730	1 039 134	1 070 191	940 090	1 419 911	1 744 991/189,1
	2.	41 783	48 537	51 644	51 881	52 378	55 983/134,0
	3.	22 084	21 409	20 722	18 120	27 109	31 170/141,1
Заполярный	1.	636 314	845 130	914 000	1 078 135	1 665 374	2 471 977/388,5
	2.	12 192	10 866	11 965	14 612	16 599	16 902/138,6
	3.	52 191	77 777	76 390	73 784	100 330	146 254/280,2

Примечание: 1. Отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами (без субъектов малого предпринимательства), млн руб.
2. Среднесписочная численность работников организаций (без субъектов малого предпринимательства), добыча ПИ, чел.
3. Производительность труда, тыс. руб./чел.
За косой чертой – рост показателей 2022 г. по отношению к 2017 г., %.

Соотношение между объемом отгрузки и числом занятых в добыче ПИ свидетельствует о более высоких темпах роста первого показателя, что обусловило в динамике рост производительности труда и заработной платы.

Показатель объема отгруженных товаров является основным для стоимостной оценки добычи полезных ископаемых на уровне внутрирегионального кластера и отдельного муниципального образования (МО), так как в отличие от региона здесь недостаточно необходимой информация для определения муниципального валового продукта, хотя такие попытки встречаются в некоторых исследованиях, например, в работах [13, 14]. В качестве более низкой по иерархии структуры для небольших по площади локализованных групп месторождений предлагается организационная форма недропользования – потенциальный горнопромышленный узел 1-го и 2-го уровня [15] или действующий горнопромышленный узел, входящие в состав кластера или находящиеся вне его, образуя самостоятельные ареалы сосредоточения полезных ископаемых. Оценочными характеристиками отдельного месторождения полезных ископаемых в данном случае являются дебит нефтяных или газовых скважин, содержание металла в руде или в россыпи и др.

Заключение

Оценка объема добычи полезных ископаемых в региональном разрезе зависит от ряда факторов, таких, как:

- дислокация головных офисов корпораций (Москва – 3-е место по добыче нефти, 9 % от общероссийского уровня), в гораздо меньшей степени это относится к Санкт-Петербургу;
- территориальная близость цикла предприятий по добыче и переработке сырья. Объем добычи ПИ в стоимостном отношении в этом случае учитывается в составе обрабатывающей отрасли (ПАО «Норильский никель», предприятия Башкортостана, Свердловской и Челябинской

областей и др.). В связи с этим добыча ПИ по данному показателю не всегда дает адекватную оценку использованного регионального потенциала недропользования.

Для регионов с ярко выраженной добычей полезных ископаемых в качестве показателей оценки природно-ресурсного потенциала региона предлагается применять (использовать) усредненные статистические показатели за пятилетний период в сопоставимых ценах, данные по величине добавленной стоимости добычи ПИ в ВРП. Временной период обусловлен тем, что имеются отличия, иногда значительные, связанные с колебанием валютного курса, рыночной цены на природные ресурсы, объемом выпускаемой продукции и спроса на нее, влиянием западных санкций и др.

Использование такого показателя, как прибыль предприятий, в региональном плане затруднено, так как

хозяйствующие субъекты, в частности топливно-энергетического комплекса, представлены вертикальными интегрированными компаниями, головные офисы которых за редким исключением находятся за пределами основных районов добычи. Вследствие этого прибыль изымается за пределами этих регионов.

В зависимости от решаемых задач в пределах сырьевых регионов можно выделить типологические группы сосредоточения месторождений полезных ископаемых методом кластерного анализа, параметры кластеризации которых могут значительно отличаться в субъектах федерации, оценочными характеристиками которых являются объем отгруженных товаров собственного производства и численность занятых в добыче полезных ископаемых.

Статья подготовлена на основе исследований, финансируемых в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института экономики Уральского отделения Российской академии наук на 2021–2023 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крюков В. А., Крюков Я. В. Подходы к современному освоению минеральных ресурсов Сибири и Дальнего Востока в контексте современных геополитических процессов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2023. № 2 (181). С. 44–51. <https://www.elibrary.ru/vwrmva>
2. Логинов В. Г. Социально-экономические аспекты освоения и развития северных районов. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2012. 450 с.
3. Логинов В. Г. Уральский Север как главный регион освоения и разработки нефтегазовых ресурсов России // Известия УГГУ. 2021. Вып. 4 (64). С. 154–164. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-4-154-164>
4. Освоение Арктики 2.0: продолжение традиций советских исследований / под ред. А. Н. Пилясова. М.: Красанд, 2022. 432 с.
5. Пахомов А. А., Мостахова Т. С. Арктические территории: проблемы развития и освоения (на примере Республики Саха (Якутия)) // Экономика востока России. 2014. № 2. С. 33–42.
6. Сценарные подходы к реализации уральского вектора освоения и развития российской Арктики / Е. Л. Андреева [и др.]. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2017. 340 с.
7. Лажнецов В. Н. Арктика и Север в контексте пространственного развития России // Экономика региона. 2021. Т. 17. Вып. 3. С. 737–754. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-3-2>
8. Комарова А. В., Новиков А. Ю. Показатели экономического развития нефтедобывающих регионов России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2022. № 1(176). С. 45–52. <https://www.elibrary.ru/fhfknc>
9. Крюков В. А., Токарев А. Н. Взаимосвязь активов и организационной структуры в нефтяной промышленности: региональные аспекты // Экономика региона. 2018. Т. 14 (4). С. 1076–1087. <https://doi.org/10.17059/2018-4-2>
10. Лебедева Е. М. Исследование развития инновационной деятельности нефтегазовых регионов с использованием кросс-методического подхода // Проблемы прогнозирования. 2023. № 2 (197). С. 111–125. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-111-125>
11. Горидько Н. П. Особенности экономического развития регионов Севера и Арктики: рынок труда и регрессионное моделирование потенциального валового регионального продукта // Региональная экономика: теория и практика. 2016. № 5 (428). С. 121–136. <https://www.elibrary.ru/vxaccv>
12. Долгова И. Н., Коровкин А. Г., Сеница А. Л. Состояние рынков труда азиатской части российской Арктики после 2013 года // Проблемы прогнозирования. 2023. № 2 (197). С. 44–56. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-44-56>
13. Захарчук Е. А. Пространственная структура формирования добавленной стоимости арктических территорий // Экономика региона. 2019. Т. 15. Вып. 2. С. 391–408. <https://doi.org/10.17059/2019-2-7>
14. Татаркин А. И., Захарчук Е. А., Пасынков А. Ф. Арктические территории России. Формирование статистических районов и обоснование возможностей финансового развития / отв. ред. А. И. Татаркин. Екатеринбург, 2015. 186 с.
15. Душин А. В. Теоретико-методологические основы воспроизводства минерально-сырьевой базы. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2013. 296 с.

Статья поступила в редакцию 18 мая 2023 года

Natural resource potential of the region: state and assessment

Vladimir Grigor'evich LOGINOV*

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

Abstract

The purpose of the study is to analyze the state and assess the natural resource potential of the raw material regions of Russia.

Relevance. The natural resource potential remains the basis for the industrial development of not only raw materials territories, but also the country as a whole, which is due to huge reserves, high efficiency in the development of non-renewable natural resources, and the needs of the Russian and world markets. The article analyzes their condition, notes their role in the country's economy and substantiates methodological approaches to the valuation of mining operations.

The research methodology consists in summarizing and analyzing information related to the valuation of mining in resource areas. Particular attention is paid to the oil and gas potential of the Ural North. In preparing the article, the following methods were used: statistical, retrospective, comparative and cluster analysis, comparison, grouping, analogy. The information base of this study is the data of federal, regional and municipal statistics.

Results. In the course of the study, a characteristic of the natural resource potential was given, and the grouping and ranking of raw material regions in terms of the volume of mining was carried out. The dependence of estimated indicators on the raw specialization of the region is revealed. The special role of oil and gas resources in the country's economy was emphasized. Methodological approaches to the assessment of the natural resource potential from the point of view of its actual use in the economic activity of the raw material subjects of the federation and municipalities are proposed.

Conclusions. Methodological approaches to assessing the natural resource potential of the country's raw material regions are proposed. Forms of open regional and municipal statistics concerning the production of the gross regional product, the production account by type of economic activity and the volume of mineral extraction were used as indicators of the assessment toolkit.

Keywords: natural resource potential, resource region, mining, oil and gas resources, gross regional product, cluster.

The article was prepared on the basis of research funded in accordance with the research plan of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences for 2021–2023.

REFERENCES

1. Kryukov V. A., Kryukov Y. V. 2023, Approaches to modern development of mineral resources of Siberia and the Far East in the context of modern geopolitical processes. *Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye* [Mineral resources of Russia. Economics and Management], no. 2 (181), pp. 44–51. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/vwrmva>
2. Loginov V. G. 2012, Socio-economic aspects of the development and development of the northern regions. Ekaterinburg, 450 p. (In Russ.)
3. Loginov V. G. 2021, The Ural North as the main region for the exploration and development of oil and gas resources in Russia. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (64), pp. 154–164. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2021-4-154-164>
4. Pilyasova A. N. 2022, Arctic Exploration 2.0: Continuing the Traditions of Soviet Research. Moscow, 432 p. (In Russ.)
5. Pakhomov A. A., Mostakhova T. S. 2014, Arctic territories: problems of development (using the example of the Republic of Sakha (Yakutia)). *Ekonomika vostoka Rossii* [Economy of the East of Russia], no. 2, pp. 33–42. (In Russ.)
6. Andreeva E. L. [et al]. 2017, Scenario approaches to the implementation of the Ural vector of development of the Russian Arctic in the conditions of global instability. Yekaterinburg, 340 p. (In Russ.)
7. Lazhentsev V. N. 2021, The Arctic and the North in the context of Russia's spatial development. *Ekonomika regiona* [Economy of the region], vol. 17, issue 3, pp. 737–754. (In Russ.) <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-3-2>
8. Komarova A. V., Novikov A. Yu. 2022, Indicators of economic development of oil-producing regions of Russia. *Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye* [Mineral resources of Russia. Economics and Management], no. 1(176), pp. 45–52. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/fhfknc>
9. Kryukov V. A., Tokarev A. N. 2018, The relationship of assets and organizational structure in the oil industry: regional aspects. *Ekonomika regiona* [Economy of the region], vol. 14 (4), pp. 1076–1087. (In Russ.) <https://doi.org/10.17059/2018-4-2>
10. Lebedeva E. M. 2023, Study of the development of innovative activity in oil and gas regions using a cross-methodological approach. *Problemy prognozirovaniya* [Forecasting problems], no. 2 (197), pp. 111–125. (In Russ.) <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-111-125>
11. Goridko N. P. 2016, Features of the economic development of the regions of the North and the Arctic: the labor market and regression modeling of the potential gross regional product. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional economy: theory and practice], no. 5 (428), pp. 121–136. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/vxaccv>

✉ log-wg@rambler.ru

id <https://orcid.org/0000-0002-2466-5686>

12. Dolgova I. N., Korovkin A. G., Sinita A. L. 2023, The state of labor markets in the Asian part of the Russian Arctic after 2013. *Problemy prognozirovaniya* [Forecasting problems], no. 2 (197), pp. 44–56. (In Russ.) <https://doi.org/10.47711/0868-6351-197-44-56>
13. Zakharchuk E. A. 2019, Spatial Structure of Value-Added Formation in the Arctic Territories. *Ekonomika regiona* [Economy of the region], vol. 15, issue 2, pp. 391–408. (In Russ.) <https://doi.org/10.17059/2019-2-7>
14. Tatarkin A. I., Zakharchuk E. A., Pasyukov A. F. 2015, Arctic territories of Russia. Formation of statistical regions and substantiation of financial development opportunities. Ekaterinburg, 186 p. (In Russ.)
15. Dushin A. V. 2013, Theoretical and methodological foundations of the reproduction of the mineral resource base. Ekaterinburg, 296 p. (In Russ.)

The article was received on May 18, 2023

Вызовы и угрозы современному недропользованию на примере УрФО

Ирина Геннадьевна ПОЛЯНСКАЯ^{1*}

Вера Васильевна ЮРАК^{1**}

Владимир Евгеньевич СТРОВСКИЙ^{2***}

¹Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Актуальность. Экологически устойчивое недропользование требует полной согласованности социально-экономической и экологической подсистем. Нарастание экономических проблем, ухудшение международных отношений, приближение экологического кризиса становятся причиной появления вызовов и угроз, провоцирующих возникновение нарушений в работе предприятий отрасли, что делает необходимым выявление угроз и вызовов с целью принятия системных мер по смягчению последствий или их предупреждению. **Цель исследования** – выявление вызовов и угроз, представляющих опасность для недропользования (на примере УрФО).

Методы исследования – обобщение и анализ, методы аналогии, группировок, логического анализа, экспертных оценок.

Результаты. Уточнен понятийно-категорийный аппарат исследования, идентифицированы основные вызовы и угрозы, провоцирующие возникновение неблагоприятных событий для недропользования, в том числе возникновение экономических, социальных и экологических угроз с расшифровкой их характеристик. Методом Дельфи в усеченной вариации Д. Пескова определены три базовых угрозы недропользованию УрФО с привлечением для оценки 26 экспертов. Выполнен детальный анализ каждой из этих угроз. Подтверждены истощение минерально-сырьевого потенциала в рамках УрФО и необходимость удовлетворения потребности в сырье за счет внешних и внутренних поставок. В числе твердых полезных ископаемых уголь, марганцевые и хромовые руды, медное сырье и др. Также определен недостаточный уровень финансирования геологоразведочных работ. С наибольшей детальностью выполнен анализ угрозы, связанной с зависимостью отрасли от иностранных IT-продуктов. Приведены данные об оценке сложившейся ситуации на предприятиях, осуществляющих недропользование в УрФО. Рассматриваются возможные пути выхода из сложившейся критической ситуации.

Выводы. Сформулированы последствия выявленных угроз для недропользования. Обоснована необходимость снижения воздействия угроз: истощение минерально-сырьевого потенциала, снижение финансирования геологоразведочных работ и зависимости отрасли от иностранных IT-продуктов.

Ключевые слова: недропользование, вызовы, угрозы, риски, последствия, предотвращение, метод Дельфи, информационная безопасность.

Введение

Недропользование как одна из наиболее консервативных отраслей промышленности, в XXI в. стоит на пороге кардинальных изменений. К сожалению, темпы динамики трансформаций внешней среды настолько высоки, что горнодобывающие компании во всем мире просто не успевают адаптироваться к столь быстро изменяющимся условиям. Для РФ ситуация дополнительно усугубляется постоянным обострением санкционного режима, что находит отражение и в отдельных регионах, таких как УрФО. Использование минеральных ресурсов для удовлетворения потребностей общества осуществля-

ется в условиях обеспечения баланса факторов развития (экономических, экологических, социальных и институциональных) в рамках конкретных территорий в целях достижения устойчивого развития.

Рост хозяйственной деятельности и численности населения планеты приводят к повышению использования природных ресурсов и увеличению нагрузки на природную среду. Следствием этого является загрязнение ландшафтов, истощение ресурсной базы, образование огромной массы отходов и др., что обуславливает современные вызовы и угрозы на глобальном, страновом и региональ-

✉ polianskaia.ig@uiec.ru

**vera_yurak@mail.ru

***strovskiyve@m.ursmu.ru

ном уровне современному природопользованию как в целом, так и отдельным его составляющим. Возникающие опасности, в свою очередь, определяются как угрозы, имеющие множество дефиниций этого понятия в нормативно-правовой и академической сферах: «вызовы», «угрозы» и «риски». В ряде из них возможность появления неблагоприятных событий увязывается лишь с появлением угроз, «совокупности условий и факторов, создающих опасность жизненно важным интересам личности, общества и государства»¹. В роли региональных потенциальных угроз объектам безопасности рассматриваются внешние и внутренние источники опасности^{2,3,4}.

Трактовки понятий «вызовы», «угрозы» и «риски». В *Концепции*⁵ рассматривается содержание угроз национальной безопасности РФ в сфере экономики, социальной сфере, международной, пограничной сфере, а также ухудшение экологической ситуации и угроза истощения природных ресурсов. Определение «угрозы национальной безопасности», приведенное в работе⁶, трактуется как «прямая или косвенная возможность нанесения ущерба конституционным правам, свободам, достойному качеству и уровню жизни граждан, суверенитету и территориальной целостности, устойчивому развитию РФ, обороне и безопасности государства». Несколько укороченное определение приводится в источнике⁷: «Угрозы национальной безопасности – совокупность условий и факторов, создающих прямую или косвенную возможность нанесения ущерба национальным интересам», однако в стратегиях перечень угроз не раскрывается. В последнее время в законодательных документах понятие угроз стало дополняться понятием вызовов. Так, в проекте «Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», как и в самой Стратегии⁸, рассматриваются вызовы и угрозы экологической безопасности (вызовы глобального характера, внутренние и внешние угрозы).

Определение понятия «вызовы» в отношении экономической безопасности приводится в источнике⁹, где оно формулируется, как «совокупность факторов, способных при определенных условиях привести к возникновению угрозы экономической безопасности». Угроза экономической безопасности определяется при этом как «совокупность условий и факторов, создающих прямую и косвенную возможность нанесения ущерба национальным интересам РФ в экономической сфере», а риск в области экономической безопасности определяется как «возможность нанесения ущерба национальным интересам РФ в экономической среде в связи с реализацией угрозы экономической безопасности». В то же время в тексте документа подразделение вызовов и угроз не осуществляется, приводится их общий перечень, а оперативное реагирова-

ние на них рассматривается как формирование системы управления рисками.

В «Стратегии научно-технологического развития РФ»¹⁰ появляется понятие «больших вызовов» – совокупности проблем, угроз и возможностей, сложность и масштаб которых таковы, что они не могут быть решены, устранены или реализованы исключительно за счет увеличения ресурсов. При этом указывается, что «большие вызовы создают существенные риски для общества, экономики, системы государственного управления». В работе исследователей, как и в официальных документах, в последнее время стало упоминаться понятие «глобальные вызовы», которое ассоциируется с глобальными проблемами планетарного масштаба [1–3]. Обычно они трактуются как крупные проблемы научно-технологического, социально-экономического, экологического или иного характера, которые требуют принятия комплексных мер, зачастую мер международного сотрудничества для их решения на мировом или национальном уровне. Из анализа трактовок следует, что все они рассматриваются с точки зрения опасности, но вызовы и угрозы соотносятся с такими категориями, как причины наступления неблагоприятных событий для объекта, а риски отражают вероятность наступления этих неблагоприятных событий и возможный ущерб в стоимостном выражении.

