

МЕЖДУНАРОДНЫЙ



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ISSN 1998-4502
e-ISSN 2499-975X

Sustainable Development of Mountain Territories

*"Земля - планета не простая".
А. де Сент-Экзюпери*



НАУКИ О ЗЕМЛЕ
EARTH AND PLANETARY SCIENCES
ENVIRONMENTAL SCIENCES
7

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ENGINEERING
97

НАУЧНОЕ МНЕНИЕ
SCIENTIFIC OPINION
151

T.14
№1(51)
2022



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ "УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ"

Журнал входит в Перечень изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК)

Журнал включен в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus (2 квартиль)

Адрес редакции, учредителя, издателя:

362021, РСО-Алания,
г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,
Северо-Кавказский горно-
металлургический институт
(государственный технологический
университет),
редакция журнала «Устойчивое
развитие горных территорий».

Тел.: 8(918) 707-39-25,
8(8672) 40-73-60.

Адрес в Интернете:
<http://www.naukagor.ru>
E-mail: editor@naukagor.ru

Ответственность за содержание статей
несут авторы.

Редакция не имеет возможности
возвращать присылаемые материалы.
За сведения в рекламных материалах
редакция ответственности не несет.
Перепечатка допускается только
с разрешения редакции
и с обязательной ссылкой на журнал
«Устойчивое развитие горных территорий».

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору в
сфере связи,
информационных технологий и массовых
коммуникаций.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-76046 от 19 июня 2019 г.
Издается с 2009 г.

Редактор МИСИКОВА И.А.
Технический перевод ПЕЙКАРОВА Н.И.
**Компьютерный дизайн
и верстка** ПРОВОТОРОВА Н.М.

Тираж 50 экз. Заказ №6
Подписано в печать: 20.03.2022 г.
Дата фактического выхода:
30.03.2022 г.

Цена свободная.
Отпечатано в типографии
ИП Федосеев В. А.
344013, г. Ростов-на-Дону,
ул. Мечникова, 112 А.

© «Устойчивое развитие горных
территорий», 2022

УЧРЕДИТЕЛЬ:

СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – **Алексеев И.А.** – кандидат юридических наук, доцент, исполняющий обязанности ректора Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

ПЕРВЫЙ ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Галачиева С.В. – доктор экономических наук, профессор, проректор по научной работе и стратегическому развитию Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Клюев Р.В. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), ответственный за выпуск номеров журнала, (Владикавказ, Россия).

Хетагуров В.Н. – доктор технических наук, профессор, руководитель рабочей группы по подготовке журнала к изданию, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

Камболов Д.А. – кандидат технических наук, доцент, первый проректор Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

ОТВЕТСТВЕННЫЕ СЕКРЕТАРИ (по направлениям):

Науки о Земле – **Габараев О.З.** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Горное дело» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

Технические науки – **Кондратьев Ю.И.** – доктор технических наук, профессор Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

РЕДАКТОРЫ:

Мисикова И.А. – начальник редакционно-издательского отдела Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

Караев Ю.И. – директор Международного инновационного научно-технологического центра «Устойчивое развитие горных территорий» (МИНТЦ «Горы») Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель редакционного совета:

Котляков В.М. – доктор географических наук, академик РАН, Почетный президент Русского географического общества, председатель экспертного совета Национальной премии «Хрустальный компас», член Межправительственной группы экспертов по проблеме изменения климата, (Москва, Россия).

СОПРЕДСЕДАТЕЛИ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

Вейнгартнер Р. – доктор наук, профессор Университета г. Берн (Швейцария), заведующий кафедрой гидрологии Географического института Университета г. Берн. Руководитель Международной Исследовательской Инициативы (MRI), (г. Берн, Швейцария).

Дзасохов А.С. – доктор политических наук, заместитель председателя Комиссии Российской Федерации по делам ЮНЕСКО, (Москва, Россия).

Кавалла Р. – кандидат технических наук, профессор, директор Института обработки металлов давлением Фрайбергской Горной Академии, (Фрайберг, Германия).

Керимов И.А. – доктор физико-математических наук, профессор, вице-президент Академии наук Чеченской Республики (Грозный, Россия).

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

Айдаралиев А.А. – доктор медицинских наук, академик Национальной Академии наук Республики Кыргызстан, Председатель попечительского Совета УНПК «Международный университет Кыргызстана», (Бишкек, Кыргызская Республика).

Бабаян Г.А. – кандидат физико-математических наук, заведующий отделом мониторинга и инноваций Института геологических наук Национальной Академии наук Армении, (Ереван, Республика Армения).

Баденков Ю.П. – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН, научный руководитель горной группы МАВ-6 программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» в Институте географии РАН, (Москва, Россия).

Большаков В.Н. – доктор биологических наук, профессор, академик Российской академии наук, Советник РАН, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией эволюционной экологии Института экологии растений и животных УрО РАН, (Москва-Екатеринбург, Россия).

Вагин В.С. – доктор экономических наук, профессор, директор Института международного образования Южно-Российского государственного политехнического университета (Новочеркасского политехнического института), (Новочеркасск, Россия).

Викторов С.Д. – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института проблем комплексного освоения недр РАН, (Москва, Россия).

Винчигуэрра С. – доцент кафедры наук о Земле Университета Турина, (Турин, Италия).

Глазырина И.П. – доктор экономических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, заведующая кафедрой «Прикладная информатика и математика» Забайкальского государственного университета, (Чита, Россия).

Голик В.И. – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология разработки месторождений» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

Гроппен В.О. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированная обработка информации» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

Дребенштедт К. – профессор, декан Фрайбергской горной Академии, (Фрайберг, Германия).

Заксенхофер Р. – заведующий кафедрой нефтегазовой геологии, профессор Горного университета в Леобене, (Леобен, Австрия).

Залиханов М.Ч. – доктор географических наук, профессор, академик РАН, Главный научный сотрудник Высочного геофизического института Росгидромета, (Нальчик, Россия).

Лурье П.М. – доктор географических наук, профессор, ведущий метеоролог Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, (Ростов-на-Дону, Россия).

Махашева С.А. – доктор экономических наук, профессор, начальник отдела «Региональный менеджмент» Института информатики и проблем регионального управления Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук (Нальчик, Россия).

Минцаев М.Ш. – доктор технических наук, профессор, ректор Грозненского государственного нефтяного технического университета им. акад. М.Д. Миллионщикова, (Грозный, Россия).

Прхалова М. – программный специалист отдела «Экология и науки о Земле» Секретариата ЮНЕСКО, (Париж, Франция).

Сысоев Н.И. – доктор технических наук, профессор кафедры «Нефтегазовая техника и технологии» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, (Новочеркасск, Россия).

Темираев Р.Б. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология продуктов общественного питания» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), (Владикавказ, Россия).

Штадельбауэр Й. – доктор философских наук, профессор Фрайбургского университета, (Фрайберг, Германия).

FOUNDER

NORTH CAUCASIAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY (STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY)

EDITORIAL TEAM

Chief Editor – Igor A. Alekseyev – PhD in Law, Associate Professor, Acting Rector of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), (Vladikavkaz, Russia).

FIRST DEPUTY OF EDITOR-IN-CHIEF

Svetlana V. Galachieva – DSc in Economics, Professor, Vice-Rector for Research and Strategic Development of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), (Vladikavkaz, Russia).

DEPUTY CHIEF EDITORS:

Roman V. Klyuev – DSc in Technical Sciences, Professor, Head of Department "Power Supply of Industrial Enterprises", North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (Vladikavkaz, Russia)

Valery N. Khetagurov – DSc in Technical Sciences, Professor of Department of Technological Science and Equipment, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (Vladikavkaz, Russia)

Dzambolat A. Kambolov – PhD in Technical Sciences, First Vice-Rector of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), (Vladikavkaz, Russia).

EDITORIAL EXECUTIVE SECRETARY:

Earth Sciences – Oleg Z. Gabaraev – DSc in Technical Sciences, Professor, Head of the Mining Department of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), (Vladikavkaz, Russia).

Engineering Sciences – Yuri I. Kondratyev – DSc in Technical Sciences, Professor, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (Vladikavkaz, Russia)

EDITORS:

Indira A. Misikova – Head of the Editorial and Publishing Department of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), (Vladikavkaz, Russia).

Yuri I. Karaev – Director of the International Innovative Scientific and Technological Center "Sustainable Development of Mountain Territories" (MINTC "Mountains") North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), (Vladikavkaz, Russia).

EDITORIAL BOARD:

Chairman:

Vladimir M. Kotlyakov – DSc in Geographical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honorary President of the Russian Geographical Society, Chairman of "Crystal Compass" National Award Expert Board, Member of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Moscow, Russia)

Co-Chairmans:

Rolf Weingartner – Professor of the University of Bern (Switzerland)

Alexander S. Dzasokhov – PhD in Historical Sciences, DSc in Political Sciences, Deputy Chairman of the Russian Commission for UNESCO (Moscow, Russia)

Rudolf Kawalla – PhD in Technical Sciences, Professor, Director of Institute of Metal Processing Pressure Freiberg University of Mining and Technology (Germany)

Ibragim A. Kerimov – DSc in Physics and Mathematics, Professor, Vice President of the Academy of Sciences of the Chechen Republic (Grozny, Russia)

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Asylbek A. Aidaraliev – DSc in Medical Sciences, Academician, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Head of the UNESCO Department "Sustainable Mountain Development" of EDUCATIONAL RESEARCH AND PRODUCTION COMPLEX "INTERNATIONAL UNIVERSITY OF KYRGYSTAN" (Bishkek, Kyrgyz Republic)

Hektor E. Babayan – PhD in Physico-Mathematical Sciences, Head of Department, Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences of Republic of Armenia (Yerevan, Republic of Armenia)

Yuri P. Badenkov – PhD in Geographical Sciences, Deputy Director of Science, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Vladimir N. Bol'shakov – DSc in Biological Sciences, Professor, Academician, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Vladimir S. Vagin – DSc in Economic Sciences, Professor, Minister of Housing and Communal Services of the Rostov Region (Rostov-on-Don, Russia)

Sergey D. Viktorov – DSc in Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Research Institute of Comprehensive Exploitation of Subsoil, RAS (Moscow, Russia)

Serjio Vinciguerra – Associate Professor of the Department "Earth Sciences" University of Turin (Turin, Italy)

Irina P. Glazyrina – DSc in Economic Sciences, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics, Informatics" of Trans-Baikal State University (Chita, Russia)

Vladimir I. Golik – DSc in Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Development of mineral deposits", North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (Vladikavkaz, Russia)

Vitaly O. Groppen – DSc in Technical Sciences, Professor, Head of Automated Processing of Information, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (Vladikavkaz, Russia)

Carsten Drebenstedt – Dean of the Freiberg Mining Academy, Professor (Freiberg, Germany)

Rainhad Sachsenhofer – Head of the Department "Petroleum Geology", Professor of Leoben Mining University (Leoben, Austria)

Mihail Ch. Zalikhanov – DSc in Geographical Sciences, Academician, Russian Academy of Sciences (Nalchik, Russia)

Petr M. Lur'e – DSc in Geographical Sciences, Professor, Member of the Dissertation Council at the Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)

Svetlana A. Makhosheva – DSc in Economics, Professor, Head of the Regional Management Department of the Institute of Informatics and Regional Management Problems of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Nalchik, Russia).

Magomed Sh. Mintsae – DSc in Technical Sciences, Professor, Rector of Acad. M.D. Millionshtchikov Grozny State Oil Technical University (Grozny, Russia)

Marie Prchalova – Programme Specialist, Division of Ecological and Earth Sciences, UNESCO Secretariat (Paris, France)

Nikolaj I. Sysoev – DSc in Technical Sciences, Professor of Petroleum Engineering and Technology of M.I. Platov South-Russian State Technical University (Novocherkassk, Russia)

Rustem B. Temirae – DSc in Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department "Food technology" North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (Vladikavkaz, Russia)

Jorg Stadelbauer – DSc in Philosophy, Professor (Germany)

INTERNATIONAL



SCIENTIFIC JOURNAL "SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MOUNTAIN TERRITORIES"

The journal is included in the List of publications recommended by Supreme Attestation Commission (VAK)

The journal is included in the International Reference Database and Scopus citation System (quartile 2)

Address of the editorial office, founder, publisher:

44 Nikolaev Street, Vladikavkaz,
RNO-Alania, 362021,
NORTH CAUCASIAN INSTITUTE
OF MINING AND METALLURGY
(STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY),
Editorial Office of the journal "Sustainable
Development of Mountain Territories".
Ph.: +7(918) 707-39-25,
+7 (8672) 40-73-60.

Internet address:
<http://www.naukagor.ru>
E-mail: editor@naukagor.ru

Authors are responsible for the content of the articles.

Editorial staff is not in the position to return the submitted materials.

Editorial staff is not responsible for the information in promotional materials.

Reprinting is allowed only with the permission of the editorial office and reference to the journal «Sustainable Development of Mountain Territories» is required.

The Journal is registered in the Federal Service on Supervision in the Sphere of Communication, Information Technology and Mass Media.
Registration Certificate
PI No FS 77-76046 From 19 June 2019

Published since 2009

Editor MISIKOVA I.A.
Technical translation
PEYKAROVA N.I.

Computer design and make-up
PROVOTOROVA N.M.

Covering – 50 copies
Order No6

Signed to print: 20.03.2022.

Date of actual release:
30.03.2022.

Free price.

Printed by IE Fedoseev V. A.,
112 A Mechnikov st.
344013, Rostov-on-Don

© «Sustainable Development of Mountain Territories», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ	7	ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ.....	97
Белозеров В.С., Соловьев И.А., Щитова Н.А., Дзахова Л.Х. ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ ПОСЕЛЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ	7	Босиков И.И., Ключев Р.В., Майер А.В., Стась Г.В. РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ АЭРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ.....	97
Кондратьев Ю.И., Соколова О.А., Камболов Дз.А., Мирошников А.С. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕСИММЕТРИЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА И ДОБАВКОЙ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА.....	20	Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Коликов К.С. УПРАВЛЕНИЕ АЭРОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....	107
Красноярова Б.А., Биче-оол Т.Н., Суразакова С.П. МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РЕГИОНОВ ЮЖНОЙ СИБИРИ.....	27	Макаров Н.В., Макаров В.Н., Угольников А.В., Носырев М.Б. ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭКОНОМИЧНЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.....	117
Маргарян В.Г., Икрамов И.Г., Абдраимова К.Т., Ибрагимова Э.К. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛН ТЕПЛА ПОСЛЕДНИХ ТРЕХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ (АРАРАТСКАЯ ДОЛИНА, АРМЕНИЯ).....	36	Пыталев И.А., Романько Е.А., Бобылева Е.В., Колкова М.С. НОРМИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ ПРИ ПОДЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЗАКЛАДКОЙ...	126
Hermanto Y.B., Purba L.P., Nugroho M. A STUDY ON THE ENTREPRENEURIAL ORIENTATION OF THE 65-VILLAGERS IN A PART OF SLOPE OF MOUNTAIN ARJUNO EAST JAVA INDONESIA.....	46	Шарипзянова Г.Х., Еремеева Ж.В., Саенко А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ТИТАНАТА САМАРИЯ	134
Magadán-Díaz M., Rivas-García J. RESIDENTS' PERCEPTION OF PILGRIMAGE TOURISM SUSTAINABILITY IN MOUNTAIN REGIONS: THE ST. JAMES PRIMITIVE WAY CASE IN ASTURIAS	52	Жуков И.А., Голиков Н.С., Мартюшев Н.В. РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СЕКЦИИ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	142
Голик В.И. ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛА САДОНа (РСО-АЛАНИЯ)	68	НАУЧНОЕ МНЕНИЕ	151
Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М., Еремков Ф.К., Лисовская Ю.С. ОЦЕНКА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ УСТОЙЧИВОСТИ.....	76	Алексеев И.А. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ИНДУСТРИАЛЬНЫМИ ПАРТНЕРАМИ ГОРНО- МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ КАК ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ	151
Шавакулева О.П., Сединкина Н.А., Гмызина Н.В., Косарев Л.В. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ШЛАКОВ ЗЛАТОУСТОВСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА	87	ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ	155
		ПОДПИСКА	157

CONTENTS

EARTH AND PLANETARY SCIENCES

ENVIRONMENTAL SCIENCES 7

V.S. Belozerov, I.A. Soloviev, N.A. Shchitova,
L.K. Dzakhova
TERRITORIAL FEATURES OF DEMOGRAPHIC
DEVELOPMENT OF MOUNTAIN SETTLEMENTS
OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA. 7

Yu.I. Kondratiev, O.A. Sokolova, Dz.A. Kambolov,
A.S. Miroshnikov
ELECTROCHEMICAL LEACHING OF
POLYMETALLIC ORE UNDER THE ACTION
OF ASYMMETRIC CURRENT PULSES
AND THE ADDITION OF A SURFACTANT 20

B.A. Krasnoyarova, T.N. Biche-ool, S.P. Surazakova
MODELS OF SUSTAINABLE SOCIO-ECONOMIC
DEVELOPMENT OF THE MOUNTAIN REGIONS
OF SOUTHERN SIBERIA 27

V.G. Margaryan, I.G. Ikramov, K.T. Abdraimova,
E.K. Ibragimova
ON THE FEATURES OF THE SPATIO-
TEMPORAL VARIABILITY OF THE HEAT WAVES
CHARACTERISTICS OF THE LAST THREE DECADES
(ARARAT VALLEY, ARMENIA)..... 36

Y.B. Hermanto, L.P. Purba, M. Nugroho
A STUDY ON THE ENTREPRENEURIAL
ORIENTATION OF THE 65-VILLAGERS IN A PART
OF SLOPE OF MOUNTAIN ARJUNO EAST JAVA
INDONESIA..... 46

M. Magadán-Díaz, J. Rivas-García
RESIDENTS' PERCEPTION OF PILGRIMAGE
TOURISM SUSTAINABILITY IN MOUNTAIN REGIONS:
THE ST. JAMES PRIMITIVE WAY CASE
IN ASTURIAS 52

V.I. Golik
PROMISING DIRECTION OF SADON 'S POTENTIAL
RECOVERY (RNO-ALANIA)..... 68

V.L. Tatarintsev, L.M. Tatarintsev, F.K. Ermekov,
Y.S. Lisovskaya
AGROECOLOGICAL CONDITION ASSESSMENT
OF AGRICULTURAL LANDSCAPES FOR THEIR
SUSTAINABILITY INCREASE 76

O.P. Shavakyleva, N.A. Sedinkina, N.V. Gmyzina,
L.V. Kosarev
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR SLAGS
INTEGRATED PROCESSING AT ZLATOUST
STEEL MILL 87

ENGINEERING 97

I.I. Bosikov, R.V. Klyuev, A.V. Mayer, G.V. Stas
DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ANALYZING
AND EVALUATING THE OPTIMAL STATE
OF AEROGASODYNAMIC PROCESSES IN COAL
MINES 97

S.V. Balovtsev, O.V. Skopintseva, K.S. Kolikov
AEROLOGICAL RISK MANAGEMENT IN
PREPARATION MINING OF COAL MINES 107

N.V. Makarov, V.N. Makarov, A.V. Ugolnikov,
M.B. Nosyrev
PARAMETERS JUSTIFICATION AND HIGHLY
ECONOMICAL FAN INSTALLATIONS CREATION
FOR AIR COOLING DEVICES..... 117

I.A. Pytalev, E.A. Romanko, E.V. Bobyleva,
M.S. Kolkova
LOSSES AND DRYING NORMALIZATION WITH A
LEVEL-CHAMBER DEVELOPMENT SYSTEM
WITH FOLLOWING LAYING..... 126

G.K. Sharipzyanova, Zh.V. Ereemeeva, A.A. Sayenko
STRUCTURE AND PROPERTIES OF
MECHANOACTIVATED SAMARIUM TITANATE
POWDER 134

I.A. Zhukov, N.S. Golikov, N.V. Martyushev
DESIGN RATIONALIZATION OF THE SCRAPER
CONVEYOR SECTION BY MEANS OF AN
AUTOMATED METHOD OF STRENGTH
CHARACTERISTICS ANALYSIS 142

SCIENTIFIC OPINION 151

I.A. Alekseev
PROFESSIONAL COMPETENCIES
IMPLEMENTATION AND INTERACTION WITH
INDUSTRIAL PARTNERS OF THE MINING AND
METALLURGICAL INDUSTRY AS EDUCATION
QUALITY INDICATORS AT TECHNICAL
UNIVERSITIES..... 151

INFORMATION FOR AUTHORS 156

MAGAZINE SUBSCRIPTION157



Уважаемые коллеги!

В соответствии с заключением Президиума ВАК Минобрнауки РФ от 26.03.2019 г. статьи для публикации в журнале «Устойчивое развитие горных территорий» принимаются по следующим отраслям и группам наук:

- 05.05.06 – Горные машины (технические науки);
- 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых (технические науки);
- 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика (технические науки);
- 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная) (технические науки);
- 25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов (географические науки);
- 25.00.24 – Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география (географические науки).

Помимо этого, в рамках Международной базы цитирования Scopus тематика Журнала ориентирована на следующие отрасли и группы наук:

1. Технические науки (Engineering);
2. Науки о Земле и планетарные науки (Earth and Planetary Sciences);
3. Наука об окружающей среде (Environmental Science).

Сообщаем, что количество журналов, в рекламных целях рассылавшихся ранее бесплатно, значительно сокращено, в связи с чем информируем, что подписка на журнал продолжается. Те, кто не успел подписаться на первое полугодие 2022 года в отделениях Роспечати, могут сделать это в самой редакции (подробности стоимости и условий подписки в разделе «Подписка. Реклама» журнала).

Редакция также осуществляет услуги по изготовлению и размещению рекламных материалов на страницах журнала (обложка, цветные вклейки, черно-белые вставки). Вы можете прорекламировать продукцию, разработанную в ваших лабораториях и научных центрах, предложить запатентованное вами оборудование, приборы, новые технологии, сделать предложение о сотрудничестве, предложить услуги научного либо прикладного характера, попытаться привлечь инвестиции под ваши проекты, проанонсировать монографию, т.е. на правах рекламы разместить любую необходимую для вас информацию.

Сделав заявку и прислав текст и примерный вид вашей предполагаемой рекламы, Вы, связавшись с нами по телефону редакции +7(918)707-39-25, обговариваете все детали. Получив от нас счет за выполненную работу, оплачиваете его, а копию платежного получения присылаете на электронный адрес редакции.

Всегда рады сотрудничеству.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

EARTH AND PLANETARY SCIENCES

ENVIRONMENTAL SCIENCES



Крупные катастрофы, уже разорившие и продолжающие разорять современный мир, происходят от нежелания человека считаться с законами природы, от нежелания понять, что голод нельзя утолить, опустошая землю.

Жан ДОРСТ

Оригинальная статья

УДК 314.04:314.7

DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-7-19

Территориальные особенности демографического развития горных поселений Республики Северная Осетия-Алания

Виталий С. Белозеров¹, Иван А. Соловьев¹✉, Наталия А. Щитова¹, Лариса Х. Дзахова²

¹Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия, soloivan@mail.ru✉

²Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова, Владикавказ, Россия

Аннотация. На основе данных официальной статистики, визуальных наблюдений, нормативных актов и специальной литературы выявлены современные территориальные особенности динамики численности населения, демографических и миграционных процессов в горных поселениях Республики Северная Осетия-Алания в контексте устойчивого развития. Анализ выполнен на трех пространственных уровнях – республиканском, районном, поселенческом с акцентом на сельское расселение по высотным поясам. Выявлено влияние ряда факторов на характер демографического развития горных поселений – высотности, положения относительно Владикавказской городской агломерации, важнейших автотранспортных магистралей, включенности в туристско-рекреационную деятельность. Результаты исследования позволяют оценить масштабы депопуляции горных территорий республики.

Ключевые слова: устойчивое развитие, миграционные процессы, горные территории, Северная Осетия-Алания, демографическое развитие, естественное движение населения.

Благодарность: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00386 А.

Для цитирования: Белозеров В.С., Соловьев И.А., Щитова Н.А., Дзахова Л.Х. Территориальные особенности демографического развития горных поселений Республики Северная Осетия-Алания // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 7–19. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-7-19.

Получена редакцией 06.07.2021; получена после рецензии 08.08.2021; принята к печати 14.08.2021.

Territorial features of demographic development of mountain settlements of the Republic of North Ossetia-Alania

Vitaly S. Belozеров¹, Ivan A. Soloviev¹✉, Natalia A. Shchitova¹, Larisa K. Dzakhova²

¹North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, soloivan@mail.ru✉

²North Ossetian State University after K. L. Khetagurov, Vladikavkaz, Russia

Abstract

Purpose of the study. Identify the spatio-temporal transformations of the demographic development of mountain settlements in the Republic of North Ossetia-Alania over the past decade.

Research methods: during the research, traditional geographical methods were used - comparative geographical, statistical, descriptive and analytical, field observations.

Results and discussion. Mountain settlements of the Republic of North Ossetia-Alania are located in the Vladikavkaz urban district, as well as in the Prigorodny, Alagirsky and Irafsky districts. They are mainly concentrated in low-mountain and mid-mountain zones. At the same time, the dominant part of the population lives in low mountains, which testifies to the predominance of the small-settlement structure of settlement in the middle and high mountains as compared to the low mountains. By the nature of the position in the relief, mountain settlements are divided into two types - located on slopes and high plateaus and in intermontane basins and valleys. The latter have undeniable advantages associated with more favorable natural conditions, the development of transport and social infrastructure, which contributes to the preservation of the population and curbing depopulation processes.

In general, the mountainous areas of the Republic are experiencing a steady demographic decline, which is manifested in a decrease in the population and a decrease in its share in all mountain municipalities. At the same time, in a number of settlements, natural growth remains weakly positive. The increase in depopulation is mainly associated with the migration outflow of the population, which is most pronounced in the high-mountainous, with an unfavorable geographical position of the settlements. In the Prigorodny District, the migration loss is mainly due to the village of Tarskoye (which may be a kind of reminiscence of the well-known negative events). At the same time, in a number of administrations, tendencies of a decrease in the migration loss or even a slight migration growth have been revealed. Thus, an almost zero balance of migration is characteristic of the settlements of the Dargav administration, and in the settlements of the Karamadon, Koban, Fiagdon administrations, a migration increase was found. An unexpected increase (albeit very weak) is demonstrated by the settlements of the Galiat, Gular, Zadale, Makhskoy rural administrations.

Conclusions: The study revealed significant intraregional, intraregional and intersettlement spatio-temporal imbalances in demographic development associated with natural and socio-economic circumstances. It has been established that sustainable development of the mountainous territories of the Republic of North Ossetia-Alania is possible provided that human potential is preserved, since allows reproducing the original culture of the Ossetians and preserving the mountainous traditional architecture. The most favorable situation is developing in settlements that are involved in agglomeration processes and located in the suburban area close to Vladikavkaz (with the exception of the village of Tarskoye), as well as villages with an advantageous transport and geographical position and located on the main highways. It seems promising to involve the local population in tourist activities and the development of various types of tourism in mountain settlements.

Keywords: mountainous territories, demographic development, North Ossetia-Alania, sustainable development, migration processes, natural movement of the population.

Acknowledgment: The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 20-05-00386 A.

For citation: Belozеров V.S., Soloviev I.A., Shchitova N.A., Dzakhova L.Kh. Territorial features of the demographic development of mountain settlements in the Republic of North Ossetia-Alania. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):7-19. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-7-19.

Received by the editors 06.07.2021; received after the review 08.08.2021; accepted for printing 14.08.2021.

Введение

Горные территории обладают целым рядом специфических особенностей, которые определяют остроту социально-экономических проблем и актуальность принятия комплекса мер по обеспечению их устойчивого развития в плане рационального природопользования, повышению уровня и качества жизни жителей, сокращения оттока и закрепления молодежи в горных населенных пунктах и т.д. К настоящему времени накоплен опыт в области разработки стратегий развития и поддержки горных регионов мира [1]. Ряд вопросов развития горных территорий включен в Глобальную повестку XXI в. (Agenda21, Рио-де-Жанейро, 1992) [2]. Во многих европейских странах сформулирована и реализуется государственная горная политика [3]. Начата работа по формированию горной политики и в некоторых российских регионах. В частности, приняты законы о развитии горных территорий Республики Северная Осетия-Алания, Республики Дагестан и Республики Алтай. Ведущими научными коллективами северокавказских вузов и научных центров ведутся исследования по проблемам устойчивого развития горных регионов, совместно с властными структурами разработан проект Федерального закона о горных территориях Российской Федерации, на Горном форуме в Махачкале обсужден проект Хартии гор [4–7] и т.д. Очевидно, что вопросы развития и управления горными территориями должны быть представлены в документах стратегического и территориального планирования таких регионов. Однако ни в «Стратегии социально-экономического развития Северной Осетии-Алании до 2025 г.» [8], ни в стратегиях развития других республик Северного Кавказа они не нашли своего отражения.

Одной из наиболее болезненных проблем, создающих угрозу устойчивому развитию Северной Осетии, как и другим северокавказским республикам, является проблема депопуляции горных территорий [9–11]. Значимость этой проблемы неоднократно подчеркивалась местными авторами. По данным Бероева Б.М. и Макоева Х.Х. за 1897–1995 гг. численность населения горной части Северной Осетии-Алании сократилась почти в 3 раза [9]. Некоторые современные вопросы развития миграционных и демографических процессов поднимались в работах Бадова А.Д., Макоева Х.Х., Гуриевой Л.К., Каберты Н.Г., Каберты А.Н. и др. [12–15]. Этнические миграции получили разработку в исследовании Поляна П.М., Белозерова В.С., Чихичина В.В. и Глущенко И.В. [16].

Цель исследования

Выявить пространственно-временные трансформации демографического развития горных поселений Республики Северная Осетия-Алания за последнее десятилетие.

Материал и методы исследования

В работе использовались данные государственной статистики за 2010–2020 гг., нормативно-правовые документы, материалы стратегического планирования республики Северная Осетия-Алания, а также данные полевых натурных наблюдений. При выполнении исследования применялись методы статистического, сравнительно-географического и пространственного анализа.

По закону Республики Северной Осетии-Алании (от 12.02.2019 г., №9-РЗ) «О статусе горных территорий в Республике Северной Осетии-Алании» северная граница горных территорий* проходит по кромке государственного лесного фонда (Черные горы) [17]. Таким образом, к горным населенным пунктам республики относятся все поселения до границы с Грузией южнее линии населенных пунктов: Хазнидон–Чи-кола–Сурх–Дигора–Дур–Дур–Урсдон–Алагир–Суадаг–Хаталдон–Дзуарикау–Кодахджин–Майрамадаг–Верхняя Саниба–Владикавказ–Октябрьское–Сунжа. Из них 4 горных села в 2010-е гг. были включены в состав Владикавказского городского округа (Верхний Ларс, Нижний Ларс, Чми и Эзми).

Все населенные пункты по характеру рельефа разделяются на два типа – расположенные на горных склонах и высоких плато (Камунта, Цмити, Верхний и Нижний Цей и др.) и локализующиеся в межгорных котловинах и долинах (Верхний Фиагдон, Даргавс, Нузал, Мизур и др.). Причем большинство средних (от 500 до 1000 чел.) и крупных (более 1 тыс. чел.) поселений относятся ко второму типу (село Тарское, поселки Мизур, Бурон, Верхний Фиагдон).

Всего к 2010 г. в горных территориях насчитывалось 102 сельских населенных пункта (без учета следующих горных поселений Владикавказского городского округа: Верхний Ларс, Нижний Ларс, Чми и Эзми), в т.ч. 11 поселений, полностью обезлюдевших в 2002–2010 гг. В структуре расселения преобладали мелкие сельские населенные пункты (до 100 чел.), составлявшие 70,6 % всех горных поселений. Однако около 2/3 всего населения (65,1 %) было сосредоточено в 3 крупнейших сельских населенных пунктах – в селе Тарском, поселках Мизур и Верхний Фиагдон (табл. 1).

В соответствии с вышеуказанным республиканским законом к низкогорью относятся территории с высотой от 800 до 1500 м над уровнем моря, к среднегорью – от 1500 до 2000 м, а к высокогорью – от 2000 до 6000 м [12]. Большинство горных поселений расположено в низкогорье (47%) и среднегорье (46,1%). Незначительное число поселений (около 7%) расположено в высокогорной зоне республики. Все высокогорные поселения относятся к Алагирскому району (табл. 2).

*Местность с пересеченным рельефом и абсолютной высотой рельефа 800 м и более над уровнем моря.

Таблица 1 / Table 1

Распределение горных поселений по численности населения в 2010 г. [18]

Distribution of mountain settlements by population in 2010 [18]

Показатель <i>Indicator</i>	Единицы измерения <i>Units of measure</i>	Численность поселения, чел. <i>Settlement size, people</i>				
		0–99	100–499	500–999	более 1000 <i>More 1000</i>	нет данных <i>There is no data</i>
Количество поселений <i>Number of settlements</i>	шт.	72	11	1	3	4
Доля поселений от общего количества <i>Share of settlements in total</i>	%	70.6	10.8	1.0	2.9	3.9
Численность жителей <i>Number of inhabitants</i>	чел.	1869	1956	548	8135	-
Доля населения от общей численности <i>Share of the population of the total</i>	%	14.9	15.6	4.4	65.1	-

Таблица 2 / Table 2

Распределение горных поселений и численности населения по высотным поясам, 2010 г. [18]

Distribution of mountain settlements and the proportion by altitude zones, 2010 [18]

Показатель <i>Indicator</i>	Низкогорье, 800–1499 м н.у.м. <i>Low mountains, 800–1499 m above sea level</i>	Среднегорье, 1500–1999 м н.у.м. <i>Middle mountains, 1500–1999 m above sea level</i>	Высокогорье, свыше 2000 м н.у.м. <i>Highlands, over 2000 m above sea level</i>
Всего по горным территориям РСО-А / Total for mountainous areas of RNO-A			
Количество поселений <i>Number of settlements</i>	48	47	7
Удельный вес, % <i>Specific gravity, %</i>	47.0	46.1	6.9
Численность жителей, чел. <i>Number of inhabitants, people</i>	11255	595	100
Доля жителей, % <i>Share of residents, %</i>	94.2	5.0	0.8
Алагирский район / Alagir district			
Количество поселений <i>Number of settlements</i>	27	29	7
Удельный вес, % <i>Specific gravity, %</i>	42.8	46.0	11.2
Численность жителей, чел. <i>Number of inhabitants, people</i>	5732	320	100
Доля жителей, % <i>Share of residents, %</i>	93.2	5.2	1.6
Ирафский район / Irafsky district			
Количество поселений <i>Number of settlements</i>	15	12	0
Удельный вес, % <i>Specific gravity, %</i>	55.5	44.5	0
Численность жителей, чел. <i>Number of inhabitants, people</i>	860	608	0
Доля жителей, % <i>Share of residents, %</i>	58.6	41.4	0
Пригородный район / Prigorodny district			
Количество поселений <i>Number of settlements</i>	6	6	0
Удельный вес, % <i>Specific gravity, %</i>	50.0	50.0	0
Численность жителей, чел. <i>Number of inhabitants, people</i>	4663	228	0
Доля жителей, % <i>Share of residents, %</i>	95.3	4.7	0

Таблица 3 / Table 3

Численность (чел.) и доля (%) населения горных поселений (2010 и 2020 гг.) [18; 19]
Number (people) and share (%) of the population of mountain settlements (2010 and 2020) [18; 19]

Район <i>The district</i>	2010			2020		
	всего <i>Total</i>	в т.ч. в горных поселениях <i>incl. in the mountain settlements</i>		всего <i>Total</i>	в т.ч. в горных поселениях <i>incl. in the mountain settlements</i>	
		численность <i>Number of</i>	доля <i>Share</i>		численность <i>Number of</i>	доля <i>Share</i>
Ирафский <i>Irafsky</i>	15242	1468	9.63	15007	1427	9.51
Алагирский <i>Alagirsky</i>	34361	6270	18.25	36420	5626	15.45
Пригородный <i>Prigorodny</i>	103827	4888	4.71	101655	3720	3.69

Результаты исследований и их обсуждение

Численность населения поселений горных территорий на начало 2020 г. составила 10,61* тыс. чел. или 1,5% от всего населения республики. Средняя людность поселений, составлявшая в 2010 г. 123 чел., снизилась к 2020 г. до 103 чел. Горные поселения входят в состав трех муниципалитетов – Пригородного, Алагирского и Ирафского районов. Наибольшая доля горного населения сосредоточена в Алагирском районе. В Ирафском районе она вдвое ниже, а в Пригородном – не достигает и 4% (табл. 3).

О нисходящих тенденциях демографического развития горных территорий свидетельствуют уменьшение численности населения в горных селениях и снижение их удельного веса во всех трех муниципалитетах. Наиболее выражены негативные процессы в самом «горном» Алагирском районе (табл. 3). Во всех горных сельских администрациях района население сокращается, наибольшие показатели снижения численности населения (более 30 %) прослеживаются в поселениях Цейской и Зарамагской администраций. Наименьших величин этот показатель достигает в пригородной Фиагдонской администрации, а также в расположенных на Транскавказской автомагистрали селениях Бурон и Мизур. Это наиболее крупные поселения Алагирского ущелья, с неплохо развитой социокультурной инфраструктурой и хорошей транспортной доступностью (табл. 4).

Большие диспропорции между отдельными сельскими поселениями в изменении численности населения отмечаются в Ирафском районе. Оказалось, что менее подвержены депопуляционным процессам западные территории, обладающие богатым природным и культурным наследием, способствующим развитию туризма. Так, наименьшее снижение (или даже стабилизация численности) людности прослеживается в Стур-Дигорском и Махческом сельских поселениях. А в наиболее удаленном, с плохой транс-

портной доступностью Галиатском поселении численность населения выросла на треть (табл. 4).

Общая численность населения горных поселений в Пригородном районе снизилась на 23,9 % (табл. 4). Однако основной вклад в убыль внесло одно из крупнейших осетинских сел – Тарское, население которого с 2010 г. сократилось более чем на треть (34,2 %). В остальных горных администрациях отмечался рост населения: в Даргавской сельской администрации оно выросло на 32,2 %, Кобанской – на 6,8 % и Кармадонской – на 5,5 %. Можно предположить, что рост населения на этих территориях связан с агломерационным эффектом пригородного положения и развитием туризма.

Несмотря на преобладание процессов сокращения численности населения, естественный прирост в сельской местности остается положительным.

Совокупный прирост численности сельского населения за последние 10 лет в горных районах за счет естественного воспроизводства составил почти 4 тыс. чел. (табл. 5). Вместе с тем явно прослеживается повсеместное замедление демографического роста. За 2016–2019 гг. естественный прирост в горных сельских районах сократился почти в 3 раза, а в 10 из 18 горных сельских администрациях он приобрел отрицательные значения (табл. 6). Наметившийся тренд, по всей вероятности, будет усиливаться и может способствовать развитию естественной убыли населения республики.

Главным фактором негативного демографического развития сельской местности Республики являются миграционные процессы. Миграционная убыль населения приобрела постоянный и повсеместный характер (табл. 7).

За последние десятилетия три горных района потеряли около 16,7 тыс. чел., что в 4,3 раза превышает их совокупный естественный прирост. Особенно активно негативные миграционные процессы развиваются в горных поселениях. В большинстве горных сельских администраций (в 12 из 18) отмечалась миграционная убыль, которая составила более 2 тыс. чел. Наиболее высокая убыль характерна для

*Здесь и далее без учета горных территорий Владикавказского городского округа

Динамика численности населения в горных сельских администрациях [18; 19]
 Population dynamics in mountain village administrations [18; 19]

Районы и сельские администрации <i>Districts and rural administrations</i>	2010	2020	Изменение численности населения <i>Population change</i>	
			чел. <i>people</i>	%
Сельское население РСО-Алания <i>Rural population of RNO-Alania</i>	258420	248535	-9885	-3.82
Пригородный район <i>Prigorodny district</i>	103827	101655	-2172	-2.09
В т.ч. горные сельские администрации <i>Incl. mountain village administrations</i>	4888	3720	-1168	-23.89
Даргавская <i>Dargavskaya</i>	314	415	101	32.16
Кармадонская <i>Karmadonskaya</i>	348	367	19	5.46
Кобанская <i>Kobanskaya</i>	381	407	26	6.82
Тарская <i>Tarskaya</i>	3845	2531	-1314	-34.17
Алагирский район <i>Alagir district</i>	34361	36420	-2059	-5.99
В т.ч. горные сельские администрации <i>Incl. mountain village administrations</i>	5986	5413	-573	-9.57
Буронская <i>Buronskaya</i>	548	527	-21	-3.83
Зарамагская <i>Zaramagskaya</i>	160	110	-50	-31.25
Горно-Карцинская <i>Gorno-Kartsinskaya</i>	88	62	-26	-29.54
Мизурская <i>Mizurskaya</i>	3190	2952	-237	-7.43
Нарская <i>Narskaya</i>	41	32	-9	-21.95
Унальская <i>Unalskaya</i>	284	213	-71	-25.00
Фиэгдонская <i>Fiagdonskaya</i>	1601	1467	-134	-8.37
Цейская <i>Tseyskaya</i>	74	50	-24	-32.43
Холстинская <i>Kholstinskaya</i>	284	213	-71	-25.00
Ирафский район <i>Irafsky district</i>	15242	15007	-235	-1.54
В т.ч. горные сельские администрации <i>Incl. mountain village administrations</i>	1468	1427	-41	-2.79
Ахсарисарская <i>Akhsarisarskaya</i>	366	334	-32	-8.74
Галиатская <i>Galiatskaya</i>	80	107	27	33.75
Гуларская <i>Gularskaya</i>	260	252	-8	-3.08
Задалеская <i>Zadaleskaya</i>	137	113	-24	-17.52
Махчешская <i>Makhcheskaya</i>	345	345	0	0
Стур-Дигорская <i>Stur-Digorskaya</i>	280	276	-4	-1.43

Таблица 5 / Table 5

**Динамика естественного прироста населения в сельской местности горных районов
Северной Осетии-Алании, чел. [20]**
*Dynamics of natural population growth in rural areas of mountainous regions
of North Ossetia-Alania, people [20]*

Территория <i>Territories</i>	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего <i>Total</i>
Пригородный р-н <i>Prigorodny district</i>	649	622	491	411	377	227	196	2973
Алагирский р-н <i>Alagir district</i>	115	172	96	54	96	49	64	646
Ирафский р-н <i>Irafsky district</i>	83	34	80	20	-11	9	27	242
Итого <i>Total</i>	847	828	667	485	462	285	287	3861

Таблица 6 / Table 6

**Динамика естественного прироста населения
в горных сельских администрациях Северной Осетии-Алании, чел. [20]**
*Dynamics of natural population growth in mountainous rural administrations
of North Ossetia-Alania, people [20]*

Сельские администрации <i>Rural administrations</i>	2016	2017	2018	2019	Всего <i>Total</i>
Пригородный район / Prigorodny district					
Даргавская <i>Dargavskaya</i>	-3	0	-5	-2	-10
Кармадонская <i>Karmadonskaya</i>	0	-2	3	3	4
Кобанская <i>Kobanskaya</i>	-5	-3	1	-1	-8
Тарская <i>Tarskaya</i>	28	18	9	13	68
Всего <i>Total</i>	20	13	8	13	54
Алагирский район / Alagir district					
Буронская <i>Buronskaya</i>	5	1	0	-1	5
Зарамагская <i>Zaramagskaya</i>	2	2	1	2	7
Горно-Карцинская <i>Gorno-Kartsinskaya</i>	-1	—*	-1	—	-2
Мизурская <i>Mizurskaya</i>	-4	-3	-16	-11	-34
Нарская <i>Narskaya</i>	1	-1	-1	-2	-3
Унальская <i>Unalskaya</i>	-1	-5	0	1	-5
Фиэгдонская <i>Fiagdonskaya</i>	-8	1	-3	-2	-12
Цейская <i>Tseyskaya</i>	3	—	2	-1	4
Всего <i>Total</i>	-3	-5	-18	-8	-40

*Здесь и далее знак «-» означает отсутствие данных.

*Hereinafter, the “-” sign means no data.

