



Деятельность научно-практического журнала «Горные науки и технологии» (Mining Science and Technology (Russia)) направлена на развитие международного научного и профессионального сотрудничества в области горного дела.

Целевая аудитория журнала – исследователи, специалисты в области горного дела, представители академического и профессионального сообществ.

В журнале публикуются оригинальные статьи, описывающие результаты исследований, опыт реализации проектов в горнопромышленном комплексе, обзорные публикации.

Журнал стремится развивать такие междисциплинарные направления, как технологическая и экологическая безопасность, организация и управление проектами в горной промышленности, развитие территорий, правовые аспекты использования природных ресурсов и другие, которые способствуют прогрессу в горном деле и реализуются исследователями и практиками.

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Петров Вадим Леонидович**, проф., д.т.н., Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация

## ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Казанин Олег Иванович**, проф., д.т.н., Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Эпштейн Светлана Абрамовна**, д.т.н., Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Агиутантис Зак**, проф., д-р наук, Университет Кентукки, г. Лексингтон, Кентукки, США

**Богдасаров Максим Альбертович**, проф., д.г.-м.н., Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

**Боярко Григорий Юрьевич** – проф., д.э.н., к.г.-м.н., Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация

**Буи Суан Нам**, проф., д-р наук, Ханойский университет горного дела и технологий, г. Ханой, Вьетнам

**Валиев Нияз Гадым оглы**, проф., д.т.н., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Герел Очир**, проф., д.г.-м.н., Центр геолого-геофизических исследований, Монгольский университет науки и технологий, г. Улан-Батор, Монголия

**Глигорич Зоран**, проф., д-р наук, Белградский университет, г. Белград, Республика Сербия

**Дребенштедт Карстен**, проф., д-р наук, Технический университет Фрайбургская горная академия, г. Фрайбург, Германия

**Дулати Ардежани Фарамарз**, проф., д-р наук, Инженерный колледж, Тегеранский университет, г. Тегеран, Иран

**Ершов Михаил Сергеевич**, проф., д.т.н., Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

**Журавлева Наталья Викторовна**, проф., д.т.н., АО «Западно-Сибирский испытательный центр» (АО «ЗСИЦентр»), г. Новокузнецк, Российская Федерация

**Илиаш Николае**, проф., д.т.н., Университет Петрошани, г. Петрошани, Румыния

**Кецоджевич Владислав**, проф., д-р наук, Институт инженерного дела и минеральных ресурсов им. Бенджамина М. Статлера Университета Западной Вирджинии, г. Моргантаун, Западная Вирджиния, США

**Клишин Владимир Иванович**, проф., д.т.н., Институт угля Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация

**Кошелев Владимир Николаевич**, проф., д.х.н., Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

**Кумар Джьянт**, проф., д-р наук (геотехнический инжиниринг), Индийский институт науки (Indian Institute of Science), г. Бангалор, Индия

**Макаров Владимир Александрович**, проф., д.г.-м.н., Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

**Малафеев Сергей Иванович**, проф., д.т.н., Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Российская Федерация

**Мисников Олег Степанович**, проф., д.т.н., Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Российская Федерация

**Морозов Валерий Валентинович**, проф., д.т.н., Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация

**Петров Игорь Михайлович**, д.т.н., ООО «Исследовательская группа «Инфолайн»», г. Москва, Российская Федерация

**Раимжанов Бахадиржан Раимжанович**, проф., д.т.н., филиал Университета науки и технологий МИСИС, г. Алматы, Узбекистан

**Ракишев Баян Ракишевич**, проф., д.т.н., Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алма-Ата, Казахстан

**Рестрепо Баэна Оскар Хайме**, проф., д-р наук, Национальный университет Колумбии, г. Медельин, Колумбия

**Тарасов Вадим Петрович**, проф., д.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

**Тибилов Денис Петрович**, проф., д.э.н., Московский государственный институт международных отношений (Университет) Министерства иностранных дел России, г. Москва, Российская Федерация

**Фейзуллаев Акпер Акпер оглы**, проф., д.г.-м.н., Институт геологии и геофизики (ИГГ) Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

**Хорешок Алексей Алексеевич**, проф., д.т.н., Кузбасский государственный технический университет им. М.С. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация

**Шашенко Александр Николаевич**, проф., д.т.н., Национальный горный университет, г. Днепр, Украина

**Хардигора Моника**, проф., д-р наук, Вроцлавский технологический университет, г. Вроцлав, Польша

**Юрак Вера Васильевна**, доц., д.э.н., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург; старший научный сотрудник, Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭ УрО РАН), г. Екатеринбург, Российская Федерация

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Агафонов Юрий Григорьевич**, доц., к.т.н., Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация

**Плащанский Леонид Александрович**, проф., к.т.н., Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация

**Разоренов Юрий Иванович**, проф., д.т.н., Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация

**Филонов Михаил Рудольфович**, проф., д.т.н., Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация

## ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

**Галушка Дарья Петровна**, Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация

**ПЕРИОДИЧНОСТЬ** 4 раза в год

**ОСНОВАН** в 2016 году

## РЕГИСТРАЦИЯ

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 10 августа 2015 года.

Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-62652.

## ИНДЕКСИРОВАНИЕ

Scopus, CAS, EBSCO, DOAJ, РИНЦ, ВИНТИ РАН, Dimensions, BASE, J-Gate, Jisc Library Hub Discover.



Журнал открытого доступа.

## УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ



**МИСИС** Университет науки и технологий  
УНИВЕРСИТЕТ  
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

## АДРЕС УЧРЕДИТЕЛЯ И ИЗДАТЕЛЯ

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4

## КОНТАКТЫ РЕДАКЦИИ

Адрес: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4

Телефон: +7 (495) 955-00-77

e-mail: [send@misis.ru](mailto:send@misis.ru)



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.



Activities of the *Mining Science and Technology (Russia) (Gornye nauki i tekhnologii)* international journal are aimed at developing international scientific and professional cooperation in the field of mining.

The journal target audience comprises researchers, specialists in the field of mining, representatives of academic and professional communities.

The journal publishes original papers describing research findings, experience in the implementation of projects in mining industry, review publications.

The journal seeks to develop interdisciplinary areas that contribute to progress in mining, for example, technological and environmental safety, project organization and management in mining industry, development of territories, legal aspects of natural resource use, and other areas studied by researchers and practitioners. The journal always welcomes new developments. Papers are accepted in English or Russian.

## EDITOR-IN-CHIEF

**Vadim L. Petrov**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

## DEPUTIES EDITOR-IN-CHIEF

**Oleg I. Kazanin**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

**Svetlana A. Epshtein**, Dr.Sci.(Eng.), University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

## EDITORIAL BOARD

**Zach Agioutantis**, Prof., Ph.D., University of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA

**Maksim A. Bogdasarou**, Prof., Dr.Sci.(Geol. and Min.), Brest State A. S. Pushkin University, Brest, Belarus

**Grigory Yu. Boyarko**, Prof. Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Geol. and Miner.), National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

**Xuan Nam Bui**, Prof., Dr.Sci., Hanoi University of Mining and Geology, Duc Thang – Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam

**Carsten Drebenstedt**, Prof., Ph.D., Freiberg University of Mining and Technology, Freiberg, Germany

**Faramarz Doulati Ardejani**, Prof., Ph.D., Colledge of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

**Mikhail S. Ershov**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow, Russian Federation

**Akper A. Feyzullaev**, Prof., Dr.Sci.(Geol. and Min.), Institute of Geology and Geophysics of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

**Ochir Gerel**, Prof., Dr.Sci.(Geol. and Min.), Geoscience Center, the Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia

**Zoran Gligorić**, Prof., Dr.Sci. (Mining-Underground Mining), University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia

**Monika Hardygora**, Prof., Ph.D., Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

**Nikolae Ilias**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), University of Petrosani, Petrosani, Romania

**Vladislav Kecojevic**, Prof., Ph.D., Benjamin M. Statler College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, Morgantown, West Virginia, USA

**Aleksey A. Khoreshok**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

**Vladimir I. Klishin**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Institute of Coal, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation

**Vladimir N. Koshelev**, Prof., Dr.Sci.(Chem.), National University of Oil and Gas "Gubkin University" (Gubkin University), Moscow, Russian Federation

**Jyant Kumar**, Prof., Ph.D-Geotech.Eng., Indian Institute of Science, Bengaluru, India

**Vladimir A. Makarov**, Prof., Dr.Sci.(Geol. and Min.), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

**Sergey I. Malafeev**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

**Oleg S. Misnikov**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Tver State Technical University, Tver, Russian Federation

**Valery V. Morozov**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

**Igor M. Petrov**, Dr.Sci.(Eng.), Infomine Research Group LLC, Moscow, Russian Federation

**Bakhadirzhan R. Raimzhanov**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), University of Science and Technology MISIS (branch), Almalyk, Uzbekistan

**Bayan R. Rakishev**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Alma-Ata, Kazakhstan

**Oscar Jaime Restrepo Baena**, Prof., Ph.D., National University of Colombia, Medellín, Colombia

**Alexander N. Shashenko**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National Mining University, Dnipro, Ukraine

**Vadim P. Tarasov**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

**Denis P. Tibilov**, Prof., Dr.Sci.(Econ.), Moscow State Institute of International Affairs (University) under the Ministry of Foreign Affairs of Russia, Moscow, Russian Federation

**Niyaz G. Valiev**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), The Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

**Natalia Zhuravleva**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), West Siberian Testing Center JSC (WSTCenter JSC), Novokuznetsk, Russian Federation

**Vera V. Yurak**, Assoc. Prof., Dr. Sci. (Econ.), Ural State Mining University, Yekaterinburg; Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

## EDITORIAL COUNCIL

**Yuri G. Agafonov**, Assoc. Prof., Cand.Sci.(Eng.), University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

**Michael R. Filonov**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

**Leonid A. Plashchansky**, Prof., Cand.Sci.(Eng.), University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

**Yuri I. Razorenov**, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation

## EXECUTIVE SECRETARY

**Daria P. Galushka**, University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

## QUARTERLY

FOUNDED in 2016

## REGISTRATION

The journal science and applied research journal is registered by the Federal Service for Communication, IT and Mass Communication Control on August 10, 2015.  
Registration Certificate E-No. ФС77-62652

## INDEXATION

Scopus, CAS, EBSCO, DOAJ, РИНЦ, ВИНТИ РАН, Dimensions, BASE, J-Gate, Jisc Library Hub Discover.