Таким образом, вызовы представляют собой совокупность факторов, которые при определенных условиях, формируя глобальные тренды изменения внешней среды, приводят к возникновению угроз. Угрозы – совокупность условий и факторов, создающих конкретную опасность нанесения ущерба в результате влияния этих трендов на сферу функционирования объекта исследования как во внешней, так и во внутренней среде. Реализация угрозы приводит к появлению риска, характеризуемого вероятностью проявления и экономическим ущербом (рис. 1).

Вызовы и угрозы современному недропользованию

Мозговой штурм, конференции и семинары, а также анализ литературы [4, 5] позволили определить, что ландшафт опасностей недропользованию неоднороден. К числу вызовов (глобальных трендов изменения среды) могут быть отнесены: изменение климата, освоение природных ресурсов Арктики и Антарктики, смена социокультурной парадигмы, переход к циклической экономике и др. Внешние угрозы характеризуют результаты влияния вызовов в разрезе социально-экономических, технологических, политических и других аспектов. Перечень опасностей характеризуется растущими терактами и санкциями, направленностью кибератак, экологическими катастрофами, неопределенностью налогового режима и др. Внутренние угрозы структурно связаны со стратегией развития, используемыми технологиями, зрелостью менеджмента,

¹ О безопасности: ФЗ от 05.03.1999 № 2446-1.

² Концепция национальной безопасности РФ: утв. Указом Президента РФ от 17.12.1997 № 1300.

³ Стратегия национальной безопасности РФ: утв. Указом Президента РФ от 12.05.2009 № 537.

⁴ Стратегия национальной безопасности РФ: утв. Указом Президента РФ от 31.12.2015 № 683.

⁵ Концепция национальной безопасности РФ: утв. Указом Президента РФ от 17.12.1997 № 1300.

⁶ Стратегия национальной безопасности РФ: утв. Указом Президента РФ от 12.05.2009 № 537.

⁷ Стратегия национальной безопасности РФ: утв. Указом Президента РФ от 31.12.2015 № 683.

⁸ Стратегия экологической безопасности РФ на период до 2025 года: утв. Указом Президента РФ от 19.04.2017 № 176.

⁹ Стратегия экономической безопасности РФ на период до 2030 года: утв. Указом Президента РФ от 13.05.2017 № 208.

¹⁰ Стратегия научно-технологического развития РФ: утв. Указом Президента РФ от 01.12.2016 № 642.



Рисунок 1. Соотношение вызовов и угроз
Figure 1. Challenge-threat ratio

доступностью и качеством трудовых ресурсов, внутренней культурой социума и т. д. Угрозы экономического, социального, институционального характера приводят к появлению экологических угроз (истощение природных ресурсов, ухудшение качественных характеристик, рост отходоёмкости и др.).

Структуризацию вызовов и угроз предопределяет специфика видов природопользования, для которых оно осуществляется. Следует отметить, что ряд формирующихся угроз оказываются одинаковыми для всех видов природопользования, однако в большей части специфика каждого из них определяет различия в появляющихся угрозах (табл. 1). В целях успешного развития необходимо учитывать весь спектр прогнозируемых вызовов и угроз [4–8], определяющих в последующем отраслевые изменения и риски в рамках отдельных предприятий, на снижение или предотвращение которых должна быть нацелена система управления рисками.

Угрозы недропользованию имеют как прямой, так и косвенный характер. Так, рост народонаселения и необходимость удовлетворения растущих потребностей приводят к необходимости финансирования высокочрезвычайных проектов в недропользовании. В свою очередь, переход к циркулярной экономике, например, вызывает рост налоговой нагрузки, что повышает себестоимость и может привести к увеличению числа убыточных предприятий.

Анализ базовых угроз недропользованию УрФО

Все обозначенные в табл. 1 вызовы и угрозы актуальны и для недропользования УрФО. Тем не менее для идентификации базовых угроз был дополнительно использован метод Дельфи в усеченной вариации Д. Пескова. Количество привлеченных экспертов оценивается числом 26. Они так или иначе связаны с вопросами конструирования эффективной системы управления недропользованием, из них 13 – представители академического сообщества, 6 – представители органов власти и 7 – представители бизнес-сообщества. После трехэтапной сессии согласования была получена следующая таблица идентифицированных угроз для условий УрФО (табл. 2).

В итоговую таблицу были включены только те угрозы, которые отметили более 50 % числа респондентов (т. е. более 13 человек). Анализ данных таблицы показывает, что лидируют три базовых угрозы: снижение финансирования геологоразведочных работ (91 %), истощение минерально-сырьевого потенциала (100 %) и зависимость отрасли от иностранных ИТ-продуктов (100 %).

Рассмотрим более подробно базовые угрозы недропользованию УрФО:

1. Истощение минерально-сырьевого потенциала и снижение финансирования геологоразведочных работ.

Анализ состояния минерально-сырьевой базы основных видов твердых полезных ископаемых Уральского федерального округа позволяет сделать вывод об истощении минерально-сырьевого потенциала и невозможности обеспечения своих производителей собственным сырьем (табл. 3).

Геологоразведочные работы в УрФО проводятся как за счет федерального бюджета, так и за счет собственных средств недропользователей. Структура финансирования в округе идентична общероссийской со значительным превышением финансирования за счет собственных средств недропользователей.

Если говорить о финансировании геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые в целом по Российской Федерации, то в период с 2017 по 2022 г. наблюдалась общая повышательная тенденция с 44,5 до 86,9 млрд руб. за счет роста собственных средств недропользователей [9]. При этом доля финансирования за счет федерального бюджета снижалась и составляла: 2017 г. – 13,6 %, 2018 г. – 10,2 %, 2019 г. – 10,8 %, 2020 г. – 9,29 %, в 2021 г. – 7,2 %, а в 2022 г. – 7,5 % (плановое значение). Еще меньше составляла доля финансирования геологоразведочных работ за счет федерального бюджета на нефть и газ, наблюдалась тенденция к ее снижению: 2013 г. – 7,2 %, 2016 г. – 5,4 %, 2018 г. – 4,5 %, 2020 г. – 3,8 %, 2021 г. – 3,1 %, 2022 г. – 3,6 % (плановое значение). При этом доля финансирования за счет собственных средств недропользователей соответственно увеличивалась.

Таблица 1. Вызовы и угрозы современному недропользованию
Table 1. Challenges and threats to modern subsoil use

Вызовы	Угрозы	Характеристика угроз
Рост народонаселения, необходимость удовлетворения растущих потребностей	Экологические	Истощение минерально-сырьевого потенциала Снижение качественных характеристик месторождений Рост потерь в силу усложнения разработки месторождений
	Экономические	Необходимость финансирования высокозатратных проектов
	Социальные	Снижение доступности ресурсов, определяющих качество жизни населения (питьевая вода, электричество и т. д.)
Новый тип экономики – экономика с явными экологическими приоритетами; экологизация экономики	Экономические	Переход менеджмента на принципы устойчивого развития Удорожание проектных решений за счет учета экологического фактора Необходимость перехода на наилучшие доступные технологии
	Экологические	Перевод ряда балансовых запасов в забалансовые
Признание значимости природного капитала, усложнение регулирования недропользования	Институциональные	Необходимость расширения применения экономических мер в процессе регулирования недропользования Совершенствование законодательных актов, ФЗ «О недрах», системы лицензирования и др. Реформирование структуры, регулирующей недропользование
	Социальные	Нехватка квалифицированных управленческих кадров Отсутствие профессиональных знаний у победителей аукционов
Выход за пределы «биосферного коридора», реализация требований биосферной концепции	Экономические	Рост конфликтов между недропользователями и владельцами земель, а также КМНС при промышленном освоении территорий
	Экологические	Необходимость увеличения площадей ООПТ
Рост объемов отходов, переход к циркулярной экономике	Экономические	Ужесточение надзора за сферой образования и переработки отходов Рост налоговой нагрузки Необходимость финансирования затратных проектов по переработке отходов
	Социальные	Нехватка специалистов инженерного корпуса с междисциплинарными компетенциями
	Экономические	Старение кадров
Цифровизация, искусственный интеллект	Экономические	Отставание в техническом развитии Зависимость отрасли от иностранных IT-продуктов
Освоение недр Арктики и Антарктики	Экономические	Отставание в исследовании недр Арктики и Антарктики
	Институциональные	Недоработки в создании морского права
Ухудшение международных отношений, снижение социальной защищенности	Экологические	Снижение финансирования геологоразведочных работ
	Социальные	Отставание в решении проблемы моногородов и поселков горнопромышленного комплекса Рост удельного веса бедных в общей численности населения Снижение доходов семей, размера реальной заработной платы Рост безработицы

Следует отметить, что в УрФО в период с 2008 г., когда объем финансирования за счет федерального бюджета составлял 535 млн руб., по настоящее время наблюдается снижение как уровня финансирования (менее 300 млн руб. в год), так и количества видов полезных ископаемых, на которые оно направлялось. Ранее средства федерального бюджета направлялись на благородные металлы,

цветные металлы, черные металлы, уголь, уран, а также тематические работы [10]. В частности, с 2016 по 2021 г. финансировались работы по наращиванию ресурсного потенциала хромовых руд в ЯНАО. В 2021 г. завершены поиски высокохромистых руд на перспективных участках Полярно-Уральских ультрабазитовых массивов (Войкаро-Сыньинский и Сyum-Кеу).

В период 2022–2024 гг. в соответствии с Пообъектным планом ГРП [11] за счет средств федерального бюджета финансировались ГРП по нескольким объектам только благородных металлов и неметаллических полезных ископаемых:

- поиски золотосульфидно-кварцевого оруденения в пределах Манюкуйской площади – потенциально золотого поля (ЯНАО, Полярный Урал) – в объеме 270 млн руб.;
- поисковые работы на россыпное золото и золотосодержащие коры выветривания на Лялинско-Туринской площади (Свердловская область) – в объеме 255 млн руб.;
- оценочные работы на рудное золото в пределах перспективных участков Шамейской площади (Свердловская область) – 342,6 млн руб.;
- поисковые работы на особо чистый кварц на Южно-Уфалейской площади (Челябинская область) – 290 млн руб.

За счет средств федерального бюджета в Уральском федеральном округе проводились ГРП по семи объектам нефтегазовых месторождений. Работы за счет средств федерального бюджета преимущественно направлены на уточнение геологического строения перспективных территорий нераспределенного фонда недр, локализацию прогнозных ресурсов нефти и газа, а также подготовку лицензионных участков для их выставления на аукционы для последующего проведения на них поисково-разведочных работ силами недропользователей.

В большинстве своем недропользователи в УрФО проводят геологоразведочные работы за счет собственных средств. К примеру, ООО «ЛЕКС ЭЛЕКТА» в Челябинской области подготавливает к эксплуатации Суроямское *титаномагнетитовое* месторождение. Разработка месторождения планируется с 2025 г. ОАО «ММК» проводит разведочные работы на *месторождении железистых кварцитов Малый Куйбас* в Челябинской области. Также в 2021 г. в Челябинской области поисковые и оценочные работы проводились на участках Северо-Таратощский, Копанский-2 (ОАО «ММК»), Дмитровский (ООО «ГК «Гипродор»), Айский (ООО «Уралстройщель»), Магнитский (ООО «Бизнес решения») и ряде других мелких объектах [12].

Финансирование недропользователями УрФО геологоразведочных работ *по марганцевым рудам* выросло в

2021 г. по сравнению с 2020 г. почти в 5 раз – до 12 млн руб. Средства были потрачены на поисковые работы, направленные на выявление перспективных марганцевых объектов на двух объектах Челябинской области: участках Северный (ООО «Гефест-строй») и Пугачевский (ООО «Квазар»). В 2022 г. затраты недропользователей на геологоразведочные работы еще выросли благодаря расширению поисковых и оценочных работ в Челябинской области, а также началу оценочных работ в Свердловской области. В ближайшей перспективе запланировано проведение поисковых и оценочных работ на трех участках в Челябинской области. В Свердловской области ОАО «Сибзолоторазведка» проводит оценочные работы на Клевакинском участке на окисленные и первичные марганцевые руды. В ЯНАО собственными силами АО «ЧЭМК» проводятся работы по изучению Юго-Западного хромового рудного поля.

Значительные работы, направленные на геологическое изучение, поиски и оценку месторождений золота, ведут недропользователи УрФО за счет собственных средств. Поисковые и оценочные работы ведутся как на традиционные типы золотого оруденения, так и комплексные золотосодержащие руды.

За счет средств недропользователей в УрФО проводятся значительные геологоразведочные работы *по нефти и газу* в основном на территориях с доказанной нефтегазоносностью. В 2021 г. затраты составили 126,4 млрд руб., 40 % всех собственных средств недропользователей данного вида сырья [12].

Низкий уровень финансирования геологоразведочных работ в УрФО за счет федерального бюджета, равно как и порой низкая заинтересованность недропользователей в проведении геологоразведочных работ за счет собственных средств, тормозят сбалансированное развитие воспроизводства МСБ региона, создавая тем самым угрозы экономической безопасности региона и национальной безопасности в целом.

2. Зависимость отрасли от иностранных ИТ-продуктов.

В настоящее время специалисты констатируют факт высокой зависимости горнодобывающей отрасли от зарубежного программного обеспечения. По оценке директора департамента горнодобывающих решений компании «Рексофт» Дмитрия Карамышева, сейчас *самые крупные*

Таблица 2. Итоговый перечень глобальных угроз недропользованию УрФО
Table 2. Final list of global threats to the subsoil use of the Ural Federal District

Вызовы	Частота выбора респондентами, %
Истощение минерально-сырьевого потенциала	100
Переход менеджмента на принципы устойчивого развития	68
Зависимость отрасли от иностранных ИТ-продуктов	100
Рост потерь в силу усложнения разработки месторождений	85
Рост налоговой нагрузки при переходе к циркулярной экономике	83
Нехватка специалистов инженерного корпуса с междисциплинарными компетенциями	88
Необходимость увеличения площадей ООПТ	63
Необходимость расширения применения экономических мер в процессе регулирования недропользования	82
Снижение финансирования геологоразведочных работ	91
Отставание в решении проблемы моногородов и поселков горнопромышленного комплекса	73

Таблица 3. Оценка состояния минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых (ТПИ) Уральского федерального округа (УрФО) с точки зрения выполнения условия обеспеченности и определения возможных направлений ее достижения
Table 3. Assessment of the state of the mineral resource base of solid minerals (SM) of the Ural Federal District (UFD) in terms of meeting the prosperity condition and determining possible directions for achieving it

Твердое полезное ископаемое	УрФО (потребность/обеспеченность)	Возможные направления достижения обеспеченности УрФО твердыми полезными ископаемыми	Примечания
Уголь, всего	+/+ч		
В том числе:			
каменный	+/-	Достижение обеспеченности за счет собственной МСБ не представляется возможным Потребности покрываются за счет внутренних и внешних поставок (Кузбасс, Якутия, Казахстан) Потенциально увеличение поставок может быть осуществлено за счет угля Воркутинского бассейна при условии решения транспортной составляющей	УрФО данным видом ТПИ не обеспечен (добыча не ведется); он не является дефицитным в РФ
бурый	+/+ч	Достижение обеспеченности за счет собственной МСБ не представляется возможным Потребности Свердловской области (для Рефтинской ГРЭС) покрываются за счет внешних поставок (Казахстан)	УрФО данным видом ТПИ не обеспечен; он не является дефицитным в РФ
Железорудное сырье	+/+ч	Увеличение обеспеченности в значительной степени возможно за счет освоения собственной МСБ: Собственно-Качканарского месторождения титаномагнетитовых руд в Свердловской области; Серовского месторождения в Свердловской области; Суоямского титаномагнетитового месторождения в Челябинской области С учетом существующей потребности для производителей металлургии Южного Урала остается необходимость внутренних (Курская магнитная аномалия) и внешних (Казахстан) поставок сырья	В целом УрФО данным видом ТПИ обеспечен частично (в РФ полная обеспеченность) Диспропорция в обеспеченности объясняется дефицитом для производителей Южного Урала, использующих магнетитовые руды, поступающие с месторождений Курской магнитной аномалии и Казахстана. Металлургические предприятия Среднего Урала полностью обеспечиваются рудами Северного Урала
Медное сырье	+/+	Поддержание высокого уровня обеспеченности в перспективе предполагается за счет освоения собственной МСБ: – поддержания добычи на эксплуатируемых месторождениях Свердловской (Волковское – ванадиево-железо-медные руды и др.) и Челябинской (Узельгинское, Михеевское – медно-порфиновые руды и др.) областей; – продолжения освоения медно-порфиновых руд Южного Урала (Томинское месторождение в Челябинской области); – освоения техногенных месторождений меди в Свердловской области; – возобновления геологоразведочных работ на Приполярном Урале С учетом сложившихся у основных производителей округа схем поставок сырья остается возможность покрытия потребностей за счет разрабатываемых ими месторождений в соседних регионах (Башкирия, Оренбургская область)	Имеющаяся сырьевая база меди в УрФО может полностью обеспечить потребности основных производителей округа в краткосрочный период от 5 до 10 лет
Алюминиевое сырье	+/+	Поддержание уровня полной обеспеченности округа предполагается за счет освоения собственной МСБ (месторождений Черемуховское, Красная Шапочка, Кальинское и Ново-Кальинское, расположенных в Северо-Уральском бокситоносном районе Свердловской области) на действующих и вновь вводимых мощностях ОАО «СУБР»	УрФО полностью обеспечен глиноземным сырьем, самым качественным в России. Однако качество сырья и горно-геологические условия его залегания проигрывают зарубежным аналогам (обеспеченность в РФ является частичной и восполняется за счет импорта)
Золото	+/+	Поддержание уровня обеспеченности в перспективе предполагается за счет роста производства на действующих предприятиях и вовлечения в разработку новых месторождений, перехода от простого к расширенному воспроизводству	По УрФО (и РФ) наблюдается обеспеченность данным видом сырья на среднесрочную перспективу

Окончание табл. 3

Хромовые руды	+/+ч	<p>Достижение обеспеченности за счет собственной МСБ не представляется возможным. Возможно ее расширение за счет ввода в разработку Серовского месторождения (Свердловская область) и месторождения Западное (ЯНАО)</p> <p>Достижение обеспеченности возможно за счет ввода в разработку месторождения Южное Сарановское в Пермском крае</p> <p>Остается необходимость импорта из Казахстана</p>	<p>По УрФО (и РФ) наблюдается дефицит экономически рентабельных запасов данного вида полезных ископаемых, что обуславливает импорт из Казахстана</p>
Марганцевые руды	+/+ч	<p>Достижение обеспеченности за счет собственной МСБ возможно только при условии внедрения новых методов переработки марганцеворудного сырья низкого качества</p> <p>Остается необходимость импорта из Казахстана и ЮАР</p>	<p>По УрФО (и РФ) наблюдается дефицит марганцевых руд</p> <p>Добыча сырья, несмотря на наличие около 20 % российских запасов</p> <p>Главной проблемой является низкое качество марганцеворудного сырья и отсутствие новых методов его переработки</p> <p>Потребность в сырье практически в полном объеме обеспечивается за счет импорта</p>

Примечания: «+» – полная обеспеченность потребностей в данном виде ТПИ; «+ч» – частичная обеспеченность потребностей в данном виде ТПИ; «–» – потребности в данном виде ТПИ не обеспечены.