Сельские администрации <i>Rural administrations</i>	2016	2017	2018	2019	Всего <i>Total</i>
Ирафский район / Irafsky district					
Ахсарисарская <i>Akhsarisarskaya</i>	-5	5	1	-6	-5
Галиатская <i>Galiatskaya</i>	-1	0	-1	5	3
Гуларская <i>Gularskaya</i>	-5	4	-2	-2	-5
Задалеская <i>Zadaleskaya</i>	-1	-3	-1	1	-4
Махчешская <i>Makhcheskaya</i>	4	2	1	-3	4
Стур-Дигорская <i>Stur-Digorskaya</i>	5	3	-3	-1	4
Всего <i>Total</i>	8	11	-5	-6	-3

Таблица 7 / Table 7

**Динамика миграционного прироста населения
в горных районах Республики Северная Осетия-Алания, чел. [20]**
*Dynamics of migration population growth in the mountainous regions
of the Republic of North Ossetia-Alania, people [20]*

Территория <i>Territories</i>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Пригородный район <i>Prigorodny district</i>	-1367	-2123	-1572	-1182	-490	-1320	-949	-635	-1043	-843
Алагирский район <i>Alagir district</i>	-214	-1093	-430	-610	-462	-253	-235	-219	-280	-178
Ирафский район <i>Irafsky district</i>	-89	-161	-210	-278	-54	-17	-82	-76	-80	-120

поселений Алагирского района, что в т.ч. связано с кризисом горнодобывающей промышленности, вызвавшим отток населения из поселков городского типа [4]. А основную массу миграционного оттока из Пригородного района составили жители села Тарского (табл. 8).

В Пригородном районе миграционная убыль складывается исключительно за счет межрегиональной миграции, т.е. население мигрирует преимущественно за пределы республики. В других районах прослеживаются международные и внутриреспубликанские потоки, причем за счет международной миграции обеспечивается небольшой приток населения из числа соотечественников, проживающих за рубежом. Внутри региональные миграции направлены из сельской местности в столицу – г. Владикавказ (табл. 9).

В 2015–2019 гг. общую миграционную убыль в горных сельских администрациях обеспечивали миграционные потоки межрегиональной направленности при значительной доле внутриреспубликанских переселений. Международные потоки направлены

исключительно либо в равнинные, либо очень крупные поселения, мелкие горные селения международных мигрантов не привлекают. В 11 из 18 горных сельских администраций отмечается небольшая возвратная миграция в горы с плоскости (табл. 10).

Заключение

Для большинства горных поселений Республики Северная Осетия-Алания характерны неблагоприятные тенденции демографического развития и сокращение численности населения. Наиболее выражены депопуляционные процессы в горных селениях Алагирского района. Особо неблагоприятная ситуация сложилась в селе Тарском Пригородного района, людность в которой сократилась за последние 20 лет почти вдвое за счет активного миграционного оттока (возможно в связи с этнополитическими обстоятельствами).

Естественный прирост населения Пригородного, Алагирского и Ирафского районов поддерживается за счет традиционного образа жизни горцев, однако вполне очевидна тенденция его повсеместного сокращения и перехода к депопуляции.

Ключевую роль в демографическом развитии респу-

Таблица 8 / Table 8

Динамика миграционного прироста/убыли в горных сельских администрациях Северной Осетии-Алании*, чел. [20]

Dynamics of migration increase / decrease in mountainous rural administrations of North Ossetia-Alania*, people [20]

Горные сельские администрации <i>Mountain village administrations</i>	2011	2015	2016	2017	2018	2019	Всего <i>Total</i>
Пригородный район / Prigorodny district							
Даргавская <i>Dargavskaya</i>	5	-7	-1	3	4	-5	-1
Кармадонская <i>Karmadonskaya</i>	5	1	-3	9	-1	0	11
Кобанская <i>Kobanskaya</i>	9	4	3	5	2	-1	22
Тарская <i>Tarskaya</i>	-367	-217	-103	-81	-128	-90	-986
Всего <i>Total</i>	-348	-219	-104	-64	-123	-96	-954
Алагирский район / Alagir district							
Буронская <i>Buronskaya</i>	-5	-2	1	-1	0	-1	-8
Зарамагская <i>Zaramagskaya</i>	-33	-1	-3	-1	1	3	-34
Мизурская <i>Mizurskaya</i>	-77	-36	-29	-30	-24	-11	-207
Нарская <i>Narskaya</i>	-11	-4	0	1	-3	1	-16
Унальская <i>Unalskaya</i>	-7	-19	-6	0	1	0	-31
Фиэгдонская <i>Fiagdonskaya</i>	-16	8	-6	-5	6	11	2
Цейская <i>Tseyskaya</i>	-2	-4	-8	-9	-20	-4	-47
Всего <i>Total</i>	-151	-58	-53	-45	-39	-1	-335
Ирафский район / Irafsky district							
Ахсарисарская <i>Akhsarisarskaya</i>	-9	-6	-3	-5	-3	-4	-30
Галиатская <i>Galiatskaya</i>	1	3	17	0	2	-2	21
Гуларская <i>Gularskaya</i>	-3	0	8	1	5	-3	8
Задалеская <i>Zadaleskaya</i>	-2	8	0	6	-5	-1	6
Махчешская <i>Makhcheskaya</i>	-5	3	3	-2	1	2	2
Стур-Дигорская <i>Stur-Digorskaya</i>	-5	4	-1	-1	-2	2	-3
Всего <i>Total</i>	-23	12	24	-1	-2	-6	4

* Здесь и далее без учета Горно-Карцинской сельской администрации, т.к. по ней статистика некорректная.

* Hereinafter, without taking into account the Gorno-Kartsinsky rural administration, because her statistics are incorrect.

Распределение миграционного прироста по потокам в 2012–2019 гг., чел. [20]
Distribution of migration growth by flows in 2012–2019, people [20]

Районы <i>The districts</i>	Международная миграция <i>International migration</i>	Межрегиональная миграция <i>Interregional migration</i>	Внутрирегиональная миграция <i>Intraregional migration</i>	Всего Total
Пригородный р-н <i>Prigorodny district</i>	1442	-10157	681	-8034
Алагирский р-н <i>Alagir district</i>	97	-1551	-1213	-2667
Ирафский р-н <i>Irafsky district</i>	49	-737	-229	-917

Таблица 10 / Table 10

Распределение миграционного прироста по потокам в горных сельских администрациях в 2015–2019 гг., чел. [20]
Distribution of migration growth by flows in mountainous rural administrations in 2015–2019, people [20]

Сельские администрации <i>Rural administrations</i>	Международная миграция <i>International migration</i>	Межрегиональная миграция <i>Interregional migration</i>	Внутрирегиональная миграция <i>Intraregional migration</i>	Всего Total
Пригородный район / Prigorodny district				
Даргавская <i>Dargavskaya</i>	0	-5	-1	-6
Кармадонская <i>Karmadonskaya</i>	0	-3	9	6
Кобанская <i>Kobanskaya</i>	6	5	2	13
Тарская <i>Tarskaya</i>	10	-571	-58	-619
Всего <i>Total</i>	16	-574	-48	-606
Алагирский район / Alagir district				
Буронская <i>Buronskaya</i>	0	-6	3	-3
Зарамагская <i>Zaramagskaya</i>	0	-2	1	-1
Мизурская <i>Mizurskaya</i>	2	-60	-72	-130
Нарская <i>Narskaya</i>	0	-7	1	-6
Унальская <i>Unalskaya</i>	0	-21	-3	-24
Фиагдонская <i>Fiagdonskaya</i>	0	4	18	22
Цейская <i>Tseyskaya</i>	0	1	-46	-45
Всего <i>Total</i>	2	-91	-98	-187
Ирафский район / Irafsky district				
Ахсарисарская <i>Akhsarisarskaya</i>	0	-10	-11	-21
Галиатская <i>Galiatskaya</i>	0	0	20	20
Гуларская <i>Gularskaya</i>	0	-2	13	11
Задалеская <i>Zadaleskaya</i>	0	-3	13	10
Махчешская <i>Makhcheskaya</i>	0	-3	10	7
Стур-Дигорская <i>Stur-Digorskaya</i>	1	-3	4	2
Всего <i>Total</i>	19	-686	-100	-767

блики играют миграционные процессы. Миграционная убыль преобладает во всех горных поселениях и в сельской местности в целом, перекрывая многократно естественный прирост. Преобладают межрегиональные и внутрирегиональные миграционные потоки. За счет межрегиональных потоков республика теряет население. Внутрирегиональные потоки направлены из сельской местности в городскую (преимущественно во Владикавказ), из горных селений – в равнинные.

В меньшей степени негативные демографические процессы выражены в поселениях, обладающих минимальными преимуществами. Это касается поселений, расположенных в низкогорьях или в горных долинах; поселениях, втянутых во Владикавказскую агломерацию, и поселений, обладающих выгодным транспортно-географическим положением.

Сохраняется небольшой приток населения в крупные поселения за счет международных миграций соотечественников.

Обнаружена слабая тенденция возвратной миграции в горные поселения с уникальными природными или культурно-историческими достопримечательностями, что возможно связано с перспективами развития туризма в наиболее привлекательных в рекре-

ационном отношении территориях, а также дачной рекреацией.

Выводы

1. В результате проведенного исследования выявлены значительные внутрирегиональные, внутрирайонные и межпоселенческие пространственно-временные диспропорции демографического развития Республики Северная Осетия-Алания, связанные с природными и социально-экономическими обстоятельствами.

2. Установлено, что устойчивое развитие горных территорий Республики Северная Осетия-Алания возможно при условии сохранения человеческого потенциала, т.к. позволяет воспроизводить самобытную культуру осетин и сохранять горскую традиционную архитектуру.

3. Наиболее благоприятная ситуация складывается в поселениях, втянутых в агломерационные процессы и расположенных в ближней к Владикавказу пригородной зоне (за исключением с. Тарского), а также селения, обладающие выгодным транспортно-географическим положением и расположенные на главных автотранспортных магистралях. Представляется перспективным вовлечение в туристскую деятельность местного населения и развитие различных видов туризма в горных поселениях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Караев Ю.И. Опыт и перспективы сотрудничества в области развития горных территорий на Кавказе // Материалы Международной научно-практической конференции (Горный форум – 2016). Под общей редакцией: Бучаева Г.А., Абдулманапова С.Г., Мудуева Ш.С. Махачкала: ДГУНХ, 2016. С. 101–109.

2. Мудуев Ш.С. Актуальные вопросы развития горных территорий // Материалы Международной научно-практической конференции (Горный форум – 2016). Под общей редакцией: Бучаева Г.А., Абдулманапова С.Г., Мудуева Ш.С. Махачкала: ДГУНХ, 2016. С. 258–272.

3. Баденков Ю.П. Жизнь в горах. М.: ГЕОС, 2017. 479 с.

4. Абдулатипов Р.Г. Концепция и стратегия развития горных территорий Российской Федерации в современных условиях // Материалы Международной научно-практической конференции (Горный форум – 2016). Под общей редакцией: Бучаева Г.А., Абдулманапова С.Г., Мудуева Ш.С. Махачкала: ДГУНХ, 2016. С. 7–21.

5. Резолюция горного форума (научно-практической конференции) «Эффективное развитие горных территорий России», проведенного 26–29 июля 2016 года в Республике Дагестан // Материалы Международной научно-практической конференции (Горный форум – 2016). Под общей редакцией: Бучаева Г.А., Абдулманапова С.Г., Мудуева Ш.С. Махачкала: ДГУНХ, 2016. С. 404–406.

6. Горная хартия России (проект) // Материалы Международной научно-практической конференции (Горный форум – 2016). Под общей редакцией: Бучаева Г.А., Абдулманапова С.Г., Мудуева Ш.С. Махачкала: ДГУНХ, 2016. С. 407–415.

7. Проект Федерального закона «О горных territori-

ях Российской Федерации» // Материалы Международной научно-практической конференции (Горный форум – 2016). Под общей редакцией: Бучаева Г.А., Абдулманапова С.Г., Мудуева Ш.С. – Махачкала: ДГУНХ, 2016. С. 416–428.

8. Закон СОА «О стратегии социально-экономического развития Республики Северная Осетия-Алания до 2025 г.» (от 28.12.2012 г. N 54-рз) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/453124046> (Дата обращения: 16.03.2021 г.)

9. Бероев Б.М., Макоев Х.Х. Основные проблемы горных территорий Северной Осетии // Устойчивое развитие горных территорий. 2009. N1. С. 23–34.

10. Берозов Б.П. Переселение осетин с гор на плоскость (XVIII–XX вв.). Орджоникидзе, 1980. 240 с.

11. Чернова И.В. Динамика сельского расселения горных территорий Северного Кавказа в 1959–2010 гг. // Развитие регионов в XXI веке: Материалы I Международной научной конференции. Часть II / Под общ. ред. проф. В.Г. Созанова; Северо-Осет. гос. ун-т им. К.Л. Хетагурова. Владикавказ: ИПЦ СОГУ, 2013. С. 369–374.

12. Бадов А.Д., Макоев Х.Х. Особенности демографического развития крупнейших этносов Северного Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. 2010. N4. С. 35–40.

13. Бадов А.Д. Геодемография Северной Осетии. Владикавказ: Изд-во СОГУ, 2013. 432 с.

14. Гуриева Л.К., Каберты Н.Г. Миграция в республике Северная Осетия-Алания // Миграционные процессы: проблемы адаптации и интеграции мигрантов: сборник материалов Международной научно-практической конференции / под ред. проф. В.С. Белозерова. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2014. С. 63–67.

15. Каберты Н.Г., Каберты А.Н. Международные миграционные связи населения Северной Осетии: масштабы, характер, направления // Миграционные процессы: проблемы адаптации и интеграции мигрантов: сборник материалов Международной научно-практической конференции / Под ред. проф. В.С. Белозерова. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2014. С. 63–67.

16. Полян П.М., Белозеров В.С., Чихичин В.В., Глущенко И.В. Этнические миграции в горных регионах (на примере республик Северного Кавказа) // Материалы Международной научно-практической конференции (Горный форум – 2016). Под общей редакцией: Бучаева Г.А., Абдулманапова С.Г., Мудуева Ш.С. Махачкала: ДГУНХ, 2016. С. 153–163.

17. Закон Республики Северной Осетии-Алании от 12 февраля 2019 г. (№9-РЗ) «О статусе горных территорий в

Республике Северной Осетии-Алании» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/553127791> (Дата обращения: 06.03.2021 г.)

18. Итоги Всероссийской переписи населения 2010 года: в 11 т. Т.1: Численность и размещение населения / Северная Осетиястат – Владикавказ, 2012. 46 с.

19. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2020 года [Электронный ресурс]. URL: https://web.archive.org/web/20200822004543/https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/CcG8qBhP/mun_obr2020.rar (Дата обращения: 12.02.2021 г.)

20. База данных показателей муниципальных образований [электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (Дата обращения: 12.02.2021 г.).

REFERENCES

1. Karaev Yu.I. Experience and prospects of cooperation in the field of development of mountain territories in the Caucasus, *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Mountain Forum - 2016). Under the general editorship: Buchaeva G.A., Abdulmanapov S.G., Muduev S.S.* Makhachkala, DGINH, 2016, pp. 101–109.

2. Muduev S.S. Actual issues of development of mountain territories, *Proceedings of the International scientific and Practical Conference (Mountain Forum - 2016). Under the general editorship: Buchaeva G.A., Abdulmanapov S.G., Muduev S.S.* Makhachkala, DGINKH, 2016, pp. 258–272.

3. Badenkov Yu.P. *Life in the mountains*. Moscow, GEOS, 2017, 479 p.

4. Abdulatipov R.G. Concept and strategy of development of mountain territories of the Russian Federation in modern conditions, *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Mountain Forum - 2016). Under the general editorship: Buchaeva G.A., Abdulmanapov S.G., Muduev S.S.* Makhachkala, DGINKH, 2016, pp. 7–21.

5. Resolution of the mountain Forum (scientific and practical conference) “Effective development of the mountain territories of Russia”, held on July 26–29, 2016 in the Republic of Dagestan, *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Mountain Forum - 2016). Under the general editorship: Buchaeva G.A., Abdulmanapov S.G., Muduev S.S.* Makhachkala, DGINKH, 2016, pp. 404–406.

6. Mining Charter of Russia (draft), *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Mining Forum–2016). Under the general editorship: Buchaeva G.A., Abdulmanapov S.G., Muduev S.S.* Makhachkala, DGINKH, 2016, pp. 407–415.

7. Draft Federal Law “On mountain territories of the Russian Federation”, *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Mountain Forum - 2016). Under the general editorship: Buchaeva G.A., Abdulmanapova S.G., Mudueva S.S.* Makhachkala: DGUNKH, 2016, pp. 416–428.

8. The Law of the SOA “On the strategy of socio-economic development of the Republic of North Ossetia-Alania until 2025” (dated 12/28/2012 N 54-rz) [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/453124046> (Date of address: 03/16/2021)

9. Beroev B.M., Makoev H.H. The main problems of the mountainous territories of North Ossetia, *Sustainable Development of Mountainous Territories*, 2009, no.1, pp. 23–34.

10. Berozov B.P. *Resettlement of Ossetians from the mountains to the plane (XVIII-XX centuries)*. Ordzhonikidze, 1980, 240 p.

11. Chernova I.V. Dynamics of rural settlement of mountainous territories of the North Caucasus in 1959–2010, *Development of regions in the XXI century: Proceedings of the International Scientific Conference. Part II / under the general editorship of prof. V.G. Sozanov; North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov*. Vladikavkaz, CPI SOGU, 2013, pp. 369–374.

12. Badov A.D., Makoev H.H. Features of demographic development of the largest ethnic groups of the North Caucasus, *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2010, no.4, pp. 35–40.

13. Badov A.D. *Geodemography of North Ossetia*. Vladikavkaz, Publishing House of SOGU, 2013, 432 p.

14. Gurieva L.K., Kaberty N.G. Migration in the Republic of North Ossetia-Alania. *Migration processes: problems of adaptation and integration of migrants: A Collection of Proceedings of the International Scientific and Practical Conference / edited by prof. V.S. Belozerov*. Stavropol, Publishing House of NCFU, 2014, pp. 63–67.

15. Kaberty N.G., Kaberty A.N. International migration relations of the population of North Ossetia: scale, nature, directions. *Migration processes: problems of adaptation and integration of migrants: A Collection of Proceedings of the International Scientific and Practical Conference / Edited by prof. V.S. Belozerov*. Stavropol, Publishing House of NCFU, 2014, pp. 63–67.

16. Polyan P.M., Belozerov V.S., Chikhichin V.V., Glushchenko I.V. Ethnic migrations in mountainous regions (on the example of the republics of the North Caucasus). *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Mountain Forum - 2016). Under the general editorship: Buchaeva G.A., Abdulmanapova S.G., Mudueva S.S.* Makhachkala, DGUNKH, 2016, pp. 153–163.

17. The Law of the Republic of North Ossetia-Alania dated February 12, 2019 (No. 9-RZ) “On the status of mountain territories in the Republic of North Ossetia-Alania” [Electronic resource]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/553127791> (Date of reference: 06.03.2021).

18. *Results of the All-Russian Population Census of 2010: in 11 vols. 1: Number and location of the population*, North Ossetiastat, Vladikavkaz, 2012, 46 p.

19. The population of the Russian Federation by municipalities as of January 1, 2020 [Electronic resource]. URL: https://web.archive.org/web/20200822004543/https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/CcG8qBhP/mun_obr2020.rar (Accessed: 12.02.2021)

20. Database of indicators of municipalities [electronic resource]. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (Accessed 12.02.2021).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БЕЛОЗЕРОВ Виталий Семёнович – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой социально-экономической географии. Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, Россия.
+7(962)451-77-88 (моб.)
vsbelozеров@yandex.ru



СОЛОВЬЕВ Иван Алексеевич – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры социально-экономической географии. Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, Россия.
+7(905)415-56-24 (моб.)
soloivan@mail.ru



ЩИТОВА Наталия Александровна – доктор географических наук, профессор, профессор кафедры социально-экономической географии. Северо-Кавказский федеральный университет, 355017, Ставрополь, Россия.
+7(905)466-91-20 (моб.)
stavgeo@mail.ru



ДЗАХОВА Лариса Хасановна – доктор политических наук, профессор кафедры социологии и политологии Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова, 362025, Владикавказ, Россия.
ldzakhova@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Белозеров В.С. принимал участие в написании и доработке основного текста статьи; **Соловьев И.А.** – участие в сборе и обработке эмпирического материала, в написании и доработке статьи; **Щитова Н.А.** – участие в написании и доработке основного текста статьи; **Дзахова Л.Х.** – участие в доработке основного текста статьи.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vitaliy S. BELOZEROV – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Socio-Economic Geography. North Caucasus Federal University, Stavropol, 355017, Russia.
+7(962)451-77-88 (mob.)
vsbelozеров@yandex.ru

Ivan A. SOLOVIEV – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Socio-Economic Geography, North Caucasus Federal University, Stavropol, 355017, Russia.
+7(905)415-56-24 (mob.)
soloivan@mail.ru

Natalia A. SHCHITOVA – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor of the Department of Socio-Economic Geography, North Caucasus Federal University, Stavropol, 355017, Russia.
+7(905)466-91-20 (mob.)
stavgeo@mail.ru

Larisa K. DZAKHOVA – Doctor of Political Science, Professor of Sociology and Political Sciences Department of the North Ossetian State University after K.L. Khetagurov, Vladikavkaz, 362025, Russia.
ldzakhova@mail.ru

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Belozеров V.S. – took part in the writing and revision of the main text of the article; **Soloviev I.A.** – participation in the collection and processing of empirical material, in the writing and revision of the article; **Shchitova N.A.** – participation in the writing and revision of the main text of the article; **Dzakhova L. Kh.** – participation in the revision of the main text of the article.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

Электрохимическое выщелачивание полиметаллической руды под действием несимметричных импульсов тока и добавкой поверхностно-активного вещества

Юрий И. Кондратьев¹, Оксана А. Соколова²✉, Дзамболат А. Камболов³, Андрей С. Мирошников⁴

¹⁻⁴Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Россия, soksana1979@mail.ru✉

Аннотация. В статье приведены результаты исследований по электрохимическому выщелачиванию металлов из полиметаллических руд с применением сернокислотнохлоридных растворов под действием реверсируемого инфранизочастотного постоянного тока с меняющейся плотностью и добавкой поверхностно-активного вещества. Разработаны математические модели показателей выщелачивания в зависимости от плотности, длительности протекания прямой и обратной полярности тока. Выявлено, что самым оптимальным является режим выщелачивания руды под действием реверсируемого постоянного тока с меняющейся плотностью и длительностью обратного тока. Определено, что плотность обратного тока в 6 раз больше плотности прямого тока, а длительность протекания импульса обратного тока составляет 0,2 от длительности прямого тока.

Ключевые слова: выщелачивание руд, инфранизочастотный постоянный ток, прямая и обратная полярность, поверхностно-активные вещества, математические модели.

Для цитирования: Кондратьев Ю.И., Соколова О.А., Камболов Д.А., Мирошников А.С. Электрохимическое выщелачивание полиметаллической руды под действием несимметричных импульсов тока и добавкой поверхностно-активного вещества // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 20–26. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-20-26.

Получена редакцией 16.07.2021; получена после рецензии 08.08.2021; принята к печати 14.08.2021.

Original article

Electrochemical leaching of polymetallic ore under the action of asymmetric current pulses and the addition of a surfactant

Yuri I. Kondratiev¹, Oksana A. Sokolova²✉, Dzambolat A. Kambolov³, Andrey S. Miroshnikov⁴

¹⁻⁴ North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia, soksana1979@mail.ru✉

Abstract. The article presents the results of studies on the electrochemical leaching of metals from poly-metallic ores using sulfuric acid-chloride solutions under the action of a reversible infra-low-frequency direct current with varying density and the addition of a surfactant. Mathematical models of leaching indicators have been developed depending on the density, duration of the forward and reverse polarity of the current. It is revealed that the most optimal mode is the ore leaching under the action of a reversible direct current with varying density and duration of the reverse current. It is determined that the reverse current density is 6 times greater than the forward current density, and the duration of the reverse current pulse is 0.2 of the duration of the forward current.

At the same time, Kazakhstan, like other countries with the transit economy, will have to overcome the risks and challenges that have emerged as a result of global digitalization. The article shows that to stimulate digitalization of geological exploration, significant investments are needed, which will require, alongside with government regulation, searching for new forms and mechanisms of public-private partnership.

Keywords: ore leaching, infra-low frequency direct current, forward and reverse polarity, surfactants, mathematical models.

For citation: Kondratiev Yu.I., Sokolova O.A., Kambolov D.A., Miroshnikov A.S. Electrochemical leaching of polymetallic ore under the action of asymmetric current pulses and the addition of a surfactant. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):20-26. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-20-26.

Received by the editors 16.07.2021; received after the review 08.08.2021; accepted for printing 14.08.2021.

Введение

Для развития горно-металлургической промышленности значительный интерес представляют работы, связанные с геотехнологическими способами обогащения. При рассмотрении данной проблемы недостаточно подвергать анализу только процессы выщелачивания, поскольку не достигается полная надежность процесса, т.к. реагенты способны проникать вглубь минеральной частицы только при соблюдении определенного продолжительного временного интервала [1–12].

В настоящее время российскими и зарубежными учеными активно исследуются три основных направления.

Во-первых, направление исследований физико-химических процессов извлечения металлов из упорных сульфидов освещается как безоговорочная альтернатива существующим методам получения металлов.

Во-вторых, это направление исследований методов с применением выщелачивания металлов из специально подготовленных хвостов, что способствует решению задачи по переработке вторичных хвостов.

В третьих, это процесс выщелачивания с одновременной добавкой поверхностно-активного вещества и применением несимметричных импульсов тока по специальной методологии [13–20].

Авторы статьи выдвинули и доказали гипотезу о том, что распределением тока в системе «руда-раствор» нужно управлять по специально разработанным алгоритмам, заранее рассчитав принцип корректировки свойств выщелачивающих растворов, путем постепенного введения поверхностно-активных веществ.

Цель исследований

Разработка математических моделей показателей электрохимического выщелачивания металлов из полиметаллической руды с добавкой поверхностно-активного вещества под действием несимметричных импульсов тока.

Материалы и методы исследования

В качестве основного материала была использована руда Архонского рудника Садонского свинцово-цинкового комбината, предварительно подвергнутая ручной сортировке, содержащая, %: 0,11 – Ca; 0,24 – Mg; 13,0 – Pb; 8,89 – Fe; 6,8 – Zn; 1,5 – Cu; 13,6 – S; 41,5 – SiO₂.

Руда массой 2 кг, измельченная до крупности –20 мм, помещалась в стеклянный перколятор диаметром 54 мм, высота столба руды составляла 300 мм. Один графитовый электрод был расположен в нижней части перколятора, а второй графитовый электрод накладывали на руду сверху, затем на электроды подавали напряжение от источников постоянного тока через контакторы. Управляющие сигналы поступали от генератора импульсов инфранизкой частоты. Для моделирования процесса реверса тока использовали один контактор, а для генерации прямоугольных импульсов тока переменной полярности – два.

Выщелачивающий раствор, содержащий 122 г/л NaCl и 6,2 г/л H₂SO₄, подавали со скоростью 0,055 м³/м²·ч дозатором из накопительной емкости через отверстие в верхнем электроде (состав и скорость подачи выщелачивающего раствора были установлены ранее в экспериментах по химическому вы-

Таблица 1 / Table 1

Результаты данных при протекании прямого тока
Data results with direct current flow

Плотность тока через колонну за время эксперимента, j , А/м ² (прямого/обратного) (X_1) Current density through the column during the experiment, j , A/m ² (forward/reverse) (X_1)	Относительная длительность протекания тока прямой полярности, доли ед. (X_2) Relative duration of current flow of direct polarity, fractions of units (X_2)	Среднее напряжение на колонне U , В Average voltage on the column, U , V	Концентрация Me в растворе, мг/л <i>Me concentration in solution, mg/l</i>		Суточное извлечение Me в раствор, % / сутки <i>Daily extraction of Me into solution, %/ day</i>		Удельный расход энергии, W_{sp} , тыс. кВт·ч/т <i>Specific energy consumption, W_{sp}, thousand kWh/t</i>	Результующий итог по току, η доли ед. <i>The resulting current total, η, fractions of units</i>
			свинца C_{Pb}	цинка C_{Zn}	свинца S_{Pb}	цинка S_{Zn}		
50/100	0.1	74.8	395.8	180.8	1.068	0.832	31.14	1.045
150/300	0.1	100.6	705.0	369.6	1.903	1.700	67.41	0.674
50/100	0.3	83.9	420.0	163.4	1.134	0.752	40.79	0.855
150/300	0.3	108.9	728.1	229.2	1.965	1.054	96.80	0.442
50/100	0.2	119.3	452.7	172.8	1.222	0.795	49.94	0.988
150/300	0.2	113.1	760.3	340.8	2.052	1.568	80.68	0.606
100/200	0.1	100.8	576.0	225.8	1.555	1.039	60.34	0.696
100/200	0.3	112.3	695.8	208.5	1.878	0.959	70.45	0.619

щелачиванию руды [9]). Продукционный раствор, прошедший через руду, анализировали на содержание металлов. Продолжительность эксперимента составляла 10 ч.

В сериях экспериментов исследовано влияние реверсируемого тока с различными длительностью и амплитудой прямого и обратного тока на основные показатели выщелачивания: извлечение свинца и цинка в раствор, удельный расход электроэнергии и выход по току. Для планирования экспериментов был использован трехуровневый некомпозиционный план Бокса-Бенкена.

Результаты исследований

Результаты воздействия реверсируемого постоянного тока с неравными амплитудами, полученные с меняющейся плотностью и длительностью воздействия прямого тока по вышеописанным сериям экспериментов, приведены в табл. 1.

Результаты данных, полученных под действием реверсируемого постоянного тока с меняющейся плотностью и длительностью протекания обратного тока по вышеописанным сериям экспериментов, приведены в табл. 2.

Разработанные математические модели для случаев зависимости от плотности и длительности протекания тока прямой полярности сведены в табл. 3.

Разработанные математические модели для случаев зависимости от плотности и длительности протекания обратной полярности сведены в табл. 4.

Переменные в уравнениях представлены безразмерной величиной:

$$X_1 = \frac{j - 240}{120}; X_2 = \frac{t - 0,2}{0,1}$$

При выполнении сравнительного анализа по результатам, полученным в процессе выщелачивания руды под действием реверсируемого постоянного тока с меняющейся плотностью, а также изменением времени протекания прямого тока с данными, полученными в ходе реализации процесса выщелачивания руды под действием реверсируемого постоянного тока с варьирующимися параметрами, такими как плотность и период времени протекания обратного тока, вполне обоснованно получаем что, извлечение Pb уменьшится в 1,3 раза, Zn – уменьшится в 1,1 раза, удельный расход энергии снизится в 1,6 раза, а выход по току при этом увеличится в 1,14 раза.

Обсуждение результатов

Разработана методика исследования, базирующаяся на теоретических методах электрохимического выщелачивания металлов из полиметаллической руды при помощи сернокислотнохлоридных растворов и отличающаяся от известных специально разработанной методологией введения поверхностно-активных веществ и с несимметричными импульсами тока переработки некондиционного минерального сырья. Разработаны и прошли экспериментальную апробацию математические модели зависимости показателей выщелачивания от плотности и длительности протекания тока прямой полярности [9; 15; 16; 23].

Выводы

1. Проведены исследования режимов выщелачивания

Таблица 2 / Table 2

Результаты данных при протекании обратного тока
Reverse Current Data Results

Плотность тока через колонну за время эксперимента, j , А/м ² (прямого/обратного) (X_1) <i>Current density through the column during the experiment, j, A/m² (forward/reverse) (X_1)</i>	Относительная длительность протекания тока обратной полярности, доли ед. (X_2) <i>Relative duration of current flow of reverse polarity, fractions of units (X_2)</i>	Среднее напряжение на колонне, U, В <i>Average voltage on the column, U, V</i>	Концентрация Me в растворе, мг/л <i>Me concentration in solution, mg/l</i>		Суточное извлечение Me в раствор, %/сутки <i>Daily extraction of Me into solution, % / day</i>		Удельный расход энергии, $W_{уд}$, тыс. кВтч/т <i>Specific energy consumption, W_{sp}, thousand kWh/t</i>	Результующий итог по току, η доли ед. <i>The resulting current total, η, fractions of units</i>
			свинца <i>lead</i> C_{Pb}	цинка <i>zinc</i> C_{Zn}	свинца <i>lead</i> S_{Pb}	цинка <i>zinc</i> S_{Zn}		
50/100	0.1	50	328.9	131.4	0.888	0.604	26.07	0.804
150/300	0.1	82.7	512.2	195.9	1.383	0.901	38.21	0.896
50/100	0.3	53.3	342.3	146.0	0.925	0.672	30.90	0.735
150/300	0.3	88.6	529.0	266.6	1.428	1.226	60.74	0.652
50/100	0.2	59.9	359.9	225.6	0.971	1.038	26.79	1.062
150/300	0.2	76.8	552.4	274.9	1.491	1.265	40.51	0.844
100/200	0.1	68.4	420.5	219.9	1.170	1.016	31.3	1.019
100/200	0.3	105.6	503.1	222.7	1.358	1.029	52.39	0.761

Таблица 3 / Table 3

Разработанные математические модели при протекании тока прямой полярности
Developed mathematical models for the flow of direct polarity current

Показатель <i>Index</i>	Уравнение регрессии <i>Regression equation</i>	$S^2_{ад}$	R^2	F
Извлечение Pb, %/сутки <i>Retrieving lead, %/day</i>	$S_{Pb} = 1.836 + 0.416X_1 + 0.0752X_2 - 0.199X_1^2 - 0.1195X_2^2 - 0.001X_1X_2$	0.010621	0.960988	304.95
Извлечение Zn, %/сутки <i>Retrieving zinc, %/day</i>	$S_{Zn} = 1.096 + 0.3238X_1 - 0.1343X_2 + 0.0855X_1^2 - 0.097X_2^2 - 0.1415X_1X_2$	0.018277	0.947133	84.854
Удельный расход энергии, тыс. кВт·ч/т <i>Specific consumption energy, thous kW · h/t</i>	$W_{уд} = 71.67 + 20.5X_1 - 8.19X_2 - 6.36X_1^2 - 6.27X_2^2 + 4.93X_1X_2$	51.570465	0.956538	99.3035
Выход по току, доли ед. <i>Current output share of units</i>	$\eta = 0.7005 - 0.1943X_1 - 0.0832X_2 + 0.0965X_1^2 - 0.043X_2^2 - 0.0105X_1X_2$	0.00286	0.969804	246.107

Таблица 4 / Table 4

Разработанные математические модели при протекании тока обратной полярности
Developed mathematical models for the flow of reverse polarity current

Показатель <i>Index</i>	Уравнение регрессии <i>Regression equation</i>	$S^2_{ад}$	R^2	F
Извлечение Pb, %/сутки <i>Retrieving lead, %/day</i>	$S_{Pb} = 1.322 + 0.253X_1 + 0.0527X_2 - 0.091X_1^2 - 0.075X_2^2 + 0.002X_1X_2$	0.0059679	0.960894	299.611
Извлечение Zn, %/сутки <i>Retrieving zinc, %/day</i>	$S_{Zn} = 1.3258 + 0.1797X_1 + 0.0675X_2 - 0.1743X_1^2 - 0.3008X_2^2 + 0.0643X_1X_2$	0.011628	0.928026	102.0015
Удельный расход энергии, тыс. кВт·ч/т <i>Specific consumption energy, thous. kW · h/t</i>	$W_{уд} = 36.53 + 9.28X_1 + 8.41X_2 - 2.88X_1^2 + 5.33X_2^2 + 4.43X_1X_2$	22.478045	0.948816	86.0985
Выход по току, доли ед. <i>Current output share of units</i>	$\eta = 1.0718 - 0.0348X_1 - 0.096X_2 - 0.1188X_1^2 - 0.1813X_2^2 - 0.0438X_1X_2$	0.0096339	0.845955	91.409

чивания полиметаллических руд с использованием серноокислотнохлоридных растворов под действием реверсируемого инфранизкочастотного постоянного тока с меняющейся плотностью и длительностью прямого и обратного токов с добавкой поверхностно-активного вещества.

2. Установлено, что при выщелачивании руды извлечение свинца и цинка незначительно уменьшается, но при этом существенно уменьшается расход энергии, а выход по току увеличивается по сравнению с режимом, в котором меняются плотность и время протекания прямого импульса тока.

3. Установлено, что на извлечение свинца в большей степени оказывает влияние плотность тока, а на извлечение цинка плотность тока и длительность импульса влияют одинаково. Выявлено, что самым оптимальным является режим выщелачивания руды под действием реверсируемого постоянного тока с меняющейся плотностью и длительностью обратного тока.

4. В результате анализа математических моделей процессов выщелачивания определено, что плотность обратного тока в шесть раз больше плотности прямого тока, а длительность протекания импульса обратного тока составляет 0,2 от длительности прямого тока.

5. Подтверждено, что перспективным направлением модернизации технологии выщелачивания руд является электрохимическое выщелачивание металлов из полиметаллической руды серноокислотнохлоридными растворами с добавкой поверхностно-активного вещества с несимметричными импульсами тока.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wang J., Bai J., Xu J., Liang B. Bioleaching of metals from printed wire boards by *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans* and their mixture. *Journal of Hazardous Materials*. 2009. Vol. 172, Issues 2-3. P. 1100–1105. DOI:10.1016/j.jhazmat.2009.07.102.
2. Lewis A. E. Review of metal sulphide precipitation. *Hydrometallurgy*. 2010. 104. P. 222–234. doi:10.1016/j.hydromet.2010.06.010.
3. Watling H. R. Review of biohydrometallurgical metals extraction from polymetallic mineral resources. *Minerals*. 2014. 5(1). P. 1–60. doi:10.3390/min5010001.
4. Piyas S., Lee J. C. Bioleaching of metals from electronic scrap in a stirred tank reactor. *Hydrometallurgy*. 2014. no. 149. P. 50–62. doi: 10.1016/j.hydromet.2014.07.004.
5. Mokone TP, van Hille RP, Lewis AE Effect of solution chemistry on particle characteristics during metal sulfide precipitation. *Journal Colloid Interface Sci*. 2010 Nov 1;351(1):10-8. doi: 10.1016/j.jcis.2010.06.027.
6. Chen SY, Huang QY Heavy metals recovery from printed circuit board industry wastewater sludge by thermophilic bioleaching process. *Journal Chem Technol Biotechnol*. 2014, 89:158–164. doi:10.1002/jctb.4129.
7. Essa A, Creamer N, Brown N, Macaskie L A new approach to the remediation of heavy metal liquid wastes via off-gases produced by *Klebsiella pneumoniae* M426. *Biotechnol Bioeng*. 2006 95:574–583. doi:10.1002/bit.20877.
8. Johnson D. B., Du Plessis C. A. Biomining in reverse gear: using bacteria to extract metals from oxidised ores. *Miner Eng*. 2015, 75:2–5. doi:10.1016/j.mineng.2014.09.024
9. Кондратьев Ю.И., Соколова О.А., Аймбетова И.О., Галачиева С.В. Выщелачивание металлов с добавкой поверхностно-активного вещества под действием инфранизкочастотного тока // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13, N4. С. 591–598. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-591-598.
10. Brandl H., Bosshard R., Wegmann M. Computer-munching microbes: Metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. *Hydrometallurgy*. 2001. Vol. 59, Issues 2-3, pp. 319–326. doi:10.1016/S1572-4409(99)801146-2.
11. Karwowska E., Andrzejewska-Morzuch D., Lebkowska M., Tabernaacka A., Wojtkowska M., Telepko A., Konarzewska A. Bioleaching of metals from printed circuit boards supported with surfactant-producing bacteria. *Journal of Hazardous Materials*. 2014; 264:203–210. doi: 10.1016/j.jhazmat.2013.11.018.
12. Mishra D., Rhee Y. H. Microbial leaching of metals from solid industrial wastes. *The Journal of Microbiol*. 2014, 52(1):1–7. doi:10.1007/s12275-014-3532-3.
13. Natarajan G., Ramanathan T., Bharadwaj A. Bioleaching of metals from major hazardous solid wastes. *Microbiology for Minerals, Metals, Materials and the Environment*. 2015, 229–262. DOI:10.1201/b18124-10.
14. Brandl H. *Microbial leaching of metals*. In: *Biotechnology set*, 2nd ed. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2008, pp 191–224.
15. Кондратьев Ю. И., Соколова О. А. Толщина пленок серноокислотно-хлоридных растворов с добавкой ПАВ на поверхности выщелачиваемого тела при пленочно-капельном режиме выщелачивания / В сборнике: Наука сегодня: реальность и перспективы. Материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 147–149.
16. Кондратьев Ю. И., Соколова О. А. Влияние добавки ПАВ на физико-химические свойства растворов для выщелачивания полиметаллических руд / В сборнике: Инновации в науке и практике. Сборник статей по материалам XVI международной научно-практической конференции. В 3-х частях. 2019. С. 197–202.
17. Петров Ю.С., Соколов А.А., Паус Е.В. Математическая модель оценки техногенного ущерба от функционирования горных предприятий // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11. N 4 (42). С. 554–560.
18. Pradhan J. K., Kumar S. Metal's bioleaching from electronic waste by *Chromobacterium violaceum* and *Pseudomonads* sp. *Waste Manag Res*. 2012, 30:1151–1159. doi:10.1177/0734242X12437565.
19. Rawlings D. E. Characteristics and adaptability of iron- and sulfur-oxidizing microorganisms used for the recovery of metals from minerals and their concentrates. *Microb Cell Fact*. 2005, 4:13. doi:10.1186/1475-2859-4-13.
20. Ruan J., Zhu X., Qian Y., Hu J. A new strain for recovering precious metals from waste printed circuit boards. *Waste Manag*. 2014, 34:901–907. doi:10.1016/j.wasman.2014.02.014.
21. Босиков И.И., Ключев Р.В., Аймбетова И.О., Махашева С.А. Оценка и анализ аэродинамических параметров воздушных потоков для эффективного выбора схем воздухообеспечения в угольных шахтах // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. N3. С. 397–405. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-397-405.
22. Ключев Р. В., Босиков И. И., Гаврина О. А., Ляшенко В. И. Оценка эксплуатационной надежности электроснабжения развивающихся участков добычи руд на высокогорном руднике. *Горные науки и технологии*. 2021; 6(3): 211–220. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.
23. Босиков И.И., Ключев Р.В., Хетагуров В.Н., Ажмухамедов И.М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13, N1. С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.