## FOUNDER AND PUBLISHER



UNIVERSITY  
MISIS University of Science and Technology  
MISIS

## CONTACT

4 Leninsky Prospect, Moscow 119049, Russian Federation

Phone: +7 (495) 955-00-77

e-mail: [send@misis.ru](mailto:send@misis.ru)



This work is licensed under a  
[Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



## СОДЕРЖАНИЕ

### СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД. ГЕОМЕХАНИКА И ГЕОФИЗИКА

Модель годографа электромагнитных волн, дифрагированных на локальном объекте при георадиолокационном изучении слоев горных пород криолитозоны ..... 199  
*К. О. Соколов*

Оценка рейтинговых показателей состояния горного массива глубоких горизонтов подземного рудника Удачный ..... 206  
*Е. В. Серебряков, И. А. Зайцев, А. А. Потака*

Применение гидродинамического моделирования на основе композиционной модели для повышения эффективности разработки газоконденсатной залежи ..... 221  
*К. О. Томский, М. С. Иванова, Е. Д. Никитин, Л. А. Рудых*

### ОБОГАЩЕНИЕ, ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

«Невидимые» благородные металлы в углеродистых породах и продуктах обогащения: возможность выявления и укрупнения ..... 231  
*Т. Н. Александрова, А. В. Афанасова, В. А. Абурова*

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Оценка готовности вспомогательных горноспасательных команд угольных шахт ..... 243  
*В. А. Руденко*

Исследование термодинамических параметров воздушной среды на линиях метрополитенов с однопутными и двухпутными тоннелями ..... 250  
*С. Г. Гендлер, М. С. Крюкова, Е. Л. Алферова*

Оценка эффективности очистки сточных вод угольных предприятий от взвешенных веществ различными фильтрующими материалами ..... 263  
*Л. А. Иванова, А. Ю. Просеков, П. П. Иванов, Е. С. Михайлова, И. В. Тимощук, А. К. Горелкина*

Экологически чистые геотехнологии выщелачивания металлов из твердых и жидких отходов обогащения полиметаллического сырья ..... 271  
*В. И. Голик, Ю. И. Разоренов, Н. Г. Валиев, О. А. Гаврина*

Обоснование экологической безопасности при эксплуатации объектов метрополитена с учетом гидрогеологического риска ..... 283  
*С. А. Жуков*

### ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Устойчивость регулируемого привода штанговой насосной установки в рабочих режимах и при провалах напряжения в сети ..... 292  
*М. С. Ершов, Е. С. Ефимов*



## CONTENTS

### MINING ROCK PROPERTIES. ROCK MECHANICS AND GEOPHYSICS

Model of time-distance curve of electromagnetic waves diffracted on a local feature  
in the georadar study of permafrost zone rock layers..... 199  
*K. O. Sokolov*

Assessment of rating parameters of the rock mass conditions  
at Udachny underground mine deep levels..... 206  
*E. V. Serebryakov, I. A. Zaytsev, A. A. Potaka*

Application of hydrodynamic simulation on the basis of a composite model to improve  
the efficiency of gas-condensate reservoir development..... 221  
*K. O. Tomskiy, M. S. Ivanova, E. D. Nikitin, L. A. Rudykh*

### BENEFICIATION AND PROCESSING OF NATURAL AND TECHNOGENIC RAW MATERIALS

“Invisible” noble metals in carbonaceous rocks and beneficiation products:  
feasibility of detection and coarsening..... 231  
*T. N. Aleksandrova, A. V. Afanasova, V. A. Aburova*

### SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Assessment of readiness of auxiliary mine rescue teams in coal mines ..... 243  
*V. A. Rudenko*

Investigation of thermodynamic parameters of the air environment in subway lines  
with single-track and double-track tunnels ..... 250  
*S. G. Gendler, M. S. Kryukova, E. L. Alferova*

Assessment of the efficiency of wastewater treatment from coal enterprises  
for suspended solids using various filtering materials..... 263  
*L. A. Ivanova, A. Yu. Prosekov, P. P. Ivanov, E. S. Mikhaylova, I. V. Timoshchuk, A. K. Gorelkina*

Environmentally sound geotechnologies for leaching metals  
from polymetallic ore processing wastes and wastewater ..... 271  
*V. I. Golik, Yu. I. Razorenov, N. G. Valiev, O. A. Gavrina*

Substantiation of environmental safety  
in metro facility operations considering hydrogeological risks..... 283  
*S. A. Zhukov*

### POWER ENGINEERING, AUTOMATION, AND ENERGY PERFORMANCE

Stability of a controlled sucker-rod pump unit drive under operating conditions  
and during voltage dips in the electrical network..... 292  
*M. S. Ershov, E. S. Efimov*