игроки горнодобывающей отрасли, в том числе и УрФО, имеют около 90 процентов иностранного ПО класса ERP (для управления финансами, цепочками поставок, операциями, торговлей, отчетностью, производством и персоналом) и примерно 45 процентов MES-систем (для управления производственными процессами) [13]. Такая ситуация сложилась в результате 20-летнего освоения российскими предприятиями дорогостоящего ПО в сотрудничестве с иностранными разработчиками ПО (вендорами), такими как SAP, IBM, Schneider Electric, Siemens, Hexagon, Wenco, Modular Mining, Micromine, Dassault Systemes. Это было веянием времени. Немаловажную отрицательную роль сыграл факт инертного внедрения процесса импортозамещения в России, несмотря на то, что впервые соответствующая программа была введена еще в 2014 г. Далее Постановлением Правительства от 15.04.2014 № 328 был утвержден план госпрограммы по развитию промышленности и повышению ее конкурентоспособности, а Постановлением Правительства РФ от 11.10.2014 № 1044 утверждена программа поддержки инвестпроектов для проведения импортозамещения.

Как следствие, сегодня предприятия недропользователи оказались во власти схожих с отраслевыми проблем. В условиях прекращения обслуживания в России ПО со стороны иностранных вендоров появилась угроза, связанная с невозможностью обновления и поддержки используемого сегодня ПО и дальнейшего развития этих систем на предприятиях. Имеющееся российское ПО, во-первых, уступает зарубежному, во-вторых – распространяется лишь на отдельные стадии производства, а не на все потребности предприятий. На заполнение опустевшего рынка IT-услуг отечественным программным продуктом уйдет немало времени, несмотря на имеющийся потенциал.

Естественно, возникает вопрос о запасе прочности у действующих информационных систем на основе импортного ПО. Сколько на это уйдет времени, определенно

не могут сказать даже специалисты. Гендиректор российского разработчика ПО для цифровизации промышленности ООО «Цифра» Игорь Богачев отмечает, что «так называемый “запас прочности” зависит от изменений в операционном процессе компании или предприятия. Причем изменения могут быть любые. Это неизбежно, даже если не сразу, повлечет за собой ошибки в ее работе» [14]. В то же время, по оценкам экспертов, уровень технологического отставания по многим видам используемой техники и ПО в недропользовании в среднем составляет 15–20 лет [15].

Для большинства компаний отрасли вопрос с импортозамещением в сфере КИИ (критической информационной инфраструктуры) еще более актуализировался. Обострилась угроза информационной защищенности. «Количество кибератак на бизнес и госкомпании постоянно растет, без регулярных обновлений ПО риск взлома возрастает. В лучшем случае иностранные компании перестают оказывать поддержку и продавать лицензии, а в худшем ограничивают функциональность устройств, которые используются для обеспечения информационной безопасности, что серьезно влияет на общий уровень защищенности российских компаний. В итоге сейчас организации массово переходят на открытое программное обеспечение или отечественные аналоги» [16]. Еще одной угрозой является использование уязвимых пиратских программ.

В свою очередь, Президент России Владимир Путин подписал указ, согласно которому, госорганам запрещается использовать иностранное программное обеспечение (ПО) на объектах критической информационной инфраструктуры (КИИ) с 1 января 2025 г. [13].

Как оценивают сложившуюся ситуацию на предприятиях, осуществляющих недропользование в УрФО? Андрей Нуйкин, начальник отдела обеспечения безопасности информационных систем блока вице-президента по ИТ-компания «Евраз», в состав которой входит Качканарский ГОК (минерально-сырьевой базой в

Свердловской области являются Гусевогорское и Собственно-Качканарское железорудные месторождения), считает, что сегодня компании поняли опасность остаться без программных обновлений и технической поддержки и начали смещать свое внимание на отечественных вендоров и российские решения в области кибербезопасности. Особую угрозу представляют фишинговые рассылки, конечной целью которых является полное выведение из строя пользователей соответствующего программного обеспечения. События последнего времени напрямую влияют на необходимость скорейшего решения по киберзащитенности реального сектора отечественной экономики с учетом институциональных мер поддержки [17]. У отечественных разработчиков появляется возможность создания ПО для всего технологического цикла. «Сейчас большинство производственных систем горнодобывающих производств в целях информационной безопасности имеют закрытую архитектуру, данные не отдаются в облачные решения» [18].

Специалисты *Уральской горно-металлургической компании УГМК* (минерально-сырьевой базой являются меднорудные месторождения в Свердловской области: Сафьяновское, Волковское, Ново-Шемурское; в Челябинской области – Молодежное, Узельгинское, Талганское) *вышли с инициативой создания консорциума для внедрения ИТ-решений в горно-металлургической промышленности. В числе задач консорциума: анализ имеющихся программных решений; формирование единых требований для участников; составление и курирование разработки программных продуктов. Особое внимание уделяется возникновению возможных рисков, связанных с поиском компетентных специалистов и отсутствием конкурентной среды.* Последнее может негативно повлиять на качество выпускаемого программного обеспечения (ПО). Центральным остается вопрос финансового обеспечения проекта. «Для этого создадут совместное предприятие, которое будет курировать разработку программного обеспечения. Уточняется, что переговоры об этом уже ведут «Северсталь», УГМК, Highland Gold. Возможным основным ИТ-партнером назвали «Ростелеком». Координируют работу российские экс-партнеры McKinsey. Проект также поддержали Фонд «Сколково» и «Минцифры РФ» [9]. Формирование такого консорциума может войти в перечень технологических консорциумов по разработке программного обеспечения и импортозамещающих технологий, формируемый в рамках выполнения задач, поставленных Президентом РФ. Есть мнение, что единственным вариантом развития рынка отечественного ПО представляется госзаказ, «по аналогии, фактически, с Силиконовой долиной, которая выросла на госзаказе американского военпрома, который был четко сфокусирован в сторону частных компаний и ориентирован на малый, средний и крупный бизнес.

В настоящее время просматриваются два потенциальных варианта разработки ПО: первый касается созда-

ния отдельных ИТ-компаний; второй – развитие существующих ИТ-подразделений в компании. Справедливости ради, надо отметить, что в крупных компаниях имеются собственные ИТ-специалисты, разрабатывающие отдельные программные продукты.

К примеру, в УГМК за двадцать лет ИТ-службам организаций удалось внедрить различные информационные системы, спроектировать всевозможные компоненты информационной инфраструктуры и обеспечить информационную безопасность на всех уровнях работы пользователей [19].

Руководители компаний в ближайшее время, скорее всего, не будут отказываться от возможности разработок ПО в своих ИТ-подразделениях в пользу отдельных ИТ-компаний. Однако они вправе рассчитывать на частичную государственную поддержку в части финансового обеспечения новых разработок ПО.

Таким образом, в сложившихся условиях, когда минерально-сырьевой потенциал истощается, а объемы геологоразведочных работ снижаются, уровень зависимости компаний недропользователей от зарубежного программного обеспечения остается достаточно высоким, несмотря на проводимую политику импортозамещения и сформировавшийся потенциал российского программного обеспечения. Реальными становятся последствия (в том числе риски) этого процесса, к основным из которых могут быть отнесены: 1) снижение темпов добычи и ВВП; по прогнозам ОПЕК, в 2022 г. в России возможно снижение объемов добываемой нефти на 1,6 %. По их данным, уровень добычи нефти в 2021 г. составил 10,8 млн баррелей в сутки, тогда как в 2022 г. составит 10,63 млн баррелей в сутки; 2) переход к экстенсивному недропользованию из-за невозможности использовать новые технологии; 3) нарушение равновесия в процессе воспроизводства минерально-сырьевой базы (МСБ); 4) рост затрат на НИОКР и НИОКТР по разработке программного обеспечения (ПО) и отечественного оборудования; 5) технологическая отсталость и зависимость от фирм-производителей программного обеспечения; 6) использование в отношении российских компаний недропользователей различных форм контроля и управления информационными ресурсами государств, что обостряет проблему информационной безопасности России; 7) нарушение отдельных стадий производственных процессов и возникновение аварийных ситуаций из-за невозможности исправления дефектов в зарубежных программах без участия фирм-производителей; 8) политическое давление (шантаж) со стороны стран-разработчиков программного обеспечения с целью достижения собственных экономических и политических эффектов и ущемления интересов России; 9) нарушение управления всей совокупностью хозяйственной деятельности компаний-недропользователей в рамках цифровой платформ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогноз научно-технологического развития РФ на период до 2030 г. М.: Минобрнауки России, 2013. 72 с.
2. Sandler T. Near horizons // Global Challenges: An Approach to Environmental, Political, and Economic Problems. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. P. 199–214. URL: <https://www.cambridge.org/az/academic/subjects/economics/public-economics-and-public-policy/global-challenges-approach-environmental-political-and-economic-problems>

3. Blomström M., Kokko A. From Natural Resources to High-tech Production: The Evolution of Industrial Competitiveness in Sweden and Finland // CEPR Discussion Papers. 2003. No. 3804. P. 1–32.
4. Делойт. Тенденции развития-2019. 10 ключевых факторов, оказывающих влияние на будущее горнодобывающего сектора. Аудит. Консалтинг. Налогообложение. Финансовое консультирование. Deloitte, 2019. 72 с.
5. Sekerin V., Dudin M., Gorokhova A., Bank S., Bank O. Mineral resources and national economic security: current features // Mining of mineral deposits. 2019. Vol. 13(1). P. 72–79. <http://dx.doi.org/10.33271/mining13.01.072>
6. Deloitte. Value Beyond Compliance. A new paradigm to create shared value for mines, communities and government. Johannesburg, 2019. 121 p.
7. Christmann P. Towards a more equitable use of mineral resources // Natural Resources Research. 2018. Vol. 27(2). P. 159–177. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9343-6>
8. Polyanskaya I. G., Yurak, V. V. Institutions, mechanisms and methods of innovative subsurface resources management // Economy of Region. 2013. No. 1. P. 205–215. <https://doi.org/10.17059/2013-1-20>
9. Итоги работы Федерального агентства по недропользованию в 2021 году и планы на 2022 год. URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/14310.html>
10. Информационная справка о состоянии минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых: Уральский Федеральный округ. М.: ФГБУ «ВИМС», 2018. 17 с. URL: https://vims-geo.ru/documents/204/Ural_03072018.pdf
11. О внесении изменений в приказ Федерального агентства по недропользованию от 21.06.2022 № 330 «Об утверждении Пообъектного плана геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые за счет средств федерального бюджета на период до 2024 года: Приказ Федерального агентства по недропользованию от 22.06.2022 № 332. URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/14493.htm>
12. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году: гос. доклад / гл. ред. Д. Д. Тетенькин, Е. И. Петров. М.: Роснедра, 2022. 622 с. URL: <https://gd2021.data-geo.ru/fuel>
13. Металлурги идут в разработку. URL: https://ekaterinburg.octagon.media/ekonomika/metallurgi_idut_v_razrabotku.html
14. Глава ГК «Цифра»: иллюзий быть не должно – иностранные вендоры не будут работать с компаниями под санкциями. URL: <https://www.interfax.ru/interview/833644>
15. Вопросы программного обеспечения для российской нефтегазовой отрасли в период санкций. URL: <https://energypolicy.ru/voprosy-programmnogo-obespecheniya-dlya-rossijskoj-neftegazovoj-otrasli-v-period-sankcij/neft/2022/20/25/>
16. Другого такого не IT: спрос на отечественный софт вырос до шести раз из-за санкций. URL: <https://iz.r/1306100/mariia-nemtceva/drugo-go-takogo-ne-it-spros-na-otechestvennyi-soft-vyros-do-shesti-raz-iz-za-sanktcii>
17. Андрей Нуйкин, «Евраз»: Обеспечить ИБ без иностранных вендоров и open source можно и нужно. URL: https://safe.cnews.ru/articles/2022-06-06_andrej_nujkinevraz_obespechit
18. Metallurgicheskiy, myagkiy, svoj. URL: <https://expert-ural.com/archive/nomer-27-29-867/metallurgicheskiy-myagkiy-svoy.html>
19. Цифровизация в горной промышленности. Vision Индустрия 4.0: по материалам Междунар. форума (Верхняя Пышма Свердловской области, УГМК, 24–25 октября 2019 г.). 48 с.

Статья поступила в редакцию 18 мая 2023 года

Challenges and threats to modern subsoil use using the example of the Ural Federal District

Irina Gennad'evna POLYANSKAYA^{1*}

Vera Vasil'evna YURAK^{1**}

Vladimir Evgen'evich STROVSKIY^{2***}

¹Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

Relevance. Environmentally sustainable subsoil use requires full coordination of socio-economic and environmental subsystems. The growing economic problems, the deterioration of international relations, the approaching environmental crisis are causing challenges and threats that provoke disruptions in the operation of enterprises in the industry, which makes it necessary to identify threats and challenges in order to take systemic measures to mitigate the consequences or prevent them.

The purpose of the study is to identify challenges and threats that pose a danger to subsoil use (using the example of the Ural Federal District).

Research methods – generalization and analysis, methods of analogy, groupings, logical analysis, expert assessments.

Results. The conceptual and categorical tools of the study have been clarified, the main challenges and threats that provoke the occurrence of adverse events for subsoil use, including the emergence of economic, social and environmental threats with a decoding of their characteristics, have been identified. Using the Delphi method in a lite variation by D. Peskov, three basic threats to the subsoil use of the Ural Federal District were identified with the involvement of 26 experts for evaluation. A detailed analysis of each of these threats has been carried out. The depletion of the mineral resource potential within the Ural Federal District and the need to meet the demand for raw materials through external and internal supplies were confirmed. Among the solid minerals are coal, manganese and chromium ores, copper raw materials, etc. An insufficient level of funding for geological exploration has also been determined. The analysis of the threat associated with the dependence of the industry on foreign IT products was performed in great detail. Data on the assessment of the current situation at enterprises engaged in subsoil use in the Ural Federal District are given. Possible ways out of the current critical situation are considered.

Conclusions. The consequences of the identified threats for subsoil use are formulated. The need to reduce the impact of threats is substantiated: the depletion of the mineral resource potential, the reduction in funding for geological exploration and the dependence of the industry on foreign IT products.

Keywords: subsoil use, challenges, threats, risks, consequences, prevention, Delphi method, information security.

REFERENCES

1. Forecast of scientific and technological development of the Russian Federation for the period up to 2030. Moscow, 2013 p. (*In Russ.*)
2. Sandler T. 1997, Near horizons. *Global Challenges: An Approach to Environmental, Political, and Economic Problems*. Cambridge, pp. 199–214. https://doi.org/10.1017/CBO_9781139174886.009
3. Blomström M., Kokko A. 2003, From Natural Resources to High-tech Production: The Evolution of Industrial Competitiveness in Sweden and Finland. *CEPR Discussion Papers*, no. 3804, pp. 1–32.
4. Deloitte. Development trends-2019. 10 key factors influencing the future of the mining sector. Audit. Consulting. Taxation. financial advice. Deloitte, 2019, 72 p. (*In Russ.*)
5. Sekerin V., Dudin M., Gorokhova A., Bank S., Bank O. 2019, Mineral resources and national economic security: current features. *Mining of mineral deposits*, vol. 13 (1), pp. 72–79. <http://dx.doi.org/10.33271/mining13.01.072>
6. Deloitte. Value Beyond Compliance. A new paradigm to create shared value for mines, communities and government. Johannesburg, 2019, 121 p.
7. Christmann P. 2018, Towards a more equitable use of mineral resources. *Natural Resources Research*, vol. 27(2), pp. 159–177. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9343-6>
8. Polyanskaya I. G., Yurak, V. V. 2013, Institutions, mechanisms and methods of innovative subsurface resources management. *Economy of Region*, no. 1, pp. 205–215. <https://doi.org/10.17059/2013-1-20>
9. Results of the work of the Federal Agency for Subsoil Use in 2021 and plans for 2022. (*In Russ.*) URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/14310.html>
10. Information note on the state of the mineral resource base of solid minerals: Ural Federal District. Moscow, 2018, 7 p. (*In Russ.*) URL: https://vims-geo.ru/documents/204/Ural_03072018.pdf

✉ polianskaia.ig@uiec.ru

**vera_yurak@mail.ru

***strovskiyve@m.ursmu.ru

11. On amendments to Order No. 330 of the Federal Agency for Subsoil Use of June 21, 2022 "On Approval of the Per-Object Exploration Plan for Solid Minerals at the expense of the federal budget for the period up to 2024: Order of the Federal Agency for Subsoil Use no. 332 of June 22, 2022. (*In Russ.*) URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/article/14493.htm>
12. Tetenkin D. D., Petrov E. I. 2022, On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2021: state report. Moscow, 622 p. (*In Russ.*) URL: <https://gd2021.data-geo.ru/fuel>
13. Metallurgists go into development. (*In Russ.*) URL: https://ekaterinburg.octagon.media/ekonomika/metallurgi_idut_v_razrabotku.html
14. The head of Tsifra Group: there should be no illusions - foreign vendors will not work with companies under sanctions. (*In Russ.*) URL: <https://www.interfax.ru/interview/833644>
15. Software issues for the Russian oil and gas industry during the period of sanctions. (*In Russ.*) URL: <https://energypolicy.ru/voprosy-programmnogo-obespecheniya-dlya-rossijskoj-neftegazovoj-otrasli-v-period-sankcij/neft/2022/20/25/>
16. IT is not like this: the demand for domestic software has grown up to six times due to sanctions. (*In Russ.*) URL: <https://iz.r/1306100/mari-ia-nemtceva/drugogo-takogo-ne-it-spros-na-otechestvennyi-soft-vyros-do-shesti-raz-iz-za-sankcii>
17. Nuykin A., Evraz: It is possible and necessary to provide information security without foreign vendors and open source. (*In Russ.*) URL: https://safe.cnews.ru/articles/2022-06-06_andrej_nujkinevraz_obespechit
18. Metallurgical, soft, own. (*In Russ.*) URL: <https://expert-ural.com/archive/nomer-27-29-867/metallurgicheskiy-myagkiy-svoy.html>
19. Digitalization in the mining industry. Vision Industry 4.0: based on the materials of the International Forum, Verkhnyaya Pyshma, 2019, 48 p. (*In Russ.*)

The article was received on May 18, 2023

Дискуссионный клуб Discussion club

УДК 553.41: 551.311.231: 550:8.04

<http://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-2-175-179>

Золото верхних горизонтов Березовского рудного поля

Алексей Васильевич КУЗИН*

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Подсчет запасов золота (14–25 т) в верхней части рудного поля (до глубины 20 м) выполнен в 1930-е гг. Старательская разработка их велась до 1960-х гг. При проведении инженерно-геологических и геофизических изыскательских работ для промышленного и гражданского строительства на территории рудного поля – фактически на территории г. Березовский – удается уточнить положение известных разрабатываемых и нетронутых известных золотоносных березитовых даек и кварцевых жил, а также обнаруживать неизвестные геологической службе рудника золотоносные объекты. Современное законодательство запрещает проводить добычу полезных ископаемых на территории городов. Извлечение золота верхней части рудного поля можно организовать при условии выборки из объемов строительных котлованов золотосодержащих березитов, кварцевых жил, маршаллит-каолининовых суглинков коры выветривания березитов и гранит-порфиров.