REFERENCES

1. Wang J., Bai J., Xu J., Liang B. Bioleaching of metals from printed wire boards by *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Acidithiobacillus thiooxidans* and their mixture. *Journal of Hazardous Materials*. 2009, vol. 172, issues 2-3, pp. 1100–1105. DOI:10.1016/j.jhazmat.2009.07.102.
2. Lewis A. E. Review of metal sulphide precipitation. *Hydrometallurgy*. 2010, 104, pp. 222–234. doi: 10.1016/j.hydromet.2010.06.010.
3. Watling H. R. Review of biohydrometallurgical metals extraction from polymetallic mineral resources. *Minerals*. 2014, 5(1), pp 1–60. doi:10.3390/min5010001.
4. Ilyas S., Lee J. C. Bioleaching of metals from electronic scrap in a stirred tank reactor. *Hydrometallurgy*. 2014, no. 149, pp. 50–62. doi:10.1016/j.hydromet.2014.07.004.
5. Mokone TP, van Hille RP, Lewis AE Effect of solution chemistry on particle characteristics during metal sulfide precipitation. *Journal Colloid Interface Sci*. 2010 Nov 1;351(1):10-8. doi: 10.1016/j.jcis.2010.06.027.
6. Chen SY, Huang QY Heavy metals recovery from printed circuit board industry wastewater sludge by thermophilic bioleaching process. *Journal Chem. Technol. Biotechnol*. 2014, 89:158–164. doi:10.1002/jctb.4129.
7. Essa A, Creamer N, Brown N, Macaskie L. A new approach to the remediation of heavy metal liquid wastes via off-gases produced by *Klebsiella pneumoniae* M426. *Biotechnol Bioeng*. 2006, 95:574–583. doi:10.1002/bit.20877.
8. Johnson D. B., Du Plessis C. A. Biomining in reverse gear: using bacteria to extract metals from oxidised ores. *Miner. Eng*. 2015, 75:2–5. doi:10.1016/j.mineng.2014.09.024.
9. Kondratiev Yu.I., Sokolova O.A., Aimbetova I.O., Galachieva S.V. Leaching of metals with the addition of a surfactant under the action of infra-low-frequency current. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 4, pp. 591-598. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-591-598.
10. Brandl H., Bosshard R., Wegmann M. Computer-munching microbes: Metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. *Hydrometallurgy*. 2001, vol. 59, issues 2-3, pp. 319-326. doi:10.1016/S1572-4409(99)801146-2.
11. Karwowska E., Andrzejewska-Morzuch D., Lebkowska M., Tabernacka A., Wojtkowska M., Telepko A., Konarzewska A. Bioleaching of metals from printed circuit boards supported with surfactant-producing bacteria. *Journal of Hazardous Materials*, 2014; 264;:203–210. doi:10.1016/j.jhazmat.2013.11.018
12. Mishra D., Rhee Y. H. Microbial leaching of metals from solid industrial wastes. *The Journal of Microbiol*. 2014, 52(1):1–7. doi: 10.1007/s12275-014-3532-3.
13. Natarajan G., Ramanathan T., Bharadwaj A. Bioleaching of metals from major hazardous solid wastes. *Microbiology for Minerals, Metals, Materials and the Environment*. 2015, 229-262. DOI: 10.1201/b18124-10.
14. Brandl H. *Microbial leaching of metals*. In: *Biotechnology set, 2nd ed.* Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2008, pp. 191–224.
15. Kondratiev Yu. I., Sokolova O. A. Thickness of films of sulfuric acid-chloride solutions with the addition of surfactants on the surface of a leached body in the film-drop mode of leaching. *Science today: reality and prospects. Materials of the International Scientific-Practical Conference*. 2019, pp. 147-149.
16. Kondratiev Yu. I., Sokolova O. A. Effect of surfactant addition on the physicochemical properties of solutions for leaching of polymetallic ores. *Innovations in science and practice. Collection of articles based on materials of the XVI International Scientific-Practical Conference. In 3 part*. 2019, pp. 197-202.
17. Petrov Yu.S., Sokolov A.A., Raus E.V. Mathematical model for assessing man-caused damage from the operation of mining enterprises. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, v. 11, no. 4 (42), pp. 554-560.
18. Pradhan J. K., Kumar S. Metals bioleaching from electronic waste by *Chromobacterium violaceum* and *Pseudomonas* sp. *Waste Manag Res*. 2012, 30:1151–1159. doi:10.1177/0734242X12437565.
19. Rawlings D. E. Characteristics and adaptability of iron- and sulfur-oxidizing microorganisms used for the recovery of metals from minerals and their concentrates. *Microb Cell Fact*. 2005, 4:13. doi: 10.1186/1475-2859-4-13.
20. Ruan J., Zhu X., Qian Y., Hu J. A new strain for recovering precious metals from waste printed circuit boards. *Waste Manag*. 2014, 34:901–907. doi:10.1016/j.wasman.2014.02.014.
21. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Aimbetova I.O., Makhosheva S.A. Assessment and analysis of aerodynamic parameters of air flows for effective selection of air supply schemes in coal mine. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, no.3, pp. 397-405. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-397-405.
22. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Gavrina O. A., Lyashenko V. I. Assessment of operational reliability of power supply to developing ore mining areas at a high-altitude mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(3):211–220. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.
23. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods and management tools aerodynamics processes at mining sites. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no.1, pp. 77-83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021- 13-1-77-83.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОНДРАТЬЕВ Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экологии и техносферной безопасности Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), 362021, Владикавказ, Россия.

+7(906)494-66-03 (моб.)



СОКОЛОВА Оксана Александровна – преподаватель кафедры физико-математических дисциплин Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), Владикавказ, Россия.

+7(988)830-54-84 (моб.)
soksana1979@mail.ru



КАМБОЛОВ Аркадий Дзамболатович – первый проректор, кандидат технических наук, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологического университета), Владикавказ, Россия.



МИРОШНИКОВ Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информатики и вычислительной техники» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), 362021, Владикавказ, Россия.

+7(928)480-43-58
mirandrey@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri I. KONDRATYEV – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Ecology and Technosphere Safety of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia.

+7(906)494-66-03 (mob.)

Oksana A. SOKOLOVA – Lecturer of the Department of Physical and Mathematical Disciplines of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia.

+7(988)830-54-84 (mob.)
soksana1979@mail.ru

Arkady Dz. KAMBOLOV – First Vice-Rector, Candidate of Technical Sciences, North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), Vladikavkaz, Russia.

Andrey S. MIROSHNIKOV – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science and Computer Engineering of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, 362021, Russia.

+7(928)480-43-58
mirandrey@mail.ru

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

Оригинальная статья

УДК 503.335

DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-27-35

Модели устойчивого социально-экономического развития горных регионов Южной Сибири

Бэлла А. Красноярова^{1,2}✉, Татьяна Н. Биче-оол³, Светлана П. Суразакова⁴✉

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, ИВЭП СО РАН, Барнаул, Россия, bella@iwep.ru✉

²Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

³Тувинский государственный университет, Кызыл, Россия

⁴Горно-Алтайский филиал ИВЭП СО РАН, Горно-Алтайск, Россия, spsuraz@rambler.ru✉

Аннотация. В статье отмечена необходимость индивидуального подхода к разработке региональных моделей устойчивого развития, имеющих разный уровень и особенности социально-экономического развития. Рассматриваются разные подходы к поиску путей достижения устойчивого развития горных регионов Южной Сибири. Для Республики Алтай показано стремление сохранить приверженность принципам устойчивого развития. Для Республики Тыва показана неприемлемость пути развития, который влечет повторение всех издержек индустриализации – истощение природных ресурсов, деградацию окружающей среды и потерю национально-этнической самобытности местного населения.

Ключевые слова: горные регионы, Республика Алтай, Республика Тыва, устойчивое развитие, региональные модели, социально-экономическое развитие, природные ресурсы.

Благодарность: Статья подготовлена в рамках проекта №1021032422891-7 «Природные и природно-хозяйственные системы Сибири в условиях современных вызовов: диагностика состояний, адаптивные возможности, потенциал экосистемных услуг».

Для цитирования: Красноярова Б.А., Биче-оол Т.Н., Суразакова С.П. Модели устойчивого социально-экономического развития горных регионов Южной Сибири // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 27–35. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-27-35.

Получена редакцией 15.02.2021; получена после рецензии 30.09.2021; принята к печати 10.10.2021.

Original article

Models of sustainable socio-economic development of the mountain regions of Southern Siberia

Bella A. Krasnoyarova^{1,2}✉, Tatyana N. Biche-ool³, Svetlana P. Surazakova⁴✉

¹Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

²Altai State University, Barnaul, Russia, bella@iwep.ru✉

³Tuvan State University, Kyzyl, Russia

⁴Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, branch office in Gorno-Altaysk, Gorno-Altaysk, Russia, spsuraz@rambler.ru✉

Abstract. The aim of the study was to analyze the models of sustainable development mountain regions of Southern Siberia by the example of Altai and Tyva Republics.

Materials and research methods. The study was based on the methodology of system analysis and strategic planning. Strategic documents of socio-economic development of Altai and Tyva Republics were used.

Discussion. Peculiar features of the Altai Republic development are characterized by a weak diversified economy, a low living standard of the population, a poorly developed social and engineering infrastructure, bad transport development and connection with other territories, including unstable energy supply. The analysis of its Development Strategy suggests that the ecological tourism development may be take a leading position here in the near future.

The Republic of Tuva is distinguished by other strategic development guidelines. Since post-reform years, the development of the republic is associated with the construction of the Kyzyl-Kuragino railway and industrialization, i.e. the development of rich mineral deposits. Currently, the transport system of Tyva is represented by automobile, air and

© Б. А. Красноярова, Т. Н. Биче-оол, С. П. Суразакова, 2022.

domestic seasonal water traffic, which needs development and reconstruction, there are also problems with the energy supply of the region.

Conclusion. Mountainous relief, unique natural conditions of the Altai and Tyva republics are key conditions in the development of these regions. The Altai Republic has chosen an environmentally oriented model with the preservation of nature and the development of ecological tourism. The Republic of Tuva continues the traditional industrial path - the development of mineral deposits. From the point of view of the authors, the traditional industrial path of development is unacceptable for mountainous areas and may lead to the depletion of natural resources, environmental degradation and the loss of national and ethnic identity of the population.

Keywords: mountain regions, Republic of Altai, Republic of Tyva, sustainable development regional models, socio-economic development, natural resources

Acknowledgment: The article was prepared within the framework of the project No. 1021032422891-7 «Natural and natural-economic systems of Siberia in the conditions of modern challenges: diagnostics of conditions, adaptive capabilities, potential of ecosystem services».

For citation: Krasnoyarova B. A., Biche-ool T. N., Surazakova S. P. Models of sustainable socio economic development of the mountain regions of Southern Siberia. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):27-35. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-27-35.

Received by the editors 15.02.2021; received after the review 30.09.2021; accepted for printing 10.10.2021.

Введение

Идеология устойчивого развития за более чем 30-летний срок своего существования прочно вошла в общественное сознание. За это время прошло несколько стадий ее развития, определенными рубежами которых можно считать проводимые каждые 10 лет конференции ООН [1–3].

В нашей стране, в процессе научных дискуссий о категории и критериях «устойчивого развития», было принято, что, несмотря на сходство институциональных условий функционирования регионов – субъектов Российской Федерации, при разработке региональных стратегий необходим индивидуальный подход, учитывающий природные особенности и социально-экономический уровень развития того или иного региона. Так, например, разработчики концепций устойчивого развития сибирских регионов – Алтайского края и Республики Алтай [4], считают, что эти регионы, несмотря на соседствующее положение, существенно различаются по модели обеспечения устойчивого развития.

Алтайский край отличает аграрно-индустриальный характер развития, системообразующим ресурсом являются земельные и агроклиматические ресурсы. Модель устойчивого развития края, на наш взгляд, должна носить поддерживаемый характер, суть которой сводится к необходимости обеспечить рациональную систему аграрного природопользования: научно обоснованная структура земельных угодий, посевных площадей и севооборотов; внедрение почвозащитных, ландшафтно-контурных и нулевых технологий обработки почвы; мелиорация земель, своевременное внесение минеральных и органических удобрений, при острой необходимости – пестицидов. Все эти ме-

роприятия направлены на поддержку почвенного плодородия, обеспечение неистощительного землепользования.

Для Республики Алтай, характеризующейся высоким биологическим разнообразием и богатым природным потенциалом, модель устойчивого развития должна, на наш взгляд, носить экологически приемлемый характер. Ведущий принцип при ее разработке и реализации – «не навреди». То есть при реализации любого хозяйственного проекта очень важно оценивать влияние его на окружающую среду.

Горные экосистемы Алтая, во-первых, весьма чувствительны к внешнему воздействию; их биологическое и ландшафтное разнообразие признано международным сообществом (вхождение в состав Алтае-Саянского экорегиона, объект Всемирного природного наследия ЮНЕСКО «Алтай – Золотые горы»); во-вторых, их функционирование значимо не только для территории собственно республики, но и иных регионов, в-третьих. Так, например, таяние ледников Алтая определяет гидрологический режим рек всего бассейна Верхней Оби, а отголоски землетрясения 2003 года на Алтае были далеко за пределами республики. Поэтому эти особенности Республики Алтай необходимо учитывать при разработке концепции или стратегии ее развития.

Республика Тыва, расположенная в близких природно-климатических условиях, разрабатывает собственные подходы к устойчивому развитию и ориентирована на индустриальное развитие.

Цель исследований

Анализ моделей развития горных регионов Южной Сибири – Республик Алтай и Тыва в контексте идеологии устойчивого развития.

Методы исследований

Исследование основано на методологии системного анализа и стратегического планирования. Используются стратегические документы социально-экономического развития республик Алтай и Тыва.

Результаты исследований и обсуждение

Республика Алтай – один из уникальных уголков России. В настоящее время ее социальная эколого-экономическая система находится в неустойчивом состоянии. С одной стороны, Алтай является одной из самых экологически чистых территорий в России со сложными для проживания природно-климатическими условиями, но весьма привлекательными ландшафтами: половина площади Республики Алтай относится к территориям Крайнего Севера и приравненным к ним местностям; большая часть занята горами с самой высокой горой Азиатской России – Белухой (4506 м). Республика Алтай расположена в сейсмически опасной зоне, практически на всей территории региона велика вероятность возникновения 8-балльного (по шкале Рихтера) землетрясения. С другой стороны, Республика характеризуется слабо диверсифицированной экономикой и низким уровнем жизни населения при недостаточно развитой социальной и инженерной инфраструктуре.

В структуре валового регионального продукта Республики Алтай ведущее место занимают бюджетный сектор (образование, здравоохранение, государственное управление и оборона – 31,8 % (по России – 11,8 %) и сельское хозяйство (преимущественно животноводческого направления – мясомолочное животноводство, овцеводство, козоводство, мараловодство) – 13,5% (по России – 5,0%)) [5]. В них занято более 40 % населения (по России – более 21 %). Республика Алтай относится к субъектам Российской Федерации с низким уровнем жизни населения. Доля населения с доходами ниже величины прожиточного минимума превышает 24 % (82-е место в России) [5].

К факторам, сдерживающим социально-экономическое развитие региона, следует отнести низкую транспортную связанность с остальными территориями РФ из-за отсутствия железнодорожного сообщения, недостаточности сети автомобильных дорог и мощности аэропорта г. Горно-Алтайска (около 80–90 тыс. пассажиров за год), а также ограниченности совершаемых направлений и рейсов (Москва, Екатеринбург, Новосибирск, Красноярск). Низка и наземная транспортная освоенность территории республики. Плотность автомобильных дорог общего пользования в 1,3 раза ниже среднероссийского показателя и составляет 49 км/тыс. км² (65-е место по стране). Другим фактором, сдерживающим развитие экономики Республики, является нестабильность энергообеспечения, тогда как потенциал аль-

тернативной энергетики в Республике достаточно высок.

Для обеспечения опережающих темпов экономического развития Республики Алтай необходима ликвидация названных инфраструктурных ограничений [6].

В решении задач энергоснабжения в Республике Алтай приоритет отдан развитию солнечной энергетики. В настоящее время действует 5 солнечных станций (в Майминском, Онгудайском, Кош-Агачском и Усть-Канском районах) общей мощностью 40 МВт; строится еще 3 солнечных станции (в Онгудайском, Чемальском и Усть-Коксинском районах) общей мощностью 65 МВт. После ввода их в эксплуатацию Республика сможет выйти на самообеспеченность по электроэнергии (около 100–120 МВт) при одновременной модернизации и расширении системы электросетей.

Республика Алтай обладает высоким рекреационным потенциалом. Четверть площади составляют особо охраняемые природные территории (ООПТ) различного природоохранного статуса, которые сегодня частично доступны и весьма притягательны для широкого круга туристов из разных регионов России и зарубежья. Ежегодно Республику Алтай посещает около 2 млн. туристов, из которых более 10 тыс. – граждане иностранных государств.

Вместе с тем, как эффективная отрасль экономики, туризм еще не сложился и не играет существенной роли в формировании доходной части республиканского бюджета, главным образом вследствие отсутствия современной инфраструктуры.

В стратегических документах развития Республики Алтай, кроме развития транспортно-логистического и энергообеспечивающего секторов экономики, акцент сделан на продвижение и диверсификацию туристского продукта Республики с участием Ростуризма; подготовку кадров в сфере туризма на базе существующих образовательных учреждений Республики; развитие этнографического и экологического туризма за счет организации музеев под открытым небом, экологических троп и туристических маршрутов на территориях ООПТ; устройство пирсов для судов на берегу Телецкого озера [7].

Однако, на наш взгляд, следует отметить, что туризм на Алтае еще долго не сможет стать стабильной отраслью экономики. Его развитие ограничено как климатическими условиями (дождливое лето и продолжительный период межсезонья), так и социальными катаклизмами, такими, например, как пандемия Covid19 и/или вспышка бубонной чумы в приграничных аймаках Монголии, которые отразились на туристском сезоне 2020 г.

Обсуждаемые в настоящее время в Республике Стратегия, дорожная карта и мастер-план по развитию туризма в Республике Алтай (рис. 1), предусматривающие создание шести туристических кластеров, – весьма привлекательны, но вряд ли жизнеспособны. Для их реализации требуются не только очень значи-

тельные финансовые, но и иные материальные и интеллектуальные ресурсы [7].

Поэтому рекомендуется для Республики Алтай создавать всесезонные производства, практически независимые от природно-климатических условий и не вступающие в конфликт с окружающей средой. Кроме этого, следует учесть тот факт, что туризм, даже экологический, это все-таки вид хозяйственной деятельности и при его осуществлении очень важно соблюдение норм и правил экологически ориентированного развития, главным образом при определении емкости горных ландшафтов и организации маршрутов, а также утилизации отходов этой деятельности [8].

В стратегических документах Республики мало внимания уделено сельскому хозяйству, которое в настоящее время является основной отраслью материального производства и занятости населения.

Организация сельского хозяйства важна как с позиций уровня жизни местного населения отдаленных поселений вне туристских дестинаций, так и с пози-

ций регулирования антропогенной нагрузки на горные пастбища, сохранения биоразнообразия [9; 10].

Уже в настоящее время отмечается деградация пастбищ вблизи населенных пунктов с числом жителей 500 и более человек.

Учитывая широкое разнообразие минерально-сырьевых ресурсов в республике, перспективной могла бы стать горнодобывающая и горно-перерабатывающая промышленность. Однако в ближайшем будущем не предполагается освоение новых месторождений, несмотря на намечаемое решение проблем транспортной доступности и энергообеспеченности.

Планируемые объекты нового строительства связаны преимущественно с переработкой древесины (промышленный парк по глубокой переработке древесины), сельхозпродукции (мяса, молока, шерсти); пантового и иного лекарственного технического сырья (в рамках промышленного биотехнологического парка); созданием промышленного парка «Журавлиный лог» по производству гидрогенирующего оборудования для малых гидроэлектростанций, мусо-



Рис. 1. Расположение туристических кластеров Республики Алтай [7]

Fig. 1. Location of tourist clusters in the Altai Republic [7]

роперерабатывающих заводов (не менее 2) и других экологически приемлемых объектов. К последним относится комплекс мероприятий, ориентированных на модернизацию жилищно-коммунального сектора за счет строительства канализационных коллекторов и мусоросортировочных комплексов; строительство инженерных средств защиты от паводков (берегоукрепление, строительство противопаводковых дамб и плотин) и иных гидротехнических сооружений на горных реках.

Реализация намеченных мероприятий, несомненно, будет способствовать укреплению стабильности Республики Алтай на пути к устойчивому развитию.

Республика Тыва находится в близких к Республике Алтай природных условиях, также богата биологическими и минеральными ресурсами, характеризуется низким уровнем экономического развития, занимая одно из крайних мест в числе регионов-аутсайдеров субъектов РФ.

Республика Тыва также ищет собственный путь устойчивого развития, но в отличие от Республики Алтай – в другой плоскости. На протяжении практически всех пореформенных лет стратегические документы развития республики связаны со строительством железной дороги «Кызыл-Курагино» [11; 12]. Будет дорога – будет интенсивный, индустриальный сценарий развития, не будет дороги – отсталый, инерционный. Конечно, транспортная система играет одну из ведущих ролей в развитии любой региональной системы, но она, как правило, должна быть мультимодальной и полифункциональной. И здесь очень важны целевые ориентиры ее развития. Если делать акцент на строительство железной дороги, то следует определиться с объемом и структурой грузо- и пассажиропотока.

Современные железные дороги ориентированы на перевозку тяжелых грузов. Из Республики Тыва по железной дороге можно, в случае освоения ее богатых месторождений, вывозить угли и металлы [13]. Но тут возникают вопросы, во-первых, с добычей и обогащением руд – наличие мощностей и квалифицированных кадров, да и нестабильный рыночный спрос на это сырье имеет значение, и, во-вторых, с обратными потоками. Конечно, можно предполагать дальнейшее развитие железнодорожного сообщения по маршруту «Кызыл – Эрзин – Цаган – Тологой» через Монголию и далее в Китай, т.е. транзитное использование территории Тывы.

Имеющийся опыт китайской компании «Лунсин», которая в 2006 году приобрела лицензию на разработку Кызыл-Таштыгского свинцово-цинкового месторождения, а к 2018 году вышла на проектную мощность, к сожалению, мало что изменил в реальных доходах населения республики [12]. Доля иностранных инвестиций выросла с нуля (2006 г.) до 18 % в 2010 г. и 30,8 % в 2018 г. [14], а вот реальные доходы населения остаются практически неизменными. Та-

ким образом, прибыль от эксплуатации ценнейшего и экологически далеко не безопасного месторождения уходят инвесторам, в республике же остаются нарушенные ландшафты и загрязненные воды (рис. 2, 3) [15; 16].



Рис. 2. Вид на карьер, Кызыл-Таштыгский ГОК, 2017.
Фото О.И. Кальной

Fig. 2. View of the quarry, Kyzyl-Tashtygsy, GOK, 2017.
Photo by O. I. Kalnoy



Рис. 3. Река Ак-Хем в районе обогатительной фабрики, Кызыл-Таштыг, 2017.

Фото О.И. Кальной

Fig. 3. Ak-Khem River in the area of the processing plant, Kyzyl-Tashtygsy, 2017.

Photo by O. I. Kalnoy

Транспортная система Тывы на сегодняшний день представлена автомобильными дорогами и авиасообщением, внутренним водным транспортом. Все они нуждаются в развитии и реконструкции, а основной, автомобильный транспорт – остро нуждается. Участок автодороги «Ак-Довурак (Республика Тыва) – Абаза (Республика Хакасия)» согласно Стратегии 2030 является аварийным, здесь запрещены пассажирские перевозки, невозможно автобусное сообщение. Много мостов в аварийном состоянии, четырем из них требуется срочный ремонт. Ремонт и реконструкция участ-

ков трассы, связывающей запад Тывы и Республику Хакасия, являются приоритетным направлением развития дорожной сети республики [12]. Нуждаются в реконструкции и межмуниципальные дороги. Остро стоит вопрос восстановления работы малой авиации и водного транспорта.

Создание современной автотранспортной инфраструктуры республиканского значения имеет важное социальное значение, да и финансово более доступно, чем строительство железной дороги.

По оценочным данным, приведенным в Стратегии 2030, объем инвестиций, необходимых для реализации мероприятий по развитию транспортной инфраструктуры составляет 126474,0 млн. рублей, в том числе железнодорожной инфраструктуры – 126000,0 млн. рублей; воздушного транспорта – 330,0 млн. рублей; водного транспорта – 42,0 млн. рублей; автомобильного транспорта – 102,0 млн. рублей [12]. Это несопоставимые цифры: на развитие железнодорожной инфраструктуры заложено 99,6 % инвестиций отрасли. Трудно представить, что оставшиеся 0,4% инвестиций обеспечат развитие автотранспортной инфраструктуры республики, учитывая ее состояние.

Также нужно учитывать, что в горных условиях немаловажным фактором при проектировании дорог, их строительстве и эксплуатации является необходимость их гармоничного вписывания в ландшафтную среду с целью уменьшения рисков негативных последствий природе [17].

Итак, строительство железной дороги и «интенсивный» сценарий развития ведет к освоению богатых месторождений полезных ископаемых Республики и накоплению загрязнений, причем не только химических и физических. Созданные новые рабочие места мало приемлемы для местного населения, во всяком случае, на этапе первичного освоения. Они привлекут мигрантов из других регионов и/или стран, и активизируют процессы трансформации природных и глобализации социальных систем. И то, и другое вряд ли будет содействовать устойчивому развитию республики, ее населения и экономики.

Идти по такому пути – это повторение традиционного индустриального освоения территории со всеми ошибками и проблемами, с которыми уже столкнулась наша цивилизация. На наш взгляд, очень сложно соблюсти социально-экономические и экологические приоритеты устойчивого развития Республики Тыва при «интенсивном» сценарии развития.

Заключение

Республики Алтай и Тыва занимают особое место среди регионов Российской Федерации по уникальности географического положения и биосферному значению их горных ландшафтов. Обладая близкими природно-климатическими, экономическими и социо-культурными условиями, каждая из них на-

ходится в поиске собственной модели устойчивого развития.

Республика Алтай стратегически выбрала экологически ориентированную модель, в центре которой лежит сохранение природного разнообразия, развитие туризма и инфраструктурных отраслей, обеспечивающих жизнедеятельность местного населения и функционирование турбизнеса.

Республика Тыва стратегически выбрала традиционный индустриальный путь развития, ориентируясь на освоение богатых месторождений полезных ископаемых. Но, по мнению авторов, индустриальный путь развития может привести к деградации не только природной среды, но и социально-психологического климата в регионе, привнося чуждый для местного населения жизненный уклад. Экологически ориентированная модель развития вполне приемлема для Республики Тыва, обладающей не меньшим, чем Республика Алтай, природно-рекреационным и социально-культурным потенциалом для развития туризма и поддержки систем жизнеобеспечения местного населения.

Совсем не обязательно уникальным горным регионам с высоким экосистемным потенциалом идти по пути индустриального развития, повторяя те ошибки, с которыми столкнулись ранее другие страны и регионы на аналогичном пути развития [18–20].

Наша страна обладает колоссальными богатствами, но главное – это ее разнообразие – природное и социо-культурное. Очень важно сохранить это разнообразие, обеспечить развитие разных народов и этносов в соответствии с их ментальными особенностями и приоритетами. Именно на сохранение уникальных горных экосистем направлена резолюция Ассамблеи ООН от 16 декабря 2021 г. о провозглашении 2022 года Международным годом устойчивого развития горных районов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, июнь 1992 года): информационный обзор. Новосибирск: Российская Академия наук Сибирское отделение, 1992. URL: <http://www.prometeus.nsc.ru/koptyug/ideas/unrio92/unrio92.pdf> (Дата обращения: 20.04.2020).
2. Йоханнесбургская встреча на высшем уровне 2002 года / Конференции, заседания и мероприятия ООН. Йоханнесбург, 26 августа – 4 сентября 2002. URL: <https://www.un.org/ru/events/pastevents/wssd.shtml> (Дата обращения: 20.04.2020).
3. Саммит «Рио+20»: будущее, которого хотят не все / Конференция по устойчивому развитию. Рио-де-Жанейро, 2012. URL: <https://ria.ru/20120623/679787921.html> (Дата обращения: 20.04.2020).
4. Винокуров Ю.И., Красноярова Б.А., Овденко В.И., Суразакова С.П., Счастливцев Е.Л. Устойчивое развитие Сибирских регионов. Новосибирск: СО Наука, 2003. 186 с.
5. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. М., 2019. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13205> (Дата обращения: 09.05.2020).
6. Индивидуальная программа социально-экономического развития Республики Алтай на 2020–2024 годы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/564652907> (Дата обращения: 11.05.2020).
7. Стратегия, дорожная карта и мастер-план по развитию туризма в Республике Алтай URL: https://www.dropbox.com/sh/7vp1cm0vbzoida/AABfY3RFh5yHelBy9FI3tV1qa?dl=0&review=1_%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80_%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%9E%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%B0_v2_2021_05_13.pdf (Дата обращения: 15.05.2021).
8. Ruth H.R., Alexander C.D. Local perceptions of tourism's effects in Russia's Altai Republic // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12, N3 (45). С. 327–338. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-327-338
9. Dong S., Kassam K.-A.S., Tourrand J. F., Boon, R. B. Building resilience of human-natural systems of pastoralism in the developing world: Interdisciplinary perspectives, 2016, Cham, Switzerland; Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-30732-9.
10. Воскова А.В., Гуня А.Н., Караваев В.А., Марьинских Д.М. Землепользование и возможности регулирования антропогенной нагрузки на горные ландшафты северного макросклона большого Кавказа (На примере долины р. Карасу) // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т.13, N 1(47). С. 16–24. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-16-24.
11. Стратегия социально-экономического развития Республики Тыва до 2020 года. URL: <http://gov.tuva.ru/content/1602/> (Дата обращения: 20.01.2020).
12. Стратегия социально-экономического развития Республики Тыва до 2030 года. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550322563> (Дата обращения: 15.01.2020).
13. Концепция развития и освоения минерально-сырьевой базы Республики Тыва до 2030 года. URL: <http://docs.cntd.ru/document/550333683> (Дата обращения: 19.01.2020).
14. Регионы России. Социально-экономические показатели. URL: <https://www.gks.ru/folder/210/document/13204> (Дата обращения: 19.09.2020).
15. Кальная О.И., Аюнова О.Д. Влияние Кызыл-Таштыгского ГОКа на эколого-гидрохимическое состояние рек бассейна Большого Енисея // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы третьей Всероссийской конференции с международным участием, Чита, 20-25 августа, 2018. С. 350–353.
16. Гуркова Е.А. Аюнова О.Д., Волобаев А.А., Кальная О.И. К вопросу об оценке загрязнения почв отходами горно-обогатительного комбината «ТУВАКОБАЛЪТ» (Тува) // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11, N 2. С.142–153. URL: <http://naukagor.ru/Portals/4/Last-Edition/2019-2.pdf>
17. Кортиев Л. И., Кортиев А. Л., Ванеев С. Д., Кулумбегов Р. П. Функционирование и динамика ландшафтов при проектировании автомобильных дорог в горных условиях // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12, N 4(46). С. 565–571. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-565-571
18. Catherine M. Tucker, Irasema Alcantara-Ayala, Alexey Gunya, Elizabeth Jimenez, Julia A. Klein, Jun Xu, and Sophie Lena Bigler Challenges for Governing Mountains Sustainably: Insights From a Global Survey Mountain Research and Development Vol. 41, No 2 May 2021: R10–R20 Found at: <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00080.1.S1>.
19. Grêt-Regamey A., Walz A., Bebi P. Valuing ecosystem services for sustainable landscape planning in Alpine regions // Mountain Research and Development. 2008. N 28(2). Pp. 156–165. DOI:10.1659/mrd.0951
20. Устойчивое развитие горных территорий Кавказа: Коллективная монография. Том II / Научные редакторы: И.А. Керимов, А.Н. Гуня, В.А. Широкова. М.: ИИЕТ РАН, 2019. 689 с.

REFERENCES

1. Koptyug V.A. United Nations Conference on Environment and Development (Rio de Janeiro, June 1992): Briefing Note. Novosibirsk: Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, 1992. URL: <http://www.prometeus.nsc.ru/koptyug/ideas/unrio92/unrio92.pdf> (Accessed: 20.04.2020).
2. Johannesburg Summit 2002 / United Nations conferences, meetings and events. Johannesburg, August 26 - September 4, 2002. URL: <https://www.un.org/ru/events/pastevents/wssd.shtml> (Accessed: 04/20/2020).
3. Summit “Rio + 20”: the future that not everyone wants / Conference on Sustainable Development. Rio de Janeiro, 2012. URL: <https://ria.ru/20120623/679787921.html> (Accessed: 04/20/2020).
4. Vinokurov Yu.I., Krasnoyarova B.A., Ovdenko V.I., Surazakova S.P., Schastlivcev E.L. *Sustainable Development of Siberian regions*, Novosibirsk, SO Nauka Publ., 2003, 186 p. (in Russ.).
5. Region of Russia. *Region of Russia. Main characteristics*

of the subjects of the Russian Federation. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13205> (Accessed 09.05.2020). (in Russ.).

6. Individual program of socio-economic development of the Altai Republic for 2020-2024. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/564652907> (Accessed 11.05.2020) (in Russ.).

7. Strategy, roadmap and master plan for the development of tourism in the Altai Republic] Available at: https://www.dropbox.com/sh/7vp1cm0vbzoiida/AABfY3RFh5yHelBy9FI3tV1qa?dl=0&preview=1_%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80_%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%9E%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%B0_v2_2021_05_13.pdf (Accessed: 15.05.2021) (in Russ.).

8. Ruth H.R., Alexander C.D. Local perceptions of tourism's effects in Russia's Altai Republic. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol. 12, no. 3(45), pp. 327-338. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-327-338 (in Russ.).

9. Dong, S., Kassam, K.-A.S., Tourrand, J. F. and Boon, R. B. (2016), *Building resilience of human-natural systems of pastoralism in the developing world: Interdisciplinary perspectives, Cham, Switzerland: Springer*. DOI:10.1007/978-3-319-30732-9.

10. Voskova A.V., Gunya A.N., Karavaev V.A., Mar'inskikh D.M. Land use and the possibility of regulating the anthropogenic load on the mountain landscapes of the northern macroslope of the Greater Caucasus (On the example of the Karasu River Valley). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 1(47), pp. 16-24. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-16-24 (in Russ.).

11. *Strategy of social and economic development of the Republic of Tuva until 2020*. Available at: <http://gov.tuva.ru/content/1602/> (Accessed 20.01.2020) (in Russ.).

12. *Strategy of social and economic development of the Republic of Tuva until 2030*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/550322563> (Accessed 15.01.2020) (in Russ.).

13. *Concept of development and development of the mineral resource base of the Republic of Tuva until 2030*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/550333683> (Accessed: 19.01.2020) (in Russ.).

14. *Regions of Russia. Socio-economic indicators*. Available at: <https://www.gks.ru/folder/210/document/13204> (Accessed 19.09.2020) (in Russian)

15. Kalnaya O.I., Ayunova O.D. Influence of the Kyzyl-Tashtyg GOK on the ecological and hydrochemical state of the rivers in the Bolshoi Yenisei basin. *Geological evolution of the interaction of water with rocks: Materials of the 3d All-Russian Conference with international participation*, Chita, August 20-25, 2018, pp. 350-353 (in Russ.).

16. Gurkova E.A. Ayunova O.D., Volobaev A.A., Kalnaya O.I. On the assessment of soil pollution by wastes from the TUVACOBALT mining and processing plant (Tuva). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, vol. 11, no. 2, pp. 142-153. Available at: <http://naukagor.ru/Portals/4/Last-Edition/2019-2.pdf> (in Russ.).

17. Kortiev L. I., Kortiev A. L., Vaneev S. D., Kulumbegov R. P. Functioning and dynamics of landscapes in the design of highways in mountainous conditions. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol. 12, no. 4(46), pp. 565-571. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-565-571 (in Russ.).

18. Catherine M. Tucker, Irasema Alcantara-Ayala, Alexey Gunya, Elizabeth Jimenez, Julia A. Klein, Jun Xu, and Sophie Lena Bigler. Challenges for Governing Mountains Sustainably: *Insights from a Global Survey Mountain Research and Development*. vol. 41, no. 2 May 2021: R10-R20 Found at: <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00080.1.S1>.

19. Grêt-Regamey A., Walz A., Bebi P. Valuing ecosystem services for sustainable landscape planning in Alpine regions. *Mountain Research and Development*. 2008, no. 28(2), pp. 156-165. DOI: 10.1659/mrd.0951.

20. *Sustainable development of the mountainous territories of the Caucasus. Collective monograph. Vol. II*. Scientific editors: I.A. Kerimov, A.N. Gunya, V.A. Shirokova. IHET RAN, Moscow, 2019, 689 p. (in Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



КРАСНОЯРОВА Бэлла Александровна – доктор географических наук, профессор, заведующая лабораторией Института водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, 656038, г. Барнаул, Россия.

+7(3852)66-64-57
bella@iwep.ru



БИЧЕ-ООЛ Татьяна Николаевна – старший преподаватель кафедры географии и туризма Тувинского государственного университета, 667000, г. Кызыл, Россия.

+7(923)263-16-14
bitaty@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bella A. KRASNOYAROVA – D.Sc, Professor, Head of the laboratory of the Institute of Water and Environmental Problems Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, 656038, Russia.

+7(3852)66-64-57
bella@iwep.ru

Tatyana N. BICHE-OOL – Senior Lecturer of the Department of Geography and Tourism of Tuvan State University, Kyzyl, 667000, Russia.

+7(923)263-16-14
bitaty@yandex.ru



СУРАЗАКОВА Светлана Петровна – кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник Горно-Алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН, 649105, с. Кызыл-Озек, Россия.
+7(38844) 29-3-25
spsuraz@rambler.ru

Svetlana P. SURAZAKOVA – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Gorno-Altay branch of the Institute of Water and Environmental Problems Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl-Ozek village, 649105, Russia.
+7(38844) 29-3-25
spsuraz@rambler.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

Об особенностях пространственно-временной изменчивости характеристик волн тепла последних трех десятилетий (Араратская долина, Армения)

Вардуи Г. Маргарян¹, Ильяс Г. Икрамов^{2,3}✉, Куралай Т. Абдраимова⁴, Эльмира К. Ибрагимова⁴

¹Ереванский государственный университет, г. Ереван, Армения

²Корреспондент-автор, Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан, ilias_91_24@mail.ru✉

³Шымкентский университет, г. Шымкент, Казахстан

⁴Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан

Аннотация. В статье рассматриваются характеристики пространственно-временного распределения волн тепла за последние три десятилетия в главном сельскохозяйственном регионе Республики Армения (Араратской долине). В результате исследования величин характеристик волн тепла можно отметить, что на рассматриваемых территориях генезис волн тепла одинаков – тропическая термическая депрессия. Для расчета и прогноза волн тепла неизученных или мало изученных территорий получены корреляционные зависимости между величинами характеристик волн тепла. Показано, что за последние десятилетия, особенно с 1990-х годов, в связи с повышением температуры воздуха резко повысились характеристики волн тепла (повторяемость и продолжительность волн тепла, число дней с температурой 38 °С и более, средняя и максимальная температуры 38 °С и более).

Ключевые слова: Республика Армения, Араратская долина, волны тепла, температура воздуха, характеристика, пространственно-временная изменчивость, распределение.

Для цитирования: Маргарян В. Г., Икрамов И. Г., Абдраимова К. Т., Ибрагимова Э. К. Об особенностях пространственно-временной изменчивости характеристик волн тепла последних трех десятилетий (Араратская долина, Армения) // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 36–45. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-36-45.

Получена редакцией 25.09.2021; получена после рецензии 26.10.2021; принята к печати 06.11.2021.

Original article

On the features of the spatio-temporal variability of the heat waves characteristics of the last three decades (Ararat valley, Armenia)

Varduhi G. Margaryan¹, Ilyas G. Ikramov^{2,3}✉, Kuralai T. Abdraimova⁴, Elmira K. Ibragimova⁴

¹Yerevan State University, Yerevan, Armenia

²Mukhtar Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, ilias_91_24@mail.ru (corresponding author)

³Shymkent University, Kazakhstan

⁴Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan

Abstract. The aim of this work to study, identify the repeatability and duration of heat waves of the study area. For it were suggested and decided the following tasks:

Findings. The study of regularities of variability of the spatial-temporal distribution of characteristics of heat wave in conditions of regional and global changes of climate is current task of modern geographical science.

Extremely high temperatures and heat waves of study area excessively conditioned by the influence of secondary thermal depressions from the Arabian Peninsula, a number of cases that last for 2-3 decades are significantly increased.

Tropical thermal depression, forming of extreme hot summers and heat waves, have cycles of activation and weakening, periodicity of which is estimated at 20-22 years. Starting from July (sometimes from the second half of June) to the last ten days of August (sometimes to first half of September), weather conditions of Ararat valley are formed under influence of thermal depression.

The invasion of southern and south-eastern tropical warm and dry air currents from the Arabian deserts is increasing. As a result in some years the air temperature in Ararat valley is increased to 40-43 °C, and relative humidity is low than 30%.

Heat waves are dangerous weather phenomena, is threat for live and activity, are characterized with some negative consequences. They can be accompanied by droughts and dry winds, forest fires, desertification, disruption of the natural ecosystem, economic damage, decreased working capacity, psychological and sociological consequences, even deaths.

Temporal tendencies in course of values of the characteristics of heat wave for last 2-3 decades have positive unambiguous character, more frequent heat waves and extremely warm summers. Heat waves of low and medium intensity have a particularly high frequency. The probability of strong waves is less. The study area is distinguished a characteristic regime and an almost uniform spatial distribution of summer extreme high temperatures. They range from 41,5 to 42,6 °C.

The entire study area is vulnerable to heat waves. Heat waves can cause dangerous meteorological phenomena such as droughts or dry winds, which cause great damage to various sectors of the economy, especially agriculture. Therefore the results of the work can be used in the field of agriculture, mitigating and reducing the consequences of possible damage caused. They can also be used in agrometeorological forecasts.

In the study area, summer conditions become warmer and drier, which should be taken into account when developing strategic programs for the future development of this area.

Keywords: Armenia, Ararat valley, heat wave, air temperature, characteristics, spatial-temporal variability, distribution.

For citation: Margaryan V.G., Ikramov I. G., Abdraimova K. T., Ibragimova E. K On the features of the spatio-temporal variability of the heat waves characteristics of the last three decades (Ararat valley, Armenia). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):36-45. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-36-45.

Received by the editors 25.09.2021; received after the review 26.10.2021; accepted for printing 06.11.2021.

Введение

Актуальность темы исследования, ее изученность

Ожидается, что изменение климата приведет к повышению температуры во всем мире, и, следовательно, могут возникать более частые, продолжительные и более горячие волны тепла [1]. Тепловые волны, связанные с воздействием изменения климата (одной из основных проблем – их частотой и силой), согласно прогнозам, увеличатся во всех проекциях будущего климата [2]. Изучение температурных волн (кратковременных периодов экстремально жарких или холодных погод) является одним из современных направлений исследований изменения температурного режима среды обитания [3; 4].

Термин «волны тепла/холода» возник в связи с проводившимися еще в конце XIX века исследованиями областей теплого/холодного воздуха, которые после своего зарождения в северо-западных районах континента (как Европы, так и Северной Америки) перемещаются в юго-восточном направлении подобно волне [3]. Такие экстремальные значения приповерхностной температуры формируются за достаточно короткий временной интервал изменения температуры, в котором часто носят волновой характер. Они влияют на устойчивость и прочность строительных конструкций, рабочие характеристики техники, определяют экологическую ситуацию территории (пожароопасность, уровень загрязнения), состояние инфраструктуры жилищно-коммунального хозяйства, других отраслей экономики, на состояние здоровья людей [5]. Термические волны характеризуются разными критериями в зависимости от термического режима данной территории.

Изучению температурных волн посвящены много-

численные научные работы [6–9]. Большой вклад в изучение температуры воздуха Республики Армения (РА) внесли А.Б. Багдасарян [10], В.Г. Маргарян [11; 12], А.Г. Нерсесян [13], Г.Г. Суренян [14] и др. Для города Джермук (Армения) оценены изменения теплых волн Г.А. Мелконяном, Т.В. Алексаняном, А.М. Геворгяном и др. [15]. Гигиеническая оценка дней тепловых волн, а также их воздействие на заболеваемость и смертность населения обсуждены Котаняном А.О. [16]. На четвертом Национальном совещании об изменении климата РА [17] обсуждался вопрос об изменении температуры воздуха на территории Республики Армения. Данные о температуре воздуха в Армении приведены в ряде климатических справочников [18]. В этой работе оцениваются особенности повторности и продолжительности теплых волн основного сельскохозяйственного района Республики Армения, используя суточную максимальную температуру воздуха (1993–2019).

Территория исследования – Араратская долина – является одним из подрайонов Араратского физико-географического района. В пределах республики она имеет длину 100 км, ширина на северо-западе достигает 15–17 км, в юго-западной части – 4–5 км. Поверхность плоская. Высота местности над уровнем моря – 800–1000 м. Ландшафт равнинной части Араратской долины типично пустынный-полупустынный с характерными сероземными почвами. Местами наблюдаются песчаные бугры, солончаки, солонцы, а также заболоченные почвы. Значительная часть равнины обработана и покрыта культурно-поливными почвами. Необработанная часть территории покрыта ксерофильной и галофильной растительностью и полынью, а культурно-поливные почвы покрыты плодо-

Характеристики метеорологических станций
Characteristics of meteorological stations

Метеостанция <i>Meteorological station</i>	φ° (геогр. широта) <i>Geographic latitude</i>	λ° (геогр. долгота) <i>Geographic longitude</i>	Высота, м <i>Height, m</i>	Годы наблюдений <i>Observation period</i>
Аштарак <i>Ashtarak</i>	40°17'	44°21'	1090	1993–2019
Ереван «Арабкир» <i>Yerevan «Arabkir»</i>	40°12'	44°30'	1113	1993–2019
Ереван «Агро» <i>Yerevan «Agro»</i>	40°11'	44°24'	942	1993–2019
Армавир <i>Armavir</i>	40°08'	44°02'	861	1993–2019
Арташат <i>Artashat</i>	39°57'	44°33'	829	1993–2019
Урцадзор <i>Urtsadzor</i>	39°57'	44°53'	1064	1993–2019
Арагат <i>Ararat</i>	39°49'	44°43'	818	1993–2019

выми садами и виноградниками, плантациями хлопка и других сельскохозяйственных культур [10; 11].

В гидрометслужбе Армении в качестве термической волны принимается вариант, когда в течение пяти и более дней максимальная суточная температура воздуха превышает среднесуточную максимальную норму за 1961–1990 гг. на 3,0 °С.

Цель работы

Выявить особенности пространственно-временной изменчивости характеристик волн тепла последних трех десятилетий (Арагатская долина, Армения).

Материалы и методы исследования

В основу работы положены результаты анализа литературных источников [1; 6; 7; 9], отражающих исследования по изучению волны тепла. Для решения поставленных за-

дач в качестве исходного материала в работе использованы ежедневные максимальные фактические данные «Центра гидрометеорологии и мониторинга» ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения за период 1993–2019 гг., семи метеорологических станций за теплый период года (табл. 1). Последний временной интервал представляет собой интерес как наиболее теплых десятилетий за весь период инструментальных наблюдений.

В рядах среднесуточной температуры воздуха были выделены волны тепла в соответствии с алгоритмом, в котором за один случай волны тепла принимался отрезок временного ряда длиной не менее 3 дней, удовлетворяющий следующему условию: равно и превышение (без перерыва) максимальной суточной температуры воздуха относительно 38 °С. В долинных районах республики экстремально жаркими считались те случаи, когда наблюдалась температура 38 °С и выше.

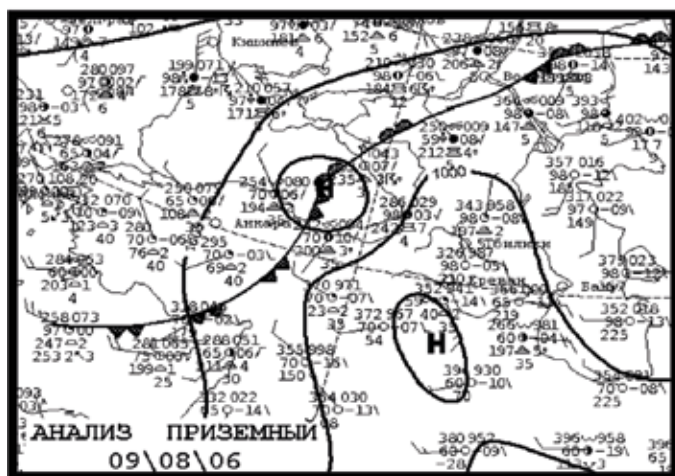


Рис. 1. Термическая депрессия на приземной синоптической карте погоды

Fig. 1. Thermal depression on a surface synoptic weather chart [14]

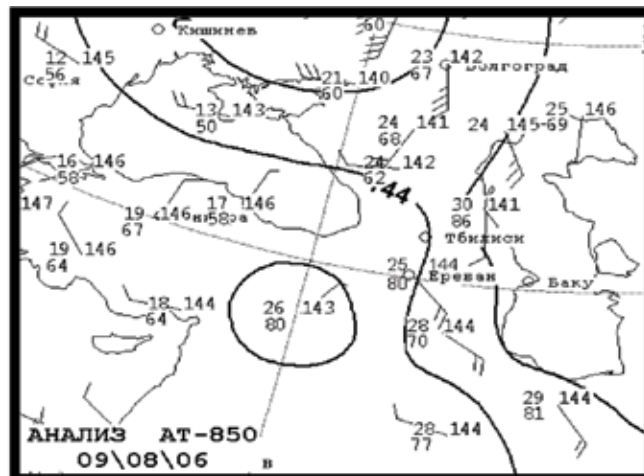


Рис. 2. Южные потоки на поверхности барической карты AT850 мб

Fig. 2. Southern flows on the surface of the AT850 mb baric map [14]

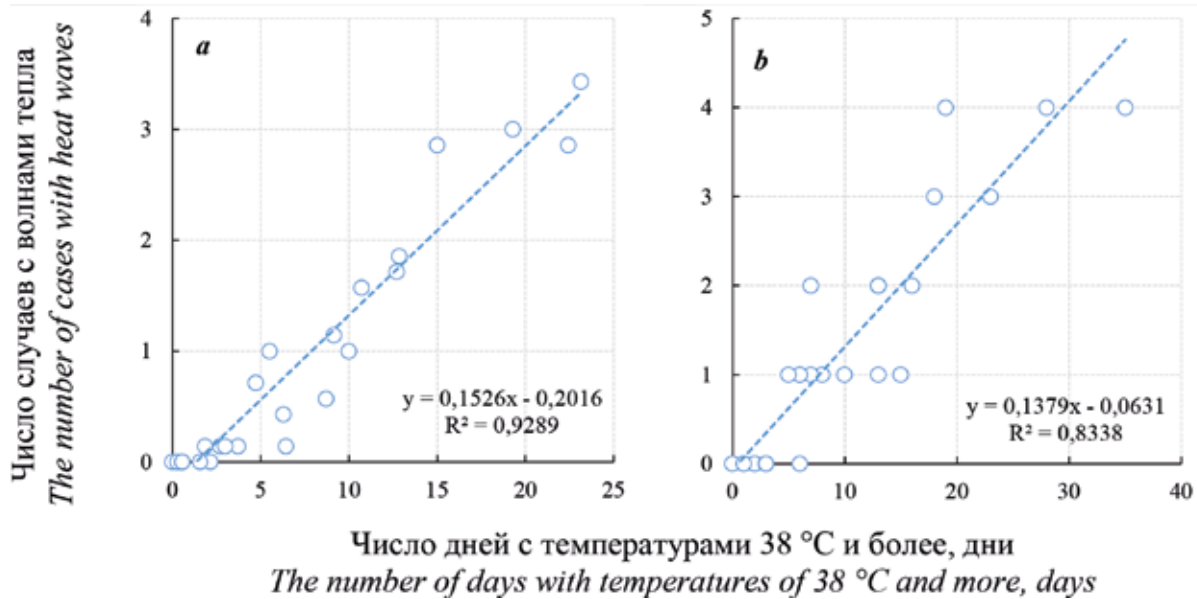


Рис. 2. Корреляционные связи между случаями с волнами тепла и повторяемостью средних (а) и максимальных (б) температур 38 °C и более

Fig. 2. Correlations between the number of cases with heat waves and the repeatability of average (a) and maximum (b) temperatures of °C and more

В работе рассчитывались следующие характеристики волн тепла: дата начала и окончания периода с температурами 38 °C и выше, средняя и максимальная температура (°C) этого периода, среднее и максимальное число дней с температурой 38 °C и выше, среднее и максимальное число дней с волнами тепла, средняя и максимальная продолжительность волн тепла (длина волны, дни).

В работе были применены методы: математико-статистический анализ, сравнения и сопоставления, корреляционный. Поставленные в работе вопросы изучены и обсуждены по результатам фактических наблюдений каждой метеорологической станции.

Обсуждение результатов

Волны тепла на территории Армении наблюдаются в теплый период года (третья декада июня – первая декада сентября) и преимущественно обусловлены адвекцией теплого и сухого воздуха из тропических (пустынных) районов. В результате наблюдается продолженный рост температуры, отсутствие активности погоды, безоблачная погода без осадков. Так в [14] отмечается, во время вторжения тропических теплых и сухих воздушных масс с юга или юго-востока на территории Армении наблюдается повышение температуры в среднем на 3,4–7,9 °C/24 ч, а иногда и на 8–10 °C/24 ч, понижение относительной влажности до 7–10 %. В эти дни почти на всей территории Армении наблюдаются одинаковые погодные условия. В Армении в условиях адвекции термической депрессии наблюдается также понижение давления до 0,7–1,9 гПа/3 ч. Значительное понижение давления (1,5–1,8 гПа/3 ч) наблюдается в Араратской долине и долинах Сюника.

В теплый период года основным фактором формирования погоды на территории Армении является сформировавшаяся тропическая термическая депрессия в районе Аравийского полуострова (рис. 1, 2). Воздействие термической депрессии на территорию Армении заметно в июле–сентябре (в среднем 17 случаев), в отдельные годы – даже в июне. Максимальное воздействие термической депрессии было отмечено в 2006 и 2015 годах, а минимальное воздействие (1 случай) – в 1967 году. Число случаев термической депрессии по сравнению с числом случаев за 1948–1977 гг., 1978–2008 гг. увеличилось на 40 %, из чего можно сделать вывод, что в Армении увеличилась повторяемость лет с высоким термическим фоном и небольшим количеством осадков. На территории Армении воздействию термической депрессии характерны также циклы активности и ослабления, периодичность которых составляет 20–22 года [14].

Однако в отдельные дни термическая депрессия отступает на юг и свое место уступает холодным атмосферным фронтам, которые вторгаются с запада или северо-запада. Последние связаны с гребнями Скандинавских, Западноевропейских и Азорских антициклонов. Прохождение фронтов сопровождается проливными дождями, грозами и градом.

На территории Араратской долины среднее количество волн за теплый период с 1993 по 2019 гг. колеблется в пределах от 0,6 случаев (ст. Армавир) до 1,2 (ст. Арарат) (табл. 1). Из табл. 2 видно, что на изучаемой территории в течение года наблюдается до 3–4 случаев термических волн. Средняя продолжительность термических волн колеблется в пределах 5–7 дней, а максимальная – 8–15. То есть, средняя продолжительность термических волн меняется в узких

Статистические параметры волн тепла за 1993–2019 гг., Араратская долина
 Statistical parameters of heat waves for the period 1993–2019, Ararat valley

Метеостанция <i>Meteorological station</i>	Аштарак <i>Ashtarak</i>	Ереван «Араб-кир» <i>Yerevan «Arabkir»</i>	Ереван «Агро» <i>Yerevan «Agro»</i>	Армавир <i>Armavir</i>	Арташат <i>Artashat</i>	Урцадзор <i>Urtsadzor</i>	Арарат <i>Ararat</i>
Период с температурами 38 °С и более / Period with temperatures 38 °C and more							
Начало и конец <i>Beginning and the end</i>	23/06–06/09	22/06–03/09	18/06–09/09	23/06–06/09	21/06–09/09	17/06–07/09	16/06–09/09
Среднее число дней <i>Number of average days</i>	5	7	8	5	8	6	9
Максимальное число дней/год <i>Maximum number of days/year</i>	22/2015	27/2015	28/2015	20/2018	27/2015	22/2015	35/2017
Средняя температура <i>Average temperature, °C</i>	32.8	33.2	33.3	33.3	33.7	32.8	33.7
Максимальная температура/год <i>Maximum temperature /year</i>	41.2/1998	41.9/2011	41.6/2018	41.5/2016	42.3/2018	41.5/2011	42.6/2017
Число случаев повторяемости волн тепла, дни / Number of occurrences of heat waves, days							
Среднее <i>Average</i>	0.7	1.1	1.0	0.6	1.0	0.7	1.2
Максимальное <i>Maximum</i>	4	4	4	3	4	3	4
Продолжительность волн тепла, дни / Duration of heat waves, days							
Среднее <i>Average</i>	5	5	6	7	6	6	6
Максимальное <i>Maximum</i>	8	10	10	10	10	10	15

пределах, а максимальная – в больших. Как среднее число случаев термических волн, так и ее максимальная продолжительность наблюдается на метеорологической станции Арарат.

Согласно табл. 2 на изучаемой территории температуры 38 °С и более регистрируются со второй половины июня до первой половины сентября. Средняя повторяемость температур 38 °С и более находится в пределах 5–9 дней, а максимальная повторяемость – от 20 дней (ст. Армавир) до 35 дней (ст. Арарат). В этом случае также большая амплитуда колебания характерна максимальной повторяемости. Причем максимальная повторяемость за период 1993–2019 гг. наблюдалась за последние пять лет. На большей части изучаемой территории наибольшее число случаев с температурами 38 °С и более (до 27–28 случаев) зарегистрировано в 2015 г., а максимальное число (35 случаев) – в Арарате в 2017 году. Вероятность наблюдения волн тепла особенно велика с середины июля

до середины августа. Абсолютная максимальная температура также наблюдалась на метеорологической станции Арарат 29 июля 2017 года и была 42,6 °С.

Корреляционные связи, полученные между повторяемостью температур волн тепла 38 °С и более (рис. 2), можно использовать как для оценки волн тепла неизученных территорий, так и их прогнозирования, если заранее известно число дней с температурами 38 °С и более.

На изучаемой территории наблюдается рост случаев волн тепла (рис. 3а), числа дней с температурами 38 °С и более (рис. 3б), что обусловлено особенно за последнее десятилетие значительным увеличением числа случаев вторжения теплого воздуха на территорию республики. Тенденцию роста имеют также средние (рис. 3с) и максимальные (рис. 3д) температуры 38 °С и более. Почти все экстремально теплые лета сопровождаются большим количеством волн тепла, которые являются главной причиной образования силь-

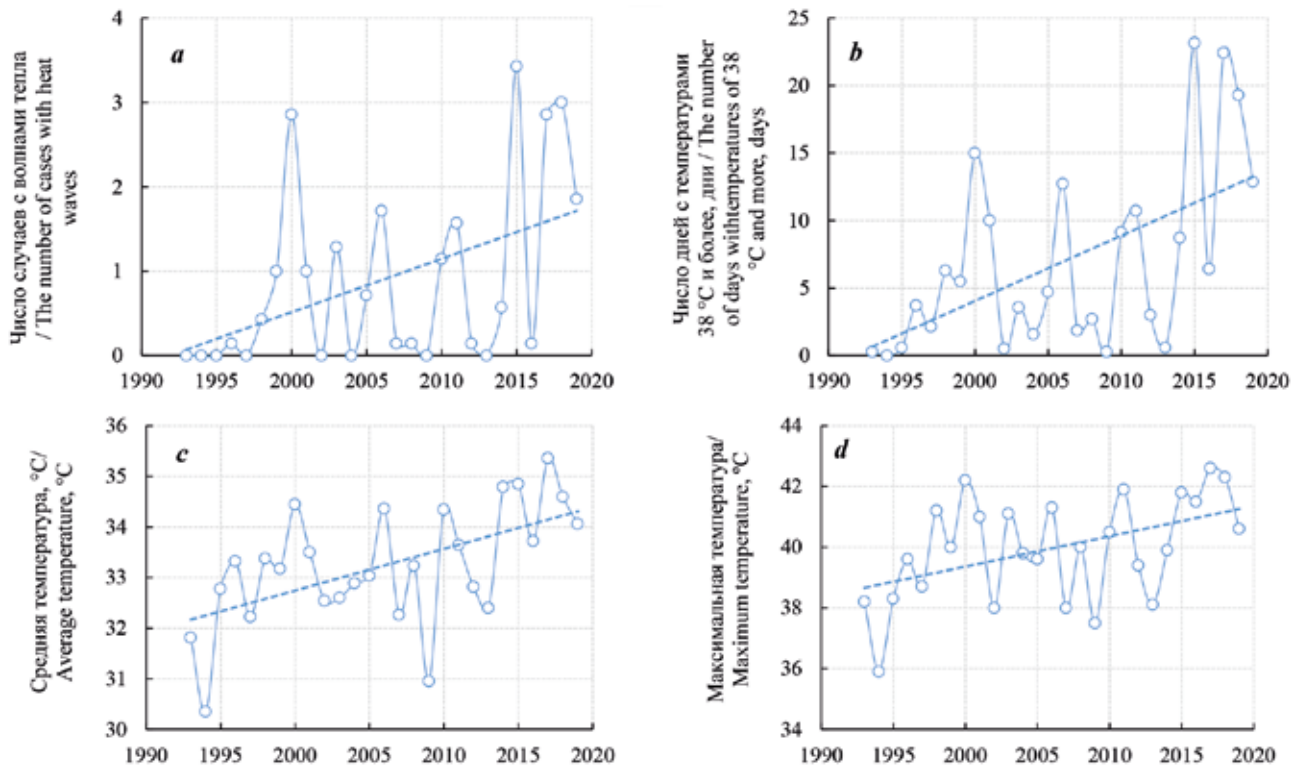


Рис. 3. Многолетние изменения среднего числа случаев волн тепла (а), среднего числа дней с температурами 38 °C и более (б), средних (с) и максимальных (д) температур за период с температурами 38 °C и более

Fig. 3. Long-term changes in the average number of cases of heat waves (a), the average number of days with temperatures of 38 °C and more (b), average (c) and maximum (d) temperatures for the period with temperatures of 38 °C and more

ной засухи. В результате создаются неблагоприятные условия для нормального роста растений (урожай или несет существенный ущерб или вообще уничтожается).

Увеличением случаев волн тепла, а также числа жарких дней особо выделяются города Ереван и Арарат. В указанных городах скорость их изменения соответственно составляет 0,87 случай/10 лет и 0,98 случай/10 лет, 5,6 дней/10 лет и 6,6 дней/10 лет соответственно. То есть, за последние 20–30 лет случаи волн тепла увеличились соответственно на 2,3 и 2,6, а число жарких дней – на 15 и 18 дней. Несомненно этот факт обусловлен наличием «городского термического островка», который характерен большим городам и это является дополнительным отрицательным фактором, который усиливает уязвимость здоровья населения, обусловленную изменением климата. Увеличением случаев волн тепла и числа жарких дней выделяются также все другие города Араратской долины.

Продолжительность волн тепла также имеет тенденцию роста. Самые продолжительные волны тепла (продолжительностью 15 дней) наблюдались в 2017 году за период с конца июля по начало августа на метеорологической станции Арарат. Продолжительные волны тепла (10 дней) наблюдались в 2015 году также за период конец июля–начало августа на метеостанциях Ереван «Арабкир», Ереван «Агро» и Урцадзор. По

интенсивности выделяются слабые (продолжительностью 3–5 дней), средние (продолжительностью 6–9 дней) и сильные (продолжительностью 10 дней и более) волны тепла. На изучаемой территории особенно большую повторяемость имеют волны тепла слабой и средней интенсивности. Вероятность наблюдения волн тепла с сильной интенсивностью меньше.

Тенденции роста волн тепла в основном обусловлены глобальным потеплением климата. Армения, будучи горной страной, в этом плане не исключение. Свидетельством этому являются анализ и оценка изменений фактических данных температуры воздуха. Так, согласно 4-му Национальному совещанию об изменении климата РА [17] на территории республики за период с 1929–1996 гг. среднегодовая температура повысилась на 0,4 °C, с 1929–2007 гг. – на 0,85 °C, с 1929–2012 гг. – на 1,03 °C, а с 1929–2016 гг. – на 1,23 °C.

Изменения волн тепла оценены и для других регионов нашей планеты [2; 19; 20; 21], в том числе и других районов Армении [15; 16]. С увеличением продолжительности тепловых волн число случаев смерти от всех причин среди населения в летнем периоде статистически значимо возрастает [16; 22]. Согласно данным регрессионного анализа каждый дополнительный день тепловых волн может стать причиной увеличения числа смертей на пять случаев. С точки зрения влияния тепловых волн на показатели здоровья

населения наиболее важны максимальные пороговые уровни температуры, при которых регистрируется достоверное увеличение заболеваемости и смертности населения [16; 23].

Анализируя полученные зависимости, можно отметить, что для рассматриваемых территорий наблюдается закономерное повышение летних экстремальных высоких температур, повторяемость и продолжительность волны тепла. Эта закономерность свидетельствует о том, что в Араратской долине летние условия становятся более теплыми и засушливыми. Построены зависимости между величинами исследуемой характеристики волны тепла. Наличие подобных зависимостей открывает перспективы дальнейших исследований по разработке региональных методик определения летних экстремальных высоких температур и повторяемости волны тепла в неизученных и мало изученных районах.

Научная новизна

В современных материалах наблюдений впервые оценены закономерности изменчивости пространственно-временного распределения величин характеристик волн тепла в Араратской равнине и построены зависимости между ними.

Заключение

Изучение закономерностей изменчивости пространственно-временного распределения характеристики волны тепла в условиях региональных и глобальных изменений климата является актуальной задачей современной географической науки.

Экстремально высокие температуры и волны тепла изучаемой территории преимущественно обусловлены влиянием вторгающейся термической депрессии с Аравийского полуострова, число случаев которого за последние два–три десятилетия значительно выросло. Тропическая термическая депрессия, формирующая экстремально жаркие лета и волны тепла, имеет циклы активации и ослабления, периодичность которых оценивается в 20–22 года. Начиная с июля (иногда и со второй половины июня) до последней декады августа (иногда также до первой половины сентября), погодные условия Араратской долины формируются под влиянием термической депрессии. Повышается активность вторжения южных и юго-восточных тропических теплых и сухих воздушных потоков с Аравийских пустынь. В результате в отдельные годы температура воздуха в Араратской долине повышается до 40–43 °С, а относительная влажность становится ниже 30 %.

Волны тепла – опасные погодные явления, являются угрозой для жизни и деятельности, характеризуются рядом отрицательных последствий. Они могут сопровождаться засухами и суховеями, лесными пожарами, опустыниванием, нарушением природной

экосистемы, экономическим ущербом, понижением трудоспособности, психологическими и социологическими последствиями, даже случаями смерти.

Временные тенденции в ходе величин характеристики волн тепла за период 1993–2019 гг. носят положительный однозначный характер, более чаще наблюдаются волны тепла и экстремально теплые лета. Особенно большую повторяемость имеют волны тепла слабой и средней интенсивности. Вероятность волн тепла сильной интенсивности мала.

Изучаемая территория выделяется характерным режимом и почти равномерным пространственным распределением летних экстремальных высоких температур. Последние меняются в пределах от 41,5 °С до 42,6 °С. Вся изучаемая территория уязвима волнами тепла.

Волны тепла могут стать причиной таких опасных метеорологических явлений, как засухи или суховеи, которые наносят большой ущерб разным отраслям экономики, в особенности сельскому хозяйству. Поэтому результаты работы могут быть использованы в области сельского хозяйства, смягчая и уменьшая последствия возможных причиненных ущербов. Они могут быть использованы также в агрометеорологических прогнозах [24–26].

На исследуемой территории летние условия становятся более теплыми и засушливыми, что должно быть учтено при разработке стратегических программ перспективного развития данной территории.

Выводы

1. В результате анализа величин характеристики волны тепла горных территорий Армении (на примере Араратской равнины) можно отметить, что на рассматриваемых территориях генезис волны тепла одинаков – тропическая термическая депрессия. Среднее количество волн тепла с 1993 по 2019 гг. находится в диапазоне от 0,6 до 1,2, средняя продолжительность – от 5 до 7 дней, а максимальная продолжительность – от 8 до 15 дней, максимальное число случаев с температурами 38 °С и более – от 20 до 35 дней. Летние экстремальные высокие температуры выделяются своим равномерным распределением – колеблются в пределах от 41,5 до 42,6 °С.

2. Для расчета и прогноза волн тепла неизученных или мало изученных территорий получены корреляционные зависимости между величинами характеристик волны тепла. В Араратской долине наблюдается тенденция повышения характеристик волн тепла (повторяемость и продолжительность волны тепла, число дней с температурой 38 °С и более, средняя и максимальная температуры 38 °С и более).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Shin J., Olson R., An S.I. Projected heat wave characteristics over the Korean Peninsula during the twenty-first century // *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 2018. 54. P. 53–61. DOI: 10.1007/s13143-017-0059-7.
2. Rusticucci M., Kysely J., Almeida, G. & Lhotka, O. Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires // *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, 124:679–689. DOI: 10.1007/s00704-015-1445-7.
3. Клещенко Л.К. Волны тепла и холода на территории России // Сборник трудов ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. N 175. С. 76–91.
4. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Изменение климата, волны жары и холода как факторы риска повышенной смертности населения в некоторых регионах России // *Терапевтический архив*. 2012. N 1. С. 122–139.
5. Кужевская И.В., Поляков Д.В., Волкова М.А., Барашкова Н.К. Температурные волны тепла как отражение изменчивости современных климатических условий жизнедеятельности на территории Томской области // *Экология человека*. 2015. N 2. С. 3–9.
6. Katharine Hayhoe, Scott Sheridan, Laurence Kalkstein, Scott Greene Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago // *Journal of Great Lakes Research*. 2010. Vol. 36. P. 65–73.
7. Perkins S.E., Alexander L.V. On the Measurement of Heat Waves // *Journal of Climate*. 2013. Vol. 26. P. 4500–4517. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00383.1.
8. Russo S., Dosio A., Graversen R.G., Sillmann J., Carrao H., Dunbar M.B., Singleton A., Montagna P., Barbola P., Vogt J.V. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2014, 119, 12, 500–512. doi: 10.1002/2014JD022098.
9. IPCC 2013. Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013. 1535 p.
10. Багдасарян А.Б. Климат Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1958. 151 с.
11. Маргарян В.Г. Тренды изменения экстремальных температур приземного слоя воздуха в пределах Арагатской равнины и ее предгорной зоны // *Вестник Московского университета, Серия 5. География*. 2019. N 2. С. 103–107.
12. Margaryan V.G. Assessment of climatic trend of air temperature at the earth surface in the context of stable development (case of Gyumri city) // *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series “Geology. Geography. Ecology”*. 2019. No. 50. Pp. 125–135.
13. Нерсисян А.Г. Климат Армении. Ереван, 1964. С. 304.
14. Суренян Г.Г. Синоптический анализ барических полей, формирующих погодноклиматические условия Республики Армения. Дисс. ... канд. географических наук. Ереван, 2010. С.145. (На армянском яз.).
15. Мелконян Г.А., Халатян Е.С., Геворгян А.М., Алексанян Т.В., Панян А.С. Оценка изменения климата в бассейнах рек Вохчи и Мегри // *Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*. Москва, 2015. Вып. 358. С. 78–87.
16. Котанян А.О. Медико-экологические проблемы природных факторов окружающей среды на территории РА. Автореферат дисс. ... д-ра мед. наук. Ереван, 2015. 38 с. (На армянском яз.).
17. Armenia’s fourth national communication on climate change. 2020. 213 p.
18. Справочник по климату. Ч. I. Температура воздуха и почвы. Ереван. 2011. 150 с. (На армянском яз.).
19. Bador M., Terray L., Boé J., Somot S., Alias A., Gibelin A.-L., Dubuisson B. Future summer mega-heatwave and record-breaking temperatures in a warmer France climate. *Environ. Res. Lett.* 12, 074025, 2017. DOI: 10.1088/1748-9326/aa751c.
20. Feron S., Cordero R.R., Damiani A., Llanillo P.J., Jorquera J., Sepulveda E., Asencio V., Laroze D., Labbe F., Carrasco J., Torres G. Observations and Projections of Heat Waves in South America // *Scientific Reports*, 2019, 9:8173. doi: 10.1038/s41598-019-44614-4.
21. Lhotka O., Kyselá J., Farda, A. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties // *Theoretical and Applied Climatology*, 2018, 131, 1043–1054. doi: 10.1007/s00704-016-2031-3.
22. Zacharias S., Koppe C., Mücke H.-G. Influence of Heat Waves on Ischemic Heart Diseases in Germany // *Journal of Climate*, 2014, Vol. 2, pp. 133–152. doi: 10.3390/cli2030133.
23. Gao J., Sun Y., Liu Q., Zhou M., Lu Y., Li L. Impact of extreme high temperature on mortality and regional level definition of heat wave: a multi-city study in China // *Science of The Total Environment*. 2015. Vol. 505. P. 535–544. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.10.028.
24. Босиков И.И., Ключев Р.В., Аймбетова И.О., Махошева С.А. Оценка и анализ аэродинамических параметров воздушных потоков для эффективного выбора схем воздухообеспечения в угольных шахтах // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021. Т. 13, N3. С. 397–405. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-397-405.
25. Ключев Р. В., Босиков И. И., Гаврина О. А., Ляшенко В. И. Оценка эксплуатационной надежности электрооборудования развивающихся участков добычи руд на высокогорном руднике. *Горные науки и технологии*. 2021; 6(3): 211–220. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.
26. Босиков И.И., Ключев Р.В., Хетагуров В.Н., Ажмухамедов И.М. Разработка методов и средств управления аэродинамическими процессами на добычных участках // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021. Т. 13, N1. С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.

REFERENCES

1. Shin J., Olson R. An S.I. Projected heat wave characteristics over the Korean Peninsula during the twenty-first century. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 54, 53–61 (2018). DOI: 10.1007/s13143-017-0059-7.
2. Rusticucci M., Kysely J., Almeida, G. & Lhotka, O. Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. *Theoretical and Applied Climatology*. 2016, 124:679–689. DOI: 10.1007/s00704-015-1445-7.
3. Kleshchenko L.K. *Waves of heat and cold in Russia. In: Proceedings of the RIHMI-WDC*. 2010. 175. Pp. 76–91. (in Russ.).
4. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Climate change, heat waves, and cold spells as risk factors for increased mortality in some regions of Russia. *Problems of forecasting*. 2012, 2, pp. 122–139. (in Russ.).
5. Kuzhevskaya I.V., Polyakov D.V., Volkova M.A., Barashkova N.K. Heat Waves as Reflection of Variability of Current Climatic Conditions of Vital Activity in Tomsk Region. *Human Ecology*. 2015, 2, pp. 3–9. (in Russ.).
6. Katharine Hayhoe, Scott Sheridan, Laurence Kalkstein, Scott Greene Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago. *Journal of Great Lakes Research*. 2010, vol. 36, pp. 65–73.
7. Perkins S.E., Alexander L.V. On the Measurement of Heat Waves. *Journal of Climate*. 2013, vol. 26, p. 4500–4517. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00383.1.
8. Russo S., Dosio A., Graversen R.G., Sillmann J., Carrao H., Dunbar M.B., Singleton A., Montagna P., Barbola P., Vogt J.V. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2014, 119, 22, 500–512. doi: 10.1002/2014JD022098.
9. IPCC 2013. Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013, 1535 p.
10. Baghdasaryan A.B. *The climate of Armenian SSR*. Yerevan: Publishing House of the Armenian SSR Academy of Sciences, 1958, 151 p. (in Russ.).
11. Margaryan V.G. Trends of extreme temperatures of the surface air layer within the Ararat plain and its foothill zone, *Moscow University Bulletin, Series 5. Geography*. 2019, no. 2, pp. 103–107. (in Russ.).
12. Margaryan V.G. Assessment of climatic trend of air temperature at the earth surface in the context of stable development (case of Gyumri city), *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 2019, no. 50, pp. 125–135.
13. Nersesyan A.G. *Climate of Armenia*. Yerevan, 1964, 304 p. (in Armenian).
14. Surenyan G.G. *Synoptic analysis of baric fields forming the climatic conditions of the Republic of Armenia*. Ph.D. Thesis. Erevan, 2010, p. 145. (in Russ.).
15. Melkonyan H.A., Khalatyan Ye.S., Gevorgyan A.M., Aleksanyan T.V., Panyan H.S. An assessment of climate change in the rivers Voghji and Meghri basins. *Proceedings of Hydrometcentre of Russia*. 2015, vol. 358, pp. 78–87. (in Russ.).
16. Kotanyan A.H. *Medical and ecological problems of environmental natural factors on territory of RA*. D. Sc. Thesis. Yerevan, 2015, 38 p. (in Armenian).
17. Armenia's fourth national communication on climate change. 2020. 213 p.
18. *Handbook of climate. Part I. Air and Soil Temperature*. Yerevan, 2011, 150 p. (in Armenian).
19. Bador M., Terray L., Boé J., Somot S., Alias A., Gibelin A.-L., Dubuisson B. Future summer mega-heatwave and record-breaking temperatures in a warmer France climate. *Environ. Res. Lett.* 12, 074025, 2017. DOI: 10.1088/1748-9326/aa751c.
20. Feron S., Cordero R.R., Damiani A., Llanillo P.J., Jorquera J., Sepulveda E., Asencio V., Laroze D., Labbe F., Carrasco J., Torres G. Observations and Projections of Heat Waves in South America. *Scientific Reports*. 2019, 9:8173. doi: 10.1038/s41598-019-44614-4.
21. Lhotka O., Kyselá J., Farda, A. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Theoretical and Applied Climatology*. 2018, 131, 1043–1054. DOI: 10.1007/s00704-016-2031-3.
22. Zacharias S., Koppe C., Mücke H.-G. Influence of Heat Waves on Ischemic Heart Diseases in Germany. *Journal of Climate*. 2014, vol. 2, pp. 133–152. doi: 10.3390/cli2030133.
23. Gao J., Sun Y., Liu Q., Zhou M., Lu Y., Li L. Impact of extreme high temperature on mortality and regional level definition of heat wave: a multi-city study in China. *Science of the Total Environment*. 2015, vol. 505, pp. 535–544. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.10.028.
24. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Aimbetova I.O., Makhosheva S.A. Assessment and analysis of aerodynamic parameters of air flows for effective selection of air supply schemes in coal mine. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no.3, pp. 397–405. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-397-405.
25. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Gavrina O. A., Lyashenko V. I. Assessment of operational reliability of power supply to developing ore mining areas at a high-altitude mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(3):211–220. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.
26. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods and management tools aerogas dynamics processes at mining sites. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no.1, pp. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

МАРГАРЯН Вардуи Гургеновна – кандидат географических наук, доцент. Факультет географии и геологии, кафедра физической географии, Ереванский государственный университет, 0025, Республика Армения, Ереван.
vmargaryan@ysu.am



ИКРАМОВ Ильяс Галымбетулы – докторант по образовательной программе 8D11210 «Окружающая среда, защита и безопасность жизнедеятельности», Южно-Казахстанский университет имени Мухтара Ауэзова, факультет архитектуры, строительства и транспорта, 160000, г. Шымкент, Казахстан.

ilias_91_24@mail.ru (корреспондент автор)



АБДРАИМОВА Куралай Тастанбековна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор факультета Естествознания Международного Казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, 161200, г. Туркестан, Казахстан.

kuralai.abdraimova@ayu.edu.kz
Scopus ID: 57194074122

<https://orcid.org/0000-0002-6390-2111>



ИБРАГИМОВА Эльмира Конратбаевна – кандидат технических наук, и.о. доцента факультета Естествознания Международного казахско-турецкого университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, 161200, г. Туркестан, Казахстан.

elmira.ibragimova@ayu.edu.kz

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Varduhi G. MARGARYAN – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Faculty of Geography and Geology, Chair of Physical Geography, Yerevan State University, Republic of Armenia, Yerevan, 0025.
vmargaryan@ysu.am

Ilyas G. IKRAMOV – Mukhtar Auezov South Kazakhstan University, Faculty of Architecture, Construction and Transport”, 8D11210 “Environment protection and life safety according to the educational” program, Shymkent, Kazakhstan, 160000.

ilias_91_24@mail.ru (corresponding author)

Kuralai T. ABDRAIMOVA – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Faculty of Natural Sciences of the Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan.

kuralai.abdraimova@ayu.edu.kz

Elmira K. IBRAGIMOVA – Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor of the Faculty of Natural Sciences of the Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh Turkish University, Turkistan, Kazakhstan 161200.

elmira.ibragimova@ayu.edu.kz

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

A study on the entrepreneurial orientation of the 65-villagers in a part of slope of mountain Arjuno East Java Indonesia

Yustinus Budi Hermanto¹✉, Lasman Parulian Purba², Matheus Nugroho³

¹Management Department, Darma Cendika Catholic University, Surabaya, Indonesia, yustinus.budi@ukdc.ac.id✉

²Industrial Engineering Department, Darma Cendika Catholic University, Surabaya, Indonesia.

³Fishery Technology Department, Universitas Yudharta Pasuruan, Pasuruan, Indonesia

Abstract. Our interest is to explore such a characteristic of the villagers who live in a part of the slope of Mountain Arjuno, located in the East Java Province of Indonesia, before their existing entrepreneurial orientation. Using questionnaires - developed based on (Miller, 1983) definition about entrepreneurial orientation-, spread to the villagers there and their analysis, it was found that their entrepreneurial orientation E.O. following equation as $-0.003 + 0.334 \text{ innovativeness I} + 0.334 \text{ proactiveness P} + 0.333 \text{ risk-taking R}$.

Keywords: Innovativeness, proactiveness, risk-taking, entrepreneurial orientation, modeling, sustainable development.

Acknowledgment: This research is funded by Research and Community Services of Universitas Katolik Darma Cendika with contract number 22/PPHI/VI/2021.

For citation: Yustinus Budi Hermanto, Lasman Parulian Purba, Matheus Nugroho. A study on the entrepreneurial orientation of the 65-villagers in a part of slope of mountain Arjuno East Java Indonesia. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):46-51. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-46-51.

Received by the editors 01.09.2021; received after the review 01.10.2021; accepted for printing 10.10.2021.

Оригинальная статья

Исследование предпринимательской ориентации 65 жителей сельских поселений, расположенных на склоне горы Арджуно (Восточная Ява, Индонезия)

Юстинус Буди Херманто¹✉, Ласман Парульян Пурба², Матеус Нугрохо³

¹Факультет управления, Католический университет Дарма Сендика, Сурабая, Индонезия, yustinus.budi@ukdc.ac.id✉

²Факультет промышленного инжиниринга, Католический университет Дарма Сендика, Сурабая, Индонезия.

³Факультет технологии рыболовства, Университет Юдхарта Пасуруан, Пасуруан, Индонезия

Аннотация. Наше исследование определяет/измеряет предпринимательскую ориентацию жителей деревни, расположенной на склоне горы Арджуно в Пасуруане, Восточная Ява, Индонезия.

Среди респондентов (шестьдесят пять местных жителей) были распространены анкеты. После сбора данных анкет, авторы проанализировали их с помощью программных статистических пакетов для социальных наук (SPSS) версии 21.0.

Были определены три показателя для оценки предпринимательской ориентации жителей деревни: инновационность (I), инициативность (P) и готовность к риску (R), влияющие на предпринимательскую ориентацию (EO), и описаны модельным уравнением регрессии: $EO = -0,003 + 0,334I + 0,334P + 0,333R$.

Ключевые слова: инновационность, инициативность, готовность к риску, предпринимательская ориентация, моделирование, устойчивое развитие.

Благодарность: Исследование финансируется Исследовательскими и общественными службами Universitas Katolik Darma Cendika, контракт № 22/PPHI/VI/2021.

Для цитирования: Yustinus Budi Hermanto, Lasman Parulian Purba, Matheus Nugroho. A study on the entrepreneurial orientation of the 65-villagers in a part of slope of mountain Arjuno East Java Indonesia // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, № 1. С. 46–51. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-46–51.

Получена редакцией 01.09.2021; получена после рецензии 01.10.2021; принята к печати 10.10.2021.

The concept of entrepreneurial orientation

the term of Entrepreneurial Intention (E.I.) was different from the term of Entrepreneurial Orientation (E.O.) (Ismail *et al.*, 2015; Ibrahim and Mas'ud, 2016). E.O. was considered as one of the few examples of stabilized concepts in management science. E.O. is a crucial idea when executives are crafting strategies in the hopes of doing something new and exploiting opportunities that other organizations cannot use (Kennedy, 2020). E.O. refers to organizations' processes, practices, and decision-making styles that act entrepreneurially (Lumpkin and Dess, 1996). Any organization's level of E.O. can be understood by examining how it stacks up relative to three dimensions: (1) innovativeness, (2) proactiveness, (3) and risk-taking. These dimensions are also relevant to individuals. Entrepreneurial intention can be defined as a state of mind that potentially fosters an individual's entrepreneurial action/behaviors. Entrepreneurial intention was commonly measured on a Likert using dimensions such as intention to start up a business; intention to take over/grow family business; intention to develop further a business idea being currently nursed, or intention to become an entrepreneur (Linan and Chen, 2011; Sari, 2013; Purba and Hermanto, 2020).

Currently, it was found that there are more than six enterprises in the location where some data was collected for this research, i.e., café 'Cempaka Kedai Hutan media humans (figure 1), 'POJOK DAYU' gift and snack's store (figure 2), banana farming (figure 3), goat farm (figure 4), chicken farm, a shop of various crops and flowers, live music show, camping, and its supported facilities with ATV (All-Terrain Vehicle), outbound, archery, and unique paintball.



Fig. 1. One of the banners shows the price list of the Café 'Cempaka Kedai Hutan'



Fig. 2. POJOK DAYU gift and snack's store (<https://cempakafoundation.org>)



Fig. 3. Banana Farming



Fig. 4. Goat Farm

Entrepreneurial orientation had become an essential and extensively researched topic in the literature such as (Lumpkin and Dess, 1996; Lee and Peterson, 2000; T. Lumpkin and G. Dess, 2001; Hughes and Morgan, 2007; Anderson, Covin and Slevin, 2009; Lee *et al.*, 2009; Yan, 2010; Ismail *et al.*, 2015; Ibrahim and Mas'ud, 2016; Haque *et al.*, 2017; Lomberg *et al.*, 2017; Olutuase *et al.*, 2018; Cho and Lee, 2018; Bakytgul, Ahmed and Kim, 2019; Wales *et al.*, 2021). (Olutuase *et al.*, 2018) proposed a model to measure effects of E.I. to E.O. overtime flag, namely Variability of Entrepreneurial Intention, Orientation within Entrepreneurial Ecosystem. The cognitive literature argues that entrepreneurship education stimulates entrepreneurial orientation and intention in individuals, making them more malleable to behave or act entrepreneurially at various levels over time.

Based on (Cho and Lee, 2018) stated that besides firms with E.O. trying to identify and exploit new opportunities persistently, create new values, and become leaders in the market, E.O. also was an essential factor that led to the successful development of new products, high financial and non-financial business performance and high social performance. They used three dimensions of the E.O., i.e., Innovativeness, proactiveness, and risk-taking as many researchers also use, for example (Kresna, 2009; Imma Andiningtyas R.S. and Ratna L. Nugroho, 2014; Ismail *et al.*, 2015; SINE, 2015; Lomberg *et al.*, 2017) and for sure that their E.O. dimensions are conceived initially based on the work of (Miller, 1983). They used the measurements to describe the character and examine entrepreneurship.

Innovativeness, as (Lumpkin and Dess, 1996) define the term, '... reflects a firm's tendency to engage in and support new ideas, novelty, experimentation, and cre-

ative processes that may result in new products, services, or technological processes.' According to (Miller 1983), proactiveness relates to the competitive nature of the firm, or more specifically, to the propensity of the firm to preempt its competitors by introducing new products, entering new markets, or aggressively changing competitive tactics. Risk-taking refers to a tendency to engage in high-risk activities with chances of high returns and bold actions in uncertain environments (Lomberg *et al.*, 2017). Risk-taking shows the will to submit relatively a lot of assets despite the increased potential for disappointment.

This research used the three dimensions to measure the E.O. of the villagers in a part of the slope of Mountain Arjuno in Pasuruan East Java, Indonesia. Our study ultimately defines/measures the entrepreneurial orientation of villagers in a part of the Mt. Arjuno after observing by spread questionnaires to 100 respondents in the places. The topic of this research was following the roadmap shown in Figure 5 (Directorate General of Research Enhancement and Development Ministry of Research Technology and Higher Education, 2019; Institute of Research and Community Services Darma Cendika Catholic University, 2020; Purba and Hermanto, 2020) as well as (Directorate General of Research Enhancement and Development Ministry of Research Technology and Higher Education, 2020) which is in line with spring and forest and preservation in the area (Nugroho *et al.*, 2019; Hermanto and Nugroho, 2021). Since until this paper was written, there is no one researcher yet that used E.O. definition for the villager, moreover villagers on the slope of Mountain Arjuno Indonesia.