Ключевые слова: месторождения золота, коры выветривания, электроразведка.

Подсчеты запасов золота в верхней части Березовского золоторудного поля (до глубины 20–40 м) и опыты их промышленного извлечения проведены в 1930–1940-е гг. – на заре систематического геологического исследования месторождения. Тогда были пройдены разведочные линии шурфов, скважин в центральной части месторождения для составления геологических планшетов масштаба 1 : 2000 и геологической карты рудного поля в масштабе 1 : 10 000 [6]. По разным оценкам, запасы золота определены в 14–25 т. Из них до 1941 г. извлечены первые десятки килограммов. После подсчета в 1950–1960-е гг. запасов глубоких горизонтов месторождения и строительства шахт золото из верхних горизонтов (до 25–40 м) не добывается. Рудник работает, добывая ежегодно из шахт по 0,5–1 т золота [8]. До 1963 г. старательская добыча золота была разрешена частным лицам при условии сдачи золота государству. Современное законодательство о недрах не позволяет разрабатывать месторождения в городской черте. Исключением из этого правила служит сам Березовский рудник, но получить разрешение на разработку иных, не поставленных на баланс рудника запасов, представляется невозможным.

Тем не менее возможность извлечения ресурсов золота верхней части рудного поля на территории города Березовского существует: это обусловлено проведением промышленного и гражданского строительства. При проектировании строительства на подработанных территориях строительные правила требуют проведения геофизических работ для уточнения положения в разрезе известных геологической службе золотоносных берези-

товых даек и «красичных» (секущих дайки и выходящих во вмещающие породы) кварцевых жил, выявления неизвестных золотоносных объектов, которые могли быть подвержены в прошлые века старательским разработкам. После проведения геофизических, инженерно-геологических изысканий, утверждения проектов начинается заложение котлованов, в которых вскрываются березиты, кварцевые жилы и вместе с другими вскрышными породами отправляются в отвалы или для планировки новых строительных площадок. Вот здесь можно применить организационные действия для попутного извлечения запасов золота из верхних горизонтов рудного поля.

Примером бережного отношения к драгоценным металлам выступает опыт поисков и разведки золота в верхней части Березовского месторождения. В 1928 г. под руководством А. А. Смирнова пройдено 440 шурфов средней глубиной 2,4 м, 400 м канав глубиной 2 м. Канавы проходили вдоль известных даек гранит-порфиров и березитов. Выявленные кварцевые лестничные жилы в березитах, красичные жилы мощностью более 5 см исследовались, опробовались на содержание золота. Этими поисковыми и исследовательскими работами установлено, что не все дайки гранит-порфиров, березитов золотоносны или золотоносны не на всем своем простирании. Средняя мощность даек 10 м, простирание в основном субмеридиональное, падение субвертикальное. Наиболее продуктивными на золото являются лестничные кварцевые жилы в ранних дайках гранит-порфиров с фенокристаллами кварца. Среди кварцевых жил наиболее богатыми на золото являются жилы с вкрапленниками пирита (он,

✉ kuzin-av@mail.ru

как правило, окислен до бурого железняка) и особенно айкинита ($PbCuBiS_3$). Кварцевые жилы с гематитом, как правило, незолотоносны. Геологическими исследованиями золота верхней части рудного поля в начале 1930-х гг. занимались П. И. Кутюхин, П. Н. Бокарев, обогащением руд занимался профессор В. Я. Мостович в Томском технологическом институте, профессор М. Ф. Ортин в «Урал-механобре».

В результате геологоразведочных работ, обогащения руд верхних горизонтов, разработки технологии их извлечения из руды исследователями в 1930-е гг. установлены некоторые средние опорные параметры. Так, среднее содержание золота в собственно березитах составляет 0,9–1,2 г/т. Исследованиями М. Н. Альбова в 1950-е гг. установлено, что золото из зоны приповерхностного

выветривания выщелачивается вниз, на глубину около 20–90 м в разных дайках, т. е. концентрируется в 1,25–1,5 раза в нижней части зоны выветривания [2]. Этим можно объяснить относительно невысокое содержание золота в березитах верхней части рудного поля. Кварцевые жилы более стойкие в зоне выветривания, но и в них отмечается вторичное обогащение с глубиной.

Из различных полос березитов и отвалов на фабрику поставлено от 300 до 900 т березитов. Из них извлечено от 275 до 600 г золота. Из 4127 т березитов Андреевской дайки при среднем содержании золота 2 г/т добыто 8,25 кг золота. К 1934 г. фабрика из ведомства геологической службы передана тресту «Березитстрой», в этом же году работа ее с березитами остановлена из-за низкой рентабельности производства.

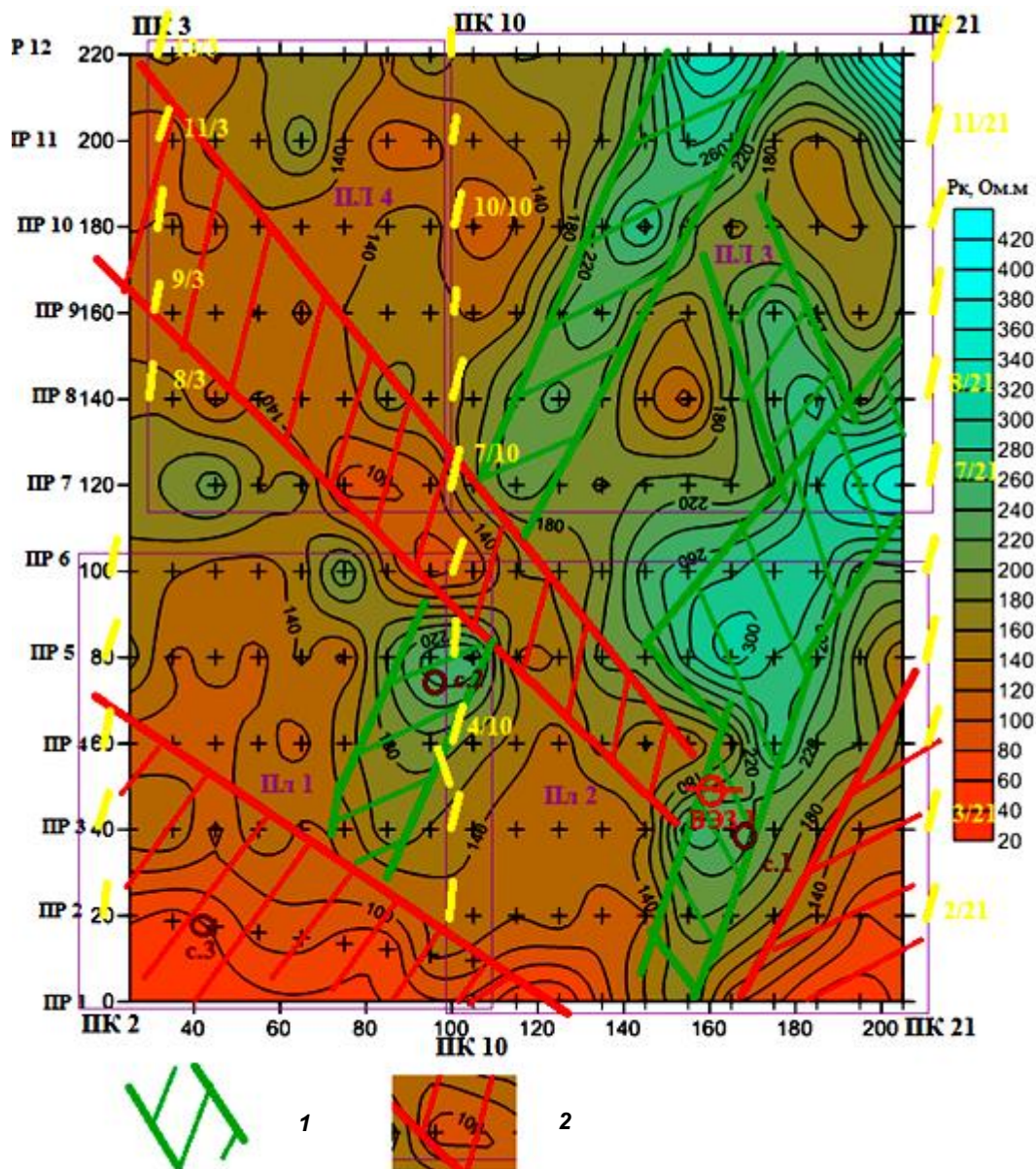


Рисунок 1. План значений кажущегося удельного электрического сопротивления горных пород на глубине около 25 м: 1 – контуры зон повышенного сопротивления над дайками березитов или кварцевыми жилами; 2 – зоны понижения ρ_k над предполагаемыми зонами заглинизированных тектонических нарушений. Указаны точки ВЭЗ, скважины, пикеты электроразведочных профилей
Figure 1. Plan of values of apparent electrical resistivity of rocks at a depth of about 25 m: 1 – contours of zones of increased resistance over beresite dikes or quartz veins; 2 – zones of decrease in ρ_k over supposed zones of clayed tectonic faults. VES points, wells, pickets of electroprospecting profiles are indicated

Кварцевые золотоносные жилы разбирались вручную при проходке штреков. Отборная «товарная» руда (кварц с сульфидами) отправлялась в качестве флюса на металлургические заводы. Извлечение золота из нее достигало 95 %, попутно извлекались серебро, медь. Среднее содержание золота в кварце составляло 79 г/т, серебра 95,5 г/т, меди 4,56 г/т, свинца 0,45 г/т. Остальной кварц лестничных и красичных жил со средним содержанием золота 12–14 г/т – «фабричная» руда – отправлялся на местную фабрику. Извлечение золота не превышало 75 %.

Приведенные данные о золоте верхней части рудного поля заимствованы из открытых фондовых материалов.

При проведении геофизических работ по обнаружению на участках проектируемого строительства неизвестных маркшейдерской службе старательских выработок удается обнаружить положение в верхней части разреза – до глубины 10–25 м – известных и неизвестных даек березитов и красичных кварцевых жил. Удастся определить участки разрабатываемых старателями с поверхности золотоносных даек и жил, выработанное пространство которых заполнено рыхлым глинистым материалом при ликвидации карьеров [1], а также неизвестные, не указанные на геологических картах неразрабатываемые дайки березитов, в частности, пересекающую под прямым углом известные дайки Первоначальная и Елизаветинская дайки березитов мощностью 5–10 м, длиной более 100 м [3].

На рис. 1 приведен план изометрических горных пород на глубине около 20–25 м на сводном планшете размером 200 × 220 м методом срединного градиента (МСГ) на площадке в северо-западной части рудного поля, в 200 м восточнее дайки Елизаветинская. По данным Березовского рудника, на площадке нет березитовых даек, кварцевых жил. Местность ровная, покрыта сосновым лесом, без следов старательских разработок. По данным ВЭЗ и скважин, мощность делювиально-элювиальных суглинков достигает 10–16 м. Поэтому старательскими и геологоразведочными работами XIX–XX вв. не были выявлены в верхней части разреза объекты, проявившиеся на планшете МСГ линейными аномалиями относительно повышенных и пониженных значений кажущегося удельного электрического сопротив-

ления (ρ_k , Ом · м, электрическое поле псевдопостоянное – на частоте 4,88 Гц). Линейная зона понижения ρ_k до 100–140 Ом · м может быть вызвана наличием заглинизированного тектонического нарушения северо-западного простирания в толще хлоритовых сланцев по андезитобазальтам [4, 5, 7]. Это предполагаемое нарушение разрывает две линейные зоны повышения ρ_k до 180–400 Ом · м северо-восточного простирания. Последние могут быть обусловлены наличием в толще скальных пород даек березитов. Скв. 2 над западной зоной остановлена на глубине 15 м в структурных глинах по хлоритовым сланцам. Скв. 1 над восточной зоной в интервале 10,5–13 м вскрыла выветренный березит с вкрапленниками метаморфоз лимонита по пириту и анкерита (рис. 2). По данным ВЭЗ 1, кровля березитов залегает на глубине 10,2 м, их ρ_k 220 Ом · м. В интервале 3,5–10,2 м выделен слой элювиальных суглинков с сопротивлением 42 Ом · м. Такое относительно невысокое сопротивление указывает на то, что суглинок образован по породам среднего или основного состава. Суглинок по березитам мог бы иметь значения ρ_k около 70–100 Ом · м [1, 3]. Очевидно, точка ВЭЗ и скважина располагаются в краевых частях дайки.

При бурении инженерно-геологических скважин по белому, желтому цвету и маршаллит-каолиновому составу элювиального суглинка всегда можно предполагать, что скальная порода на забое будет представлена гранит-порфиром или березитом. Суглинки коры выветривания даек можно по повышенным значениям удельного электрического сопротивления выделить методом ВЭЗ в виде бурых суглинков, образовавшихся по эффузивам среднего и основного составов в Березовском рудном поле [1, 3]. Эти рыхлые гипергенные образования, сформировавшиеся в зоне глубокого выветривания гранит-порфировых березитовых даек, могут содержать в своем составе золото. Тогда эти линейные зоны над апикальными частями золотоносных даек представляют собой элювиальные россыпи. Об их опробовании и подсчете запасов золота в них данных нет.

Геофизические и инженерно-геологические работы позволяют в недрах участков инженерно-геологических изысканий обнаруживать потенциально золотоносные



Рисунок 2. Фото образца керна с забоя скважины 1: размер поля 2 × 4 см: выветренный березит с вкрапленниками окисленных сульфидов и анкерита

Figure 2. Photo of a core sample from the bottom hole 1: field size 2 × 4 cm: weathered beresite with oxidized sulfide and ankerite phenocrysts

образования на глубинах до 15–20 м, тем более на глубине в первые метры, где впоследствии будет выбран грунт в строительных котлованах на глубину 2–4 м и, возможно, более. Если инженерно-геологическими или горными работами будут вскрыты березиты с лестничными кварцевыми жилами, красичные кварцевые жилы, то нетрудно при экскаваторных работах провести их выборку среди объемов других рыхлых горных пород. И вполне возможно предполагать, что в объеме 4 м³ будет содержаться 10 т руды, в которой может быть от 790 до 130 г золота, как в «товарной» или «фабричной» руде. При современной закупочной цене около 2500 руб./г на неочищенное (техническое) золото это даст доход 2–0,325 млн руб.

У Березовского рудника золото в рыхлых и скальных выветренных породах верхней части рудного поля на балансе не числится. Но оно есть в природе. По утверждению главного маркшейдера рудника в 1990-е гг. Р. Р. Чистякова, более 50 % запасов золота при старательских работах XVIII–XIX вв. в горизонте до 20 м были оставлены в недрах из-за отсутствия водоотлива и при избирательной разработке наиболее богатых золотом кварцевых жил [5]. Не исключена возможность, что в котлованах будут вскрыты именно самые богатые золотом новые кварцевые жилы. Терять это золото неразумно. Рудник или муниципальные власти должны навести порядок в горном хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузин А. В., Гадельшина Э. Х., Борисов И. О. Инженерная геофизика при исследованиях зон подработок березитов // Геозкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021. № 5. С. 87–93. <https://doi.org/10.31857/S0869780921050088>
2. Альбов М. Н. Вторичная зональность золоторудных месторождений Урала. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 215 с.
3. Кузин А. В., Ветошкин В. Д., Зырянова Е. С. Исследования геофизическими методами зон старательских разработок золотоносных березитизированных даек и кварцевых жил // Уральский геологический журнал. 2019. № 3 (129). С. 63–67.
4. Бабенко В. В., Поленов Ю. А., Огородников В. Н. Роль интрузивного магматизма в генезисе Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал) // Известия УГГУ. 2016. № 1(41). С. 39–49.
5. Земских В. Е. Золото и люди Березовского рудника. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 249 с.
6. Геологическая карта Березовского рудного поля. Масштаб 1 : 10 000. 1984.
7. Золотооруденение Екатеринбургского геологического полигона / В. Н. Сазонов [и др.]. Екатеринбург: Изд. УГГГА, 1997. 226 с.
8. Альбрехт В. Г., Набиуллин Ф. М., Клейменов Д. А. Первое золото России. Посвящается 270-летию открытия Березовского золоторудного месторождения. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2015. 248 с.