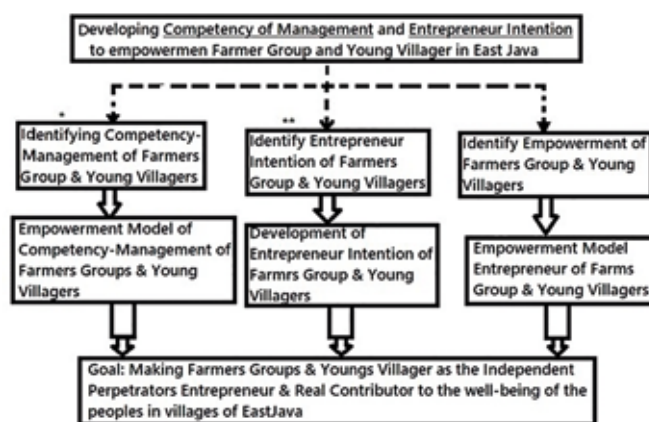


Fig. 5. Roadmap / Concept of our research

Methods

Based on the (Miller 1983) 's definition, a group of questions about entrepreneurial orientation was developed although (Lumpkin and Dess, 1996; Lee and Peterson, 2000; T. Lumpkin and G. Dess, 2001; Perera, Nag, and Venkateswarlu, 2019) use five dimensions of the E.O., i.e., autonomy, innovativeness, risk-taking, proactiveness, dan competitive aggressiveness. Here in

this research work, we put in the questionnaires with 14 indicators (4 indicators to measure innovativeness dimension, six indicators to measure proactiveness, and other four indicators for risk-taking measurement) used to detect the E.O. of the 65-villagers (48 respondents were young villagers (16 to 30 years old based-on (Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur, 2016)), 17 respondents were more than 30 years old). Our future research's goal is the villagers become an entrepreneur; their family economic-development becomes sustainable as SDGs (SustainAbility, 2020; Yulaswati, 2020) and or better qualities in life as the strategic planner and processed by (The Agricultural Services EAST JAVA, 2014, 2016; THE GOVERNMENT of EAST JAVA PROVINCE, 2015; The District Planning Agencies, 2017). Model E.O. of the 65-villagers in a part of the mountain Arjuno is shown in figure 6.

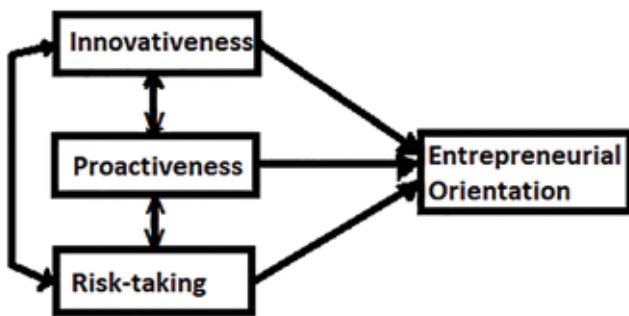


Fig 6. Concept development about Entrepreneurial Orientation model

The questionnaires spread to the villages in a part of the mountain slope to sixty-five villagers there. After collecting the data from the questionnaires, then proceeded and analyzed through software Statistical Packages for Social Sciences (SPSS) version 21.0, respectively.

Results

The villagers come from Prigen District 90.77% and 9.23 % from Purwodadi District. They are 73.85 % young villagers and 26.15 % old villagers, men 63.08% and women 36.92%. Of the villagers, 49.23% come from Senior High School and 50.77% from others (38.46% Junior High School, 10.77% graduated from Foundation School, and 1.54% do not graduate from any other school).

After analysis by using SPSS, there were two items from four items (Innovativeness, I dimensions) in the questionnaires that are valid with $r_{\text{calculated}} > r_{\text{table}}$ (0.317) as of Pearson correlation method (Product Moment) as $N=65$, $df=65-2=63$ for two-tailed of significant at least at 99% level ($p < 0.05$) for all of the indicators; there four of six items are valid (P.1, P.2, P.3 and P.6) of proactiveness, P dimensions are accurate. All of the four items of risk-taking, R dimensions of E.O. are valid.

To test the reliability of the proposed scales was using the usual threshold level of Cronbach's alpha 0.7 for newly developed measures (Sugiyono, 2019). In this

case, the four variables (I, P, R) values were 0.466, 0.736, and 0.620. Only the Innovativeness has Cronbach alpha < 0.6 , which means that the instrument to measure the Innovativeness of the villagers in a part of the slope of Mt. Arjuno was not good enough. It can be used (Cronbach's alpha < 0.5), but the result is low of reliability (Binus University, no date), and although we have the Corrected item-total Correlation 0.317 for significance 1%.

The independent (inputs) variables i.e.: I, P and R (together) effects the dependent (output) variable, EO with regression equation as:

$$EO = -0.003 + 0.334I + 0.334P + 0.333R. \quad (\text{Eq. 1})$$

Coefficient correlation (simultaneously) of inputs to output, R is 1.0. According to the interpretation of the coefficient correlation, R by (Sugiyono 2007, 2019), the R-value 1.0 falls in the range 0.80 – 1.000, so there is a robust correlation among inputs to affect output.

The value of R^2 (coefficient determination) was 1.0. It means that variation of input variables, i.e. innovativeness (I), proactiveness (P), and risk-taking (R), could explain the Entrepreneurial Orientation (E.O.) variation fully. Adjusted R Square were 1.0, with Std. An error of Estimate 2.66.

F-test results show that $F_{\text{calculated}}$ was 622102.42, which is more than F_{table} (2.755) with the level of significance, $=0.05$, which means that Innovativeness (I), Proactiveness (P), and Risk-taking (R) together affect Entrepreneurial Orientation (E.O.).

Because $T_{\text{calculated}}$ through SPSS for every independent variable was more than T_{table} 1.999), it means that every input variable partially gives a positive effect for the output variable.

Discussion

The characteristics of the peoples near the Mountain Arjuno, especially for the 65-villagers in their entrepreneurial orientation, could be stated as the linear regression model (Eq. 1). The equation can be said as an Entrepreneurial Orientation Model for the villagers based on the data analyzed.

Eq 1 is only based on the 65 data. This is an excellent point to generate better villagers and firms for better future goals that are a must following Sustainable Development Goals in the area (Yulaswati, 2020).

Conclusion

It was found what the characteristics of the people near the Mountain Arjuno are, especially for the 65- villagers in their entrepreneurial orientation. The Innovativeness (I), Proactiveness (P) and Risk-taking (R) together effects the Entrepreneurial Orientation (EO with model regression equation as:

$$EO = -0.003 + 0.334I + 0.334P + 0.333R.$$

REFERENCES

1. Anderson, B. S., Covin, J. G. and Slevin, D. P. (2009) ‘Understanding the relationship between entrepreneurial orientation and strategic learning capability: an empirical investigation,’ *Strategic Entrepreneurship Journal*, 3(3), pp. 218–240. DOI: 10.1002/sej.72.
2. Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur (2016) *STATISTIK PEMUDA PROVINSI JAWA TIMUR 2016*.
3. Bakytgul, T., Ahmed, M. and Kim, Y. (2019) ‘Corporate Entrepreneurship and Organizational Performance: The Moderating Role of Organizational Engagement’, *Annals of Contemporary Developments in Management & H.R.*, 1(1), pp. 39–45. doi: 10.33166/acdmhr.2019.01.005.
4. Binus University (no date) *UJI VALIDITAS DAN RELIABILITAS*. Available at: <https://qmc.binus.ac.id/2014/11/01/u-j-i-v-a-l-i-d-i-t-a-s-d-a-n-u-j-i-r-e-l-i-a-b-i-l-i-t-a-s/>.
5. Cho, Y. H. and Lee, J.-H. (2018) ‘Entrepreneurial orientation, entrepreneurial education and performance’, *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 12(2), pp. 124–134. doi: 10.1108/apjie-05-2018-0028.
6. Directorate General of Research Enhancement and Development Ministry of Research Technology and Higher Education (2019) ‘Pengembangan Kompetensi Manajemen dan Orientasi Kewirausahaan dalam Rangka Pemberdayaan Kelompok Petani dan Pemuda Pedesaan Di Jawa Timur’. doi: 1a633551-34df-4b0e-9528-2b4d251bf984.
7. Directorate General of Research Enhancement and Development Ministry of Research Technology and Higher Education (2020) ‘Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Edisi XIII’, *ענין*, 66, pp. 37–39.
8. Haque, M. R. *et al.* (2017) ‘Entrepreneurial Intentions: A Study on Students from Countryside University’, *Asian Economic and Financial Review*, 7(10), pp. 972–980. doi: 10.18488/journal.aefr.2017.710.972.980.
9. Hermanto, Y. B. and Nugroho, M. (2021) ‘Communicating the springs and forest preservation in the Arjuna mount area, Indonesia’, *Jurnal Studi Komunikasi (Indonesian Journal of Communications Studies)*, 5(2), pp. 379–396. doi: 10.25139/jsk.v5i2.3785.
10. Hughes, M. and Morgan, R. E. (2007) ‘Deconstructing the relationship between entrepreneurial orientation and business performance at the embryonic stage of firm growth’, *Industrial Marketing Management*, 36(5), pp. 651–661. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019850106000666?via%3Dihub%0A>.
11. Ibrahim, N. A. and Mas’ud, A. (2016) ‘Moderating role of entrepreneurial orientation on the relationship between entrepreneurial skills, environmental factors and entrepreneurial intention: A PLS approach’, *Management Science Letters*, (January), pp. 225–236. doi: 10.5267/j.msl.2016.1.005.
12. Imma Andiningtyas R.S. and Ratna L. Nugroho (2014) ‘Pengaruh orientasi kewirausahaan terhadap kinerja perusahaan kecil’, *Jurnal Manajemen Indonesia*, 14(1), pp. 37–46. Available at: <http://ijm.telkomuniversity.ac.id/wp-content/uploads/2015/02/Vol.14-No1.-April-2014-PENGARUH-ORIENTASI-KEWIRAUSAHAAN-TERHADAP-KINERJA-PERUSAHAAN-KECIL-Imma-Andiningtyas-R.S.-Ratna-L.-Nugroho.pdf>.
13. Institute of Research and Community Services Darma Cendika Catholic University (2020) *RENCANA INDUK PENELITIAN 2020-2023*. Edited by LEMBAGA PENE-LITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT UKDC. SURABAYA.
14. Ismail, K. *et al.* (2015) ‘Entrepreneurial Intention, Entrepreneurial Orientation of Faculty and Students towards Commercialization’, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Elsevier B.V., 181, pp. 349–355. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.04.897.
15. Kennedy, R. (2020) *Strategic Management, Virginia Tech’s Pamplin College of Business in association with Virginia Tech Publishing*. Blacksburg, VA, USA. Available at: <https://pressbooks.lib.vt.edu/strategicmanagement/chapter/7-2-entrepreneurial-orientation/>.
16. Kresna (2009) *Dimensi Orientasi Kewirausahaan (skripsi dan tesis)*. Available at: <https://konsultaskripsi.com/2019/07/10/dimensi-orientasi-kewirausahaan-skripsi-dan-tesis/> (Accessed: 5 March 2021).
17. Lee, L. *et al.* (2009) ‘Entrepreneurial intentions : The influence of organizational and individual factors’, *Munich Personal RePEc Archive*, (16195), pp. 1–38.
18. Lee, S. M. and Peterson, S. J. (2000) ‘Culture, entrepreneurial orientation, and global competitiveness’, *Journal of World Business*, 35(4), pp. 401–416. doi: 10.1016/S1090-9516(00)00045-6.
19. Linan, F. and Chen, Y.-W. (2011) ‘Development and Cross-Cultural Application of a Specific Instrument to Measure Entrepreneurial Intentions’, *Development Dialogue*, (56), pp. 35–39.
20. Lomberg, C. *et al.* (2017) ‘Entrepreneurial Orientation: The Dimensions’ Shared Effects in Explaining Firm Performance’, *Entrepreneurship: Theory and Practice*, 41(6), pp. 973–998. doi: 10.1111/etap.12237.
21. Lumpkin, G. T. and Dess, G. G. (1996) ‘Clarifying the entrepreneurial orientation construct and linking it to performance’, *Academy of Management Review*, 21(1), pp. 135–172. doi: 10.5465/AMR.1996.9602161568.
22. Miller, D. (1983) ‘The Correlates of Entrepreneurship in Three Types of Firms’, *Management Science*, 29(7), pp. 770–791. doi: 10.1287/mnsc.29.7.770.
23. Nugroho, M. *et al.* (2019) ‘Forest Vegetation Profile for Springs Preservation in Arjuna Mount, East Java-Indonesia’, *American Journal of Agriculture and Forestry*, 7(6), pp. 290–296. doi: 10.11648/j.ajaf.20190706.17.
24. Olutuase, S. O. *et al.* (2018) ‘Entrepreneurial Orientation and Intention: Impact of Entrepreneurial Ecosystem Factors’, *Journal of Entrepreneurship Education*, 21(1S). Available at: <https://www.abacademies.org/articles/entrepreneurial-orientation-and-intention-impact-of-entrepreneurial-ecosystem-factors-7293.html>.
25. Perera, D. N., Nag, D. and Venkateswarlu, P. (2019) ‘A Study on the Relationship of Entrepreneurial Orientation and Business Performance in the SMEs of Kurunegala District in Sri Lanka’, *Theoretical Economics Letters*, 09(07), pp. 2324–2336. doi: 10.4236/tel.2019.97147.
26. Purba, L. P. and Hermanto, Y. B. (2020) ‘MANAGEMENT COMPETENCY AND ENTREPRENEURIAL INTENTION OF THE 60-YOUNG VILLAGERS IN A PART OF SLOPE OF MT. ARJUNA EAST JAVA INDONESIA’, *Journal’ Sustainable Development of Mountain Territories*, 12(4), p. 7.
27. Sari, E. T. (2013) ‘Entrepreneurial Intention among Employees’, *Jurnal Entrepreneur dan Entrepreneurship*, 3, pp. 39–48.
28. SINE, K. (2015) ‘Membangun Orientasi Kewirausahaan

Untuk Meningkatkan Kinerja UKM', *Jurnal Manajemen dan Bisnis Sriwijaya*, 13(4), pp. 427–442. doi: 10.29259/jmbs.v13i4.3145.

29. Sugiyono (2007) *Metode Penelitian Bisnis*. Bandung: CV. Alfabeta.

30. Sugiyono (2019) *Metode Penelitian & Pengembangan Research and Development Untuk Bidang: Manajemen Sosial Teknik*. Bandung: ALFABETA, CV.

31. SustainAbility (2020) 'What' s next for sustainable business ? Trends 2020'.

32. T. Lumpkin, G. and G. Dess, G. (2001) 'Linking two dimensions of entrepreneurial orientation to firm performance: The moderating role of environment and industry life cycle', *Journal of Business Venturing*, 16(5), pp. 429–451. doi: [https://doi.org/10.1016/S0883-9026\(00\)00048-3](https://doi.org/10.1016/S0883-9026(00)00048-3).

33. The Agricultural Services EAST JAVA (2014) 'Rencana Strategis Satuan Kerja Perangkat Daerah (RENSTRA SKPD)'.

34. The Agricultural Services EAST JAVA (2016) 'PEMER-

INTAH PROVINSI JAWA TIMUR HORTIKULTURA JAWA TIMUR ISSN – 1412-1352'.

35. The District Planning Agencies (2017) 'Data Dinamis Provinsi Jawa Timur', pp. 1–144.

36. THE GOVERNMENT of EAST JAVA PROVINCE (2015) *RENCANA KINERJA TAHUNAN (RKT) DINAS PERTANIAN PROVINSI JAWA TIMUR TAHUN 2015*.

37. Wales, W. J. *et al.* (2021) 'The status quo of research on entrepreneurial orientation: Conversational landmarks and theoretical scaffolding', *Journal of Business Research*, 128, pp. 564–577. doi: 10.1016/j.jbusres.2020.10.046.

38. Yan, J. (2010) 'The impact of entrepreneurial personality traits on perception of new venture opportunity', *New England Journal of Entrepreneurship*, 13(2), pp. 21–35. doi: 10.1108/nej-13-02-2010-b002.

39. Yulaswati, V. (2020) 'SDGs IMPLEMENTATION IN INDONESIA'.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS



Yustinus Budi HERMANTO is a permanent Lecturer of Economic Faculty of Darma Cendika Catholic University. He also served as Rector of the Darma Cendika Catholic University and a Pastor. He is an Asst. Professor.

Management Department, Darma Cendika Catholic University, Surabaya, Indonesia Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No. 201, Surabaya, 60117, East Java, Indonesia.

yustinus.budi@ukdc.ac.id

<https://orcid.org/0000-0002-4117-5750>



Lasman Parulian PURBA is a permanent Lecturer of Engineering Faculty of Darma Cendika Catholic University. He also served as Head of the Center for Sustainable Development Studies besides Head of Division of Business Incubator University of Catholic Darma Cendika. He is an Asst. Professor. He also awarded as Senior Professional Engineer from The Institution of Engineers, Indonesia (BKTI-PII).

Industrial Engineering Department, Darma Cendika Catholic University, Surabaya, Indonesia Jl. Dr. Ir. H. Soekarno No. 201, Surabaya, 60117, East Java, Indonesia.

<https://orcid.org/0000-0002-2318-6181>

SCOPUS ID: 55217749800

Matheus NUGROHO is a permanent Lecturer of Farming Faculty of Yudharta Pasuruan University (Universitas Yudharta Pasuruan). At present he also served as Professional Consultant and Trainer for more than 6 Companies in the fields of ISO (International Organization for Standardization) and more than 2 Educational Institutions.

Farming Faculty of Universitas Yudharta Pasuruan, Jl. Yudharta No. 07 (pesantren ngalah) sengonagung Purwosari, Pasuruan, 67152, East Java, Indonesia.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Юстинус Буди ХЕРМАНТО – старший преподаватель, постоянный лектор экономического факультета Католического университета Дарма Сендика. Служил ректором Католического университета Дарма Сендика и пастором.

yustinus.budi@ukdc.ac.id

<https://orcid.org/0000-0002-4117-5750>

Ласман Парульян ПУРБА – старший преподаватель, постоянный лектор, Инженерного факультета Католического университета Дарма Сендика, Сурабая, Индонезия.

Служил в качестве главы Центра исследований устойчивого развития, возглавляемого Отделом Бизнес-инкубатора Католического университета Дарма Сендика. Получил награду в качестве старшего профессионального инженера из Инстанции инженеров, Индонезия (BKTI-PII).

<https://orcid.org/0000-0002-2318-6181>

SCOPUS ID: 55217749800

Матеус НУГРОХО – постоянный преподаватель сельскохозяйственного факультета Университета Юдхарта Пасуран (Universitas Yudharta Pasuruan), Восточная Ява, Индонезия.

В настоящее время работает профессиональным консультантом и тренером в более чем шести Компаниях в области ISO (Международная организация по стандартизации) и более чем в 2 учебных заведениях.

Residents' perception of pilgrimage tourism sustainability In mountain regions: The St. James Primitive Way Case in Asturias

Marta Magadán-Díaz¹, Jesús Rivas-García²✉

^{1,2}International University of La Rioja, Spain, jesus.rivas@unir.net✉

Abstract. The main objective of this research is to evaluate the changes in local conditions in the economic, sociocultural, and environmental perspectives in association with the development of the pilgrimage tourism sector from the perspective of the residents of mountain areas through which the St. James Primitive Way passes in Asturias. The specific objective is to evaluate the sociodemographic factors of such perceived changes using Logit regression analysis and seemingly unrelated regression analysis. The results obtained indicate the following: firstly, that, although the residents positively value the non-overcrowding of pilgrims on this primitive jacobean route, their perceptions detect some negative changes in the surroundings of Pola de Allande and Grandas de Salime related to noise pollution, the management, and treatment of waste and the state of the Jacobean route; secondly, residents perceive the conservation and condition of the St. Jacques' route as poor and that there are no improvements in infrastructure and public transport services; Finally, thirdly, the impacts of the Primitive Way, today, although positive, are very modest and are mainly limited to two sectors: hospitality and accommodation, which are the activities where employment is being generated. Residents surveyed perceive positive changes in employment and income distribution and negative changes in the evolution of the prices of goods and services and the cost of living.

Keywords: sustainable tourism; tourists' perception; survey method; SUR analysis; regression analysis; Asturias.

Funding: This research received no external funding.

For citation: Marta Magadán-Díaz, Jesús Rivas-García. Residents' perception of pilgrimage tourism sustainability in mountain regions: The St. James Primitive Way Case in Asturias. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):52-67. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-52-67.

Received by the editors 25.09.2021; received after the review 26.10.2021; accepted for printing 06.11.2021.

Оригинальная статья

Восприятие жителями устойчивости паломнического туризма в горных регионах: «Примитивный путь Святого Иакова» в Астурии

Марта Магадан-Диас¹, Хесус Ривас-Гарсия²✉

^{1,2}Международный Университет Ла-Риохи, Испания, jesus.rivas@unir.net✉

Аннотация. В связи с развитием паломнического туризма в горных районах, через которые проходит «Примитивный путь Святого Иакова» в Астурии, исследованы условия жизни населения с экономической, социокультурной и экологической точек зрения.

Оценка социально-демографических факторов предполагаемых изменений проведена с использованием логит-регрессионного и регрессионного анализов.

Полученные результаты свидетельствуют о следующем: во-первых, несмотря на то, что маршрут не перегружен паломниками, жители обнаруживают некоторые негативные изменения в окрестностях Пола-де-Алланде и Грандас-де-Салиме, связанные с шумовым загрязнением, управлением и обработкой отходов, а также самим состоянием маршрута; во-вторых, жители отмечают, что сохранность и состояние паломнического маршрута Сен-Жак можно оценить как «плохое», нет улучшений в инфраструктуре и услугах общественного транспорта. Наконец, в-третьих, влияние паломнического туризма на экономику сегодня, хотя и положительное, но очень скромное и, в основном, ограничивается развитием двух секторов экономики: гостиничный бизнес и размещение туристов. Опрошенные жители отмечают позитивные изменения в сфере занятости и распределения доходов и негативные изменения в динамике цен на товары и услуги.

Ключевые слова: устойчивый туризм, восприятие туристов, метод опроса, статистический анализ, регрессионный анализ, Астурия.

Финансирование: Настоящее исследование не получило внешнего финансирования.

Для цитирования: Marta Magadán-Díaz, Jesús Rivas-García. Residents' perception of pilgrimage tourism sustainability in mountain regions: The St. James primitive way case in Asturias // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, № 1. С. 52–67. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-52-67.

Получена редакцией 25.09.2021; получена после рецензии 26.10.2021; принята к печати 06.11.2021.

1. Introduction

Tourism has been a relevant tool in economic development strategies and is considered the largest and fastest-growing industry in many countries in the World [1–4]. Tourism has been a fundamental policy for socio-economic improvement, especially in developing countries and less developed territories [5; 6]. Tourism is a development tool that can improve the level and quality of life, generates employment opportunities [1,7–9], and promotes public and private investment, both in infrastructure and in business opportunities, promoting conservation and environmental education [7; 10–17].

Although tourism activity may favor economic prosperity, there are also other undesirable externalities related to environmental impacts: related to polluting emissions from transport, increase in urban waste, environmental damage due to inappropriate use of environmental resources as a recreational element [1,16]; increase in prices and, therefore, the cost of living for residents, the expulsion of economic activities from other sectors in favor of tourist activities; increased crime and social conflicts [1; 18; 19], congestion of public services and infrastructures [1; 18; 20] and, in some cases, loss of the cultural identity of the resident communities [14; 21–23].

Tourism can be a relevant driver for rural development in peripheral mountain communities that often face numerous economic, social, and environmental challenges [24]. Tourist activity has become a primary source of income for many mountainous areas [25]. However, the environmental impact of tourism can become particularly critical and significant in mountain regions, mainly due to the lack of infrastructures and sustainable planning policies on the part of the authorities [26].

In the case of tourist activity in mountain areas, this can be beneficial to fix the population, in addition, to improve the quality of life of the people who live in the environment through sustainable development [27; 28] and environmental conservation [29]. Mountain tourism can contribute to maintaining biodiversity [30] and promoting sustainable rural development in mountain areas [31]. However, these areas are often considered environmentally vulnerable [32], and, therefore, it is of paramount importance to establish long-term sustainable tourism activities [26].

Although sustainable tourism is gaining importance around the World, research on the subject is still quite fragmented [33]. Most studies analyze unique aspects of sustainable tourism and often focus on environmental sustainability [32], underlining the need for balance between economic and environmental interests [34].

By recognizing both the positive and negative impacts of tourism, the academic literature attempted to understand the diverse changes provoked by tourism development from the residents' perspective [14; 16; 35; 36].

Spirituality has become an important tourism market [37], with the renewal of traditional pilgrimages and the appearance of new ones around the World [38]. The Primitive Way, as a tourist product, has gone from being a phenomenon exclusively linked to spiritual and religious tourism to evolve towards something much broader that encompasses different tourist categories related, mainly to culture, nature, and sustainability [39–41].

Although there is extensive literature focused on the perspective of pilgrims, such as their motivation, behavior, travel patterns, or impacts on their well-being, among others [39], the residents' perspective has not been sufficiently studied [42]. Nevertheless, possible overcrowding of pilgrims along the itinerary not only impacts negatively over the experience of the people who travel but also could cause a residents' negative perception [42; 43].

The main objective of this research is to evaluate the changes in local conditions in the economic, sociocultural, and environmental perspectives in association with the development of the pilgrimage tourism sector from the perspective of the residents of mountain areas through which the Primitive Way passes in Asturias. The specific objective is to evaluate the sociodemographic determinants of such perceived changes using logit and seemingly unrelated regression analysis (SUR).

For this, the following research questions are:

(RQ1) What is the perception of environmental, economic, and social sustainability among residents?

(RQ2) What sociodemographic -or other types- factors can influence this perception?

The aforementioned questions are answered through a survey study carried out among the residents of two high mountain municipalities (Allande and Grandas de Salime), which are very far from the central area of the region (Oviedo) and who depend on the most for their subsistence from the generation of their own resources and in which the agricultural and livestock activity is gradually being replaced by the service sector.

After this introductory section, section 2 offers a brief description of the Primitive Way to Santiago; section 3 analyzes the literature on residents' perceptions; section

4 explains the methodology; section 5 presents the results; finally, section 6 collects the conclusions.

2. Approach to the field of study: the St. James Primitive Way

Oviedo is the starting point of the first cultural route in Europe, the St James Primitive Way, and started by the hand of King Alfonso II the Chaste, considered the first pilgrim since he arrived in Galicia in 834, alerted by Bishop Teodomiro of the discovery of the Apostle St. James' tomb. Said kilometer 0 of the Jacobean Route marks the beginning of the one known as the Primitive Way, which, two centuries later, was displaced by the well-known French Way.

The Primitive Way has been recognized by UNESCO, since July 5, 2015, as a World Heritage Site along with the rest of the so-called Northern Ways. The Primitive Way runs through two autonomous communities in Spain: Asturias and Galicia. Figure 1 shows the geographical location of the Primitive Way.



Source: own elaboration.

Fig. 1. Geographical location of the St. James Primitive Way

The Jacobean route has been the object of attention by the regional administration since the 1990s when the procedure began to guarantee the legal protection of the main Jacobean routes that passed through Asturias (Primitive, Coastal, and of The Savior ways). This attention and preservation have encouraged actions of conditioning and signaling of the different routes and the development of a public network of pilgrim shelters, to which the private initiative has joined [39].

The Primitive Way, from Oviedo to Santiago de Compostela, comprises a total of 319.4 km. The route crosses mountains, highways, royal roads, Roman roads, and pre-Romanesque churches. The Primitive Way can be done in 13 stages, as shown in Table 1.

The Primitive Way is the route of the St. James Way that from Oviedo goes to Compostela through the interior of Asturias and Galicia (see Figure 2). This path has gained great prestige in the Jacobean world in recent years thanks to its landscapes, harshness (due to, in some stages, crosses high mountain areas), and the still moderate influx of pilgrims.

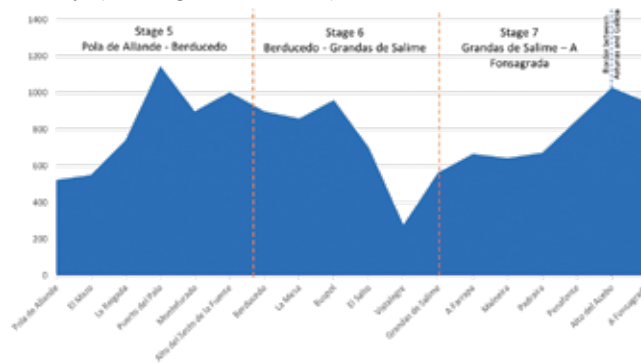


Source: own elaboration.

Fig. 2. Route of the Primitive Way between Oviedo and Santiago de Compostela

According to the tourist brochures prepared by the Principality of Asturias, the stages in Asturian lands are seven (see table 1) and allow traveling the 145.6 km that separate Oviedo from Alto del Acebo, bordering the province of Lugo.

The Primitive Way in Asturias shows in its last three stages some hardness, characterized by a mountain landscape, rugged and of great beauty, but with high climbs such as the Palo port, finding that, in rainy seasons, pilgrims can become muddy, complicating even more so, their journey [39]. It runs through an area of the Asturian region of complex orography, with poor infrastructure, and is remote from the center of the Autonomous Community (see Figures 3 and 4).



Source: own elaboration.

Fig. 3. Profile of the stages that pass through the mountain municipalities of Pola de Allande and Grandas de Salime in Asturias

Stage 5 begins in Pola de Allande at an altitude of 524 meters and ascends to 1,146 meters at the mountain pass of El Palo, the highest point of the entire Primitive Way. The rest of the way stage runs through the desolate landscapes of the mountains that separate the basins of the Narcea and Navia rivers, between 800 and 1000 meters of altitude in continuous ups and downs.

Stage 6 begins in Berducedo, at 900 meters of altitude: the shortest stage of the entire route starts with two moderate ascents for more than 7 km, and later ends with a long and steep descent (Pyrenean descent)

Table 1

Stages and route of the Primitive Way between Oviedo (Asturias) and Santiago de Compostela (Galicia)

Autonomous Community	Stage	Route	Kilometres	Municipalities	Localities
Asturias	1	Oviedo- Grado	30.5	Oviedo Las Regueras Grado	Oviedo; Les Campes; Llampaxuga; Lloriana; Malpica; Gallegos; L'Escampleru; Vals-era; Premoñu; Valdunu; Paladín; Puerma; Anzu; Peñaflo; Grado
Asturias	2	Grado- Salas	21.9	Grado Salas	Grado; Las Tiendas; La Llamiella; San Xuan; El Freisnu; Doriga; Casas del Puente; Cornellana; Llamas; Quintana; Casazorrina; Otero; Salas
Asturias	3	Salas- Tineo	20.2	Salas Tineo	Salas; Porciles; Bodenaya; La Espina; La Preda; L'Espín; Bedures; El Pedregal; Santolaya; Zarracín; Tineo
Asturias	4	Tineo- Pola de Allande	28.2	Tineo Allande	Tineo; Oubona; Vil.lal.luz; Vega de Rey; Verrugosu; Campiel.lu; El Freisnu; L'Espín; Bourres; San Brismu; La Mortera; Colinas d'Arriba; Porciles; Ferroy; Pola de Allande
Asturias	5	Pola de Allande - Berducedo	17.4	Allande	Pola de Allande; El Mazo; Montefurado; Lago; Berducedo
Asturias	6	Berducedo - Grandas de Salime	19.8	Allande Grandas de Salime	Berducedo; La Mesa; Buspol; El Salto; Grandas de Salime
Asturias-Galicia	7	Grandas de Salime – A Fonsagrada	28.1	Grandas de Salime Fonsagrada	Grandas de Salime; A Farrapa; Cereixeira; Castro; Padraira; Xestose; Penafonte; Bustelo del Camín; Alto del Acebo; Cabreira; Barbeitos; Fonfria; Silvela; Paradonova; A Fonsagrada
Galicia	8	A Fonsagrada – O Cádavo	23.4	Fonsagrada Baleira	O Padrón; Vilardongo; Pedrafitelas; Montouto; Paradavella; A Calzada; A Degolada; A Lastra; Alto da Fontaneira; A Fontaneira; O Cádavo;
Galicia	9	O Cádavo – Lugo	29.2	Baleira Castroverde Lugo	O Cádavo; Pradedo; Alto da Vacariza; Vilalle; Castroverde; San Miguel do Camiño; Souto de Torres; Nadela; Vilar de Cas; Soutomerille; A Estrada; As Casas da Viña; Castelo; A Chanca; Lugo
Galicia	10	Lugo – San Romao de Retorta	19.7	Lugo Guntín	Lugo; San Lázaro; Fornelo; San Xoán / Seoane; Carrigueiros; San Vicente do Burgo; San Antonio; Bacurín; Carricova; O Paso; San Pedro da Baixo; Taboeiro; San Romao da Retorta
Galicia	11	San Romao de Retorta – Melide	27.7	Guntín Palas de Rei Melide	San Romao da Retorta; Castrelo; O Burgo de Negral; Vilacarpide; O Pacio; A Covela (Ferreira); Mosteiro; O Carballal (Ferreira); A Leboeira; Bouzachás; San Xurxo; Montecelo; Merlán; As Seixas; Casacamiño; O Hospital de As Seixas; Vilouriz; Vilamor de Arriba; Vilamor de Abaixo; Irago de Arriba; Curutelo; Zaramil; O Mascaño; Melide

Autonomous Community	Stage	Route	Kilometres	Municipalities	Localities
Galicia	12	Melide – O Pedrouzo	33.3	Melide Arzúa O Pino	Melide; O Raído; Boente de Arriba; A Fraga Alta; O Río; Ribadixo da Baixo; Arzúa; Pregontoño; A Peroxa As Quintas; A Calzada; Outeiro; A Boavista; Salceda; Xen; As Ras; A Brea; O Pedrouzo
Galicia	13	O Pedrouzo – Santiago	20	O Pino Santiago de Compostela	O Pedrouzo; San Antón; Amenal; Cimadevila; San Paio; Lavacolla; Vilamaior; San Marcos; Monte do Gozo; Santiago de Compostela
Total			319.4		

Source: own elaboration.

until we reach -by dirt tracks- the course of the Navia river and reach the reservoir of the Salime reservoir, at an altitude of 280 meters, to face a climb for 7 km that takes us to Grandas de Salime -taking advantage of some beautiful wooded shortcuts -, which is 562 meters above sea level.

Stage 7 begins in Grandas de Salime and ends in Fonsagrada (Galicia): it runs through many sections of road that practically coincide with the path on foot, in Asturias, by the AS 28, and in Galicia, by the LU 701. The profile of the stage is uphill during the first 14 km until reaching El Acebo, located at 1,093 meters of altitude, and then descending for about 10 km until reaching Paradanova and ending with a slight rise of 2 km to arrive Fonsagrada, at 952 meters of altitude.

Unlike what happened with the French Way, the process of shaping the Primitive Way was slower, given the lack of detailed descriptions of its itinerary. The task of identifying and recovering the different St. James Ways formally began in 1993. The regional government carried out the development of a study to recognize and describe these routes to subsequently proceed with investments in improvement of the infrastructures and signaling of the ways over two decades and thus promoting collaboration between local and regional administrations to guarantee the proper state of the routes [39].

The Asturian high mountain lands through which the Primitive Way runs maintain their link with agricultural and livestock activities, preserving the environment of their towns and villages. The data of pilgrims who approach the primitive route are more numerous every year. But the emergence of dissenting voices about how to manage the flows of people traveling the Primitive Way and some studies on the tourist impacts on the French Way generate concern and uncertainty about the benefits of this exponential increase in the flow of visitors [40].

Although the academic literature has focused on the French Way, the Primitive Way has received much less attention, which leads to investigating both primary and secondary sources to understand the economic and social impacts of the route on the Asturian municipalities [39].

3. Literature review

3.1. Residents' perception of the impacts of tourism development

Perceptions are beliefs -or opinions- people have based on how things appear to be, that is, a representation of their reality or experience [44]. In other words, perception is part of a psychological thought process, which feeds an individual's decision-making or judgment [45]. The perception of residents about tourism development is usually conditioned by various factors such as, for example, personal values or sociodemographic attributes, among others [1; 4; 12; 46].

Studies on residents' perception of tourism development and its impacts have been gaining popularity in recent decades due to their relevance to sustainable development [4; 47–49]. Once a community becomes a tourism destination, the livelihoods of community members are affected by tourism activities [22; 50]. Subsequently, the researchers studied the perceived impacts of tourism development from the residents' perspective [1; 14; 16; 35; 36]. These studies show that residents know and care about the changes that have occurred concerning tourism development. Furthermore, to assess residents' perception, a large body of literature adopted the triple bottom line approach by classifying changes or impacts on environmental, sociocultural, and economic dimensions [1; 12–14].

In the environmental dimension, the studies found that residents perceived both positive and negative changes in their local environments linked to tourism development [1; 7; 15; 22; 51–53]. In some cases, residents recognized the contribution of tourism to the conservation and improvement of environmental conditions in peri-urban areas [1; 7]. However, in many other cases, residents perceived that tourism caused unfavorable changes, such as high degrees of pollution, waste disposal, or depletion of natural resources [1; 16; 54].

In the sociocultural dimension, residents perceived favorable changes in cultural and leisure activities [12; 54; 55], a sense of pride in cultural values and identity [1; 4; 52; 56], an interest in preserving historical buildings



Source: own elaboration.

Fig. 4. (1) Stage 5: Pola de Allande - Berducedo, descent from Puerto del Palo. (2) Stage 6: Berducedo - Grandas de Salime. (3) Stage 6: Berducedo - Grandas de Salime, descent towards the Grandas de Salime reservoir. (4) Stage 6: Berducedo - Grandas de Salime, wooded shortcuts before reaching Grandas de Salime

and archaeological sites [36,54,57,58] and an improvement in the quality of life [16; 30]. On the other hand, residents also recognized unfavorable changes such as vandalism and crime rates [1; 18; 19], traffic congestion, and parking [1,18,20] and alcohol consumption [58; 59], the increase in prices of goods and services [13,14]; pedestrian congestion [18; 60; 61]; increased noise [1; 13; 18], and increased pollution [1; 13].

Regarding the economic dimension, tourism development tends to be highly appreciated and recognized by residents as part of the favorable contribution of tourism activity [13; 43; 62] through increased employment and income opportunities for their families [1; 7–9; 52; 55]. In addition, residents tend to recognize that tourism contributes to improving community infrastructure, public facilities, and the general standard of living [1; 18; 20]. In other cases, residents perceived that the tourism industry offered low-quality, temporary, and low-wage jobs [63] and that the economic gain did not revert to the local community [64]. In addition, the local population was aware of other costs associated with the development of tourism, such as the increase in living costs [19; 43; 65], the rise in prices of goods and services [42; 52; 66], as well as the increase in property and housing prices [3,50,52,67,68], including the price of land [42; 52]. Most of the existing studies collected the responses of residents in the form of agreement or disagreement with positive or negative statements precoded by the researchers that led to dichotomous answers [1; 12; 17; 69]. In other words, these studies categorized the perceived impacts and changes into positive or negative, using statements requiring affirmation or denial in their surveys.

While dichotomous precoding is convenient and helpful, it may not adequately incorporate residents' perception of the scope and quality of changes and, therefore, can lead to response biases [1,69] and one-dimensional views [17]. The interviews conducted in this research tried to minimize such biases by avoiding dichotomous statements and allowing the interviewee to identify the impacts and openly assess them.

3.2. Individual factors and residents' perception

It is crucial to understand the different factors that influence residents' perceptions of tourism development to design effective policies [1; 54; 70; 71]. The findings of the academic literature about sociodemographic factors such as age, gender, education, income, and length of residence indicate that these variables are frequently related to residents' perception of environmental, socio-cultural, and economic changes derived from tourism activity [1; 4; 51].

Regarding age, older residents are more likely to perceive environmental changes caused by tourism development, while younger residents tend to perceive economic impacts [10; 55; 67; 72].

About gender, women are more likely to perceive unfavorable changes in traffic jams, crime against road safety, and noise, so they tend to oppose tourism development and tend to perceive negative changes to a greater extent than men [14; 73]. However, other studies did not find significant differences between women and men about the perception of impacts in the environmental, sociocultural, and economic dimensions [3; 16; 54].

Regarding education, although residents with more training focus their concern on the environmental dimen-

sion, they perceive in more detail the impacts of tourism on all the dimensions considered compared to residents with less academic training [10; 66; 72].

Regarding income and the residents' dependence on tourist activity, those residents whose income depends on tourism tend to perceive positive impacts more than negative ones [10; 66]. However, in other research, the relationship between dependence and positive assessment of the impacts of tourism is not clear [65; 74].

Finally, concerning the years of residence, the perception of residents about the impacts of tourism is more negative as the years of residence increase, particularly about environmental and social conditions [10; 55; 62; 66].

4. Methodology

4.1. Sampling

This research obtained primary data through telephone and personal surveys over a total population of 2,430 residents, both from Pola de Allande, with 1,615 inhabitants, and Grandas de Salime, with 815. The sample of 332 inhabitants, get by a proportional convenience sampling and stratified by the two municipalities, is composed of 221 residents from Pola de Allande and 111 from Granas de Salime (see Table 2).

The survey, carried out between July and September 2021, was conducted by two interviewers. The process used both telephone and direct contact. An initial selection questionnaire was used to include only permanent residents (registered) and adults (of legal age) who had been residing for at least one year in the municipalities studied.

4.2. Questionnaire and respondents' profile

The questionnaire, structured into two parts, was oriented to get indicators of the residents' perception of changes in economic, sociocultural, and environmental conditions. If sustainable development is one of the paramount contemporary objectives of the tourism industry, then a multidimensional evaluation of the changes produced in a territory related to tourism should be carried out [27; 28]. Consequently, three subsets of envi-

ronmental, sociocultural, and economic indicators were measured (see Table 3). The selection of these indicators took into consideration the academic literature [1; 10; 14; 47–49; 61; 69]. The research used a Likert scale in their valuation, where value 1 indicated a severe deterioration of the conditions in the community, value 5 represented a significant improvement, and value 3 implied no changes observed.

A previous test with 15 respondents outside the sample was conducted to ensure the quality of the questionnaire and make the necessary adjustments before launching the survey.

The second part of the questionnaire was aimed to obtain the sociodemographic profile of the respondents like sex, age, duration of residence, having a job related to tourism, level of education, income, and occupation. Table 4 shows the detail of these variables.

4.3. Design of aggregate indicators

The expression of the aggregate indicator that will be used in this study is the following (Nardo et al., 2005):

$$Y_{ij} = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} y_{ijk}. \quad (4.1)$$

Where Y_{ij} is the value of the aggregate indicator for dimension j and for individual i ; y_{ijk} is the value obtained on the Likert scale -between 1 and 5- of the sub-indicator k of dimension j for individual i , and n_j is the number of sub-indicators for dimension j .

In this research, as has been indicated, the environmental, sociocultural, and economic dimensions are addressed, and j will adopt the values from 1 to 3. Regarding the number of sub-indicators (n_j) for each dimension (j), Table 3 includes 8 for the environmental dimension, 9 for the sociocultural dimension and 5 for the economic dimension. To test consistency between sub-indicators within a given dimension, Cronbach's alpha coefficient was calculated [75]. Although each y_{ijk} is an ordinal variable with five possible values, Y_{ij} can take on different values because of the aggregation. Therefore, the Y_{ij} are

Table 2

Survey technical data

Total population	2.430
Population of Pola de Allande	1.615
Population of Grandas de Salime	815
Total sample	332
Subsample of Pola de Allande	221
Subsample of Grandas de Salime	111
Sampling technique	Stratified and proportional convenience sampling
Sampling error	±5%
Confidence level	95%
Kind of Survey	Personal and telephone
Timing	Between July and September 2021

Source: own elaboration.

Table 3

Indicators and sub-indicators of perceived changes in the environmental, sociocultural, and economic dimensions

Environmental sub-indicators
Air pollution; water contamination; noise pollution; problems in management and waste treatment
City planning; public space management
Status of the Primitive Route route
Quality and management of water for consumption in homes and businesses
Sociocultural sub-indicators
Public transport infrastructure and services
Accidents on the Primitive route
Social conflict
Congestion of public services; security; delinquency
Planning, management, and public control of tourism development
Social gaps; inequality
Economic sub-indicators
Prices of goods and services; land and housing prices; cost of living
Employment opportunities; income distribution

Source: own elaboration.

considered quasi-quantitative variables in the subsequent analysis.