Статья поступила в редакцию 15 мая 2023 года

Gold of the upper horizons of the Berezovsky ore field

Aleksey Vasil'evich KUZIN*

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The calculation of gold reserves (14–25 tons) in the upper part of the ore field (to a depth of 20 m) was made in the 30s of the twentieth century. Their diligent development was carried out until the 60s of the twentieth century. When conducting engineering and geophysical survey work for industrial and civilian construction in the Rudny Field (in fact, in the territory of the city of Berezovsky) it is possible to clarify the position of well-known and untouched famous golden berets and quartz veins, as well as detect golden-bearing facilities to the minological service of the mines. Modern legislation prohibits the prey of minerals in the territory of cities. The extraction of gold of the upper part of the ore field can be organized subject to sampling from the volumes of construction boilers of gold-containing birch trees, quartz cores, marshallite kaolinite loams of cortical corticals and granite porphers. Such a small enterprise should be organized by the owners of the Berezovsky land: a mine or a municipality.

Keywords: gold deposits, weathering bark, electrical exploration.

REFERENCES

1. Kuzin A. V., Gadelshina E. Kh., Borisov I. O. 2021, Engineering geophysics in the study of areas of underworking of beresites. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology], no. 5, pp. 87–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869780921050088>
2. Albov M. N. 1960, Secondary zoning of gold deposits in the Urals. Moscow, 215 p. (In Russ.)
3. Kuzin A. V., Vetoshkin V. D., Zyryanova E. S. 2019, Investigations by geophysical methods of mining zones of gold-bearing beresitized dikes and quartz veins. *Ural'skiy geologicheskiy zhurnal* [Ural Geological Journal], no. 3 (129), pp. 63–67. (In Russ.)
4. Babenko V. V., Polenov Yu. A., Ogorodnikov V. N. 2016, The role of intrusive magmatism in the genesis of the Berezovsky gold deposit (Middle Urals). *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1 (41), pp. 39–49. (In Russ.)
5. Zemskikh V. E. 2008, Gold and people of the Berezovsky mine. Ekaterinburg, 249 p. (In Russ.)
6. Geological map of the Berezovsky ore field. Scale 1: 10,000, 1984. (In Russ.)
7. Sazonov V. N. et al. 1997, Gold mineralization of the Ekaterinburg geological polygon. Ekaterinburg, 226 p. (In Russ.)
8. Albrecht V. G., Nabiullin F. M., Kleimenov D. A. 2015, The first gold of Russia. Dedicated to the 270th anniversary of the discovery of the Berezovsky gold ore deposit. Ekaterinburg, Ural worker, 248 p. (In Russ.)

The article was received on May 15, 2023

История горного дела

<http://doi.org/10.21440/2307-2091-2023-2-180-186>

Павел Иванович Кутюхин (1899–1962) и бывший кутюхинит (ныне кумтюбеит)

Pavel Ivanovich Kutjukhin (1899–1962) and former kutyukhinite (now kumtyubeite)

Александр Григорьевич БАРАННИКОВ^{1*}
Сергей Сергеевич ПОТАПОВ²

Aleksandr Grigor'evich BARANNIKOV^{1*}
Sergey Sergeevich POTAPOV²

¹Уральский государственный горный университет, Россия

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

²Институт минералогии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Челябинская область, Россия

²Institute of Mineralogy – a division of the the South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geo-ecology of the Ural Branch of RAS, Miass, Chelyabinsk Region, Russia

*fgg.gpr@m.ursmu.ru

*fgg.gpr@m.ursmu.ru

Аннотация

Павел Иванович Кутюхин – крупный специалист в области геологии и минералогии золоторудных, редкометалльных и вольфрамовых месторождений Урала. Он около 15 лет возглавлял кафедры разведочного дела и геологии рудных месторождений геологоразведочного факультета в Свердловском горном институте. В честь Павла Ивановича был назван новый минерал – кутюхинит (фторсиликат кальция), который был обнаружен Б. В. Чесноковым в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна. Международная минералогическая ассоциация не утвердила его в качестве нового минерального вида, а недавно на Северном Кавказе был найден природный аналог – кумтюбеит.

Ключевые слова: П. И. Кутюхин, биография, кутюхинит, кумтюбеит, минералогия, Челябинский угольный бассейн.

Abstract

Pavel Ivanovich Kutjukhin, a prominent specialist in geology and mineralogy of gold, rare metal and tungsten deposits of the Urals. For about 15 years he headed the departments of exploration and geology of ore deposits of the Geological Exploration Faculty at the Sverdlovsk Mining Institute. In honor of Pavel Ivanovich, a new mineral was named – kutyukhinite, calcium fluorosilicate, which was discovered by B. V. Chesnokov in the burnt dumps of the Chelyabinsk coal basin. The International Mineralogical Association did not approve it as a new mineral species, and recently a natural analogue, kumtyubeite, was found in the North Caucasus.

Keywords: P. I. Kutjukhin, biography, kutyukhinite, kumtyubeite, mineralogy, Chelyabinsk coal basin.

Павел Иванович Кутюхин (фото 1) являлся крупным специалистом и знатоком геологии золоторудных месторождений Урала. Он около 15 лет возглавлял кафедры разведочного дела и геологии рудных месторождений геологоразведочного факультета в Свердловском горном институте, где подготовил тысячи дипломированных специалистов-геологоразведчиков.

Павел Иванович Кутюхин родился 15 июня 1899 г. в селе Слобода Екатеринбургского уезда (ныне Билимбаевского района) Пермской губернии (ныне Свердловской области) в семье крестьян. Родители Паши – папа Иван Евграфович и мама Анна Степановна – в дореволюционное время занимались сельским хозяйством и работали на расположенных рядом заводах (видимо, на Староуткинском и Билимбаевском). После установления Советской власти они занимались исключительно сельским хозяйством и с 1929 г. вступили в колхоз.

В детстве Павел проявлял склонность к наукам и в отличие от остальных сверстников проводил время с книжками. Это заметили члены богатого семейства Герц из Екатеринбурга, которые постоянно отдыхали летом



Фото 1. Павел Иванович Кутюхин. 1958 г. Из архива Ю. П. Краевой

на дачах близ села Слобода. Они предложили родителям Паши отдать его в услужение в свою семью, чтобы он своим примером показал тягу к наукам сверстнику и наследнику богатого семейства. Так Паша оказался в крупном городе, получил доступ к библиотекам и даже небольшой заработок.

В 1913 г. Павел поступил в реальное училище в г. Екатеринбурге. В сентябре 1918 г. его из 6-го класса мобилизовали в Белую армию в 46-й Исетский стрелковый полк, где он занимал должность писаря. В феврале 1919 г. юноша заболел тифом и после выздоровления сбежал в лес, где скрывался до прихода Красной армии. 10 октября 1919 г. он вступил в Красную армию, откуда 1 мая 1920 г. был уволен в звании рядового и командирован в Екатеринбург учиться на рабочем факультете Уральского горного института. В октябре 1920 г., после окончания рабочего факультета, Павел поступил в Уральский государственный университет, который как раз тогда был организован на базе нескольких институтов, в том числе и Горного.

Студентом он принимал участие в геологических экспедициях, которые возглавляли профессора института К. К. Матвеев и А. П. Смолин. Кроме того, он активно с 1926 г. подрабатывал геологом в двух местах – на комбинате «Джетыгарзолото» (г. Джетыгара, Кустанайская область) и «Уралзолото» (г. Свердловск). С 15 июля по 10 октября 1926 г. Павел работал геологом Джетыгаринского приискового управления. С 10 октября 1926 г. по 15 апреля 1927 г. он устроился геологом в «Уралзолото» в бюро консультантов. С 15 апреля 1927 г. по 15 октября 1927 г. – технический руководитель работ Джетыгаринского управления «Уралзолота», а с 15 октября 1927 г. по 15 мая 1928 г. – геолог в «Уралзолоте» на камеральных работах. С 15 мая 1928 г. по 20 октября 1928 г. Павел Иванович – заведующий разведочными работами на Джетыгаринском месторождении, а с 20 октября 1928 г. по 20 ноября 1929 г. – геолог в «Уралзолоте» в бюро консультантов.

Будучи студентом, Павел Иванович по старой памяти заходил к семейству Герц, где и познакомился с их даль-

ней родственницей, а также со своей будущей женой – Татьяной Владимировной Блюменталь (1908–1986).

В декабре 1929 г. Павел Иванович окончил уже Уральский политехнический институт (результат переформатирования Уральского государственного университета) и стал горным инженером по геологоразведочной специальности (фото 2). 20 января 1930 г. он был зачислен ассистентом на кафедру разведочного дела сначала Уральского политехнического института, а позднее (с мая 1930 г.) – Свердловского горного института.

В 1931 г. у Павла Ивановича родился сын Андрей (фото 3, 4), который впоследствии продолжил дело отца – тоже стал геологом.

С 1933 г. Павел Иванович стал вести самостоятельный курс «Методики разведочного дела». В июне 1938 г. он был утвержден ВАК в ученое звание доцента по кафедре «Разведочное дело» (интересно, что сам аттестат доцента был выдан только 19 марта 1948 г.).



Фото 2. П. И. Кутюхин. 1929 г. Из архива Ю. П. Краевой



Фото 3. П. И. Кутюхин с сыном, женой (слева) и сестрой жены Марией. 1935 г. Из архива Ю. П. Краевой



Фото 4. П. И. Кутюхин с сыном и дочерью соседа, известного геолога П. Королькова. 1937 г. Из архива Ю. П. Краевой

В 1939 г. у Павла Ивановича родилась дочь Юлия, которая также впоследствии продолжила дело отца, тоже стала геологом. В этом же году 19 мая он защитил кандидатскую диссертацию по теме «Кварцевые золото-вольфрамовые жилы Березовска и их вещественный состав». Удивительно, но и диплом кандидата геолого-минералогических наук ему выдали с задержкой только 2 марта 1946 г.

Во время Великой Отечественной войны Павел Иванович не призывался в армию, зато практически сразу мобилизовали его жену как медицинского работника. Татьяна Владимировна практически безвылазно работала в местном госпитале, и вся забота о малолетних детях легла на плечи Павла Ивановича. С мая 1942 г. его назначили исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Разведочное дело» (хотя приказ об этом в Москве утвердили только 17 января 1944 г.), а в 1943 г. он занимал должность декана геологоразведочного факультета, а также был избран членом ВКП(б) (далее КПСС). Кроме преподавательской деятельности (фото 5, 6) Павел Иванович всю войну работал на различных золоторудных, вольфрамовых, редкометалльных и молибденовых месторождениях Урала. Этот напряженный труд был оценен страной, и 4 ноября 1946 г. ему вручили медаль «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

19 марта 1949 г. Павлу Ивановичу присвоили персональное звание Директора геологической службы 1 ранга.

Летом 1951 г. он ушел с поста и. о. зав. кафедры «Разведочное дело» и уже в сентябре был назначен исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Геологии рудных месторождений». В этом же году, 16 октября 1951 г. Павел Иванович был награжден орденом «Трудового Красного знамени» за выслугу лет и безупречную работу. В 1955 г. он ушел с поста зав. кафедры и стал работать доцентом на кафедре «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых».

В 1956 г. Павла Ивановича прикомандировали на 1 год в докторантуру Института геологических наук АН СССР к научному консультанту академику А. Г. Бетехтину. К сожалению, докторскую работу Павел Иванович так и не защитил (в 1957 г. у него случился инфаркт, от которого он лечился на дому почти полгода, ухаживала за ним жена). В 1958 г. он снова приступил к работе в Горном институте (фото 7), но в 1959 г. Павла Ивановича ждал новый удар – у него обнаружили рак почки. Была сделана вполне удачная операция, но восстановление здоровья было сложным.

В 1961 г. он перешел преподавать на вновь организованную кафедру «Геология и разведка месторождений радиоактивных и редких металлов». Весной 1962 г. комиссия ВАК утвердила Павла Ивановича в ученое звание профессора по кафедре «Методика поисков и разведка полезных ископаемых». В августе 1962 г. он вышел из отпуска, но сразу попал в больницу, где и умер 13 сентября 1962 г.



Фото 5. Преподаватели геологоразведочного факультета. 1946 г. Из архива В. В. Григорьева.

Персоналии: 1-й ряд (слева направо) – Павел Иванович Кутюхин, зав. кафедрой «Разведочное дело»; К. К. Матвеев, зав. кафедрой «Минералогия»; В. Н. Головцын, доцент кафедры «Геофизические методы разведки»; А. Е. Малахов, зав. кафедрой «Геология месторождений полезных ископаемых»; М. О. Клер, зав. кафедрой «Гидрогеология и инженерная геология»; О. Ф. Нейман, зав. кафедрой «Палеонтология».

2-й ряд (слева направо) – А. И. Александров, специалист по демантиодам; В. И. Матвеев, ассистент кафедры «Минералогия»; Е. И. Тараканова, геолог-угольщик; Е. М. Клер, дочь М. О. Клера, минералог; Д. С. Штейнберг, декан, зав. кафедрой «Петрография»; А. К. Подногин, доцент кафедры «Петрография»; трое неизвестных; Н. А. Иванов, зав. кафедрой «Геофизические методы разведки»

Павел Иванович олицетворял не только тип ученого-теоретика, но, пожалуй, в большей степени практика, чутко улавливавшего запросы производства. Он являлся постоянным консультантом разведочных работ на ряде ведущих золотодобывающих предприятий Урала. В пределах Джетыгаринского и Березовского рудных полей при его участии были открыты новые золоторудные жилы. В Джетыгаринском районе (ныне Казахстан) по его рекомендации выделили новый перспективный на золото участок, позднее названный Кутюхинским.

Интенсивная производственная деятельность постоянно совмещалась с учебным процессом. Для выполнения полевых работ широко привлекались студенты кафедры. Многие из учеников Павла Ивановича стали ведущими специалистами геологоразведочной отрасли страны. Выпускники кафедры А. П. Наседкин и Г. Н. Старцев защитили кандидатские диссертации и остались работать в институте. Десятки отчетов П. И. Кутюхина, посвященные вопросам детального геолого-структурного картирования ряда рудных полей (Березовского, Джетыгаринского и др.), хранятся в геологических фондах. Ему принадлежат более 60 опубликованных и рукописных работ. Павел Иванович впервые установил и описал для уральских месторождений такие минералы, как герсдорфит, виоларит и буланжерит. Многие ценные образцы были переданы им в Уральский геологический музей. На кафедре Павел Иванович создал коллекцию минералов с характерными поисковыми признаками. Эта коллекция и сейчас задействована в учебном процессе. Сотрудники геологоразведочного факультета и производственных организаций, кому довелось работать с Павлом Ивановичем, вспоминают его с большой душевной теплотой, отмечая его корректность, внимательность к просьбам студентов и преданность делу, которому он посвятил свою жизнь [1–5].

Павел Иванович был хорошим человеком и семьянином. Он воспитал сына и дочь (фото 8, 9), которые подали ему четырех внуков, с некоторыми из них он даже успел познакомиться.

В честь профессора Павла Ивановича Кутюхина (1899–1962) назван минерал кутюхинит – $2\text{Ca}_2[\text{SiO}_4] \times \text{CaF}_2$ или $\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2 \times \text{CaF}_2$ [6], который был найден Б. В. Чесноковым летом 1982 г. на горелом терриконе шахты № 44 в г. Копейске. В технической литературе моноклинный $2\text{Ca}_2[\text{SiO}_4] \times \text{CaF}_2$ известен как F-аналог «кальциевого хондродита» $2\text{Ca}_2[\text{SiO}_4] \times \text{Ca}(\text{OH})_2$ [7].

Кутюхинит образует небольшие (до 2–5 мм) бледно-розовые скопления на внутренней поверхности ангидритовой корки «орехов», возникших при обжиге кусков окаменелого дерева [8]. Сопутствующие минералы: сребродольскит, флюорэллестадит, подногинит,



Фото 6. П. И. Кутюхин. 1946 г. Из архива Ю. П. Краевой



Фото 7. П. И. Кутюхин с женой (слева) и сестрой жены. 1958 г. Из архива Ю. П. Краевой



Фото 8. П. И. Кутюхин с женой и сыном. 1957 г. Из архива Ю. П. Краевой



Фото 9. П. И. Кутюхин с дочерью. 1957 г. Из архива Ю. П. Краевой

а также землистые продукты, возникшие при гидратации и карбонатизации первичных извести и периклаза. Все эти образцы являются кусками корки крепкого «ореха», извлеченного из довольно горячей (около 50 °С) стенки вертикального обрыва в красном горельнике. Этот обрыв возник при обвале привершинной части террикона вследствие подработки основания террикона экскаваторами. Данный «орех» интересен и тем, что в нем установлены четыре новых минерала: сребродольскит, флюорэллестадит, подногинит и кутюхинит. В других «орехах» из данного террикона и других отвалов кутюхинит встречен в виде светло-розовых мелкозернистых пропластков внутри ядер «орехов», сложенных землистыми продуктами изменения извести и периклаза.

Цвет кутюхинита варьирует в розовых тонах, с более или менее ясным коричневатым оттенком. Блеск стеклянный, в изломе – жирноватый; черта белая. Просвечивает или прозрачен (в отдельных зернах). Твердость около 5,5. Спайность слабо выражена, хрупкий. Плотность 2,88 г/см³. В иммерсии под микроскопом бесцветен, двуосный, отрицательный; $n_g = 1,600$; $n_m = 1,597$; $n_p = 1,587$; $n_g - n_p = 0,013$.

В HCl медленно разлагается, оставляя бесцветный скелет кремнезема. Реакция на фтор положительная (разъедание стекла при действии на пробу серной кислоты). Перед паяльной трубкой вспухает, превращаясь в светло-коричневую неплавкую пористую массу. При прокаливании сильно светится, пламя при этом заметно не окрашивается. В закрытой трубке никаких налетов не выделяет, окраска становится более светлой. Вплавленный в стекло трубки, окружен множеством газовых пузырьков (выделение фтора?).