4.2. Statistical analysis

Regression analysis was used to study the factors that influence perceived changes in local conditions in economic, sociocultural and environmental dimensions. In this work, the dependent variables are the indicators of perceived alterations in local conditions, while the independent variables are the sociodemographic factors.

The following expression is the base for the regression by ordinary least squares (OLS):

$$y_{is} = \alpha_{0s} + \sum_{j=1}^k \alpha_{js} x_{ij} + \varepsilon_{is}. \quad (4.2)$$

Where y_{is} is the dependent variable that represents the changes perceived in local conditions in the sociodemographic dimension s as perceived by the respondent i , α_{0s} is the intersection term, x_{ij} corresponds to the explanatory variable j of the model (where $j = 1, \dots, k$), α_{js} are the coefficients to estimate, and ε_{is} represents the random disturbance.

This research considers seven sociodemographic factors, namely, gender, age, education, municipality and years of residence, annual income, and occupation.

The estimated coefficients may be biased when multiple correlated dependent variables are analyzed in separate OLS regressions showing heteroscedasticity. The seemingly unrelated regression (SUR) was adopted to consider this probable nature of the data, which allows the correlation in the error term between the different equations corresponding to the dependent variables [76; 77]:

$$\text{corr}(\varepsilon_{is}, \varepsilon_{it}) \neq 0 (s \neq t). \quad (4.3)$$

Expression [4.3] was verified by the Breusch-Pagan heteroscedasticity test [78] to justify the selection of the model. SUR is reduced to multivariate regression when the sets of independent variables are equal in all equations, which applies to our case. Therefore, SUR and multivariate regression are equivalent in this article.

In addition, it may be helpful to investigate which sub-indicators contributed to the estimated coefficients in the SUR results. Ordered logistic regression (OLR) was applied to examine the influences of the same sociodemographic factors on the sub-indicators [79]. The underlying relationship in the OLR is the following:

$$y_i^* = \alpha_0 + \sum_{j=1}^k \alpha_j x_{ij} + \varepsilon_i. \quad (4.4)$$

Where y_i^* is the degree of exact agreement, but not observed, of the respondent i ; the other terms are the same as in [4.2]. Although the latent variable y_i^* is not observed with precision, the five discrete levels of agreement can instead be observed as:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } y_i^* \leq \mu_1 \\ 2 & \text{if } \mu_1 \leq y_i^* \leq \mu_2 \\ 3 & \text{if } \mu_2 \leq y_i^* \leq \mu_3 \\ 4 & \text{if } \mu_3 \leq y_i^* \leq \mu_4 \\ 5 & \text{if } \mu_4 \leq y_i^* \end{cases} \quad (4.5)$$

Where the values of the Likert scale have the following interpretation: 1 refers to severe degradation, 2 to moderate deterioration, 3 to non-perceived changes, 4 to mild improvements, and finally, 5 implies the perception of substantial betterments. The OLR estimation uses the following equation:

$$\ln \left[\frac{p_1 + p_2 + \dots + p_s}{1 - (p_1 + p_2 + \dots + p_s)} \right] = \alpha_0 + \sum_{j=1}^k \alpha_j x_{ij}. \quad (4.6)$$

Sociodemographic respondents' profile (n = 332)

Variable	Respondents	Percentage
Gender		
Man	167	50.3
Woman	165	49.7
Age		
18-28	31	9.3
29-39	73	21.9
40-50	81	24.4
51-60	90	27.2
>60	57	17.2
Education		
Primary	96	28.9
High school	107	32.2
Vocational training	113	34.1
University	16	4.8
Municipality of residence		
Pola de Allande	221	0.66
Grandas de Salime	111	0.34
Residence (in years)		
1-5	6	1.8
6-10	53	15.8
11-15	78	23.1
16-20	94	28.2
>20	101	31.1
Annual income (euros)		
<11.000	61	18.4
11.000–15.000	96	28.9
16.000–20.000	128	38.5
21.000–30.000	38	11.5
>31.000	9	2.7
Occupation		
Employee	138	41.6
Official	27	8.1
Self employed	161	48.4
Others (*)	6	1.9

(*) *Students, part-time employees, etc.* Source: own elaboration

Where the left side represents the natural logarithm of the odds ratio for observing $Y_i \geq s + 1$; p_s is the probability of observing $Y_i = s$ (that is, the proportion of observations with $Y_i = s$). The OLR model assumes that [4.6] is valid for all levels of s . Finally, this research used the SPSS program to carry out the statistical analysis.

Next, the following section collects the results obtained.

5. Results

5.1. Local conditions

Table 5 summarizes the perceived changes in the three dimensions of local conditions in Pola de Allande and Grandas de Salime in the context of their tourism development through the section of the St. James Primitive Way. Table 6 shows the frequency distributions of the responses -according to the Likert scale- for each sub-indicator considered.

From an environmental perspective, respondents perceive problems in management and waste treatment as one of the most unfavorable changes (2.4), followed by the state of the Primitive Way (2.5) and noise pollution (2.9). Among the most favorable changes are those related to the quality and management of water for consumption in homes and businesses (4.6) and the improvement in water pollution (3.1). Finally, respondents do not perceive significant positive or negative changes in aspects such as air pollution (3.5), urban planning (3.1), and the management of public spaces (3.3).

From a socio-cultural perspective, changes related to public transport infrastructures and services (2.1) are perceived as unfavorable, while among the most favorable changes are those related to crime control (4.7), the reduction of conflict social (4.5), and social inequalities (4.3), as well as security improvements (4.1). Finally, respondents

Table 5

Environmental, sociocultural, and economic sub-indicators: obtained values

Environmental sub-indicators	Mean	Median	Standard Deviation
1. Air pollution	3.5	3	0.80
2. Water pollution.	4.1	4	0.92
3. Noise pollution.	2.9	2	0.84
4. Problems in the management and treatment of waste.	2.4	2	0.88
5. City planning.	3.1	3	0.95
6. Management of public space.	3.3	3	0.81
7. Status of the Primitive Way.	2.5	2	0.98
8. Quality and management of water for consumption in homes and businesses.	4.6	4	0.94
Sociocultural sub-indicators	Mean	Median	Standard Deviation
1. Public transport infrastructure and services.	2.1	2	0.87
2. Accidents on the Primitive Way.	3.2	3	0.82
3. Social conflict.	4.5	4	0.85
4. Congestion of public services.	3.4	3	0.98
5. Security.	4.1	4	0.91
6. Crime.	4.7	4	0.88
7. Planning, management, and public control of tourism development.	3.7	3	0.97
8. Social gaps.	4.0	4	0.94
9. Inequality.	4.3	4	0.90
Economic sub-indicators	Mean	Median	Standard Deviation
1. Prices of goods and services.	2.0	2	0.79
2. Prices of land and housing.	3.0	3	0.84
3. Cost of living.	2.9	2	0.88
4. Employment opportunities.	4.1	4	0.75
5. Income distribution.	4.4	4	0.90

Source: own elaboration

do not perceive significant positive or negative changes in aspects like accidents on the St. James Primitive Way (3.2), congestion of public services (3.4), planning, management, and public control of tourism development (3.7).

From an economic perspective, unfavorable changes are those related to the evolution of the prices of goods and services (2.0) and the cost of living (2.9). Among changes perceived as more favorable are those related to income distribution (4.4) and employment opportunities (4.1). Finally, there are no significant positive or negative changes in land and housing prices (3.0).

5.2. Variables related to perceived changes

This research applies the following treatment of the variables collected in Table 6 to perform the SUR analysis.

Table 7 shows the results of the SUR analysis of the variables related to the perceived changes in the local conditions of Pola de Allande and Grandas de Salime.

The results obtained show that, in this case, gender did not seem to have a significant influence on the perception in economic and sociocultural conditions of the locality, while it showed relevant effects on the environmental indicator. Women living in Pola de Allande and Grandas de Salime were more likely to perceive an improvement or less deterioration in environmental conditions than men.

The result also does not reveal a statistically significant effect of age in any of the three aggregated indicators.

The years of residence in Pola de Allande and Grandas de Salime were negatively related to environmental indicators. The longer the respondents had resided, the more unfavorable changes they perceived. The municipality of residence seems to be associated with the perception of environmental changes. The residents of Pola de Allande were more sensitive to perceive environmental changes less favorable than those of Grandas de Salime. On the contrary, the residents' place of residence does not seem to influence perceived changes in sociocultural and economic dimensions.

The fact of working in the tourism sector is usually related to perceive environmental changes. Those respondents working -directly or indirectly- in tourism activities are more sensitive to perceive a degradation in environmental conditions than those whose jobs were not related to tourism. The result showed a relevant negative effect of formal education on perceiving environmental changes. The higher the level of education, the more sensitivity to perceive environmental degradation, compared to those who had not completed university studies. On the other hand, residents' education does not influence perceived changes in sociocultural and economic dimensions.

Scale and definition of variables related to perceived changes

Variable	Scale	Definition
Gender	Binary coded dummy variable	1 if women, 0 if man
Age	Ordinal coded dummy variable	>39 (Dummy 1) 29-39 (Dummy 2) 18-28 (Base)
Education	Ordinal coded dummy variable	High School education or superior (Dummy 1) Vocational training (Dummy 2) Primary education up to High School (Base)
Municipality of residence	Categorical coded dummy variable	Pola de Allande (Dummy 1) Grandas de Salime (Dummy 2) St James Primitive Way (Base)
Residence (in years)	Ordinal coded dummy variable	>20 (Dummy 1) 16-20 (Dummy 2) <16 (Base)
Annual income (euros)	Ordinal coded dummy variable	>31,000 (Dummy 1) 21,000-30,000 (Dummy 2) <21,000 (Base)
Occupation	Binary coded dummy variable	1 if related to tourism, 0 if not.

Source: own elaboration

6. Conclusions

Although there is a growing literature on the perception of residents about tourism development in general, this study is the first to quantitatively analyze the multidimensional local changes as perceived by the residents of Pola de Allande, and Grandas de Salime is a consequence of the activity tourist associated with the St. James Primitive Way.

From the study carried out in this work, it is possible to get some conclusions that allow an attempt to assess the sustainability of the Primitive Way as it passes through high mountain areas in Asturias.

Firstly, the impacts of the Primitive Way are positive but modest and confined to two sectors where employment is growing: hospitality and accommodation. When entering the detail of the economic sub-indicators, except for the non-perception of changes in land and housing prices, respondents perceive positive

changes in employment and income distribution and negative changes in the evolution of the prices of goods and services, and the cost of living.

Secondly, the Primitive Road seems to be positively integrated into the sociocultural reality of the towns studied, Pola de Allande and Grandas de Salime. Of the nine sub-indicators considered, five offer a positive perception (social unrest, security, crime, social gaps, and inequality), while only one (infrastructure and public transport services) is moderately negative. Residents perceive the conservation and condition of the Primitive Way as poor and that despite the public administration's commitment to the Primitive Way, there are no improvements in infrastructure or public transport services. Finally, the respondents did not perceive significant changes in three of the nine climbers of this second dimension (accidents on the Primitive Way, congestion of public services and planning, management, and public control of tourism development).

Table 7

SUR analysis results

Variable	Environmental indicator		Sociocultural indicator		Economic indicator	
	Coefficient	p-Value	Coefficient	p-Value	Coefficient	p-Value
Gender						
1 if women, 0 if man	0.101 *	0.055	0.090	0.115	0.032	0.820
Age						
29-39	-0.086	0.207	0.026	0.627	0.054	0.636
>39	-0.101	0.173	-0.083	0.281	-0.001	0.954
Education						
Vocational training	-0.049	0.423	0.021	0.743	0.041	0.658
High School or superior	-0.171 ***	0.013	-0.091	0.192	-0.081	0.341
Municipality of residence						
Pola de Allande	-0.189 **	0.018	-0.082	0.219	-0.117	0.160
Grandas de Salime	-0.031	0.601	0.049	0.494	-0.011	0.817
Residence (in years)						
16-20	-0.201 ***	0.001	-0.113 *	0.071	-0.101	0.123
>20	-0.210 ***	0.002	-0.111	0.115	-0.119	0.153
Annual income (€)						
21,000-30,000	0.084	0.325	-0.029	0.682	-0.001	0.971
>31,000	0.113	0.283	-0.021	0.827	0.015	0.839
Occupation						
1 if related to tourism, 0 if not.	-0.181***	0.002	-0.083	0.115	-0.071	0.364
Constant	2.927	0.000	2.662	0.000	2.852	0.000
N	332		332		332	
R²	0.168		0.091		0.090	
F	4.013***		2.071***		2.065***	
(p-Value)	(0.000)		(0.003)		(0.004)	
Breusch-Pagan test	$\chi^2(3) = 509.989$ (p = 0.000)					

***, **, and * refers to $p < 0.01, 0.05, y 0.10$, respectively. Source: own elaboration

Thirdly, although residents positively value the non-overcrowding of pilgrims on this primitive Jacobean route, it seems that their perceptions are beginning to detect some changes that negatively impact the surroundings of Pola de Allande and Grandas de Salime. Of the eight sub-indicators considered in this dimension, three indicate moderately negative changes (noise pollution, waste management and treatment, and state of the Primitive Way). Only one sub-indicator (air pollution) shows positive changes. Surveyed residents did not observe significant changes in the remaining indicators (air pollution, urban planning, and management of public spaces).

The results obtained imply the importance of using a broader range of knowledge on environmental and socio-cultural changes with economic indicators to evaluate the progress of tourism development in mountain areas linked to the pilgrim routes to Santiago de Compostela. More specifically, the study provides several policy recommendations based on the analytical results.

First, tourism planners and policymakers need to recognize the differences in perceptions between sociodemographic segments. In general, long-term residents seem

to represent a relevant source of information. Therefore, it would be worth soliciting public comments from this segment of the local population, who can inform planners to understand the problems within the community, which would lead to more compatible and sustainable development in the future.

Second, it must be organized and strengthened a partnership among local governments, the private sector, and residents to establish symbiotic relationships towards sustainable development while ensuring the relevant background on economic, sociocultural, and environmental dimensions.

The improvement in the perception that the residents of Pola de Allande and Grandas de Salime currently have about the environmental, socio-cultural, and economic sustainability of pilgrimage tourism in their respective municipalities will depend on: the duration and collateral effects of the pandemic of the Covid-19 and the will of policymakers to commit to these eminently rural and high mountain areas, knowing how to promote, for example, their modernization and development through the provision of infrastructures, without forgetting digitization and

without involving lose neither its environmental ecosystem nor its fundamental cultural essence anchored in history and traditions that can act as levers for the development of the endogenous potential of these localities.

Finally, this research has several limitations. Although the quantitative approach leads to the generalizability of the findings and external applicability of the implications, it may not adequately clarify the deep reasons behind the

results. In this sense, qualitative exploration can complement the inferences of this study. Finally, the data collection process was not random due to the use of the convenience sampling technique. In consequence, the sample may not be an accurate representation of the entire resident population. Other future studies based on probability sampling will help to improve the sampling technique to obtain a better population representation.

REFERENCES

- Andereck, K.L., Valentine, K.M., Knopf, C.A. Residents' Perceptions of Community Tourism Impacts. *Annals of Tourism Research*. 2005, 32, 1056–1076. doi: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2005.03.001>.
- Gannon, M.; Rasoolimanesh, S.M.; Taheri, B. Assessing the Mediating Role of Residents' Perceptions toward Tourism Development. *Journal of Travel Research*. 2021, 60, 149–171. doi: <https://doi.org/10.1177/0047287519890926>.
- Perdue, R.; Long, P.; Allen, L. Resident Support for Tourism Development. *Annals of Tourism Research*. 1990, 17, 586–599. doi: [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(90\)90029-Q](https://doi.org/10.1016/0160-7383(90)90029-Q).
- Sharpley, R. Host Perceptions of Tourism: A Review of the Research. *Tourism Management*. 2014, 42, 37–49.
- Iorio, M.; Corsale, A. Community-Based Tourism and Networking: Viscri, Romania. *Journal of Sustainable Tourism*. 2014, 22, 234–255. doi: <https://doi.org/10.1080/09669582.2013.802327>.
- Telfer, D.J.; Sharpley, R. *Tourism and Development in the Developing World*. Routledge: London, England, 2015.
- Andereck, K.L.; Nyaupane, G.P. Exploring the Nature of Tourism and Quality of Life Perceptions among Residents. *Journal of Travel Research*. 2011, 50, 248–260. doi: <https://doi.org/10.1177/0047287510362918>.
- Belisle, F.J.; Hoy, D.R. The Perceived Impact of Tourism by Residents: A Case Study in Santa Marta, Colombia. *Annals of Tourism Research*. 1980, 7, 83–101. doi: [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(80\)80008-9](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(80)80008-9).
- Pizam, A.; Milman, A.; King, B. The Perceptions of Tourism Employees and Their Families towards Tourism: A Cross-Cultural Comparison. *Tourism Management*. 1994, 15, 53–61. doi: [https://doi.org/10.1016/0261-5177\(94\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0261-5177(94)90027-2).
- Almeida, F.; Pelaez, M.A.; Balbuena, A.; Cortés, R. Residents' Perceptions of Tourism Development in Benalmádena (Spain). *Tourism Management*. 2016, 54, 259–274. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2015.11.007>.
- Dyer, P.; Gursoy, D.; Sharma, B.; Carter, J. Structural Modeling of Resident Perceptions of Tourism and Associated Development on the Sunshine Coast, Australia. *Tourism management*. 2007, 28, 409–422. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.04.002>.
- Gursoy, D.; Ouyang, Z.; Nunkoo, R.; Wei, W. Residents' Impact Perceptions of and Attitudes towards Tourism Development: A Meta-Analysis. *Journal of Hospitality Marketing & Management*. 2019, 28, 306–333. doi: <https://doi.org/10.1080/19368623.2018.1516589>.
- Gursoy, D.; Rutherford, D.G. Host Attitudes toward Tourism: An Improved Structural Model. *Annals of Tourism Research*. 2004, 31, 495–516. doi: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2003.08.008>.
- Nunkoo, R.; Ramkissoon, H. Power, Trust, Social Exchange and Community Support. *Annals of tourism research*. 2012, 39, 997–1023, doi:<https://doi.org/10.1016/j.annals.2011.11.017>.
- Ogorelc, A. Residents' Perceptions of Tourism Impacts and Sustainable Tourism Development. *International Journal of Sustainable Economy*. 2009, 1, 373–387. doi: <https://doi.org/10.1504/IJSE.2009.024763>.
- Rasoolimanesh, S.M.; Ringle, C.M.; Jaafar, M.; Ramayah, T. Urban vs. Rural Destinations: Residents' Perceptions, Community Participation and Support for Tourism Development. *Tourism Management* 2017, 60, 147–158, doi:<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.11.0192017>.
- Stylidis, D.; Biran, A.; Sit, J.; Szivas, E.M., D., , A., , J., & , E. M. (2014). Residents' Support for Tourism Development: The Role of Residents' Place Image and Perceived Tourism Impacts. , 45, 260-274. *Tourism Management*. 2014, 45, 260–274. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.05.006>.
- Brunt, P.; Courtney, P. Host Perceptions of Sociocultural Impacts. *Annals of Tourism Research*. 1999, 26, 493–515. doi: [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(99\)00003-1](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(99)00003-1).
- Moraru, A.D.; Duhnea, C.; Barbulescu, A.; Juganaru, M.; Juganaru, I.D. Residents' Attitude toward Tourism—Do the Benefits Outweigh the Downsides? The Case of Constanta, Romania. *Sustainability*. 2021, 13, 882.2.doi: <https://doi.org/10.3390/su13020882>.
- Roongsaprangsee, C.; Piboonroongroj, P. Spatial Analysis of Perceived Logistics and Traffic Impacts from Chinese Tourist on Nimmanahaeminda Residents. *International Journal of Supply Chain Management*. 2016, 5, 61–67.
- Fennell, D.A. *Ecotourism*; Routledge: London, England, 2020;
- Jani, D. Residents' Perception of Tourism Impacts in Kilimanjaro: An Integration of the Social Exchange Theory. *Tourism: An International Interdisciplinary Journal*. 2018, 66, 148–160.
- Tsai, H.; Huang, W.J.; Li, Y. The Impact of Tourism Resources on Tourism Real Estate Value. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*. 2016, 21, 1114–1125. doi: <https://doi.org/10.1080/10941665.2015.1107602>.
- Lun, L.M.; Pechlaner, H.; Volgger, M. Rural Tourism Development in Mountain Regions: Identifying Success Factors, Challenges and Potentials. *Journal of Quality Assurance*

- in Hospitality & Tourism*. 2016, 17, 389–411. doi: <https://doi.org/10.1080/1528008X>.
25. Duglio, S.; Letey, M. The Role of a National Park in Classifying Mountain Tourism Destinations: An Exploratory Study of the Italian Western Alps. *Journal of Mountain Science*. 2019, 16, 1675–1690.
26. Magadán, M.; Rivas, J.I. Sustainable Tourism in Mountain Protected Areas of Asturias: An Analysis from Tourists' perceptions and Profiles. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, 11, 459–474. doi: <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2019-11-4-459-474>.
27. Ko, D.W.; Stewart, W.P. A Structural Equation Model of Residents' Attitudes for Tourism Development. *Tourism Management*. 2002, 26, 521–530. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2003.12.003>.
28. Ko, T.G. Development of a Tourism Sustainability Assessment Procedure: A Conceptual Approach. *Tourism Management*. 2005, 26, 431–445. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2003.12.003>.
29. Gordon, J. Geoheritage, Geotourism and the Cultural Landscape: Enhancing the Visitor Experience and Promoting Geoconservation. *Geosciences*. 2018, 8, 1–25. doi: <https://doi.org/10.3390/geosciences8040136>.
30. Adamov, T.; Ciolac, R.; Iancu, T.; Brad, I.; Peț, E.; Popescu, G.; Șmuleac, L. Sustainability of Agritourism Activity. Initiatives and Challenges in Romanian Mountain Rural Regions. *Sustainability*. 2020, 12, 2502. doi: <https://doi.org/10.3390/su12062502>.
31. Knowd, I. Tourism as a Mechanism for Farm Survival. *Journal of Sustainable Tourism*. 2006, 14, 24–42. doi: <https://doi.org/10.1080/09669580608668589>.
32. Sidali, K.L.; Huber, D.; Schamel, G. Long-Term Sustainable Development of Tourism in South Tyrol: An Analysis of Tourists' Perception. *Sustainability*. 2017, 9, 1–9. doi: <https://doi.org/10.3390/su9101791>.
33. Bonadonna, A.; Giachino, C.; Truant, E. Sustainability and Mountain Tourism: The Millennial's Perspective. *Sustainability* 2017, 9, 1219, doi: <https://doi.org/10.3390/su9071219>.
34. Mihalic, T. Sustainable-Responsible Tourism Discourse—Towards 'Responsustainable' Tourism. *Journal of Cleaner Production*. 2016, 111, 461–470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.062>.
35. Demirović, D.; Radovanović, M.; Petrović, M.D.; Cimbalević, M.; Vuksanović, N.; Vuković, D.B. Environmental and Community Stability of a Mountain Destination: An Analysis of Residents' Perception. *Sustainability*. 2018, 10, 70. doi: <https://doi.org/10.3390/su10010070>.
36. Giannakopoulou, S.; Kaliampakos, D. Protection of Architectural Heritage: Attitudes of Local Residents and Visitors in Sirako, Greece. *Journal of Mountain Science*. 2016, 13, 424–439. doi: <https://doi.org/10.1007/s11629-015-3482-1>.
37. Kim, B.; Kim, S.; King, B. Religious Tourism Studies: Evolution, Progress, and Future Prospects. *Tourism Recreation Research*. 2020, 45, 185–203. doi: <https://doi.org/10.1080/02508281.2019.1664084>.
38. Griffin, K.; Raj, R. The Importance of Religious Tourism and Pilgrimage: Reflecting on Definitions, Motives and Data. *The International Journal of Religious Tourism and Pilgrimage*. 2018, 5, 2–9. doi: <https://doi.org/10.21427/D7242Z>.
39. Magadán, M.; Rivas, J.I. The Socioeconomic Impacts of the St James' Primitive Way in Asturias: Residents' Perceptions. *Revista Galega de Economía*. 2021, 30, 1–25. doi: <https://doi.org/10.15304/rge.30.3.7532>.
40. Martin, C. The Impacts of Tourism on the Camino de Santiago Frances: A Qualitative Approach. *Methadods. Revista de Ciencias Sociales* 2017, 5, 62–73. doi: <http://dx.doi.org/10.17502/m.rcs.v5i1.155>.
41. Somoza, X.; Lois, R.C. Spatial Planning and Planning Strategies in the World Heritage Ways of Santiago. *Investigaciones Geográficas*. 2017, 68, 47–63. doi: <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.03>.
42. Prozano, R.N. Residents' Perceptions of Socio-Economic Impacts on Pilgrimage Trails: How Does the Community Perceive Pilgrimage Tourism? *Asian Journal of Tourism Research*. 2018, 3, 148–178. doi: <https://www.doi.org/10.12982/AJTR.2018.0014>.
43. Vargas, A.; Plaza, M.; Porras, N. Understanding Residents' Attitudes toward the Development of Industrial Tourism in a Former Mining Community. *Journal of Travel Research*. 2009, 47, 373–387. doi: <https://doi.org/10.1177/0047287508322783>.
44. Pickens, J. *Attitudes and Perceptions*. In *Organizational Behavior in Health Care*; Jones and Bartlett Publishers: Sudbury, MA, USA, 2005.
45. Bonnes, M.; Lee, T.; Bonaiuto, M. *Psychological Theories for Environmental Issues*; Ashgate Publishing, Ltd.: Burlington, VT, USA, 2003.
46. Jordan, E.J.; Spencer, D.M.; Prayag, G. Tourism Impacts, Emotions and Stress. *Annals of Tourism Research*. 2019, 213–226. doi: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2019.01.011>.
47. Cottrell, S.; Van der Duim, R.; Ankersmid, P.; Kelder, L. Measuring the Sustainability of Tourism in Manuel Antonio and Texel: A Tourist Perspective. *Journal of Sustainable Tourism*. 2004, 12, 409–431. doi: <https://doi.org/10.1080/09669580408667247>.
48. Snaith, T.; Haley, A. Residents' Opinions of Tourism Development in the Historic City of York, England. *Tourism Management*. 1999, 20, 595–60. doi: [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(99\)00030-8](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(99)00030-8).
49. Upchurch, R.S.; Teivane, U. Resident Perceptions of Tourism Development in Riga, Latvia. *Tourism Management*. 2000, 21, 499–507. doi: [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(99\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(99)00104-1).
50. Jurowski, C.; Uysal, M.; Williams, D.R. A Theoretical Analysis of Host Community Resident Reactions to Tourism. *Journal of Travel Research*. 1997, 36, 3–11.
51. Brida, J.C.; Disegna, M.; Osti, L. Residents' Perceptions of Tourism Impacts and Attitudes towards Tourism Policies. *Tourismos: an International Multidisciplinary Journal of Tourism*. 2014, 9, 37–71.
52. Korça, P. Resident Perceptions of Tourism in a Resort Town. *Leisure Sciences*. 1998, 20, 193–212. doi: <https://doi.org/10.1080/01490409809512280>.
53. Robinson, D.; Newman, S.P.; Stead, S.M. Community Perceptions Link Environmental Decline to Reduced Support for Tourism Development in Small Island States: A Case Study in the Turks and Caicos Islands. *Marine Policy*. 2019, 108, 103671. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103671>.
54. McGehee, N.; Andereck, K.L. Factors Predicting Rural Residents' Support for Tourism. *Journal of Travel Research*. 2014, 43, 131–140. doi: <https://doi.org/10.1177/0047287504268234>.
55. Bestard, A.B.; Nadal, J.R. Modelling Environmental Attitudes toward Tourism. *Tourism Management*. 2007, 28, 688–

695. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2006.04.004>.

56. Remmers, R.H.; Diener, A.C. Local Perceptions of Tourism's Effects in Russia's Altai Republic. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, 3, 327–338. doi: <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-3-327-338>.

57. Daskin, M.; Tiril, A.; Bozkurt, A. Coastal Tourism Development in Sinop as an Emerging Rural Destination: A Preliminary Study from the Residents' Perspective. *Tourism & Management Studies*. 2020, 16, 16–25. doi: <https://doi.org/10.18089/tms.2020.160202>.

58. King, B.; Pizam, A.; Milman, A. Social Impacts of Tourism: Host Perceptions. *Annals of Tourism Research*. 1993, 20, 650–665. doi: [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(93\)90089-L](https://doi.org/10.1016/0160-7383(93)90089-L).

59. Monterrubio, J.C.; Josiam, B.M.; Sosa, A.P. Spring Break's Social Impacts and Residents' Attitudes in Cancún, México: A Qualitative Approach. *International Journal of Tourism Anthropology*. 2015, 4, 145–161.

60. Escudero, L.A. Perceptions and Opinions of the Host Community Regarding Overtourism in the Tourist-Historic City: A Case Study in Toledo (Spain). *Handbook of Research on the Impacts, Challenges, and Policy Responses to Overtourism*. 2020, 325–345.

61. McCool, S.F.; Lime, D.W. Tourism Carrying Capacity: Tempting Fantasy or Useful Reality? *Journal of Sustainable Tourism*. 2001, 9, 372–388. doi: <https://doi.org/10.1080/09669580108667409>.

62. Cavus, S.M.; Tanrisevdi, A. Residents' Attitudes toward Tourism Development: A Case Study in Kusadasi, Turkey. *Tourism Analysis*. 2003, 7, 259–269. doi: <https://doi.org/10.3727/108354203108750102>.

63. Zerva, K.; Palou, S.; Blasco, D.; Benito, J.A. Tourism-Philia versus Tourism-Phobia: Residents and Destination Management Organization's Publicly Expressed Tourism Perceptions in Barcelona. *Tourism Geographies*. 2019. doi: <https://doi.org/10.1080/14616688.2018.1522510>.

64. Johnson, J.; Snepenger, D.; Akis, S. Residents' Perceptions of Tourism Development. *Annals of Tourism Research*. 1994, 21, 629–642.

65. Liu, J.C.; Var, T. Resident's Attitudes toward Tourism Impacts In Hawaii. *Annals of Tourism Research*. 1986, 13, 193–214. doi: [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(86\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0160-7383(86)90037-X).

66. Haralambopoulos, N.; Pizam, A. Perceived Impacts of Tourism: The Case of Samos. *Annals of Tourism Research*. 1996, 23, 503–526. doi: [https://doi.org/10.1016/0160-7383\(95\)00075-5](https://doi.org/10.1016/0160-7383(95)00075-5).

67. González, R.; Gascó, J.; Llopis, J. Local Residents' Per-

ception about Tourism and Foreign Residents: A Spanish Case Study. *Psychology & Marketing*. 2019, 36, 1098–1108. doi: <https://doi.org/10.1002/mar.21259>.

68. Tovar, C.; Lockwood, M. Social Impacts of Tourism: An Australian Regional Case Study. *International Journal of Tourism Research*. 2008, 10, 365–378. doi: <https://doi.org/10.1002/jtr.667>.

69. Ap, J.; Crompton, J.L. Developing and Testing a Tourism Impact Scale. *Journal of Travel Research*. 1998, 37, 120–130. doi: <https://doi.org/10.1177/004728759803700203>.

70. Cobbinah, P.B.; Black, R.; Thwaites, R. Tourism Planning in Developing Countries: Review of Concepts and Sustainability Issues. *International Journal of Social, Human Science and Engineering*. 2013, 7, 211–218.

71. Wang, Y.; Pfister, R.E. Residents' Attitudes toward Tourism and Perceived Personal Benefits in a Rural Community. *Journal of Travel Research*. 2008, 47, 84–93. doi: <https://doi.org/10.1177/0047287507312402>.

72. Alrwajfah, M.M.; Almeida, F.; Cortés, R. Residents' Perceptions and Satisfaction toward Tourism Development: A Case Study of Petra Region, Jordan. *Sustainability*. 2019, 11, 1907. doi: <https://doi.org/10.3390/su11071907>.

73. Mason, P.; Cheyne, J. Residents' Attitudes to Proposed Tourism Development. *Annals of Tourism Research*. 2000, 27, 391–411. doi: [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(99\)00084-5](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(99)00084-5).

74. Wan, Y.K.; Li, X. Sustainability of Tourism Development in Macao, China. *International Journal of Tourism Research*. 2013, 15, 52–65. doi: <https://doi.org/10.1002/jtr.873>.

75. Cronbach, L.J. Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*. 1951, 16, 297–334.

76. Srivastava, V.K.; Giles, D.E.A. *Seemingly Unrelated Regression Equations Models: Estimation and Inference*; CRC Press: Cleveland, OH, USA, 2020.

77. Zellner, A., A. (1962). An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias. n, 57(298), 348–368. *Journal of the American statistical Associatio*. 1962, 57, 348–368.

78. Breusch, T.S.; Pagan, A.R. The Lagrange Multiplier Test and Its Applications to Model Specification in Econometrics. *The review of economic studies*. 1980, 47, 239–253.

79. Moon, H.R.; Perron, B. Efficient Estimation of the Seemingly Unrelated Regression Cointegration Model and Testing for Purchasing Power Parity. *Econometric Reviews*. 2005, 23, 293–323. doi: <https://doi.org/10.1081/ETC-200040777>.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS



Marta MAGADÁN-DÍAZ – Senior Lecturer in Business Administration at the International University of La Rioja (UNIR), Logroño, Spain.
+34 941 210 211
marta.magadan@unir.net
<https://orcid.org/0000-0003-3178-3215>
WoS Researcher ID: M-8061-2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Марта МАГАДАН-ДИАС – старший преподаватель делового администрирования.
Международный университет Ла-Риохи, Логроньо, Испания.
+34 941-210-211
marta.magadan@unir.net
<https://orcid.org/0000-0003-3178-3215>
WoS Researcher ID: M-8061-2018



JESÚS Rivas-García – Senior Lecturer in Applied Economics at the International University of La Rioja (UNIR), Logroño, Spain.
+34 941 210 211
jesus.rivas@unir.net
<https://orcid.org/0000-0003-0576-5961>
WoS Researcher ID: C-1625-2019

ХЕСУС Ривас-Гарсия – старший преподаватель прикладной экономики.
Международный университет Ла-Риоха, Логроньо, Испания.
+34 941 210 211
jesus.rivas@unir.net
<https://orcid.org/0000-0003-0576-5961>
WoS Researcher ID: C-1625-2019

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Оригинальная статья

УДК 622.34:622. (502.3/7)(504.4:622)

DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-68-75

Перспективное направление восстановления потенциала Садона (РСО-Алания)

Владимир И. Голик^{1,2}¹Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Владикавказ, Россия, v.i.golik@mail.ru²Московский политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация. Обоснованы пути реанимации утраченного потенциала горных предприятий на основе использования некондиционного сырья для получения металлов и товарной продукции. Установлено, что восстановление потенциала месторождений Садонского рудного узла зависит от освоения технологий извлечения металлов из бедных руд и отходов обогащения выщелачиванием. Определено, что конструирование ресурсосберегающих технологий может быть осуществлено на основе результатов выполненных исследований и опыта применения инновационных способов переработки бедного металлосодержащего минерального сырья.

Ключевые слова: месторождение, подземная разработка, технология, ресурсосбережение, концепция разработки, выщелачивание, дезинтегратор.

Для цитирования: Голик В.И. Перспективное направление восстановления потенциала Садона // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 68–75. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-68-75.

Получена редакцией 25.07.2021; получена после рецензии 28.08.2021; принята к печати 06.09.2021.

Original article

Promising direction of Sadon 's potential recovery (RNO-Alania)

Vladimir I. Golik^{1,2}¹Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, v.i.golik@mail.ru²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Abstract. The restoration of the former potential of the deposits of the Sadonsky ore node depends on the success of extracting metals from poor ores and leaching waste with environmental improvement. The modernization of technology for the development of existing reserves of deposits is carried out on the basis of the results of the performed research.

Report. The relevance of the work is explained by the need to restore the industrial potential of a large location lost during the crisis.

The purpose of the work. Substantiation of the possibility of resuscitation of the lost potential of mining enterprises based on the use of substandard raw materials for the production of metals and commercial products.

Research methods: systematization, generalization and analysis of theoretical and experimental studies performed at the fields under consideration.

Results. The concept of environmental protection and resource-saving technology for the development of deposits of the Sadonsky ore belt has been formed. The results of the study of ways to optimize the technology of development of rock ore deposits are given. The fundamentals of a combined technology for the development of substandard reserves with an increase in the completeness of the use of mineral resources on a scientific basis are formulated. Recommendations are given for the design of technologies for underground mining of ore deposits of the type under consideration, optimized according to the criteria determined by modeling. An assessment of the resource potential of mining and metallurgical waste and recommendations for the development of the best available technologies for activating the components of concrete mixtures for the manufacture of goods is given. The results of the study of the processes of extraction of metals from ores and man-made raw materials, including using mechanochemical technology of extraction of metals in a disintegrator and combined technologies of processing of non-conditioned ores and waste of their enrichment are presented.

Keywords: deposit, underground mining, technology, resource conservation, development concept, leaching, disintegrator.

For citation: Golik V. I. Promising direction of Sadon's potential recovery (RNO-Alania). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):68-75. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-68-75.

Received by the editors 25.07.2021; received after the review 28.08.2021; accepted for printing 06.09.2021.

© В.И.Голик, 2022.

Введение

Концентрация горной массы на обогатительных фабриках методами разделения в тяжелых средах, сухой магнитной сепарации позволяет удалить часть примесей, повысить содержание ценных компонентов и снизить объемы отходов, но не обеспечивает безотходности переработки [1–3].

Металлосодержащие некондиционные руды и хвосты переработки формируют в зоне деятельности горных предприятий техногенные ландшафты с повышенным уровнем экологических рисков, где векторы экзоморфодинамических процессов определяются параметрами перемещения мобильных фракций металлических минералов [4–6].

Поведение техногенных систем с неоднородными гетерогенными средами объясняется теорией атмосферной и гидрологической дисперсии, с позиций которой, например, катастрофический сход ледника Колка в РСО-Алания, можно объяснить влиянием техногенного явления – горного удара на Садонском руднике с объемом пустот 5 млн. м³, а участки месторождения и ложе ледника связаны геологическими структурами.

Наилучшие доступные технологии добычи и переработки руд включают в себя: извлечение руд с разделением горной массы на узкие природные сорта с селективной дезинтеграцией и вскрытием минеральных ассоциаций путем энергетического воздействия; применение ядерно-физических методов контроля и предварительного обогащения; извлечение тонкодисперсных частиц металлов с использованием интенсивных аппаратов и процессов; сочетание способов обогащения и гидрометаллургических процессов; комплексную переработку отходов горного и обогатительного переделов.

Вопросы утилизации отходов горно-металлургического производства со снижением энергоёмкости технологического процесса приготовления твердеющей смеси формируют важную научную и практическую задачу [7–9].

Радикальной мерой снижения опасности хранения хвостов переработки является безотходная утилизация хвостов, потому что прочие мероприятия не только неэффективны, но и создают условия для развития неуправляемых синергетических процессов [10–13].

Новейший компонент технологии – активация вещества большой механической энергией основывается на том, что частицы вещества при получении ударов со скоростью 250 м/с обретают новые технологические свойства. Дезинтеграторы-активаторы являются элементом технологических линий.

Кучное выщелачивание металлов применяют, чаще всего, как возможность утилизации хвостов сортировки и обогащения. На Казахском место-

рождении Маныбай более 30 лет перерабатывали хвосты обогащения урановых руд в куче объемом 1,5 млн. тонн [1]. В Узбекистане золото выщелачивают из хвостов переработки руд месторождения Мурунтау [2].

Выщелачивание металлов с повышением активности реагирующих веществ позволяет получать металлы большей чистоты, что имеет значение для дальнейшего их использования в технологических процессах [14–16].

Скорость и направление экзоморфодинамических процессов в горнодобывающем регионе определяются параметрами перемещения мобильных фракций металлических минералов.

Известные меры снижения загрязнения металлами не устраняют контакта металлосодержащих отходов с экосистемами окружающей среды, примером чего является захоронение хвостов переработки урановых руд месторождений группы «Висмут» в ФРГ, где процессы природного выщелачивания продолжаются и в подземном хранилище [3].

Цель исследования

Обоснование целесообразности извлечения металлов из некондиционного сырья и снижение темпов химического загрязнения окружающей среды продуктами природного выщелачивания путем замены процессов неуправляемого природного выщелачивания процессами с управляемым выщелачиванием в контролируемом рабочем пространстве.

Методы исследования

Анализ данных многолетних мониторинговых исследований состояния загрязненности объектов деятельности добывающих и перерабатывающих предприятий и здоровья населения.

Исследования состава и свойств хвостов обогащения руд с использованием известных методик.

Исследование параметров выщелачивания металлов из руд и хвостов обогащения с установлением аналитических закономерностей методом трехмерной интерполяции.

Экспериментальное определение параметров механоактивации процесса выщелачивания металлов и прочности бетонов на основе вторичных хвостов.

Оценка вариантов технологии выщелачивания металлов из минерального сырья методом математического планирования по плану Венкена–Бокса.

Экспериментальное извлечение металлов выщелачиванием в дезинтеграторе с получением регрессионных уравнений и созданием физико-математических моделей.

Для оценки технологий использованы данные об условиях и показателях разработки первого этапа эксплуатации месторождения, результаты экспериментов и метод прогнозирования перспектив совер-

шенствования технологий методом экспертных оценок.

Основным методом доказательства является экспериментальное обоснование возможности выщелачивания металлов из минеральных отходов с использованием дезинтегратора ДУ-11, изготовленного в Центре Прикладной Механохимии «Гефест».

Результаты исследования

Загрязнение региона РСО-Алания тяжелыми металлами в результате деятельности Садонского комбината является причиной металло-индуцированной токсичности с генерацией заболеваемости населения.

Несмотря на полное прекращение добычи руд на рудниках Садона загрязнение почв и воды продуктами природного выщелачивания хвостов общим объемом 10 млн. т превышает допустимые значения на 2 порядка. Вредное воздействие тяжелых металлов на организм человека возрастает на фоне глубокого йододефицита также больше техногенного происхождения. Усилению токсического действия вредных выбросов горных предприятий способствуют орографические и климатические условия региона. На один гектар земли РСО-Алания приходится почти 5000 г свинца, в то время, как в Ставрополе – 50, а в Омске – 7 г. Алагирский район РСО-Алания в среде других районов республики занимает первое место по болезням нервной системы, второе место – органов дыхания, третье место – органов пищеварения.

Проблема химизации экосистем может быть решена утилизацией промышленных отходов. Все известные технологии переработки хвостов обогащения и металлургии обязательно образуют вторичные хвосты, снижая загрязненность, но не ликвидируя опасности в целом. Это еще больше усложняет дальнейшую очистку хвостов от солей и металлов.

Хвосты обогащения полиметаллических руд Садонских месторождений характеризуются составом, %: SiO_2 – 31,4; Fe – 4,4; CaO – 1,96; S – 1,88; Ag – 0,015; Cu – 0,18; Mn – 0,015; K_2O – 3,5; Al_2O_3 – 0,8; TiO_2 – 0,03; Zn – 0,95; Pb – 0,84.

Методом трехмерной интерполяции для исследования влияния выщелачивания в течение 0,25 ч установлена аналитическая зависимость степени извлечения цинка из хвостов обогащения от параметров выщелачиваемого раствора, имеющая вид полиномиальной поверхности (коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,975$):

$$Zn = \frac{(23,66 - 51,63 \cdot SO + 57,45 \cdot SO^2 + 6,45 \cdot Cl - Cl^2 + 0,04 \cdot Cl^3)}{(1 - 4,33 \cdot SO + 8,62 \cdot SO^2 - 5,12 \cdot SO^3 + 0,01 \cdot Cl)} \quad (1)$$

где Zn – извлечение цинка из хвостов обогащения;

SO – концентрация H_2SO_4 в пульпе;

Cl – концентрация NaCl в пульпе (рис. 1).

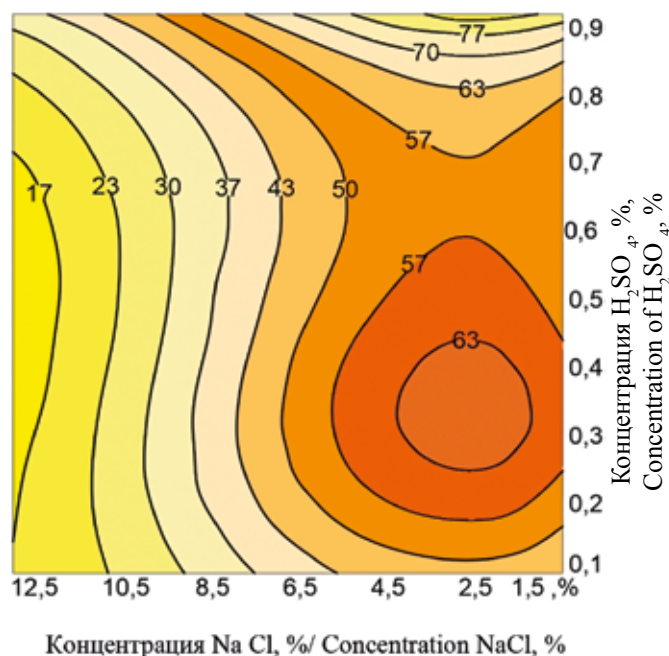


Рис. 1. Извлечение цинка при изменении параметров выщелачиваемого раствора в течение 0,25 ч

Fig. 1. Extraction of zinc when changing the parameters of the leached solution for 0.25 h

Из рис. 1 следует, что при продолжительности выщелачивания 0,25 ч уменьшение концентрации NaCl с 12,5 до 1,5 % (доля в пульпе) при 0,1 % H_2SO_4 (доля в пульпе) увеличивает извлечение цинка с 17 до 43 %; а при 0,9 % H_2SO_4 – увеличивает извлечение цинка с 37 до 83 %. Увеличение концентрации H_2SO_4 с 0,1 до 0,9 % при значении H_2SO_4 , равном 1,5 %, приводит к росту доли извлечения цинка с 50 до 83 % (на 66 %) с образованием локального максимума (63 % Zn) в диапазоне от 0,3 до 0,4 %; а при значении H_2SO_4 , равном 12,5%, прослеживается стабильность у доли извлечения цинка в 17 % (от 0,1 до 0,7 % концентрации NaCl), сменяющаяся резким ростом до 37 %.

Если время базового агитационного выщелачивания составляет 25 мин, то степень извлечения цинка неравномерно увеличивается по полиномиальной зависимости с уменьшением концентрации NaCl и увеличением концентрации H_2SO_4 в пульпе.

В результате исследований влияния времени выщелачивания 0,625 ч на процесс найдена аналитическая зависимость степени извлечения цинка из хвостов обогащения с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0,988$:

$$Zn = \frac{(44,43 + 131,73 \cdot S - 185,16 \cdot S^2 + 72,77 \cdot S^3 - 9,01 \cdot Cl + 0,39 \cdot Cl^2)}{(1 - 0,14 \cdot S - 0,04 \cdot Cl)} \quad (2)$$

Проекция полиномиальной функции 4 на ось H_2SO_4 –NaCl аппроксимируется номограммой (рис. 2).

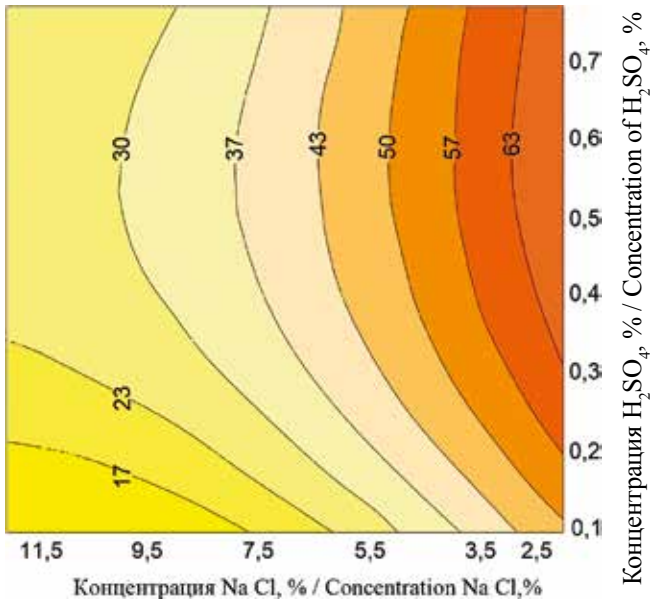


Рис. 2. Распределение степени извлечения цинка при изменении параметров выщелачиваемого раствора в течение 0,625 ч

Fig. 2. Distribution of the degree of zinc extraction when the parameters of the leached solution change during 0.625 h

Если время агитационного выщелачивания составляет 625 мин, то извлечение цинка равномерно увеличивается по полиномиальной зависимости с уменьшением концентрации NaCl и увеличением концентрации H_2SO_4 в пульпе.

В результате исследований влияния времени выщелачивания 1 ч на эффективность процесса найдена аналитическая зависимость степени извлечения цинка из хвостов обогащения при достоверности аппроксимации $R^2 = 0,99$ (рис. 3).

$$Zn = 21,20 + 351,76 \cdot S - 7,76 \cdot Cl - 393,85 \cdot S^2 - 0,58 \cdot Cl^2 - 17,64 \cdot S \cdot Cl + 55,20 \cdot S^3 - 0,15S \cdot Cl^2 + 19,68 \cdot S^2 \cdot Cl \quad (3)$$

Зависимость извлечения цинка от параметров раствора при выщелачивании в течение 1 часа представлена на рис. 3.

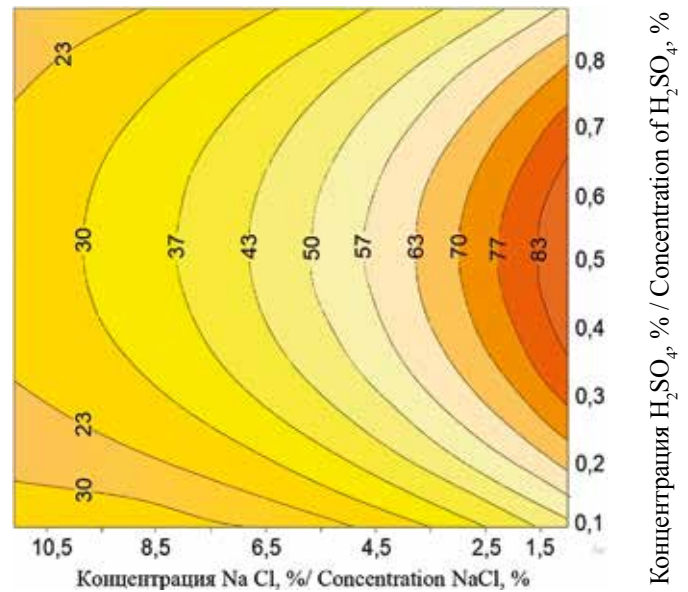


Рис. 3. Извлечение цинка при изменении параметров раствора при выщелачивании в течение 1 часа

Fig. 3. Extraction of zinc when changing the parameters of the solution during leaching for 1 hour

Показатели прочности смеси с цементом при различном варианте активации бетонных смесей приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что в процессе выщелачивания металлов активация в дезинтеграторе повышает прочность бетонных смесей.

Та же закономерность прослеживается и при изготовлении бесцементных смесей на основе вторичных хвостов, как в качестве заполнителя, так и в качестве вяжущего (табл. 2).

Вовлечение в производство некондиционных минеральных ресурсов уменьшает необходимость разведки и освоения новых месторождений. При выборе технологии выщелачивания металлов из минерального сырья варианты сравниваются с использовани-

Таблица 1 / Table 1

Прочность смеси с цементом
Strength of the mixture with cement

Вариант активации <i>Activation option</i>	Прочность, МПа <i>Strength, MPa,</i>		
	время, с / <i>time, s</i>		
	7	14	28
Агитационное выщелачивание <i>Agitation leaching</i>	1.11	1.15	1.21
Агитационное выщелачивание после механической активации <i>Agitation leaching after mechanical activation</i>	1.17	1.28	1.33
Однократное выщелачивание в дезинтеграторе <i>Single leaching in the disintegrator</i>	0.67	0.75	0.90
Агитационное выщелачивание после выщелачивания в дезинтеграторе <i>Agitation leaching after leaching in the disintegrator</i>	0.70	0.75	0.96
Трехкратное выщелачивание в дезинтеграторе <i>Triple leaching in the disintegrator</i>	1.11	1.18	1.30

Примечание: состав смеси, кг/м³: хвосты – 1445, цемент – 10, вода – 380.

Note: the composition of the mixture, kg/m³: tails – 1445, cement – 10, water – 380.

Прочность смеси без цемента
Strength of the mixture without cement

Вариант активации / <i>Activation option</i>	Прочность, МПа / <i>Strength, MPa</i>		
	время, с / <i>time, s</i>		
	7	14	28
Агитационное выщелачивание <i>Agitation leaching</i>	0.61	0.83	1.00
Агитационное выщелачивание после механической активации <i>Agitation leaching after mechanical activation</i>	0.84	0.94	1.13
Однократное выщелачивание в дезинтеграторе <i>Single leaching in the disintegrator</i>	0.59	0.68	0.79
Агитационное выщелачивание после выщелачивания в дезинтеграторе <i>Agitation leaching after leaching in the disintegrator</i>	0.65	0.74	0.81

Примечание: состав смеси, кг/м³: хвосты – 1445, цемент – 10, вода – 380.

Note: composition of the mixture, kg/m³: tails – 1445, cement – 10, water – 380.

ем математического планирования по плану Венкена–Бокса. Извлечение металлов из руд исследуется в сериях 1, 2, 3, а извлечение из хвостов – в сериях 4, 5, 6. Результаты извлечения металлов в раствор по сериям приведены в табл. 3.

Полученные результаты позволяют утверждать:

1. Выщелачивание металлов после активации сырья в дезинтеграторе увеличивает извлечение:

– из хвостов обогащения: по свинцу – в 1,4 раза, по цинку – в 1,1 раза;

– из руды: по свинцу – в 1,6 раза, по цинку – в 2,1 раза;

– выщелачивание металлов в дезинтеграторе обеспечивает примерно такое же извлечение, но делает это существенно быстрее.

2. Сравнимое извлечение металлов в дезинтеграторе достигается в течение первых секунд, в то время как продолжительность раздельного выщелачивания изменяется от 15 до 60 минут, т.е. на 2 порядка больше.

3. Извлечение металлов повышается с увеличением циклов переработки сырья в рабочем органе дезинтегратора.

Параметры выщелачивания руд:

– содержание H₂SO₄ – 6 г/дм³;

– содержание NaCl – 90 г/ дм³;

– соотношение жидкого и твердого – 7;

– время выщелачивания – 0,625 ч;

– скорость вращения роторов – 125 Гц.

Извлечение металлов в раствор в зависимости от концентрации серной кислоты интерпретируется рис. 4.

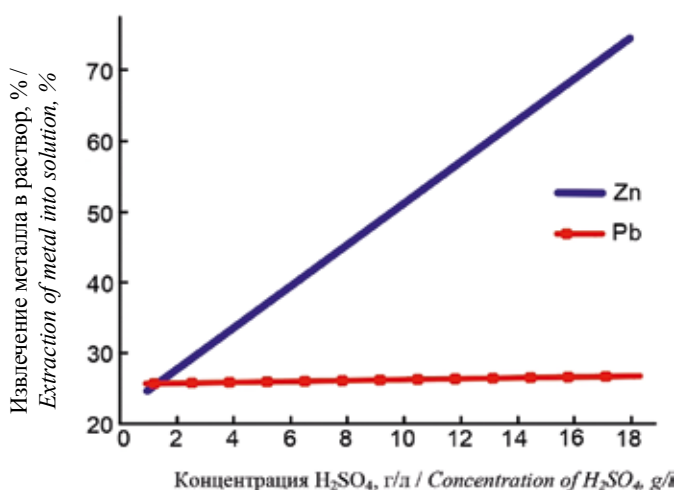


Рис. 4. Параметры извлечения металлов серной кислотой
Fig. 4. Parameters of metal extraction by sulfuric acid

Таблица 3 / Table 3

Результаты извлечения металлов в раствор
Results of extraction of metals into solution

Серия <i>Series</i>	Свинец, % <i>Lead, %</i>	Цинк, % <i>Zinc, %</i>
Руда / Ore		
1-я	24.71	39.00
2-я	33.86	44.44
3-я	35.70	46.13
Хвосты обогащения / Enrichment Tails		
4-я	13.17	10.34
5-я	21.56	21.63
6-я	21.58	21.90

Очевидно резкое различие извлечения в раствор свинца (25–28 %) и цинка (25–80 %) при равной концентрации кислоты.

Параметры извлечения металлов хлоридом натрия интерпретируются рис. 5.

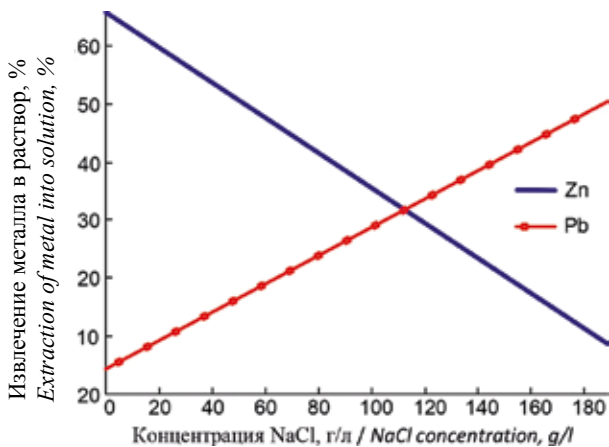


Рис. 5. Параметры извлечения металлов хлоридом натрия
Fig. 5. Parameters of metal extraction by sodium chloride

Извлечение свинца и цинка в раствор хлоридом натрия характеризуется асимметрией графиков с пересечением в области значений 120 г/дм³.

Параметры извлечения металлов в зависимости от соотношения жидкого и твердого вещества интерпретируются графиком на рис. 6.

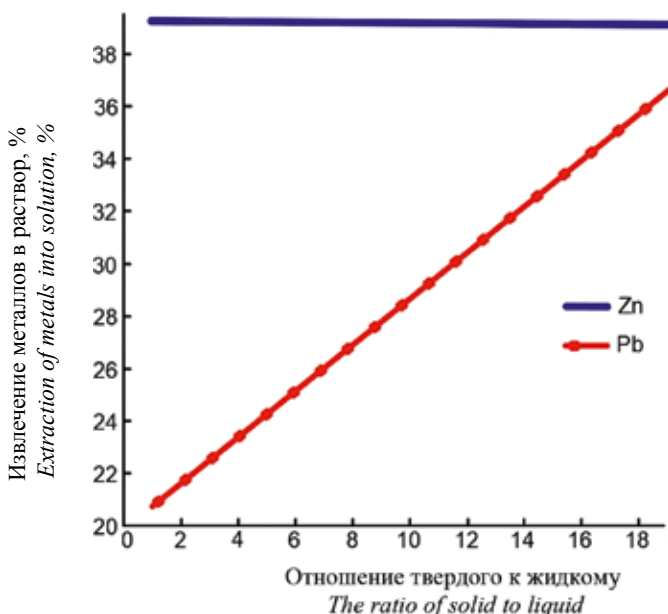


Рис. 6. Параметры извлечения металлов в зависимости от соотношения жидкого и твердого вещества

Fig. 6. Parameters of metal extraction depending on the ratio of liquid and solid

Соотношение жидкого и твердого вещества поразному влияет на извлечение металлов в раствор (рис. 7).

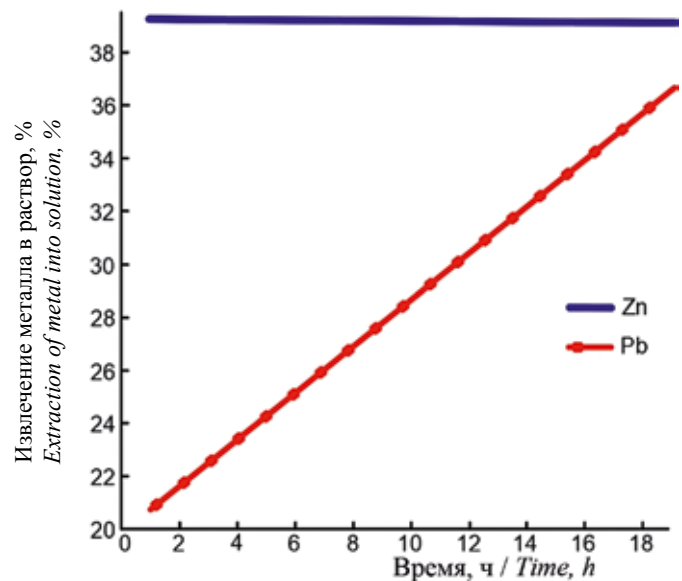


Рис. 7. Параметры извлечения металлов в зависимости от времени

Fig. 7. Parameters of metal extraction depending on time

Выщелачивание в дезинтеграторе увеличивает извлечение металлов в раствор и сокращает продолжительность переработки до уровня санитарных требований.

Возможностями извлечения металлов из металлосодержащего сырья располагают технологии с выщелачиванием, область применения которых пока ограничивается продолжительностью процесса и сложностью контроля процесса.

В ходе лабораторных экспериментов извлечения металлов из руд Садонского месторождения выщелачиванием в дезинтеграторах получены регрессионные уравнения вариантов выщелачивания, которые позволили сформулировать универсальную физико-математическую модель.

Технология радикального извлечения металлов из металлосодержащих отходов может быть положена в основу ресурсосберегающего и природоохранного производства на горных предприятиях Садона.

Результаты исследования согласуются с выводами российских и зарубежных специалистов в данной отрасли [17–21].

Выводы

Перспективным направлением восстановления утерянного потенциала Садона может быть технология выщелачивания металлов из некондиционного для традиционных технологий сырья в подземных блоках, кучах и дезинтеграторе.

Восстановление производства на депрессивных предприятиях за счет извлечения металлов из некондиционного сырья и снижение темпов химического загрязнения окружающей среды продуктами природного выщелачивания может быть осуществлено путем замены неуправляемого природного выщелачивания управляемым выщелачиванием в контролируемом рабочем пространстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дребенштедт К., Голик В.И., Дмитрак Ю.В. Перспективы диверсификации технологии добычи металлов в РСО-Алания // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. N 1 (35). С. 125–131.
2. Воробьев А.Е., Голик В.И., Пагиев К.Х., Цирихова Э.М., Котенко Е.А., Шестаков В.А., Исаев К.С. Научно-технологические аспекты добычи и переработки руд. Владикавказ, 1998.
3. Maedeh Tayebi-Khorami, Mansour Edraki, Glen Corder and Artem Golev. Re-Thinking Mining Waste Through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations // Minerals. 2019. Vol. 9. Pp. 1–13.
4. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Комащенко В.И., Разоренов Ю.И. Экологические аспекты хранения хвостов обогащения руд в горном регионе // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. N 6. С. 35–39.
5. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2016. Vol. 37. No. 2. Pp. 73–119
6. Валиев Н.Г., Пропп В.Д., Вандышев А.М. Кафедре горного дела УГТУ - 100 лет // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2020. N 8. С. 130–143.
7. Душин А.В., Валиев Н.Г., Лагунова Ю.А., Шорин А.Г. Уральский горный и московский горный: взаимодействие вузов // Горный журнал. 2018. N 4. С. 4–10.
8. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В. Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Джеб-казганского месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11. N 3 (41). С. 321–330.
9. Li G., Zhou Q., Zhu Z., Luo J., Rao M., Peng Z., Jiang T. Selective leaching of nickel and cobalt from limonitic laterite using phosphoric acid: An alternative for value-added processing of laterite // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 189. pp. 620–626.
10. Комащенко В.И., Мартынов В.Г., Исмаилов Т.Т. Технология взрывных работ. Учебное пособие. 2-е изд., пер. и доп. Москва, 2022.
11. Комащенко В.И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. N 4. С. 23–30.
12. Хулелидзе К.К., Кондратьев Ю.И., Заалишвили В.Б., Бетров З.С. Оценка коренных и техногенных месторождений РСО-Алания как возможных объектов применения технологии подземного и кучного выщелачивания // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. Т. 8. N 1. С. 46–51.
13. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А. В., Гаврина О.А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. N2. С. 283–290.
14. Иванов С.А., Ниткин М.Н., Шарипзянова Г.Х. Изучение влияния природы наноразмерных частиц и способа смешивания на механические свойства порошковой легированной стали пк70х3 // Нанотехнологии: наука и производство. 2015. N 6. С. 36.
15. Панов В.С., Еремеева Ж.В., Шарипзянова Г.Х., Скориков Р.А., Михеев Г.В., Агеев Е.В. Влияние природы наноразмерных частиц и способа смешивания на трибологические свойства порошковой стали 70п // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. N 6 (57). С. 8–14.
- Петров Ю.С., Хадзарагова Е.А., Соколов А.А., Шарипзянова Г.Х., Таскин А.В. 16. Основные принципы получения, передачи и хранения информации о параметрах техногенного цикла горно-металлургического предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. N 11-1. С. 178–188.
17. Габараев О.З., Дмитрак Ю.В., Дребенштедт К., Савелков В.И. Закономерности взаимодействия разрушенных геоматериалов и рудовмещающего массива при отработке подработанных вкрапленных руд // Устойчивое развитие горных территорий. 2017. Т. 9. N 4. С. 406–413.
18. Дзапаров В.Х., Харебов Г.З., Стась В.П., Стась П.П. Исследование сухих строительных смесей на основе отходов производства для подземного строительства // Сухие строительные смеси. 2020. N 1. С. 35–38.
19. Jarvie-Eggart M. E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World // Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
20. Sheshpari M. A Review of Underground Mine Backfilling Methods with Emphasis on Cemented Paste Backfill // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2015. Vol. 20. No. 13. Pp. 5183–5208.
21. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // Hydrometallurgy. 2015. Vol. 157. Pp. 306–324.

REFERENCES

1. Drebenedt K., Golik V.I., Dmitrak Yu.V. Prospects for diversification of metal mining technology in the RSO-Alania. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018, vol. 10, no. 1 (35), pp. 125–131.
2. Vorobyev A. E., Golik V. I., Pagiev K. H., Chirikova E. M., Kotenko E. A., Shestakov V. A., Isaev S. K. *Hi-Tech in mining and ore processing*. Vladikavkaz, 1998.
3. Maeda You, Choirs, Mansour Fight, Glenn Carter and Artem Golev. Re-Thinking Mining Waste Through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations. *Minerals*. 2019, vol. 9, pp. 1–13.
4. Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Komashchenko V.I., Razorenov Yu.I. Ecological aspects of ore tailings storage in the mining region. *Ecology and Industry of Russia*. 2018, vol. 22, no. 6, pp. 35–39.
5. Gorbani Yu., Francidis J.-P., Petersen J. Heap leaching technology - Current state, innovations and directions for the future: review. *Review of Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2016, vol. 37, no. 2, pp. 73–119.
6. Valiev N.G., Propp V.D., Vandyshev A.M. The Mining Department of UGSU is 100 years old. *News of Higher Educational Institutions. Mining Magazine*. 2020, no. 8, pp. 130–143.

7. Dushin A.V., Valiev N.G., Lagunova Yu.A., Shorin A.G. Ural mining and Moscow mining: interaction of universities. *Mining Journal*. 2018, no. 4, pp. 4–10.
8. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V. Complex analysis of genetic features of mineral matter and technological properties of useful components of the Dzhezkazgan deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, v. 11, no. 3 (41), pp. 321–330.
9. Li G., Zhou Q., Zhu Z., Luo J., Rao M., Peng Z., Jiang T. Selective leaching of nickel and cobalt from limonitic laterite using phosphoric acid: An alternative for value-added processing of laterite. *Journal of Cleaner Production*. 2018, vol. 189, pp. 620–626.
10. Komashchenko V.I., Martynov V.G., Ismailov T.T. *Technology of blasting. Textbook*. 2nd ed., trans. and add. Moscow, 2022.
11. Komashchenko V. I. Ecological and economic feasibility of utilization of mining waste for the purpose of their processing. *Izvestiya Tula State University*. 2015, no. 4, pp. 23–30.
12. Khulelidze K.K., Kondratiev Yu.I., Zaalishvili V.B., Betzov Z.S. Assessment of indigenous and man-made deposits of RSO-Alania as possible objects of application of underground and heap leaching technology. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2016, vol. 8, no. 1, pp. 46–51.
13. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V., Gavrina O.A. Complex analysis of the use of effective technologies to enhance the sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, no. 2, pp. 283–290.
14. Ivanov S.A., Nitkin M.N., Sharipzyanova G.H. Studying the influence of the nature of nanoscale particles and the mixing method on the mechanical properties of powder alloy steel пк 70х3. *Nanotechnology: Science and Production*. 2015, no. 6, p. 36.
15. Panov V.S., Eremeeva Zh.V., Sharipzyanova G.H., Skorikov R.A., Mikheev G.V., Ageev E.V. The influence of the nature of nanoscale particles and the mixing method on the tribological properties of powder steel 70п. *Proceedings of the Southwestern State University*. 2014, no. 6 (57), pp. 8–14.
16. Petrov Yu.S., Hadzaragova E.A., Sokolov A.A., Sharipzyanova G.H., Taskin A.V. Basic principles of obtaining, transmitting and storing information about the parameters of the technogenic cycle of a mining and metallurgical enterprise. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2020, no. 11-1, pp. 178–188.
17. Gabaraev O. Z., Dmitrak Yu. V., Drebenstedt K., Savelkov V. I. Regularities of interaction of destroyed geomaterials and ore-containing massif during the processing of sub-worked interspersed ores. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017, vol. 9, no. 4, pp. 406–413.
18. Dzaparov V.Kh., Kharebov G.Z., Stas V.P., Stas P.P. Investigation of dry building mixes based on production waste for underground construction. *Dry Building Mixes*. 2020, no. 1, pp. 35–38.
19. Jarvi-Eggart M. E. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World*. Englewood, Colorado: Society of Mining, Metallurgy and Exploration, 2015, 804 p.
20. Sheshpari M. Review of Underground Mine Backfilling Methods with Emphasis on Cemented Paste Backfill. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2015, vol. 20, no. 13, pp. 5183–5208.
21. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015, vol.157, pp. 306–324.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



Владимир Иванович ГОЛИК – доктор технических наук, профессор, Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Владикавказ, Россия; профессор Московского политехнического университета, Москва, Россия.
v.i.golik@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir I. GOLIK – Dr. Sci.(Eng.), Professor, Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russia; Professor of Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia.
v.i.golik@mail.ru

Оценка агроэкологического состояния агроландшафтов для повышения их устойчивости

Владимир Л. Татаринцев¹✉, Леонид М. Татаринцев², Фараби К. Ермаков³, Юлия С. Лисовская¹

¹Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия, kafzem@bk.ru

²Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул, Россия, kafzem@bk.ru✉

³Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан, f.yermekov@gmail.com

Аннотация. Представлены материалы многолетних исследований (более чем за тридцать лет) аграрных территорий (сельскохозяйственных земель) сухостепной Кулунды Алтайского края, занимающих площадь более 1,8 млн. га. Приведён многокомпонентный анализ агроклиматических условий (температура и осадки) как основного элемента, влияющего на эффективное плодородие. Посредством ландшафтного подхода проанализирована структура сложившегося аграрного землепользования в сухостепной Кулунде по муниципальным районам, произведена агроэкологическая оценка агроландшафтов (структуры посевных площадей и севооборотов) и определена их устойчивость.

Ключевые слова: Алтайский край, сухостепная Кулунда, устойчивое аграрное землепользование, агроклиматические условия, агроэкологическая оценка, ландшафтный анализ, агроландшафт.

Для цитирования: Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М., Ермаков Ф.К., Лисовская Ю.С. Оценка агроэкологического состояния агроландшафтов для повышения их устойчивости // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т.14, № 1. С. 76–86. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-76-86.

Получена редакцией 14.05.2021; получена после рецензии 25.07.2021; принята к печати 05.08.2021.

Original article

Agroecological condition assessment of agricultural landscapes for their sustainability increase

Vladimir L. Tatarintsev¹, Leonid M. Tatarintsev²✉, Farabi K. Ermekov³, Yulia S. Lisovskaya¹

¹Altai State University, Barnaul, Russia

²Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia, kafzem@bk.ru✉

³S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

Abstract. Introduction. Agricultural land use organized in the dry steppe Kulunda of Altai Krai, with an area of more than 1,8 million hectares, is unsustainable. This is due to many factors, but the main ones are agro-climatic conditions (temperature and precipitation), as well as anthropogenic elements of landscapes, as a result of the joint manifestation of which erosion processes develop.

The purpose of the study: to conduct a multicomponent analysis of agricultural lands in the dry steppe Kulunda Altai Krai to optimize their agro- and geo-ecological state, as well as increase the sustainability of agricultural landscapes.

Research methods: a systematic approach and a comparative geographical method used in the processing of materials characterizing the qualitative and quantitative indicators of agricultural landscapes and the analysis of zonal physical and geographical characteristics of the territory. Relationships and mutual influences within anthropogenic landscapes have been studied using the ecological-landscape approach.

Research results. Over a thirty-year period of monitoring the heat and moisture supply of the territory, it was found that only 1-2 years per decade are optimal for growing crops (spring wheat), and agricultural land prevails in the structure of the land fund (seven municipal districts), and their share varies from 47 % to 96 % in Uglovsky and Tabunsky districts, respectively. Examining the structure of sown areas and crop rotations, it was found that arable land is the most common agricultural land, it accounts for more than 70 %, pastures – almost 20 %, hayfields and fallow lands – 8,5 %, perennial plantations – only 0,04%. It was determined that cultivated crop rotations lead to degradation of the soil cover, which occurs due to active dehumification – the loss of humus reserves in the process of deflation and active mineralization on fallows and fields with tilled crops. It was calculated that the rate of humus loss on an area of one hectare is 0,24 tons per year.

Conclusion. The calculations made show that the coefficient of environmental stability is much lower than the threshold, and a relatively high indicator of environmental stability in the Mikhailovsky and Uglovsky districts was achieved due to the tape forest and salt lakes located on their territory, which do not have a positive impact on the sustainability of agricultural areas. Improving the sustainability of agricultural land use is possible with the organization of a grass field system by changing the structure of sown areas and crop rotations.

Keywords: dry steppe Kulunda in Altai Krai, sustainable agricultural land use, agro-climatic conditions, agroecological assessment, landscape analysis, agrolandscape.

For citation: Tatarintsev V. L., Tatarintsev L. M., Ermekov F. K., Lisovskaya Yu. S. Agroecological condition assessment of agricultural landscapes for their sustainability increase. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):76-86. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-76-86.

Received by the editors 14.05.2021; received after the review 25.07.2021; accepted for printing 05.08.2021.

Введение

Сельскохозяйственное землепользование является крайне сложной неустойчивой системой, состоящей из множества элементов природной среды и антропогенных факторов, придание устойчивости которым послужит для решения проблемы её эффективного функционирования [1; 2]. Определение механизмов, направленных на поиск баланса использования экологических комплексов, их охрану и целевые преобразования, является основой устойчивого развития территории в целом и созданных антропогенных систем – агроландшафтов, в частности [3; 4]. Агроландшафты испытывают наибольшее антропогенное воздействие, сельскохозяйственная деятельность человека затрагивает ландшафт в целом, поэтому мероприятия, направленные на компенсацию негативного воздействия, должны быть системными, связанными со всеми элементами его слагающими, а не с отдельными частями. В современной агро- и геоэкологии хорошо освещены принципы организации и оптимизации агроэкосистем, однако необходимо развитие практического направления по географическим районам страны и природным зонам [5–12]. Особого внимания требует сухостепная Кулунда Алтайского края с её экстремально освоенной территорией и как следствие – неустойчивыми агроландшафтами [13; 14]. Поэтому рассмотренная в работе проблема является весьма актуальной и значимой.

Цель работы

Проведение многокомпонентного анализа сельскохозяйственных земель сухостепной Кулунды Алтайского края для оптимизации их агро- и геоэкологического состояния, а также повышения устойчивости искусственных ландшафтов (агроландшафтов).

Материал и методы исследования

Объект исследования – антропогенные ландшафты (агроландшафты) сухостепной Кулунды Алтайского края. Аналитическая основа исследования – отчётная документация по комплексному обследованию территории в разные временные лаги, проведённому

Западно-Сибирским проектным институтом по использованию земель. При анализе весьма разнообразных физико-географических характеристик территории, изучении её зональных особенностей применяли сравнительно-географический метод. При отработке материалов, характеризующих качественные и количественные характеристики агроландшафтов, использовался системный подход. Взаимосвязи и взаимовлияния внутри искусственных ландшафтов изучены посредством эколого-ландшафтного подхода, наиболее подходящего для антропогенно освоенных территорий.

Результаты исследования и их обсуждение

Физико-географическое районирование Алтайского края [15; 16] устанавливает принадлежность объекта нашего исследования к территории Кулундинской провинции, простирающейся на крайнем западе Алтайского края и частично в Республике Казахстан. Западно-Кулундинская подпровинция, входит в неё составной частью. В свою очередь в подпровинции выделено пять физико-географических районов: Кулундинско-Яровой (он охватывает половину территории Западно-Кулундинской подпровинции), Каипский, Баскаимский, Шалдайско-Песчаноборский и Бельгашский, значительно отличающиеся по набору природных элементов. Степные ландшафты подпровинции освоены в искусственные ландшафты со стандартной инфраструктурой, направленной на обеспечение внутривоспроизводственных потребностей населения, проживающего на территории. Галофитно-степные и лугово-степные природные комплексы используются для получения кормов. Важная почвозащитная и водоохранная роль отведена степным сосновым борам. Они отнесены к I категории лесов (защитные).

Исследуемая территория относится к умеренному поясу, характеризующаяся длительным периодом промерзания (не менее пяти месяцев). Такая теплообеспеченность наблюдается в течение года при плюсовой температуре почвы. Проведённые исследования теплообеспеченности территории авторами настоящей работы в течение тридцати лет (1971–2003 гг.) пред-

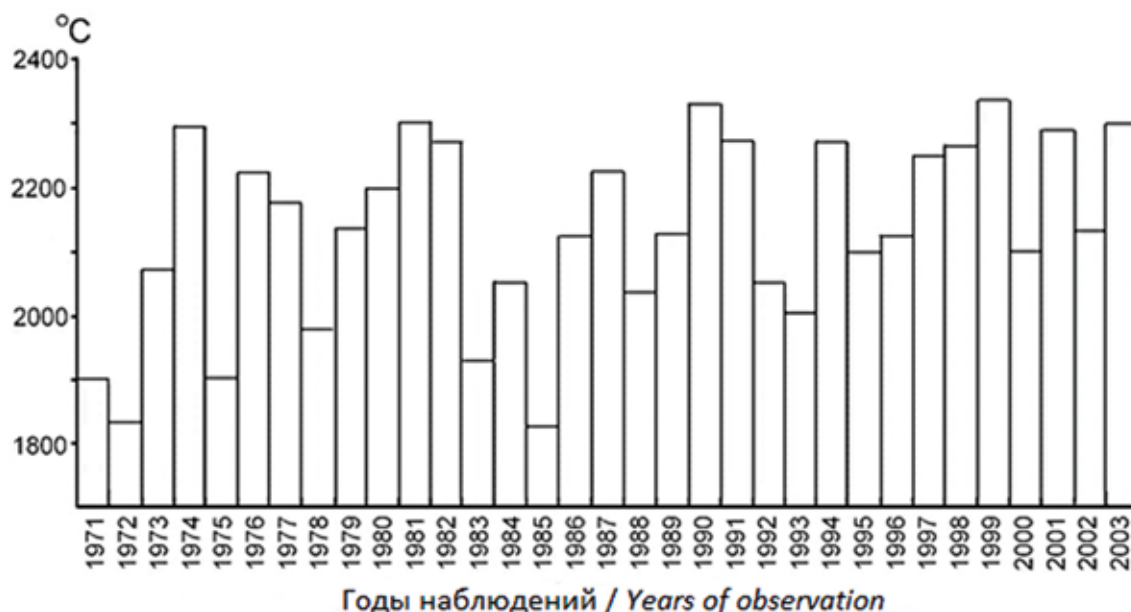


Рис. 1. Сумма температур выше 10 °С за май–август
Fig. 1. The sum of temperatures above 10 °C for May–August

ставлены на рис. 1. Сумма температур выше 10 °С за май–август колебалась с 1820° до 2340° в 1985 и 1999 годах соответственно. Интервал варьирования составляет 520°. Варьирование во времени незначительное [18], коэффициент вариации меньше 10 %.

Изменение теплообеспеченности пшеницы за весь вегетационный период помесячно (май–август) с определением среднесуточной величины (1) и условным выделением «сухих» (2), «засушливых» (3), «средних» (4), «увлажнённых» (5), «влажных» (6) лет показано на рис. 2.

Таким образом, сумма активных температур, превышающих 10 °С, постепенно увеличивается в пределах вегетации от пятого к седьмому месяцу (май→июль), а в августе их абсолютные величины снижаются. Также следует отметить тенденцию по

уменьшению суммы температур от сухих к увлажнённым и влажным годам за три десятилетия с 2300 до 1800°. Эта зависимость связана с накопленными в почве в разные лаги времени осадками.

Гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова Г.Т. был использован нами для оценки влагообеспеченности территории. Выяснилось, что его величина растёт от засушливых к влажным периодам по десятилетиям исследований. Также следует отметить повторяемость количества периодов с дефицитом и профицитом влаги (2–6, см. рис. 1) за период вегетации за тридцатилетний лаг, что отражено на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что во временном лаге исследования количество атмосферных осадков колебалось от 70 мм до 271 мм в 1997 и 1971 годах соответственно. Размах колебания выпавших осадков составил

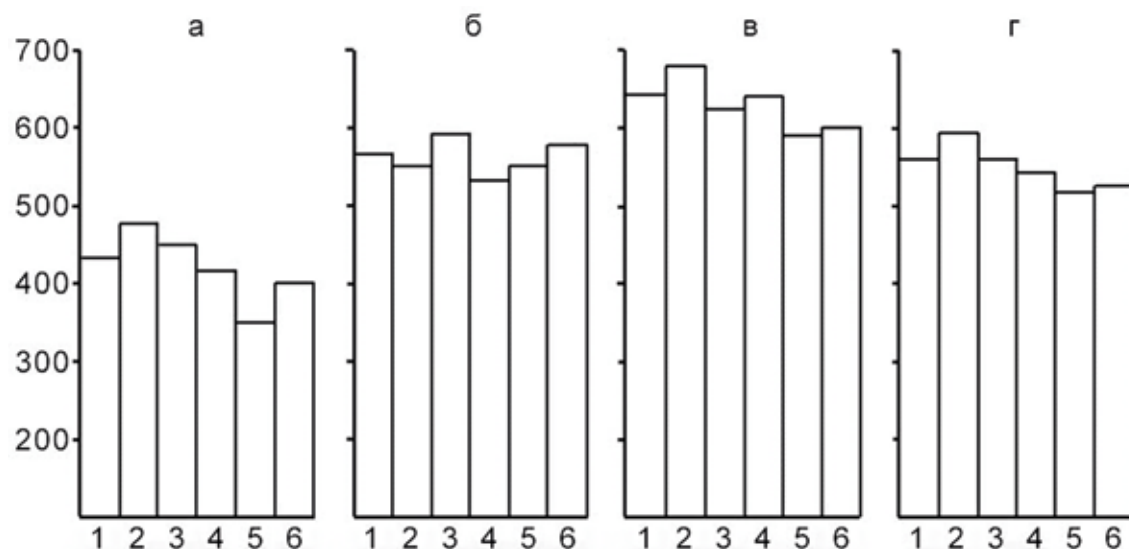


Рис. 2. Среднесуточная сумма температур выше 10 °С по месяцам вегетации
Fig. 2. Average long-term sum of temperatures above 10 °C by months of vegetation

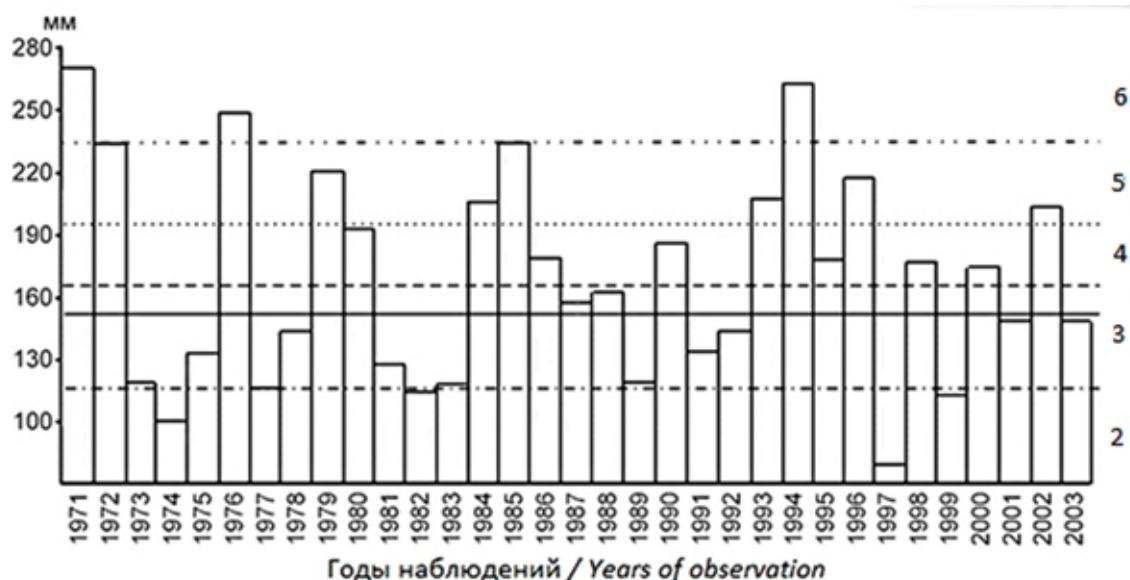


Рис. 3. Количество осадков за период вегетации

Fig. 3. The amount of precipitation during the growing season

более 200 мм. В сухие годы осадков зафиксировано не более 110–115 мм за жизненный цикл яровой пшеницы (вегетацию), в засушливые – 120–160 мм, средние – 160–195 мм, увлажнённые – 195–235 мм и влажные – более 235 мм – в среднем 172 мм.

В табл. 1 представлены расчёты вероятного повторения лет (в пределах десятилетки), на основании анализа ГТК, с определённой влагообеспеченностью за вегетацию яровой пшеницы. Весенний месяц са-

мый влагообеспеченный, летние – сухие (вероятность 40–60 %), повторяемость средних периодов очень редкая и равна 10% и меньше.

Для определения устойчивости исследуемой территории, помимо анализа природных компонентов, в нашем случае, агроклиматических ресурсов, следует дать оценку внутривладельческой и межхозяйственной организации исследуемой территории [19].

Структура земель сухостепной Кулунды по кате-

Таблица 1 / Table 1

Вероятное повторение лет по влагообеспеченности
Probable repetition of years by moisture supply

Степень увлажнения Moisture degree	Вероятное повторение Likely recurrence				
	май May	июнь June	июль July	август August	за вегетацию For vegetation
Сухие / Dry	4	5	4	6	4
Засушливые / Rainless	–	1	1	–	2
Средние / Medium	1	1	3	2	2
Увлажнённые / Moist	1	1	–	1	1
Влажные / Wet	4	2	2	1	1

Таблица 2 / Table 2

Структура земель
Land structure

Земли Lands	Тыс. га / % Thousand ha / %
Сельскохозяйственные / Agricultural	1285 / 73
Под населёнными пунктами / Under the settlements	21 / 1
Занятые промышленными объектами / Occupied by industrial facilities	10 / 0.5
Охраняемых территорий и объектов / Protected areas and objects	–
Под лесом / Under the forest	451 / 22
Под водой / Under the water	32 / 2
Запаса / Reserve	28 / 1.5
Всего / Total	1827 / 100

гориям приведена в табл. 2. Искусственные ландшафты или сельскохозяйственные земли занимают почти 75 % исследуемой территории. Более 20 % заняты лесными борами, которые образуют специфический физико-географический район, который кардинально отличается от других районов Западной Кулунды [20]. От 0,5 до 2 % приходится на остальные пять категорий земель.