Химический состав кутюхинита следующий, мас. %: Si – 13,47; Ca – 47,50; Mg – 0,12; Al – 0,03; Fe – 0,04; Mn – 0,04; Na – 0,01; S – 0,03; Cl – 0,01; F – 7,03; H₂O – 3,17. Эмпирическая формула $(Ca_{4,89}Mg_{0,02})_{5,00}[Si_{2,01}O_{8,00}](F_{1,55}OH_{0,45})_{2,00}$. Из общего количества H₂O, определенного химическим анализом (3,17 %), в расчет введено 1,82 %, необходимое для того, чтобы F + OH = 2,00. Остальная вода связана с примесью портландита и брусита в навеске. Кутюхинит моноклинный; $a = 11,447$; $b = 5,036$; $c = 8,686 \text{ \AA}$; $\beta = 100,12^\circ$; $V = 473,20 \text{ \AA}^3$. Эти параметры элементарной ячейки и дифрактограмма минерала соответствуют данным для синтетического $Ca_5[SiO_4]_2F_2$.

Кутюхинит является веществом антропогенного (техногенного) происхождения (горящий угольный отвал). Нынешние правила Международной минералогической ассоциации (ИМА) не допускают, чтобы такие вещества были утверждены в качестве действительных минеральных видов, поэтому, по словам В. И. Кудряшовой [9]: «6 минералов не рассматривались КНМ ВМО и ММА: овчинниковит, игниколорит, торбаковаит, подногинит, кутюхинит и перковаит».



Фото 10. Вкрапления розового кумтюбеита в породе. Плато Кум-Тюбе, Кабардино-Балкария, Россия. Фото Е. В. Галускина с сайта mindat.org



Фото 11. Вкрапления розового кумтюбеита в породе. Плато Кум-Тюбе, Кабардино-Балкария, Россия. С сайта e-rock.com



Фото 12. Вкрапления коричневого кумтюбеита в породе. Эйфель, Германия: а – внешний вид образца; б – увеличенный фрагмент. С сайта e-rock.com

Кумтюбеит – $\text{Ca}_5(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$, является природным аналогом кутюхинита, он был назван по месту находки на горном плато Кум-Тюбе в Кабардино-Балкарии, Россия [10]. Кумтюбеит обнаружен у горы Лакарги в Верхнечечемской кальдере в скарнированном известковом ксенолите в игнимбрите. Кумтюбеит представляет собой бледно-розовые зерна до 0,25 мм в зернистых агрегатах (фото 10, 11).

Геологическая позиция кумтюбеита: в контактно-метасоматических породах он образуется при взаимодействии карбонатных ксенолитов с субвулканическими магмами и вулканитами. Минерал встречается в спуррит-рондорфит-эллестадитовой зоне скарнов. Таким образом, предсказание Б. В. Чеснокова о том, что находки кутюхинита в природных условиях «следует ожидать там, где карбонатные породы (известняки, мергели и др.) подвергались сильному прокаливанию (контакты с магматическими породами, ксенолиты в лавах и т. п.)», полностью подтвердилось. При этом остается небольшой осадок недоумения, почему авторы находки кумтюбеита не оставили



Фото 13. Вкрапления светло-серого кумтюбеита в породе. Эйфель, Германия. С сайта e-rock.com

минералу прежнее название. Ведь минерал был уже описан Б. В. Чесноковым, и у авторов была уникальная возможность почтить Бориса Валентиновича – известного советского и российского минералога, тем более что многие из них были с ним знакомы.

В целом кумтюбеит является крайне редким минералом, который пока обнаружен в горах Северного Кавказа (России и Грузии), в Германии (фото 12, 13) и Иордании. Он ценится у коллекционеров, в первую очередь как редкий минерал.

Авторы благодарны канд. геол.-минерал. наук Ю. В. Ерохину и канд. геол.-минерал. наук Н. В. Вахрушевой за помощь в подготовке статьи, а также Ю. П. Краевой (дочери П. И. Кутюхина) за доступ к фотоархиву семьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипова Н. П., Филатов В. В. Исследователи природы Урала. XX век. Екатеринбург: Изд-во «Екатеринбург», 2001. 272 с.
2. Баранников А. Г. Кутюхин Павел Иванович (к 110-летию со дня рождения) (1899–1962) // Известия УГГУ. 2011. Вып. 25–26. С. 197–198.
3. Рапорт М. С., Комарский В. Я., Филатов В. В. Творцы уральской геологии: к 300-летию горно-геологической службы России и 80-летию централизованной геологической службы Урала. Екатеринбург: Уральская геолого-съёмочная экспедиция, 2000. 219 с.
4. Филатов В. В. «Отечества пользы для...» (75 лет Уральскому горному институту. 1917–1992). Екатеринбург: УГИ, 1992. 408 с.
5. Филатов В. В. Профессора Уральской государственной горно-геологической академии. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. 348 с.
6. Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Бушмакин А. Ф., Вилисов В. А., Крецер Ю. Л., Нишанбаев Т. П. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение четвертое) // Уральский минералогический сборник. 1993. № 1. С. 3–25.
7. Горшков В. С., Тимашев В. В., Савельев В. Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
8. Чесноков Б. В., Щербакова Е. П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука, 1991. 152 с.
9. Кудряшова В. И. Новые минералы. XLIX // Записки ВМО. 1995. № 6. С. 108–120.
10. Galuskina I. O., Lazić B., Armbruster T., Galuskin E. V., Gazeev V. M., Zadov A. E., Pertsev N. N., Ježak L., Wrzalik R., Gurbanov A. G. Kumtyubeite $\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)_2\text{F}_2$ – a new calcium mineral of the humite group from Northern Caucasus, Kabardino-Balkaria, Russia // American Mineralogist. 2009. Vol. 94. No. 10. P. 1361–1370. <https://doi.org/10.2138/am.2009.3256>

Статья поступила в редакцию 02 мая 2023 года

Исповедь врага народа

Confessions of an Enemy of the People

Владимир Викторович ФИЛАТОВ*

¹Владимирский государственный университет им. А. Г. И Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия

* filatov47@bk.ru

Vladimir Viktorovich FILATOV*

¹ Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

* filatov47@bk.ru

Во всем мне хочется дойти до самой сути.

Б. Пастернак

Аннотация

В Советском Союзе в 1920–1930-е годы впервые в мире стали осуществлять планирование научных исследований и разработок в отраслевой науке. Выдающаяся роль в разработке методологических и теоретических проблем планирования научных исследований принадлежала Н. И. Бухарину. Для этого им в ВСНХ было создано научно-техническое управление, а когда ВСНХ было ликвидировано, то работой по планированию научных исследований стал заниматься Центральный научно-исследовательский сектор (ЦНИС) Наркомата тяжелой промышленности. На Урале в важнейшем промышленном центре индустриализации СССР вопросами организации планирования и развития отраслевой и академической науки занимался уроженец г. Полоцка Белорусской ССР Ф. П. Барсуков. В Свердловске им были созданы Уральский Дом Техники и геологическая выставка – будущий Уральский геологический музей. В 1937 г. Ф. П. Барсуков был репрессирован. Он умер в лагере в 1942 г.

Ключевые слова: планирование научных исследований в СССР, Н. И. Бухарин, Уральский дом техники, геологическая выставка, Ф. П. Барсуков.

Abstract

In the Soviet Union in the 1920s–1930s, for the first time in the world, they began to plan scientific research and development in branch science. An outstanding role in the development of methodological and theoretical problems of planning scientific research belonged to N. I. Bukharin. To do this, he created a scientific and technical department in the Supreme Council of National Economy, and when the Supreme Council of National Economy was liquidated, the Central Research Sector (CRS) of the People's Commissariat of Heavy Industry began to deal with the planning of scientific research. In the Urals, in the most important industrial center of the industrialization of the USSR, F. P. Barsukov, a native of the city of Polotsk, Byelorussian SSR, engaged in the organization of planning and development of industry and academic science. In Sverdlovsk, he created the Ural House of Technology and a geological exhibition - the future Ural Geological Museum. In 1937 F. P. Barsukov was repressed. He died in a detention camp in 1942.

Keywords: planning of scientific research in the USSR, N. I. Bukharin, Ural House of Technology, geological exhibition, F. P. Barsukov.

Введение

Много лет тому назад я, выпускник Свердловского горного института 1971 г. (с 2004 г. – Уральский государственный горный университет), был окрылен вопросами о том, почему, кем и каким образом создавался Уральский геологический музей. Почему-то до меня поисками ответов на эти вопросы никто основательно не занимался. Изучив не одну сотню документов, я написал книгу «История создания Уральского геологического музея» [1].

Был ли я удовлетворен ответами на интересовавшие меня вопросы, успокоен ими, обуздан? Да, но только отчасти. Узнав, как создавался музей, я, к сожалению, не смог получить ответы на два очень важных вопроса; во-первых, кто такой Федор Павлович Барсуков, собравший и возглавивший большой коллектив различных специалистов для создания Уральской геологической выставки, приуроченной к XVII сессии Международного геологического конгресса «в связи с тем, что 1937 г. является двадцатилетним юбилеем существования Советской власти» [2] (на базе этой выставки и был открыт в 1938 г. Уральский геологический музей); во-вто-

рых, почему работа по созданию выставки была как тяжелая ноша возложена на Уральский Дом Техники, а не на Свердловский горный институт или не на Уральский геологоразведочный трест? Ведь Дом Техники был всего лишь пропагандистско-просветительским учреждением, созданным для широкой пропаганды результатов научно-исследовательских работ, изобретений и стахановских методов работы в различных отраслях тяжелой промышленности, в том числе и в геологоразведке. Его сотрудники вряд ли были крупными специалистами в области геологии. Таковые были в Горном институте, в геологоразведочном тресте, в Уральском филиале АН СССР и в других учреждениях и организациях горно-геологического профиля.

Ответы на эти вопросы я получил спустя несколько лет после опубликования своей книги, изучая документы в Уральском государственном архиве административных органов Свердловской области (ГААОСО). В этом архиве отложились следственные дела уральцев, репрессированных в 1930–1950-е гг. Среди этих дел хранится и дело Ф. П. Барсукова.

В своей книге [1] я написал, что он был осужден за упущения в создании геологической выставки. Так следовало из имевшихся в моем распоряжении документов. Оказывается, не за них, а за совершенно другие «преступления». За какие?

14 ноября 1937 г. Федор Павлович передал через следователя, ведшего его дело, заявление в Управление уполномоченного НКВД по Свердловской области, в котором, в частности, писал, что «когда в связи с Международным геологическим конгрессом выявилась беспомощность Уралразведки (Уральского геологоразведочного треста. – В. Ф.) и Горного института организовать большую выставку по геологии и поискам ископаемых, я беру это большое политическое дело в Дом Техники, добиваюсь в центре специального решения, денег и помещения и обеспечиваю его осуществление» [3].

В трех словах этой фразы – «большое политическое дело» – и заключен ответ на вопрос о том, почему руководители Горного института и геологоразведочного треста расписались в беспомощности в организации геовыставки. Синонимом беспомощности в данном случае является слово «страх». Управляющий геологическим трестом В. А. Кандыба и директор Горного института И. П. Скороделов (И. П. Скороделов был репрессирован в 1936 г., расстрелян в 1938 г. – В. Ф.) побоялись взять на себя ответственность за исполнение такого «большого политического дела». Им повезло, Ф. П. Барсуков их выручил. Если бы он не проявил инициативу из каких-то своих соображений, ведь у каждого плута свои расчеты, а он имел полное право быть в этом деле сторонним наблюдателем, то им волей-неволей пришлось бы заниматься организацией геологической выставки по приказу свыше.

Федор Павлович был смел и решителен. Но это были смелость и решительность не отчаявшегося человека, уповающего на авось и не авантюриста, на знамени которого начертано «где наша не пропадала».



Фото 1. Ф. П. Барсуков. 1934 г.

Прежде чем взять «это большое политическое дело в Дом Техники», он все просчитал, убедившись, что, безусловно, выполнит его. Поручкой тому были его воля, целеустремленность, организаторский талант, знания и опыт. Коллеги советовали ему быть осторожным и не зарываться в служебном рвении. «Дидковский (Б. В. Дидковский – директор Уральского научно-исследовательского геологоразведочного института, в 1931–1935 гг. был начальником Уральского геологического управления; репрессирован в 1938 г. – В. Ф. [4]) в части организации выставки рекомендовал мне, – рассказывал Федор Павлович следователю на допросе 10 апреля, – ограничиться ... меньшим масштабом выставки ... увеличив сроки (её. – В. Ф.) организации ... в течение 3-х лет, тогда как эта работа будет 2-х лет в самом детальном плане, а в основном одного года» [5].

Выставка и была создана за год, даже чуть меньше. Последние четыре месяца коллеги Федора Павловича работали без него. Вряд ли до него доходили известия о том, как и с какими трудностями двигалось дело, толчок которому дал именно он. Следователя не интересовала геологическая выставка. Он терзал арестованного совершенно другими вопросами, и Федор Павлович вспомнил о ней в заявлении только чтобы хоть чуть-чуть облегчить тяжесть предъявленных ему обвинений. Каковы же они? И кто же такой Федор Павлович Барсуков (фото 1)? Прежде чем вы узнаете об этом, прочтите еще одно необходимое, по моему мнению, лирическое отступление.

В 1927 г. советский писатель Борис Андреевич Лавренев написал рассказ «Седьмой спутник» – романтизированную историю скоротечного свращения большевиками бывшего царского генерала, профессора права военно-юридической академии, называвшего всякую революцию «юридической новеллой»; историю, закончившуюся гибелью генерала, за мгновение до которой он попытался образно обосновать палачу – поручику армии Юденича – мотивы своего приятного отношения к большевистской революции, не надеясь, правда, что тот его поймет: «Когда огромное тело пролетает в мировом пространстве, – говорил генерал, – в его орбиту втягиваются малые тела, даже против их воли. Так появляется какой-нибудь седьмой спутник ...» [6].

Сколько было таких людей, как лавреневский генерал, миллионы – романтиков, идеалистов, честолюбцев, обманутых революцией, вдребезги ею разбитых, из которых она вила прочнейшие веревки, а из веревок делала петли и безжалостно затягивала их на шеях своих доверчивых «спутников». И если бы это были люди только простые, бесхитростные и неискушенные. Не только. Выдающийся английский писатель Бернард Шоу – мудрец и провидец – рукоплескал Октябрьской революции; побывав в 1931 г. в Москве, он искренне убеждал европейцев, что Советский Союз – это «земля надежды», а Европа – «мир безнадежности».

Говорят, понедельник день тяжелый, и порой отнюдь не в ироничном, а в самом что ни на есть трагичном смысле. Федора Павловича Барсукова арестовали именно в понедельник 29 марта 1937 г. Что это? Случайное совпадение? Или тонкий психологический

расчет того, кто, отдавая приказ об аресте, знал, что Барсуков не робок. Сломить волю к сопротивлению такого человека может только какая-нибудь обескураживающая неожиданность, которую сравнивают с ударом обухом по голове в тот момент, когда жертва наиболее уязвима.

Воскресные дни для Федора Павловича вряд ли были днями полноценного отдыха. Он жил один в двухуровневой квартире нового суперсовременного дома, построенного для сотрудников треста «Геопромурал» на северо-западном углу перекрестка улиц Малышева и Матроса Хохрякова (фото 2). Этот дом, состоящий из 4 корпусов, и сейчас обращает на себя внимание, особенно его первый корпус, выходящий фасадом на улицу Малышева. Дом проектировал модный в 1920–1930-е гг. архитектор Моисей Яковлевич Гинзбург, увлеченный идеями конструктивизма и функционализма, поклонник архитектурных принципов великого Ле Корбюзье. Все они и были воплощены Моисеем Яковлевичем в облике первого корпуса: дом частично стоял на открытых опорах, его фасад членили стеклянные полосы ленточных окон, плоская крыша была готова под разбивку сада, а внутренние помещения имели свободную планировку. От себя архитектор добавил для жильцов обобществленное коммунально-бытовое обслуживание, или, проще говоря, сознательно не предусмотрел в доме кухню. Тогдашние идеологи архитектуры полагали, что быт в жизни советского человека должен быть сведен на нет, он не должен ему мешать трудиться, ведь, как тогда пелось, «наш паровоз летит вперед», и ближайшая остановка намечена лишь в коммунизме. Занятого сверх меры работой Ф. П. Барсукова расположение его дома весьма устраивало, поскольку он находился всего в двух кварталах от здания, где создавалась геологическая выставка и в шести кварталах от Дома Промышленности, в котором располагался руководимый им Дом Техники.

Но квартира даже в таком доме не прельщала родных Федора Павловича. Они предпочли остаться в Москве и

жить в добротном, дореволюционной постройки, доме без архитектурных изысков на Никитском бульваре. Жена Елена Михайловна работала техническим секретарем в Наркомтяжпроме, мать Степанида Францевна вела домашнее хозяйство, младшая дочь Оля училась в школе, она была болезненной и постоянно нуждалась в таком лечении, какого ей в Свердловске предоставить не могли. Только старшая дочь Барсуковых 24-летняя Лидия, вышедшая замуж за военврача, жила на Дальнем Востоке. Да и кто, положа руку на сердце, уезжал когда-нибудь без принуждения из Москвы в провинцию. Если и уезжал, то лишь на время. Жила, например, в Москве и не собиралась ее покидать жена профессора Уральского геологоразведочного института Н. А. Шадлуна, хотя в Свердловске был не только муж, но и дочь Татьяна, учившаяся в УГРИ. И Федор Павлович не намеревался надолго оставаться на Урале. Этому завидовал Л. А. Лазарев (Л. А. Лазарев – ученый секретарь геологической выставки. – В. Ф.), проходивший свидетелем по его делу, однажды он желчно сообщил следователю слова, якобы сказанные Барсуковым: вот создам геовыставку, получу благодарность и тогда уеду в Москву [7].

Федор Павлович жил не только один. «Я жил одиноко, – исповедовался он следователю, – без знакомств и встреч, всецело отдавшись только работе и учебе. Я не знал ни «правых», ни «левых», не имел никакого понятия и даже слухов о их гнусном подполье. У меня было две задачи: стать квалифицированным специалистом и создать крупный центр технической культуры для тяжелой промышленности Урала. Я учился в институте хозяйственников по горному отделению по цветным и драгоценным металлам и сдал на отлично директорский техминимум по горно-геологическому циклу, который давал мне право на директорство» [8].

Вероятно, лишь в воскресенье ослабевало для него бремя работы, иссякал поток посетителей, просителей, приказов, справок, распоряжений, умолкал телефон. В воскресные дни ослабевали напряжения минувшей недели, воля слабла, ум терял ясность, чувства – остроту, и в его недельном рабочем цикле наступала благо-

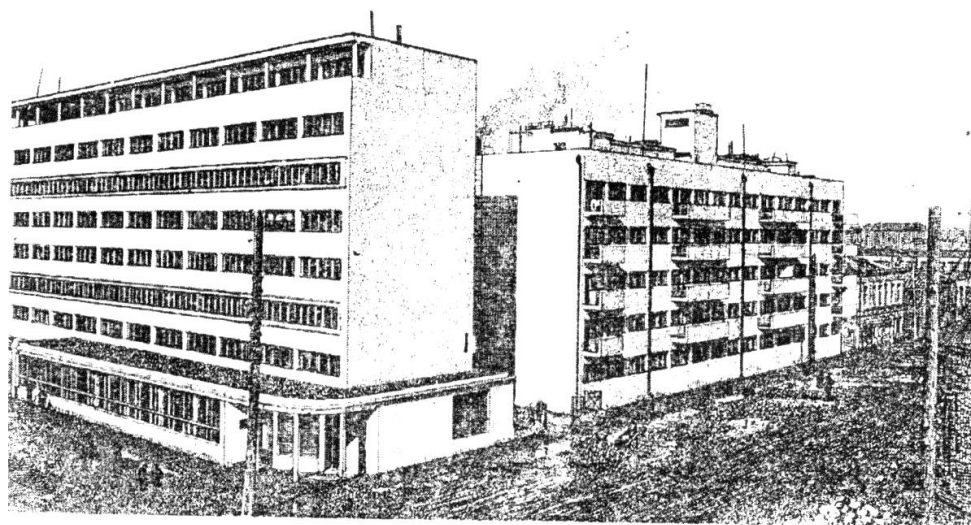


Фото 2. Жилой дом треста «Геопромурал». 1933 г.

датная пауза, которой коварно, как троянским конем, воспользовались «энквэдэшники».

В тот же злополучный день 29 марта на двух первых страницах в газете «Уральский рабочий» был напечатан доклад И. В. Сталина «О недостатках партийной работы и мерах ликвидации троцкистов и иных двурушников», сделанный им еще 3 марта на Пленуме ЦК ВКП(б). Время публикации доклада генсека и арест Барсукова совпали случайно, но вот между докладом и арестом связь была прямая. Арест явился следствием доклада, содержание которого с талантливым лаконизмом отражено в названиях его разделов: «Политическая беспечность» коммунистов в условиях «Капиталистического окружения» способствует развитию «Современного троцкизма», который, используя «Теневые стороны хозяйственных успехов», стремится уничтожить социализм и «Наши задачи» заключаются, обращаясь к названию доклада, в «ликвидации троцкистов и иных двурушников». Одним из таких «двурушников» и стал Ф. П. Барсуков.

День для него померк и казался расчерченной на прямоугольнички тюремной решеткой. Для тех же, кто еще не был причислен к врагам народа и оставался на свободе, это был обычный день, с обычными заботами, разбавленными городскими новостями. Свердловчане рассказывали друг другу о том, что база КОГИЗа получила 240 комплектов граммофонных пластинок с докладом Сталина о проекте Конституции. Удастся ли вот только купить? Уж очень много желающих. А в апреле начнется реконструкция железнодорожного вокзала и у него надстроят еще один этаж. Пора бы. Старые залы совсем стали тесными. Гидрометслужба только высказала прогноз о бурном таянии снега в верховьях Камы и Туры, а в теплицах Березовского золотопродснаба уже сняли первый урожай огурцов. Ну, их-то и увидеть не придется, сетовали горожане. Они и до прилавка не дойдут. В архиве Горсовета обнаружили змею, оказавшуюся ужом, переползшим месяца два назад из соседних помещений областного музея. Обезумевшие от страха архивариусы убили беднягу. Какой ужас! Модницы начали борьбу с веснушками. «Лучшее средство для уничтожения веснушек – крем “Метаморфоза”. Требуйте всюду!» – назойливо шумела реклама.

Следственное дело – это летопись арестанта, скорбная повесть его тюремных лет, повесть с прологом – постановлением об аресте, главами – протоколами допросов, очных ставок и двумя эпилогами: первый – в виде обвинительного заключения, которое ему зачитывают, второй – в виде справки о реабилитации, которую ему чаще всего не доводится получить, ее вручают без извинения за совершенное государством бессмысленное насилие и надругательство родственникам, уцелевшим после репрессий.

Сержант, приходивший с конвоиром за Ф. П. Барсуковым, дал ему, вероятно, прочесть справку об аресте. Документ этот невелик, всего с тетрадный листок, но сколько в нем было заключено жестокости и беспощадности. Он словно топор палача рассек жизнь Барсукова надвое. На его сверкающем лезвии Федор Павлович прочитал, и кто на него написал до-

нос, и в чем он обвиняется, и какая его ожидает кара. И все это до суда. Презумпции невинности в то время не было.

Доносы на него заставили написать двух сослуживцев. С одним из них он работал в Президиуме Уральского филиала Академии наук, вторым был партторг Дома Техники. Назвать их имена не могу. Хотя с тех пор прошло уже более 80 лет, архивная тайна исповеди все еще распространяется на доносчиков и осведомителей. Но оба доносчика были по-своему людьми несчастными. Тот, с кем Ф. П. Барсуков работал в УФАНе, уже находился под следствием, и выбить из него показания на любого человека было несложно. А партторга обязывала доносить партийная дисциплина. Попробовал бы он этого не сделать.

Гражданин Барсуков изобличался «как участник контрреволюционной организации правых, созданной Н. И. Бухариным в Уральском филиале Академии наук. Для контрреволюционной работы в УФАНе Барсуков был направлен по настоянию и рекомендации Н. И. Бухарина, работавшего в то время начальником Техпропа НКТП». А чтобы еще более утяжелить вину, следователь к вышесказанному добавил: «Кроме того имеются указания на организационные контрреволюционные связи Барсукова с Мрачковским и Белобородовым» [9].

За подобные преступления, независимо от того, какими они были, действительными или мнимыми, привлекали к уголовной ответственности по 58-й статье УК РСФСР, у которой было много юридических «цветов и оттенков». Ф. П. Барсуков подлежал «аресту и привлечению к уголовной ответственности по ст. 58-10, ч. I, и 58-11». Сейчас только специалисты знают, о чем гласит эта статья. Поэтому приведу извлечения из ее текста не столько как историческую экзотику, сколько для того, чтобы показать облыжность и фальсифицированность выдвинутых против него обвинений:

«58¹⁰. Пропаганда или агитация, содержащие призыв к свержению или ослаблению Советской власти или к совершению отдельных контрреволюционных преступлений...

58¹¹. Всякого рода организационная деятельность, направленная к подготовке или совершению предусмотренных в настоящей главе преступлений, а равно участие в организации, образованной для подготовки или совершения ... преступлений ...» [10].

Трагедия Ф. П. Барсукова стала лишь малой частью всеобщей трагедии, подмостками для которой была вся страна, а ее автором и режиссером – Генеральный секретарь ЦК ВКП(б) И. В. Сталин. Суть трагедии и ее движитель – это борьба за власть между «любимцем партии» Н. И. Бухариным, как его называл В. И. Ленин, и И. В. Сталиным. Н. И. Бухарин борьбу проиграл еще в 1929 г., и вот спустя восемь лет И. В. Сталин, укрепив свое властное положение, решил окончательно расправиться со своим соперником. Н. И. Бухарина и бывшего председателя Совета Народных Комиссаров СССР А. И. Рыкова арестовали на заседании Пленума ЦК 27 февраля и увезли в тюрьму на Лубянку. Более года следователи готовили их к большому показатель-

ному политическому процессу, после которого оба 13 марта 1938 г. были расстреляны. По слухам, оба «умерли с проклятиями Сталину на устах. Умерли стоя, не ползая по полу подвала и не умоляя с рыданиями о пощаде» [11, 14].

Готовя «Большой процесс», И. В. Сталин задумал показать миру, какую гигантскую угрозу для партии и будущего страны представляли Н. И. Бухарин и его единомышленники, что это была не группка оппозиционеров, а целая организация. Поэтому «усилиями Ежова и Фриновского» была создана легенда о широком контрреволюционном заговоре «правых» во главе с Бухариным. Одновременно на места полетели директивы ЦК о повышении политической бдительности, призывавшие усилить поиск «врагов народа» [12]. Одним из таких «врагов народа», статистом в сталинской пьесе, сделали и Ф. П. Барсукова.

Первый допрос – первая глава тюремной летописи – была написана 2 апреля. И пошли допрос за допросом, очные ставки, показания свидетелей, заявления подсудимого. И на протяжении всего следствия, а последние показания Федор Павлович дал 14 ноября, тупой рефрен настойчивых и однообразных вопросов следователя: «Расскажите о Вашей контрреволюционной деятельности, в чем она заключалась? К какой контрреволюционной организации Вы принадлежите?» – так и не зазвучал эхом победных звуков признания обвинений, словами раскаяния и просьбами о снисхождении и помиловании. Следователь на этот раз оказался бессильным, ему не удалось сломить волю заключенного, поколебать его уверенность в собственной невиновности. «Я считаю обвинение меня в контрреволюции и контрреволюционных связях не верными, искусственными и ... категорически отвергаю [8] их», – втолковывал он раз за разом следователю. «Царица доказательств» так и не разомкнула уста. Федор Павлович и на суде 21 января 1938 г. не признал предъявленных ему обвинений. Судьи «оценили» достоинство, с которым он себя вел, «10 годами заключения в ИТЛ с поражением в правах на 5 лет и конфискацией имущества» [13]. На свободу он не вышел, умер в лагере в феврале 1942 г., умер раньше смерти, не дожив год до своего пятидесятилетия.

Родина Ф. П. Барсукова – древнейший Полоцк – город, основанный на перекрестке истории. В этом городе пересеклись пути «из варяг в греки» и из Европы в Азию; о нем упоминают скандинавские саги, его считают новгородской колонией. Великий Нестор записал в своей летописи, что в 862 г. «Рюрик раздал мужем свои грады, овому Полотск», ставший спустя столетие родиной дочери князя Рогворда княгини Рогнеды – жены крестителя Руси князя Владимира и матери Ярослава Мудрого; под стенами этого «града» насмерть бились немецкие рыцари и воины великого литовского князя Витеня, его осаждали полки Ивана IV Грозного и польского короля Стефана Батория, Наполеона и Кутузова. Но в XIX в. история проторила дороги в других местах, погрузив Полоцк в тихую уездную заводь. В год, когда родился Ф. П. Барсуков, в городе проживало чуть более 20 тыс. человек, почти вдвое меньше чем

в Екатеринбурге. О былом смешении здесь «рас, племен, народов» свидетельствовало лишь толерантное смешение вер. Под сводами многочисленных храмов с надеждой смотрели на лики своих богов православные и католики, единоверцы и раскольники, иудеи и лютеране, а в полтора десятках школ и училищ, частных и казенных, духовных и светских, учились их дети. Федор Павлович окончил реальное училище, хотя его отец, безземельный крестьянин, был всего лишь продавцом в винной лавке.

Как вихрь Гражданской войны забросил Ф. П. Барсукова на Урал, он подробно нигде не рассказывал. Только раз коротко и мимоходом обронил, что с 1918 по 1922 г. служил в Красной Армии завхозом в госпитале, а с 1922 г. стал работать на Урале. И все. Следователя такой ответ устроил вполне, поскольку его интересовали совсем другие дела и поступки заключенного. И Федор Павлович убеждался в этом с каждым допросом все больше и больше. Он понял, что следователь не хочет установить истину, что начальство поставило перед ним совершенно другую задачу: получить от арестованного признательные показания. Хотя упрямство Ф. П. Барсукова и злило следователя, он знал, что оправдательный приговор исключен при любых обстоятельствах, что судьба подсудимого уже давно решена. Но этого не ведал Ф. П. Барсуков. Он еще тешил себя надеждой, что сможет убедить следователя в своей невиновности, и потому передал ему 14 ноября многостраничное заявление, в котором подробно описал, чем он занимался на Урале и сколь значимой является его деятельность для развития промышленности региона.

Вот как изложил Федор Павлович «отдельные важнейшие факты своей общественной инициативы сверх обычных обязательств по работе»:

«В 1922–1926 гг., будучи заведующим коммерческим отделом Пермсоли (*трест. – В. Ф.*), я был одним из участников и инициаторов постановления и первой организации калийной проблемы. Познакомившись ... с Рязанцевым (*Н. П. Рязанцев – техник Соликамского солеваренного завода. – В. Ф.*) ..., я ободрился и рекомендовал начать ставить вопрос о богатствах калийных солей и добился в тресте (*Пермьсоль. – В. Ф.*) служебной записки об отпуске 50 000 руб. на бурение скважины на калиевые соли [15]. Переехав в Свердловск в 1923 г. (*Екатеринбург переименовали в Свердловск в 1924 г. – В. Ф.*), я все время будировал проведение вопросов по калию и после результатов бурения был ответственным секретарем Совета по калию при Облисполкоме (*Уральской области. – В. Ф.*). С 1927 г. был представителем Совета в Москве. Первый большой доклад об организации калийной промышленности я составил и послал в Обком (*ВКП(б). – В. Ф.*) и Облисполком. У меня имеется письмо Рязанцева о моей роли в калийном деле, мои статьи в «Уральском рабочем» и другие документальные данные. В 1926–1930 гг., когда я был торговым представителем при Облисполкоме в Москве, я принимал участие в постановке и разработке проблем развития Урала... Мои статьи о развитии химического Урала были помещены в «Известиях» и «Торгово-промышленной газете» в 1928–1929 гг. Там впервые в печати были выдвинуты идеи Березниковского химкомбината, и в более широких размерах, чем это было принято» [16].

Рассказывая о результатах работы на Урале в 1920-е гг., Федор Павлович преувеличил свою роль в решении калийной проблемы. Он был только одним из многих, кто ею занимался, или, как он выразился, «будировал» ее. Но не он определял политику в разведке и эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей и в создании на его базе отечественной химической промышленности. Эти масштабные государственные задачи решали иные люди: первооткрыватель месторождения профессор П. И. Преображенский, академик Н. С. Курнаков, крупный специалист по геологии калийных месторождений профессор Н. А. Шадлун и многие другие. Встать вровень с ними он не мог. Между знаниями этих выпускников Петербургского горного института, помноженными на опыт многолетней научной и практической работы, и знаниями выпускника провинциального реального училища была пропасть. На ее дне он так бы и стоял, если бы природа не одарила его подвижным характером, наблюдательным и вопрошающим умом и способностью учиться без принуждения. «Я рос на работе, – вспоминал он, – усиленно занимался самообразованием и моя инициатива, преданное отношение к делу и успехи в работе выдвигали меня. За период 1923–1926 гг. я зарекомендовал себя участием в работе общественных организаций: Совета синдикатов, арбитража, по калийной проблеме, своими выступлениями в печати. В Московское представительство был назначен, в частности, для проведения вопросов калийного дела, как энтузиаст калийной проблемы» [17].

В преувеличения, как во все тяжкие, он пустился не просто так, а от отчаяния. Он попытался ухватиться за них подобно утопающему, который хватается за соломинку, в надежде избежать гибели. В ситуациях, подобных той, в которой находился Ф. П. Барсуков, люди, чтобы спасти себя, шли на предательства, подлоги, оговоры и лжесвидетельствования. Он не сделал ни того, ни другого, ни третьего. Повернется ли у кого-нибудь язык назвать барсуковские преувеличения грехом? Вряд ли.

В 1930 г. Московское торгпредство было ликвидировано. Ф. П. Барсуков без работы не остался, поскольку к этому времени он «уже был работником, зарекомендовавшим себя ..., которого знали многие работники и организации» [16]. С 1931 г. он стал работать в научно-исследовательском секторе Уралоблсовнархоза, «застав там вредителя Соловова» [16].

Реплика о «вредителе Соловова», собрате по несчастью, очень злая. У Федора Павловича не было никакой необходимости так жестоко и несправедливо отзываться о Михаиле Александровиче Соловова – ответственном работнике Уралоблсовнархоза, курировавшем научно-исследовательские институты. В чем же, по мнению Ф. П. Барсукова, заключалось «вредительство» М. А. Соловова? В полном развале отраслевых институтов. Но разваливать можно то, что создано. О состоянии уральских отраслевых НИИ так, по словам М. А. Соловова, высказался в феврале 1929 г. профессор Уральского политехнического института А. Е. Маковецкий: «Научно-исследовательская работа

на Урале ... еще плохо организована и увязана с промышленностью ... работают пока только ... Институт цветных металлов и прикладной минералогии, Институт черных металлов, Лесной, начинает работать Механообр (*Научно-исследовательский институт механического обогащения полезных ископаемых.* – В. Ф.), но все эти институты ... являются пока лабораториями» [17]. Выходит, разваливать было нечего. Все еще находилось в сладостных конвульсиях зачатия и муках рождения.

Михаил Александрович также стал жертвой политического мифотворчества, но значительно раньше Ф. П. Барсукова. Его арестовали 9 ноября 1930 г., сразу после возвращения с многодневной охоты и обвинили в причастности к контрреволюционной вредительской организации специалистов, к так называемому Уральскому инженерному центру Промпартии. Не суд, а коллегия ОГПУ приговорила его 8 февраля 1931 г. к «расстрелу с заменой заключением в концлагерь сроком на 10 лет» [18].

Так что ко времени следствия над Ф. П. Барсуковым следователи уже забыли, кто такой Соловов и в чем его обвиняли шесть лет тому назад. Сколько за эти годы утекло, как воды, и заключенных, и следователей, не счесть.

Федор Павлович работником был превосходным, мыслившим широко и перспективно. Возглавив работу НИСа, он, по его словам, «разработал и выдвинул тематический и организационный план развития научно-исследовательской работы на Урале, который в основном был принят и осуществлен на основе приказа ВСНХ (см. мои брошюры, статьи в «Уральском рабочем», решения Совнархоза и ВСНХ)» [19].

Вопросами планирования и развития отраслевой науки в то время занималось Научно-техническое управление ВСНХ, которым руководил Н. И. Бухарин, свергнутый с партийного олимпа на XVI съезде ВКП(б). Тогда, летом 1930 г., И. В. Сталин не захотел расправиться с ним, сохранив про запас. Николаю Ивановичу оставили его рабочий кабинет, прежних помощников и секретарей, квартиру в Кремле и даже избрали в члены ЦК. Годом ранее он стал действительным членом Академии наук по гуманитарному отделению. При голосовании его поддержали две трети академиков, «прокатив» почти всех баллотировавшихся вместе с ним видных партийных деятелей. В 1932 г. Н. И. Бухарин возглавил Институт истории науки и техники; с 1933 по 1936 г. редактировал журнал «Архивы истории науки и техники»; летом 1931 г. ездил в Лондон на II Международный конгресс по истории науки и техники, делал доклад, вызвавший большой интерес, навестил по поручению Сталина в Кембридже П. Л. Капицу, жившего там с 1921 г., уговаривал вернуться на родину, суля золотые горы. Одновременно он продолжал работать в ВСНХ, а когда в 1932 г. этот хозяйственный орган ликвидировали, то стал заведовать Центральным научно-исследовательским сектором в Наркомате тяжелой промышленности. Должность небольшая для такого человека, но Н. И. Бухарин скоро занял в Наркомате видное положение, поддержав Г. К. Орджоникидзе в разработке более сбалансиро-

рованного варианта второго пятилетнего плана. Н. И. Бухарин был назначен членом коллегии Наркомата и комиссии по разработке пятилетнего плана, нарком доверял ему ведение различных заседаний во время своего отсутствия.

Так, благодаря служебным положениям Н. И. Бухарина и Ф. П. Барсукова, пересеклись их жизненные пути. Отправь Сталин Бухарина в «ссылку» не в ВСНХ, а в какое-то другое место, может быть, судьба Барсукова сложилась бы не столь трагично. Может быть?

«Мое знакомство с Бухариным, – вспоминал Федор Павлович, – произошло в 1931 г. во время конференции по планированию науки, когда я сам подошел к Бухарину и просил собрать специальное собрание московских и ленинградских институтов и Академии наук, чтобы повернуть их тематику коренным образом к Уралу. Бухарин такое совещание назначил и на нем я делал доклад. После этого я встречался у него на приемах по 10–15 мин. около 10–12 раз и всегда в присутствии посторонних лиц. Я обращался к Бухарину или за подписью какого-либо письма о содействии институтам, или с проектами распоряжений ... о разрешении той или другой проблемы в Главках» [20].

Федор Павлович умышленно слукавил, написав в заявлении, что его служебные встречи с Н. И. Бухариным были краткими и заключались только в подписании документов. На самом деле это было не так. Отношения между ними, людьми общительными, деятельными, увлеченными идеями применения науки для «расширения производственных возможностей» и постановки дела «научного исследования и его практического приложения на самую широкую ногу» [21], были теснее, разнообразнее и плодотворнее. Более того, Ф. П. Барсуков обращался к Н. И. Бухарину и с личными просьбами. На первом допросе он рассказал следователю, что по согласованию с Николаем Ивановичем он устроил в ЦНИС свою жену делопроизводителем, а позже она стала работать техническим секретарем сектора. Следователь, грубо искажив этот факт, написал в обвинительном заключении, что «жена Барсукова работала личным секретарем у Бухарина» [22]. А в 1932 г. Федор Павлович, встретив «затруднение в своем стремлении вступить в партию, обратился к ... (Бухарину. – В. Ф.) как члену ЦК партии за содействием» [20]. Надоумил же его обратиться к Н. И. Бухарину уполномоченный ленинградского отделения НИСа НКТП Тихомиров. Порог бухаринского кабинета он тогда переступил вместе с молодым талантливым ученым, профессором Ленинградского физико-технического института Д. Л. Талмудом** [23], которого увлекал идеей создания на Урале «крупного теоретического центра научного характера – физико-технического института».

Заручиться рекомендацией «одного из вождей ВКП(б) и Коммунистического Интернационала, ..., одного из руководящих участников Октябрьской революции, выдающегося теоретика коммунизма, экономиста и социолога» [25] была большая честь. Николай Иванович сперва согласился дать рекомендацию, но при повторном напоминании о ней отказал. Ф. П. Барсуков обиделся, теряясь в догадках о причинах отказа. Причина была простой. Н. И. Бухарин, возможно, догадывался, какой ему уготован конец, хотя до него было еще шесть лет, не захотел, чтобы его личная трагедия повлекла за собой трагедию случайного «спутника». Поэтому он постарался оттолкнуть от себя ничего не понявшего Ф. П. Барсукова. Но это все равно его не спасло.

Федор Павлович не оставил попыток стать членом ВКП(б), чтобы, как он выражался, «активизировать свою работу». Поскольку отлично знал, что без членства в партии ему, возможно, не удастся высоко подняться по служебной лестнице. А он очень стремился к этому и не скрывал честолюбивых замыслов. «Мои инициативы и успехи, – писал он, – сделали меня известным в ВСНХ и Академии наук и ряду крупных профессоров и инженеров. Я выдвинул идею децентрализации науки и организации Уральского филиала АН. Ездил в Академию наук с делегацией ученых, выступал на сессии (см. Труды сессии), добился решения об ... выездной сессии Академии наук на Урале, добился решения о Филиале на Урале и приезде сюда делегации академиков. В Деловом клубе (в Свердловске. – В. Ф.) принимал академиков Ферсмана и Курнакова, делал доклад о филиале и стал известен Академии наук как энтузиаст науки» [26]. Но добиться ему удалось немногого. В 1935 г. он стал всего лишь сочувствующим, чем-то вроде партийного послушника, готовящегося принять постриг.

Известность как трамплин перебросила Ф. П. Барсукова из Свердловска в Ленинград, куда он был приглашен на работу в 1932 г. по «ходатайству уполномоченного НИСа ... гражданина Тихомирова по телеграмме Зискинда – зам. начальника НИСа Наркомтяжпрома, т. е. заместителя Н. И. Бухарина» [27]. В конце того же года Тихомиров уехал в Москву, предположительно заместителем Н. И. Бухарина. Следом собирался перевестись в Центральный НИС и Федор Павлович, рассчитывавший занять должность начальника планового отдела сектора. Но на этот раз фортуна не улыбнулась ему, а нахально показала язык. «Неожиданно Бухарин отказал Тихомирову в замеществе ..., а мне, – вспоминал Ф. П. Барсуков, – предложили второстепенную работу, и материально я был поставлен в неудовлетворительные условия ... Я сделал вывод, что нужно уходить» [28]. Куда? Вопрос этот разрешился скоро. Известность опять поспособствовала найти место работы. «Встретил в это время я акад.

*Личный секретариат Н. И. Бухарина возглавлял Ефим Цейтлин, один из основателей и руководителей комсомола, ученик и последователь «бухаринской школы» и один из редакторов газеты «Правда». В середине 1930-х гг. он вместе с Л. Авербахом был выслан в Свердловск, работал на Уралмаше, дружил с сыном Чан Кайши Цзян Цзинго, будущим президентом Тайваня [23]. Ученики Н. И. Бухарина, в том числе и Е. Цейтлин, «выдерживая ссылку и чудовищное давление, ... подражали Бухарину в его вызывающем неповиновении, отказываясь от встречи с ним и от своих антисталинских взглядов» [24]. Все они, за исключением В. Астрова, погибли.

**Талмуд Давид Львович (1900–1973) – физик, специалист в области поверхностных явлений и коллоидной химии, член-корреспондент АН СССР (1934), лауреат Сталинской премии (1943).

Ферсмана, – рассказывал Федор Павлович, – который был директором Уральского филиала АН. Он мне предложил ехать в филиал ..., указав на слабость работы филиала. Он обещал поговорить с Кабаковым (*И. Д. Кабаков тогда был секретарем Уралобкома ВКП(б), репрессирован в 1937 г. – В. Ф.*). Через несколько дней Кабаков позвонил Ферсману о согласии на перевод. ... Встретив в это время Бухарина, я поставил перед ним вопрос о своем желании ехать в Свердловск. Бухарин выразил согласие и дал ... телеграмму в Обком. Таким образом, я был выдвинут на основную работу» [28] в Уральское отделение ЦНИСа в качестве уполномоченного Наркомтяжпрома, став еще одновременно по совместительству по назначению Президиума Академии наук заместителем директора УФАНа по организационной работе.

Итак, Федор Павлович, смилив гордыню и амбициозное честолюбие, оставил семью в Москве и уехал на Урал. Но его жизненный путь отнюдь не напоминал бесплодное движение по кругу. В Свердловск он вернулся не тем, кем уехал из него несколько лет назад. За прошедшие годы вырос и окреп не только его общественный и служебный статус. Общение с московской и ленинградской академической и номенклатурной элитой обогатило его интеллектуально и расширило кругозор. Особенно сильное влияние на него оказал Н. И. Бухарин, занимавшийся методологическими и теоретическими проблемами планирования научных исследований. Стивен Коэн, характеризуя эту сторону его деятельности, писал, что Н. И. Бухарин, «будучи руководителем исследований в области промышленности, ..., организовывал новые научно-исследовательские учреждения, число которых неизмеримо возросло в начале 30-х годов ... В этот период в Советском Союзе впервые в мире была сделана попытка ввести планирование научных исследований и разработок, значение которого теперь признают повсеместно. Бухарин сыграл ведущую роль в этом новаторском предприятии ...» [29].

Но правила игры, невольным участником которой сделали Ф. П. Барсукова, заставляли его скрывать при-

язненное отношение к некогда партийному кумиру. На допросах он как Сизиф катил и катил слова-камни, чтобы возвести из них охранную стену между собой и Н. И. Бухариным: «Никогда я не восхвалял Бухарина как политического деятеля и человека и никому не заявлял, что являюсь его ставленником» [30]. Все напрасно. Произносимые им слова падали в глухую пустоту, уходили водой в песок, бесприютно летели осенней листвой мимо сидевшего напротив с остекленным взглядом следователя. А он повторял и повторял их, механически и монотонно, как совершает круг за кругом рудничная лошадь на водоотливе, ослепшая и оглохшая, пока не упадет, испустив последний вздох.

Траектория жизни Ф. П. Барсукова на Урале, если изобразить ее графически, подобна фрагменту восходящей спирали, лопнувшей в 37-м году, осколки которой сразили его и легли листами документов в папку следственного дела. Следователь, заполняя страницу за страницей протоколы допросов, вряд ли задумывался, что когда-нибудь его писанина, вопросы, которые он задавал, ответы на них будут лишены охранного грифа секретности и станут доступными для изучения, анализа и сопоставления с документами различных архивов. И тогда откроется истина о том, как был несправедливо засужен и доведен до гибели совершенно безвинный человек, а на следователя пусть и был он всего лишь исполнителем чьей-то злой воли, падет клеймо вечного грешника.

Текст обвинительного заключения по делу Ф. П. Барсукова уложился в три неполные странички [31]. Но чтобы его написать, «врид. нач. 6 отделения 4 отдела сержанту государственной безопасности Бойцову» пришлось попотеть. Не только потому, что был он малограмотен. Главная трудность заключалась в другом: обвинять Ф. П. Барсукова, по существу, было не в чем. Написать такое сержант не смел. Иначе его бы убийственно хлестанул окрик: «Ты что, сукин сын, врага народа выгораживаешь. Да тебя за это расстрелять надо!» Вот он и старался изо всех сил, солгав, что жена Барсукова была личным секретарем Бухарина, а сам Барсуков «яв-



Фото 3. Уральский геологический музей. 1937 г.

лялся активным участником контрреволюционной террористической организации правых, осуществивших 1/ХП-1934 года злодейское убийство т. С. М. Кирова». Тем, кто утверждал обвинительное заключение, первая ложь понравилась, и ее оставили в тексте, а вторую даже эти, поднаторевшие в фальсифицировании фактов люди, сочли все-таки ложью и вычеркнули.

В чем же конкретно, в конце концов, обвинили Федора Павловича? Во-первых, в том, что он «с контрреволюционной вредительской целью пытался ликвидировать УФАН и свернуть научные работы на Урале»; во-вторых, в том, что «подготовил выпуск к печати “Молотовский сборник”, в котором популяризовались троцкисты и прочий к-р элемент». И все. Не очень много. Но тем не менее, анонсированную в справке об аресте статью 58-10 заменили более суровыми: 17-58-8 и 58-11, согласно которым, Федор Павлович был приговорен Военной коллегией Верховного Суда СССР 21 января 1938 г. к «10 годам тюремного заключения, с поражением в политических правах на 5 лет, с конфискацией всего личного имущества» [32].

Спустя 19 лет, 5 месяцев и 4 дня та же Военная коллегия Верховного Суда СССР определила: «Приговор

Военной коллегии Верховного Суда СССР от 21-го января 1938 года в отношении БАРСУКОВА Федора Павловича отменить по вновь открывшимся обстоятельствам и дело о нем производством прекратить за отсутствием состава преступления» [33]. Но некому было получить справку о реабилитации незаконно и безвинно осужденного Федора Павловича Барсукова.

Вот и вся короткая и трагическая «юридическая новелла» уроженца старинного города Полоцка Федора Павловича Барсукова. Неизвестно, где его могила; его бранные останки уже давно неотличимы от земли, в которую было брошено его тело. Но живы результаты его трудов: существует созданный им Уральский Дом Техники, всемирную известность получил Уральский геологический музей (фото 3). Уральский филиал АН СССР, организацией которого он занимался [34–37], развился из трех институтов в 1932 г. ныне в Уральское отделение РАН с 66 институтами, отделениями, лабораториями и центрами. Так что не зря жил Федор Павлович – новатор, организатор и подвижник планирования научно-технических исследований в СССР. Тем он и будет памятен людям ныне, присно, и во веки веков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филатов В. В. История создания Уральского геологического музея. Екатеринбург, 1998. 101 с.
2. Филатов В. В. Минералогическая Мекка Урала // Стрела времени. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. С. 175–293.
3. История создания и становления Уральского геологического музея / В. В. Филатов [и др.]. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2003. 276 с.
4. Архив Уральского геологического музея. Т. VI, л. 1.
5. Государственный архив административных органов Свердловской области (ГААОСО), ф. НД-КН. Д1, оп. 2, д. 22703, л. 96.
6. Рапопорт М. С., Комарский В. Я., Филатов В. В. Творцы уральской геологии. Екатеринбург: КИР по Свердловской области, ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция», 2000. 221 с.
7. Филатов В. В. Вершина Дидковского // Тайны Каменного пояса. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. С. 84–103.
8. ГААОСО, ф. НД-КН. Д1, оп. 2, д. 22703, л. 14.
9. Лавренев Б. А. Избранные произведения в 2-х томах. Т. 1. - М.: Художественная литература, 1972, С. 281.
10. ГААОСО, ф. НД-КН. Д1, оп. 2, д. 22703, л. 76.
11. Там же, л. 102.
12. Там же, л. 1.
13. Кун М. Бухарин: его друзья и враги. М.: Республика, 1992. 480 с.
14. Козн С. Бухарин: политическая биография. 1888–1938 / пер. с англ. 2-е изд. М.: Прогресс-Академия, 1992. 450 с.
15. Кун М. Указ. соч. С. 372.
16. ГААОСО, ф. НД-КН. Д1, оп. 2, д. 22703, л. 116.
17. Филатов В. В. Соль земли // Известия вузов. Горный журнал. 1995. № 6. С. 193–199.
18. Чирвинский Н. П. Как были открыты калиевые соли в Соликамске // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1944. № 1. С. 114–115.
19. ГААОСО, ф. 1, оп. 2, д. 43927, т. 2, л. 91.
20. Там же, л. 94–95.
21. Там же, л. 408.
22. Там же, ф. НД-КН. Д1, оп. 2, д. 22703, л. 92.
23. Там же, л. 90а.
24. Кун М. Указ. соч. С. 316.
25. ГААОСО, ф. НД-КН. Д1, оп. 2, д. 22703, л. 108.
26. Джапаков А. М. Уральские корни президента Тайваня // Урал. 2002. № 7. С. 177–189.
27. Козн С. Указ. соч. С. 401.
28. Большая Советская Энциклопедия. Т. 8. М.: АО «Советская энциклопедия», 1927. Ст. 271.
29. ГААОСО, ф. НД-КН. Д1, оп. 2, д. 22703, л. 97.
30. Там же, л. 12.
31. Там же, л. 98.
32. Козн С. Указ. соч. С. 420.
33. ГААОСО, ф. НД-КН. Д1, оп. 2, д. 22703, л. 91.
34. Там же, л. 108–110.
35. Там же, л. 120.
36. Там же, л. 121.
37. Колосова Е. Н., Филатов В. В. К истории создания Уральского филиала АН СССР (1932–1939). Неюбилейные заметки // Уральский геологический журнал. 2007. № 4(58). С. 1–123.

Статья поступила в редакцию 27 марта 2023 года

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 либо при помощи электронной редакции на сайте 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 НИИ, а также ссылок на неофициальные источники в Интернет 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-supergrain 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, ученую 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 авторов 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, ctg и т. д.), обозначения химических элементов (Al, Cu, Na и т. д.), некоторые математические термины (lim, ln, arg, grad, const и т. д.), числа или критерии (Re – Рейнольдса и т. д.), названия температурных шкал (°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 подрисночных подписях. Ксерокопии и сканированные ксерокопии фотографий не принимаются. Рисунки с нечитаемыми или плохо читаемыми надписями, с подписями «от руки», слишком тонкими линиями не принимаются.

Подрисночная 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

Исидору А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. 280 с.

Статьи в периодических изданиях

Абагурова И. В., Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия месторождений Урала в скальных массивах // *Известия 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 Applied 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 высылаемых 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 утруждают 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 identification) – 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 IT-технологиям.

Редакцией «Известий УГГУ» заключен договор с ООО «НЭИКОН ИСП», 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. Эту 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 кутюхинита – F-аналог «кальциевого хондродита»
On the cover: on photo kutyukhinite – F-analogue of «calcium chondrodite»

Редакция выражает благодарность за помощь в работе журнала

Бараникову Александру Григорьевичу – д-ру геол.-минерал. 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);
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 Парамонова Л. Ю.
Дизайнер Васфилова И. С.
Переводчик Тараньжин Б. С.

Верстка Швецовой Ю. Б.
Корректурa, оформление рисунков Пихтовниковой О. Г.

Подписано в печать 13.06.2023 г. Дата выхода в свет – 15.06.2023 г.
Формат 60 × 84/8. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 21,27. Тираж 120 экз. Заказ № 23
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. 1201
Тел.: (343)283-05-60
E-mail: iuggu-journal@yandex.ru
<https://iuggu.ru>

Отпечатано в типографии:
ООО «Издательство УМЦ УПИ»
г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2
Тел.: (343) 362-91-16