Нами определены семь муниципальных районов (рис. 4), территории которых по своим характеристикам можно отнести к сухостепной Кулунде.

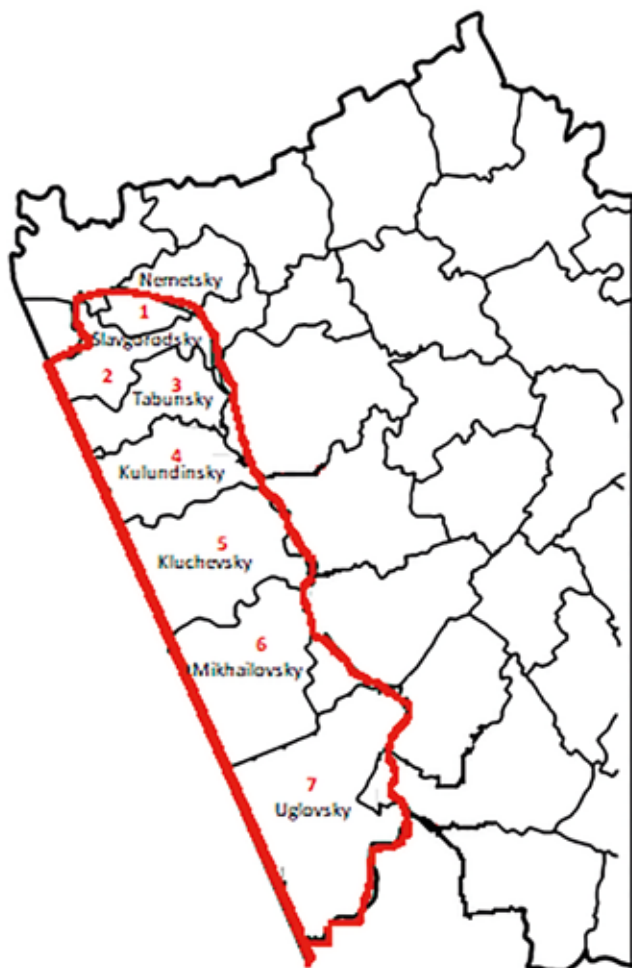


Рис. 4. Фрагмент карта-схемы Алтайского края и местонахождение сухостепной Кулунды

Fig. 4. A fragment of a map-scheme of the Altai Krai and the location of the dry steppe Kulunda

Количественные и качественные характеристики земель по муниципалитетам, слагающих земельный фонд территории, приведены в табл. 3.

В структуре земельного фонда преобладают земли сельскохозяйственного назначения, причём их доля варьирует от 47 до 96 % в Угловском и Табунском районах соответственно. Исключением считаются районы (Ключевский, Михайловский, Угловский), где значительные площади заняты уникальным ленточным сосновым бором. Другие земли, в зависимо-

сти от района, занимают до 10 % площади.

Следующим этапом наших исследований в направлении оптимизации и организации устойчивого аграрного землепользования стал качественный анализ сельскохозяйственных земель, в структуре которых преобладают сельскохозяйственные угодья – более 90 %. Пашня занимает две трети, а на кормовые угодья (сенокосы и пастбища) приходится более 20 % от площади земель сельхозназначения. Залежные земли составляют 4,7 % или 62500 га по семи муниципальным районам. Далее, по мере убывания, идут площади, занятые древесно-кустарниковой растительностью, водными объектами, болотами, застройкой и дорогами. Эта аналитическая информация показывает, что средостабилизирующих территорию угодий явно недостаточно.

Проведённый нами качественный и количественный анализ структуры аграрных земель по отдельным муниципальным образованиям показал изменение их структуры с юга на север. В северной части объекта исследования значительно уменьшаются площади пашни, которая замещается древесно-кустарниковой растительностью (лесные полосы) и кормовыми угодьями (табл. 4).

Рассчитав долю земель сельхозназначения в землепользованиях муниципальных образований, где за основу взяли степень их аграрного освоения, мы смогли ранжировать территории муниципалитетов по одному из основных маркеров, указывающих на их устойчивость. Нами выделены пять рангов по степени освоения от очень слабо освоенных (доля сельскохозяйственных земель от общей площади составила менее 40 %) до очень сильно освоенных – площадная величина освоения составила более 85 %.

В соответствии с проведённой классификацией Угловский и Михайловский районы являются слабо освоенными, Ключевский попал в категорию сильно освоенных, остальные – очень сильно освоенных.

Далее устойчивость агроландшафтов будем определять по видовому разнообразию агроэкосистем, их способности к самовосстановлению и воспроизводству плодородия почв – набором культур в севообороте.

Нами проанализирована структура посевных площадей по семи муниципальным районам. Площади, занятые сельскохозяйственными культурами, составили от 65 до почти 100 %, средняя величина равна 89 %. Особое место в структуре занимают зерновые культуры – почти 60 % площади. На однолетние травы в пашне приходится, в среднем, около 8 %. Они являются основой кормовой базы в сухостепной Кулунде. Площадь, занятая под пропашные культуры (подсолнечник, картофель и кукуруза на силос), по муниципальным районам варьирует в широких пределах: подсолнечник – от 6 % в Немецком наци-

Таблица 3 / Table 3

Структура земель по муниципальным районам, тыс. га
Land structure by municipal districts, thousand ha

Земли <i>Lands</i>	Муниципальные районы* <i>Municipal areas*</i>						
	1	2	3	4	5	6	7
Сельскохозяйственные <i>Agricultural</i>	138	177	171	180	230	160	229
Под населёнными пунктами <i>Under the settlements</i>	2	2	1	2	3	5	6
Занятые промышленными объектами <i>Occupied by industrial facilities</i>	<1	2	1	2	2	1	<1
Охраняемых территорий и объектов <i>Protected areas and objects</i>	Их площадь варьирует по районам от 40 до 90 га <i>Their area varies by region from 40 to 90 hectares</i>						
Под лесом <i>Under the forest</i>	3	2	<1	1	49	126	227
Под водой <i>Under the water</i>	–	11	1	5	8	7	–
Запаса <i>reserve</i>	–	6	<1	3	<1	<1	18
Всего <i>Total</i>	143	208	178	198	304	311	484

*Примечание: название муниципальных районов см. на рис. 4 .

*Note: see the name of the municipal districts in fig. 4.

Таблица 4 / Table 4

Качественный и количественный анализ земель по сельским муниципалитетам, тыс. га
Qualitative and quantitative analysis of land by rural municipalities, thousand, ha

Угодья <i>Grounds</i>	Сельские муниципалитеты <i>Rural municipalities</i>						
	1	2	3	4	5	6	7
Пахотные <i>Arable land</i>	123	125	130	139	158	94	98
Залежные <i>Deposit</i>	–/–	12	4	4	2	3	37
Деревья и кустарники <i>Perennial plantings</i>	<1	–/–	<1	<1	<1	<1	<1
Сенокосные <i>Hayfield</i>	1	2	9	3	4	16	17
Пастбищные <i>Pasture</i>	9	33	23	28	57	40	59
Под лесными полосами <i>Under the forest lanes</i>	2	3	3	5	4	4	6
Под водой <i>Under the water</i>	<1	1	–/–	<1	<1	<1	5
Занятые застройкой <i>Employed in building</i>	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Занятые дорогами <i>Busy under the roads</i>	<1	1	1	1	2	1	1
Занятые болотами <i>Employed under the swamps</i>	<1	<1	<1	<1	2	1	7

ональном районе до 25 % в самом северном – Угловском районе; картофель занимает до 1 % в структуре аграрного землепользования рассматриваемых муниципальных районов; площади, отведённые под кормовую кукурузу, варьируют от нескольких сот гектаров до

нескольких десятков тысяч, соответственно в Угловском и Немецком районах. Площадь, занятая под многолетними травами колеблется по районам от 2 до 18 % пашни; 11 % – это парующая территория, что значительно ниже порогового уровня равного 14–

16 %. Обобщающим показателем, характеризующим степень эрозионной опасности территории – коэффициентом эрозионной опасности, подтверждается высокая антропогенная нагрузка. Его величина изменяется в пределах 0,51–0,66 в зависимости от района.

Серьёзной проблемой для исследуемой территории является деградация почвенного покрова. Происходит этот процесс по двум направлениям, а именно, за счёт активной дегумификации – утраты запасов гумуса в процессе дефляции и активной минерализации на парах и полях, занятых пропашными культурами. Скорость утраты гумуса на площади в один гектар составляет 0,24 тонны в год. Гумусосберегающий эффект проявляется в кормовых севооборотах с преобладанием многолетних трав. Здесь достигается нулевой баланс – приход в почву равен выносу культурами в севообороте.

Для достижения положительного баланса гумуса в сухостепной Кулунде – повышения устойчивости аграрного землепользования – необходим переход к травопольной системе. В севооборотах всех типов должно быть занято 55–60 % площади многолетними травами, что значительно повысит уровень экологической безопасности территории, уменьшит дефляцию и дегумификацию. Данные, подтверждающие эффективность этих мер, представлены в табл. 5.

Изменение структуры севооборота в направлении увеличения доли многолетних трав позволит достичь, как минимум, бездефицитного баланса гумуса. Как показывают наши расчёты, увеличения содержания гумуса можно достичь в почвозащитных травяных и зернотравяных, а также в неорошаемых и орошаемых кормовых севооборотах с включением многолетних трав.

В последующем, решая задачу по оптимизации агроландшафта, необходимо осуществить интегральную оценку устойчивости геосистемы, в которую включены абиотические и биотические элементы ландшафта. Коэффициент экологического состояния ландшафта является основой оценки устойчивости ландшафтов и определяется как соотношение площадей, занятых стабильными элементами по отношению к нестабильным. Стабильными элементами являются леса, заказники, заповедники, естественные кормовые угодья, пашня с полями многолетних трав. К дестабилизирующим элементам отнесены пашня, пастбища, земли, занятые дорогами, населёнными пунктами, нарушенные земли и прочие территории, подвергшиеся антропогенному воздействию. Приведённые в табл. 6 материалы указывают нестабильное состояние ландшафтов сухостепной Кулунды по муниципальным районам.

Сделанные в настоящей работе расчёты показывают, что коэффициент экологической стабильности значительно ниже порогового, величина которого составляет 0,33. Относительно высокий

показатель экологической стабильности в Михайловском и Угловском районах достигнут за счёт расположенных на их территории ленточного бора и солёных озёр. Однако на сельскохозяйственных угодьях этих районов ситуация более критическая, по сравнению с северными районами зоны. Растительные популяции, сформировавшиеся в ленточном бору, кардинального влияния на сельскохозяйственные земли не оказывают, а солёные озёра обуславливают на них соленакопление и образование солончаков.

Заключение

Агроэкологическая оценка аграрных территорий (сельскохозяйственных земель) сухостепной Кулунды Алтайского края показала, что землепользование является неустойчивым. В результате многокомпонентного анализа агроклиматических условий выяснили, что изменение тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур варьирует в широких пределах, что отражается на продуктивном плодородии почв. Всего 1–2 года из десяти являются оптимальными для возделывания яровой пшеницы.

Серьёзное влияние на устойчивость территории оказывают антропогенные элементы ландшафтов – структура земель сельскохозяйственного назначения, сельскохозяйственных угодий, агроценозов. В семи обследованных муниципальных районах доля земель сельскохозяйственного назначения варьирует от 47 до 96 % в Угловском и Табунском районах соответственно.

Существующая организационная структура посевных площадей создаёт условия для развития дефляции и не обеспечивает устойчивость агроландшафтов. Рассчитанный баланс органического вещества подтверждает тот факт, что агроландшафты закономерно утратили способность воспроизводства плодородия почв, а также экологической ёмкости (способность самовосстановления от вредного воздействия) естественных ценозов. Это подтверждается уменьшением продуктивности кормовых угодий и увеличением степени солонцеватости и засоленности сенокосов и пастбищ. На фоне этих деградиционных процессов происходит обмеление, высыхание водных объектов (озёра и болота), что приводит к изменению пропорции средостабилизирующих и дестабилизирующих элементов в ландшафте [21–23].

Выводы

1. Проведена агроэкологическая оценка сельскохозяйственных земель сухостепной Кулунды Алтайского края. Многокомпонентный анализ агроклиматических и антропогенных факторов показал, что территория является крайне неустойчивой, на что указывают коэффициенты антропогенной нагрузки, экологической стабильности, эрозионной опасности.
2. Установлено, что гидротермические характе-

Таблица 5 / Table 5

Содержание гумуса и необходимость внесения органики
Humus content and the need for organic matter

Тип и вид севооборота <i>Type and type of crop rotation</i>	Гумус, т/га <i>Humus, t/ha</i>	Органика, т / <i>Organic, t</i>	
		на 1 га севооборота <i>per 1 ha of crop rotation</i>	на 1 га поля <i>per 1 ha of field</i>
Почвозащитные / <i>Soil protection</i>			
Травяной (6 полей) <i>Herbal (6 fields)</i>	+2.59	–	–
Зернопаротравяной с полосным размещением культур (5 полей) <i>Grain fallow with strip placement of crops (5 fields)</i>	+0.10	–	–
Полевые / <i>Campestral</i>			
Зернопаровой (4 поля) <i>Grain fallow (4 fields)</i>	–2.4	24	6.0
Зернопаровой (6 полей) <i>Grain fallow (6 fields)</i>	–2.5	25	4.2
Зернопаропропашной с бобовыми культурами (6-полей) <i>Grain fallow with legumes (6 fields)</i>	–2.8	28	4.7
Зернопаровой (5 полей) <i>Grain fallow (5 fields)</i>	–3.4	34	6.9
Зернопаропропашной (4 поля) <i>Row grain fallow (4 fields)</i>	–3.5	35	8.7
Неорошаемые кормовые / <i>Non-irrigated fodder</i>			
Кормовой с донником (3 поля) <i>Stern with sweet clover (3 fields)</i>	+0.3	–	–
Кормовой (7 полей), в т.ч. 4 года многолетние травы <i>Stern (7 fields), incl. 4 years perennial herbs</i>	0	–	–
Кормовой (2 поля) / <i>Stern (2 fields)</i>	–1.60	16	8.0
Орошаемые прифермские / <i>Irrigated near-farm</i>			
Кормовой (5 полей), в т.ч. 3 года многолетние травы <i>Stern (5 fields), incl. 3 years perennial herbs</i>	+1.50	–	–
Кормовой (2 поля) <i>Stern (2 fields)</i>	–1.3	13	6.5
Кормовой (3 поля) <i>Stern (3 fields)</i>	–2.7	27	9.0

Таблица 6 / Table 6

Устойчивость агроландшафтов
Sustainability of agricultural landscapes

Показатели устойчивости <i>Sustainability indicators</i>	Сельские муниципалитеты <i>Rural municipalities</i>							По сухостепной Кулунде <i>Along the dry steppe Kulunda</i>
	1	2	3	4	5	6	7	
$K_{эс} / K_{эс}$	0.16	0.23	0.21	0.21	0.22	0.36	0.37	0.24
$K_{ан} / K_{ал}$	3.87	3.51	3.72	3.53	3.26	2.82	2.81	3.36
$K_{эо} / K_{эо}$	0.52	0.58	0.52	0.53	0.60	0.54	0.67	0.57
$K_{сл} / K_{сл}$	0.15	0.26	0.19	0.17	0.33	1.13	1.88	0.59

Примечание: $K_{эс}$ – коэффициент экологической стабильности; $K_{ан}$ – коэффициент антропогенной нагрузки; $K_{эо}$ – коэффициент эрозионной опасности; $K_{сл}$ – коэффициент состояния ландшафта.

Note: $K_{эс}$ – coefficient of ecological stability; $K_{ал}$ – coefficient of anthropogenic load; $K_{эо}$ – erosion hazard coefficient; $K_{сл}$ – coefficient of the state of the landscape.

ристики повторяются в тридцатилетнем лаге по десятилетиям и являются основными факторами, влияющими на эффективное плодородие, а существующая организационная структура посевных площадей спо-

собствует развитию дефляции.

3. Определено, что положительного баланса гумуса можно достичь в разных муниципальных районах зоны посредством варьирования структуры посевных

площадей и севооборотов, что положительно скажется на устойчивости агроландшафтов.

Результаты исследований могут быть использованы органами управления при долгосрочном планировании и управлении земельными ресурса-

ми, их экономической оценке, сборе фискальных платежей, а также сельхоз-товаропроизводителями – при организации и оптимизации сельскохозяйственных угодий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Указ Президента РФ N 440 от 01.04.1996. <https://docs.cntd.ru/document/9017665>
2. Охрана ландшафтов. Толковый словарь. Под ред. В.С. Преображенского. М.: Прогресс, 1982. 272 с.
3. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. М.: Изд-во МСХА, 2000. 473 с.
4. Модели управления продуктивностью агроландшафта / Под ред. В.М. Володина, Г.Н. Черкасова. Курск, 1998. 100 с.
5. Методика агроэкологической типизации земель в агроландшафте / Под ред. И.И. Васенёва. М.: Россельхозакадемия, 2004. 102 с.
6. Швёбс Г.И., Шищенко П.Г. Методические указания по ландшафтным исследованиям для сельскохозяйственных целей. М.: 1990. 57 с.
7. Агроэкологическое моделирование и проектирование / И.И. Васенёв, А.В. Бузылёв, Ю.А. Курбатова, Н.И. Руднев, А.И. Тиунов, М.В. Чистонин. М.: РГАУ-МСХА, 2010. 201 с.
8. Кирюшин В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. Пушино, 1993. 236 с.
9. Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географического районирования. М.: Высшая школа, 1965. 193 с.
10. Miller, B. A. Brevik E.C., Pereira P., Schaetzl R.J. (2019). Progress in soil geography // 'Reinvigoration', Progress in Physical Geography: Earth and Environment. Vol. 43(6). P. 827–854. DOI: 10.1177/0309133319889048.
11. Brevik E.C., Calzolari C., Miller B.A. et al. (2016a) Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions // Geoderma. Vol. 264. P. 256–274. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.05.017.
12. Bouma J. Soil environmental quality: A European perspective // J. Environ. Qual. 1997. Vol. 26. P. 26–31.
13. Панфилов В.П. Почвы сухостепной зоны // Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука СО, 1976. С. 414–435.
14. Татаринцев В.Л. Власова Т.В. Оценка землепользования в муниципальных образованиях сухостепной зоны Кулунды // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. N 8 (58). С. 26–30.
15. Вдовин В.В., Малолетко А.М. Салаирский кряж / Алтай-Саянская горная область: История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1969. С. 15–53.
16. Атлас Алтайского края. Москва-Барнаул, 1978. 222 с.
17. Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М.: Наука, 1972. 360 с.
18. Савич В.И. Применение вариационной статистики в почвоведении: Уч.-метод. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1972. 103 с.
19. Организация устойчивого сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае с применением ландшафтного анализа / В.Л. Татаринцев, Л.М. Татаринцев, А.В. Мацюра, А.А. Бондарович // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. N 3. С. 339–349.
20. Повышение эффективности сельскохозяйственного землепользования в Алтайском крае / О.А. Латышева, Л.М. Татаринцев, В.Л. Татаринцев, А.А. Бунин, О.Е. Мерзляков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. N 5 (151). С. 35–42.
21. Босиков И.И., Клюев Р.В., Тавасиев В.Х., Летичевская Н.Н. Комплексный анализ и оценка перспективных золоторудных зон с применением современных геофизических методов // Геология и геофизика Юга России. 2021. 11(4): 94–108. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.89.008.
22. Клюев Р. В., Босиков И. И., Гаврина О. А., Ляшенко В. И. Оценка эксплуатационной надежности электроснабжения развивающихся участков добычи руд на высокогорном руднике // Горные науки и технологии. 2021; 6(3): 211–220. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.
23. Босиков И.И., Клюев Р.В., Хетагуров В.Н., Ажмухамедов И.М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. N1. С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021- 13-1-77-83.

REFERENCES

1. On the concept of the transition of the Russian Federation to sustainable development. Decree of the President of the Russian Federation No. 440 of 04/01/1996.
2. Protection of landscapes. Explanatory dictionary. V.S. Preobrazhensky (ed.). Moscow, Progress, 1982, 272 p. (in Russ.).
3. Kiryushin V.I. *Greening agriculture and technology policy*. Publishing house of Moscow Agricultural Academy, Moscow, 2000, 473 p. (in Russ.).
4. *Models of agricultural landscape productivity management*. V.M. Volodina, G.N. Cherkasov (Ed.). Kursk, 1998, 100 p. (in Russ.).
5. *Methods of agroecological typification of lands in the agrolandscape*. I.I. Vasenev (Ed.). Rosselkhozakademiya Publ., Moscow, 2004, 102 p. (in Russ.).
6. Shvebs G.I, Shishchenko P.G. *Methodical guidelines for landscape studies for agricultural purposes*. Moscow, 1990, 57 p. (in Russ.).
7. Vasenev I.I., Buzylyov A.V., Kurbatova Yu. A., Rudnev

N.I., Tiunov A.I., Chistonin M.V. *Agroecological modeling and design*. RGAU-MSKHA, Moscow, 2010, 201 p. (in Russ.).

8. Kiryushin V.I. *The concept of adaptive landscape agriculture*. Pushchino, 1993, 236 p. (in Russ.).

9. Isachenko A.G. *Principles of Landscape Science and Physical and Geographical Zoning*. Vysshaya shkola Publ., Moscow, 1965, 193 p. (in Russ.).

10. Miller B. A., Brevik E.C., Pereira P., Schaetzl R.J. (2019). *Progress in soil geography in: 'Reinvigoration', Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2019, vol. 43(6), pp. 827–854. DOI: 10.1177/0309133319889048.

11. Brevik E.C., Calzolari C., Miller B.A. et al. (2016a) Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. *Geoderma*. 2016, vol. 264, pp. 256–274. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.05.017.

12. Bouma J. Soil environmental quality: A European perspective, *J. Environ. Qual.*, 1997, vol. 26, pp. 26–31.

13. Panfilov V.P. *Soils of the dry steppe zone*. In: *Agrophysical characteristics of soils in Western Siberia*. Novosibirsk, Nauka SO Publ., 1976, pp. 414–435. (in Russ.).

14. Tatarintsev V.L., Vlasov T.V. Evaluation of land use in the municipalities of the dry steppe zone of Kulunda. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2009, no. 8 (58), pp. 26–30. (in Russ.).

15. Vdovin V.V., Maloletko A.M. *Salair Ridge*. In: *Altai-Sayan mountainous region: History of the development of the relief of Siberia and the Far East*. Nauka Publ., Moscow, 1969, pp. 15–53. (in Russ.).

16. *Atlas of the Altai Krai*. Moscow-Barnaul, 1978, 222 p. (in Russ.).

17. Dimo V.N. *Thermal regime of soils of the USSR*. Nauka Publ., Moscow, 1972, 360 p. (in Russ.).

18. Savich V.I. *Application of variation statistics in soil science*. Publishing House of Moscow State University, Moscow, 1972, 103 p. (in Russ.).

19. Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M., Matsyura A.V., Bondarovich A.A. Organization of sustainable agricultural land use in the Altai Territory with the use of landscape analysis. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, v. 12, no. 3, pp. 339–349. (in Russ.).

20. Latysheva O.A., Tatarintsev L.M., Tatarintsev V.L., Bunin A.A., Merzlyakov O.E. Improving the efficiency of agricultural land use in the Altai Territory. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2017, no. 5 (151), pp. 35–42. (in Russian)

21. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Tavasiev V.Kh., Letichevskaya N.N. Comprehensive analysis and assessment of prospective gold-ore zones using modern geophysical methods. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2021, 11(4): 94–108. (in Russ.). DOI: 10.46698/VNC.2021.42.89.008.

22. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Gavrina O. A., Lyashenko V. I. Assessment of operational reliability of power supply to developing ore mining areas at a high-altitude mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(3):211–220. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.

23. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods and management tools aerogas dynamics processes at mining sites. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, no.1, pp. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021- 13-1-77-83.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ТАТАРИНЦЕВ Владимир Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела НИОКР ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», Барнаул, Россия.

+7(903)995-67-19
kafzem@bk.ru



ТАТАРИНЦЕВ Леонид Михайлович – доктор биологических наук, профессор, кафедра землеустройства, земельного и городского кадастра, Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул, Россия.

+7(903)995-67-19
kafzem@bk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir L. TATARINTSEV – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leading Researcher, Research and Development Department, Altai State University, Barnaul, Russia.

+7(903)995-67-19
kafzem@bk.ru

Leonid M. TATARINTSEV – Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Land Management, Land and Urban Cadaster, Altai State Agrarian University, Barnaul, Russia.

+7(903)995-67-19
kafzem@bk.ru



ЕРМЕКОВ Фараби Керимбаевич – Директор Центра технологических компетенций в области цифровизации АПК Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Республика Казахстан.

+7(701)576-48-96
f.yermekov@gmail.com

Farabi K. ERMEKOV – Director of the Center for Technological Competence in the field of digitalization of the agro-industrial complex, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

+7(701)576-48-96
f.yermekov@gmail.com



ЛИСОВСКАЯ Юлия Сергеевна – аспирант, Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия.

+7(923)646-04-94
lisovskayayulia@mail.ru

Yulia S. LISOVSKAYA – Postgraduate student, Altai State University, Barnaul, Russia.

+7(923)646-04-94
lisovskayayulia@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Татаринцев В.Л. разработал концепцию статьи, структуру, систематизировал аналитическую информацию; **Татаринцев Л.М.** провел редакторскую правку научного материала, сделал заключение и выводы по работе; **Ермеков Ф.К.** и **Лисовская Ю.С.** обеспечивали информационную логистику научной работы, графический дизайн, проверку на плагиат.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Tatarintsev V.L. developed the concept of the article, structure, systematized analytical information; **Tatarintsev L.M.** carried out editorial revision of the scientific material, made a conclusion and conclusions on the work; **Ermekov F.K.** and **Lisovskaya Yu.S.** provided information logistics of scientific work, graphic design, plagiarism check.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

Оригинальная статья

УДК 622.7.1

DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-87-95

Разработка технологии комплексной переработки шлаков Златоустовского металлургического завода

Ольга П. Шавакулева¹✉, Наталья А. Сединкина¹, Наталья В. Гмызина¹, Леонид В. Косарев²

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия, shavakylevao@yandex.ru✉

²Технический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри, Россия

Аннотация. Приведены исследования по изучению обогатимости металлургических шлаков ООО «Златоустовского металлургического завода». Установлено, что зернаметаллического никеля в шлаках составляет менее 1 мм. Определено, что для выделения магнитного продукта из шлака эффективно применять сепарацию на барабанном сепараторе для крупности 100-40 мм и сепарацию во взвешенном состоянии для крупности 40-0 мм. Выявлено, что для извлечения никельсодержащего концентрата эффективно применять центробежный концентратор. В работе представлена схема переработки шлаков ООО «Златоустовского металлургического завода» позволяющая получать продукты, удовлетворяющие требованиям металлургического передела.

Ключевые слова: металлургический шлак, обогащение, никель, магнитная сепарация, концентрационный стол, центробежный концентратор.

Для цитирования: Шавакулева О.П., Сединкина Н. А., Гмызина Н. В., Косарев Л. В. Разработка технологии комплексной переработки шлаков златоустовского металлургического завода // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 87–95. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-87-95.

Получена редакцией 15.07.2021; получена после рецензии 16.08.2021; принята к печати 20.08.2021.

Original article

Development of technology for slags integrated processing at Zlatoust steel mill

Olga P. Shavakyleva¹✉, Natalia A. Sedinkina¹, Natalia V. Gmyzina¹, Leonid V. Kosarev²

¹Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia, shavakylevao@yandex.ru✉

²Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Neryungri, Russia

Abstract. Introduction. Currently, many metallurgical companies in Russia are experiencing difficulties with the supply of raw materials. One of the solutions to this problem is the involvement in the reuse of secondary resources that are formed in metallurgical processing. So there are more than 15 million tons of them on the territory of Zlatoust steel Mill. The development of metallurgical slag processing technology will partially solve the problem of the company's own raw material base.

Methodology. To develop an effective technology for complex processing of metallurgical slags of Zlatoust steel Mill four samples were taken from various sections of slag dumps.

Research results and discussion. The work studied the chemical and mineralogical composition of samples, conducted studies on the enrichment of slags. To study the enrichment of metallurgical slags by the magnetic enrichment method, studies have been carried out, including separation of material with a size of -100 +40 mm on a drum separator and material with a size of -40+0 mm on a separator in a suspended state. The results show that products made of a material with a size of -100+40 mm meet the requirements for direct use in blast furnace production. and products obtained from a size class of -40+0 mm meet the requirements of agglomeration production. The chemical analysis of the obtained products after magnetic separation in a suspended state indicates significant nickel content in the magnetic separation tails of the sample with a size of -40+0 mm. The study of the microstructure of the sample showed that the size of nickel inclusions is on average 1 mm. In this work studies have been carried out on the grinding of tails to a size of less than 1 mm and enrichment on gravity apparatuses. Studies comparing the results of metallurgical slag enrichment on a concentration table and a centrifugal concentrator have shown significantly higher efficiency of slag separation on a centrifugal concentrator.

Conclusions. The obtained results on the enrichment of metallurgical slags of Zlatoust steel Mill allows us to recommend a comprehensive processing technology. As a result of enrichment the following products are obtained: magnetic product

© О. П. Шавакулева, Н. А. Сединкина, Н. В. Гмызина, Л. В. Косарев, 2022.

1 with a mass fraction of iron 88.4% when extracting 35.2% magnetic product 2 with a mass fraction of iron 42.7% when extracting 12.4% and nickel-containing concentrate with a mass fraction of nickel 4.85% when extracting 67.9%.

Keywords: metallurgical slag, ore dressing, nickel, magnetic separation, concentration table, centrifugal concentrator.

For citation: Shavakuleva O.P., Sedinkina N.A., Gmyzina N.V., Kosarev L.V. Development of technology for slags integrated processing at Zlatoust steel mill. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):87-95. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-87-95.

Received by the editors 15.07.2021; received after the review 16.08.2021; accepted for printing 20.08.2021.

Введение

Основной задачей, стоящей перед горно-обогательными предприятиями, является комплексное использование не только минерального сырья, но и техногенного, к которому относятся, в частности, металлургические шлаки.

В настоящее время многие металлургические компании России испытывают трудности с поставками сырья и обеспечением концентратами требуемого качества и по приемлемой цене. Одним из вариантов решения этой проблемы является вовлечение в повторное использование вторичных ресурсов, которые образуются в металлургическом переделе. Практически на всех металлургических предприятиях имеются значительные отвалы металлургических шлаков [1–7], например на территории ООО «Златоустовского металлургического завода» их скопилось более 15 млн т [8–10].

Технологии переработки металлургических шлаков должны быть эффективными, экологически малоопасными и экономически оправданными.

Литературный анализ показал, что наибольшее распространение в мировой практике получил магнитный метод обогащения, который дает возможность обогащать крупнокусковой материал [11–13]. Метод обладает высокой производительностью, более легкой регулировкой процесса и является экологически мало опасным.

Проведенные ранее исследования показали, что в тонких классах шлаков ООО «Златоустовского металлургического завода» содержится значительное количество никеля, который является немагнитным. Разница в плотности никеля и железа предопределяет возможность выделения никеля гравитационным методом. Недостатками гравитационных процессов

и применяемого оборудования в них является низкая эффективность разделения мелких зерен, при этом считается, что глубина разделения составляет около 100 мкм. Более мелкие частицы разделяются плохо. Применение винтовых аппаратов, конусных и струйных сепараторов имеют невысокую эффективность. Поэтому в последние годы для разделения тонких частиц используются центробежные концентраторы [14–16].

Цель исследований

Разработка технологии комплексной переработки шлаков Златоустовского металлургического завода.

Методика исследований

Для разработки эффективной технологии комплексной переработки металлургических шлаков ООО «Златоустовского металлургического завода» были отобраны четыре пробы с различных участков шлакоотвалов.

В работе изучен состав и свойства шлаков, а также распределение никеля и железа по классам крупности. Химический состав проб представлен в табл. 1.

Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что состав шлаков резко отличается, и в первую очередь, по железу и никелю. Массовая доля железа изменяется от 17,81 до 24,81 %, а никеля – от 0,24 до 0,46 %.

Результаты исследований

Для выяснения распределения никеля и железа по классам крупности с целью более эффективного их обогащения выполнен ситовый анализ проб шлаков с определением распределения железа и никеля по классам крупности. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 1 / Table 1

Химический состав проб металлургических шлаков

Chemical composition of metallurgical slag sample

Номер пробы <i>Sample number</i>	Массовая доля <i>Mass fraction, %</i>									
	Fe _{общ}	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr	Ni	S	P
1	17.81	26.18	9.14	19.89	7.93	0.38	0.88	0.24	0.08	0.02
2	21.37	21.13	5.24	26.31	9.38	0.42	0.94	0.28	0.12	0.04
3	20.77	19.95	5.14	28.74	8.47	0.29	0.83	0.38	0.05	0.02
4	24.81	18.34	6.28	24.35	6.95	0.5	0.97	0.46	0.06	0.03

Таблица 2 / Table 2

Распределение железа и никеля по классам крупности в изучаемых пробах металлургических шлаков
Distribution of iron and nickel by size classes in the studied metallurgical slag samples

Номер пробы <i>Sample number</i>	Класс крупности, мм <i>Coarseness class, mm</i>	Выход <i>Yield, %</i>	Массовая доля, % <i>Mass fraction, %</i>		Распределение <i>Distribution of elements, %</i>	
			Fe	Ni	Fe	Ni
1	+12	12.41	12.47	0.03	8.41	2.08
	-12+8	19.59	20.04	0.21	21.32	23.11
	-8+3	32.26	21.41	0.17	37.5	30.80
	-3+1	20.04	17.52	0.25	1.05	28.14
	-1+0	15.70	16.11	0.18	13.72	15.87
	Исходный материал <i>Source material</i>	100	18.43	0.18	100	100
2	+12	27.3	16.72	0.12	22.19	11.26
	-12+8	16.23	22.98	0.39	18.15	21.77
	-8+3	24.07	23.21	0.48	27.2	39.73
	-3+1	20.29	18.42	0.11	18.2	7.67
	-1+0	12.11	24.18	0.47	14.26	19.57
	Исходный материал <i>Source material</i>	100	20.55	0.29	100	100
3	+12	23.18	13.82	0.27	16.04	13.96
	-12+8	11.14	25.42	0.51	14.19	12.66
	-8+3	19.61	24.81	0.67	24.41	29.3
	-3+1	26.05	19.27	0.39	25.16	22.66
	-1+0	20.02	20.14	0.48	20.2	21.42
	Исходный материал <i>Source material</i>	100	19.95	0.45	100	100
4	+12	28.4	18.13	0.34	21.48	17.69
	-12+8	11.07	26.19	0.49	12.09	9.94
	-8+3	27.21	27.96	0.62	31.73	30.91
	-3+1	28.19	25.45	0.71	29.9	36.36
	-1+0	5.13	22.35	0.51	4.8	4.79
	Исходный материал <i>Source material</i>	100	23.98	0.55	100	100

Результаты, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о том, что наименьшую массовую долю железа и никеля имеет класс +12 мм.

Для определения выхода магнитных фракций и целесообразности уменьшения их крупности выполнен магнитный анализ всех проб. Результаты представлены в табл. 3.

Приведенные данные (табл. 3) показывают наличие связи между выходом магнитного продукта и массовой доли железа в пробе. Наибольший выход магнитного продукта 17,88 % получен в случае пробы 4, а наименьший 9,12 % – в пробе 1. Доизмельчение шлаков до крупности -0,5+0 мм дает дополнительный выход магнитного продукта.

Для изучения обогатимости металлургических шлаков ООО «Златоустовского металлургического завода» магнитным методом обогащения проведены исследования, включающие в себя сепарацию материала крупностью -100+40 мм на барабанном сепара-

торе, и материала крупностью -40+0 мм с использованием сепарации во взвешенном состоянии [17–20].

Результаты магнитного анализа металлургических шлаков приведены в табл. 4.

Представленные данные (табл. 4) показывают, что наибольшая массовая доля железа в классе крупности -100+40 мм получена для пробы 3 и составляет 90,1 % при извлечении 40,1 %, а наименьшая массовая доля железа для пробы 1 составляет 81,7 % при извлечении 33 %. Полученные продукты удовлетворяют требованиям для непосредственного использования в доменном производстве.

Для крупности материала -40+0 мм наибольшая массовая доля железа составляет 47,8 % при извлечении 20 % в случае пробы 3 и наименьшая – 40,5% – при извлечении 23,4 % для пробы 1. Полученные продукты удовлетворяют требованиям агломерационного производства.

Проведенный химический анализ полученных про-

Результаты магнитного анализа проб металлургических шлаков
Results of magnetic analysis of metallurgical slag samples

Номер пробы Sample number	Класс крупности, мм Coarseness class, mm	Выход, % Yield, %		Дополнительный выход магнитного продукта при дроблении и измельчении до крупности, мм Addition alyield of magnetic product during crushing and grinding to size, mm			
		Класс крупности Coarseness class	Магнитный продукт Magnetic product	-10+0	-5+0	-2+0	-0,5+0
1	+10	27.66	5.62	0.73	1.82	1.89	1.31
	-10+5	23.62	8.59	-	2.95	2.48	1.17
	-5+2	24.6	10.15	-	-	3.85	0.72
	-2+0	24.12	4.99	-	-	-	0.68
	Итого Total	100	9.12				
2	+10	20.44	14.35	4.8	3.43	2.14	1.08
	-10+5	16.48	15.38	-	4.48	3.99	2.18
	-5+2	20.68	17.3	-	-	9.86	3.51
	-2+0	42.4	11.68	-	-	-	1.21
	Итого Total	100	14.0				
3	+10	26.4	8.53	3.47	1.92	2.03	0.91
	-10+5	13.96	13.89	-	2.3	2.45	1.48
	-5+2	18.64	17.59	-	-	4.78	1.58
	-2+0	41.0	11.71	-	-	-	2.34
	Итого Total	100	13.5				
4	+10	11.6	18.86	2.07	1.38	4.88	0.92
	-10+5	15.4	18.06	-	1.22	5.56	1.39
	-5+2	28.8	13.56	-	-	5.11	1.79
	-2+0	44.2	20.38	-	-	-	1.75
	Итого Total	100	17.88				

дуктов после магнитной сепарации во взвешенном состоянии свидетельствует о значительном содержании никеля в хвостах магнитной сепарации пробы крупностью -40+0 мм. Изучение микроструктуры пробы показало, что размер вкраплений никеля составляет в среднем 1 мм. Изучение обогатимости хвостов магнитной сепарации во взвешенном состоянии проводилось на гравитационных аппаратах.

Результаты переработки металлургических шлаков на концентрационном столе и центробежном концентрате представлены в табл. 5.

Приведенные результаты свидетельствуют о значительно более высокой эффективности разделения на центробежном концентрате. При разделении пробы 1 извлечение никеля в тяжелую фракцию составило 29,9 % на концентрационном столе и 69,17 % – на центробежном концентрате. Массовая доля никеля в концентрате изменяется в диапазоне от 3,2 до 6,3 %.

Полученные результаты по обогатимости металлургических шлаков ООО «Златоустовского металлургиче-

ского завода» позволяют рекомендовать комплексную технологию переработки, представленную на рисунке.

Данная технологическая схема позволяет получить магнитный продукт 1 с массовой долей железа 88,4 % при извлечении железа 35,2 %, магнитный продукт 2 с массовой долей железа 42,7 % при извлечении железа 12,4 % и никельсодержащий концентрат с массовой долей никеля 4,85 % при извлечении 67,9 %.

Заключение

Решающее значение на показатели обогащения металлургических шлаков ООО «Златоустовского металлургического завода» оказывает качество исходного шлака. Предлагаемая технология позволяет регулировать в широких пределах качественно-количественные показатели обогащения, а оптимальные условия необходимо уточнять при запуске установки.

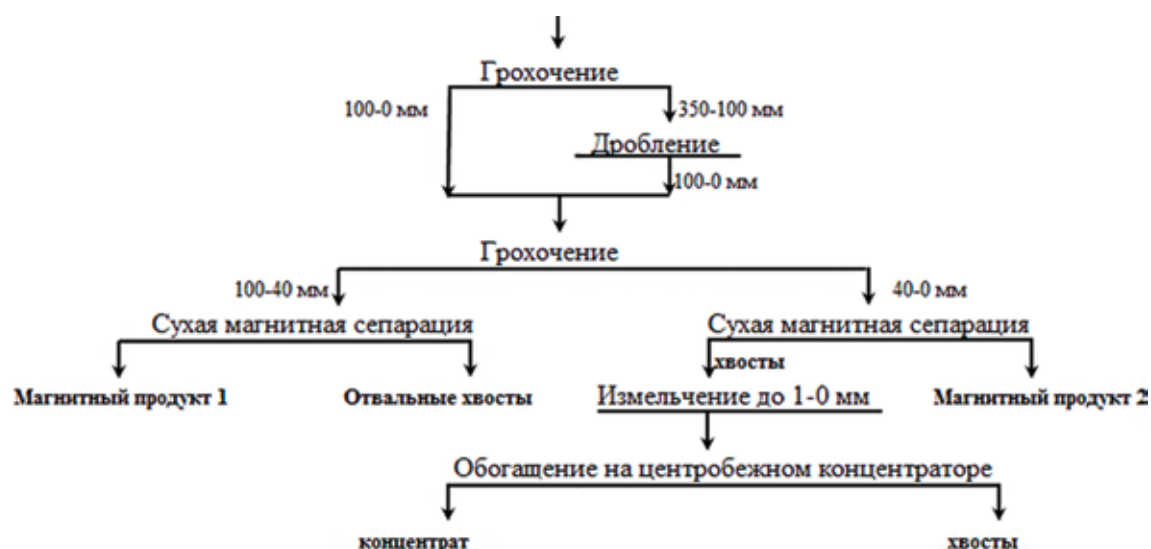
Выводы

1. Проведены исследования по изучению обогати-

Таблица 4 / Table 4

Результаты магнитного анализа металлургических шлаков
Results of magnetic analysis of metallurgical slags

Номер пробы Sample number	Наименование продукта Product name	Выход, % Yield, %	Массовая доля, % Mass fraction, %		Извлечение, % Extraction, %	
			Fe	Ni	Fe	Ni
1	Магнитный продукт 1 Magnetic Product 1	7,2	81,7	0,47	33,0	14,1
	Магнитный продукт 2 Magnetic Product 2	10,3	40,5	0,95	23,4	40,8
	Хвосты Wastes	82,5	9,4	0,13	43,6	45,1
	Итого Total	100	17,81	0,24	100	100
2	Магнитный продукт 1 Magnetic Product 1	8,5	88,4	1,21	35,2	36,7
	Магнитный продукт 2 Magnetic Product 2	6,2	42,7	1,62	12,4	35,9
	Хвосты Wastes	85,3	13,14	0,09	52,4	27,4
	Итого Total	100	21,37	0,28	100	100
3	Магнитный продукт 1 Magnetic Product 1	9,3	90,1	0,98	40,3	24
	Магнитный продукт 2 Magnetic Product 2	8,7	47,8	1,35	20,0	30,9
	Хвосты Wastes	82,0	10,27	0,2	39,7	45,1
	Итого Total	100	20,77	0,38	100	100
4	Магнитный продукт 1 Magnetic Product 1	8,1	88,9	1,31	29,0	23,1
	Магнитный продукт 2 Magnetic Product 2	8,5	46,7	1,64	16,0	30,3
	Хвосты Wastes	83,4	16,35	0,25	55,0	46,6
	Итого Total	100	24,81	0,46	100	100



Рекомендуемая схема переработки шлаков ООО «Златоустовского металлургического завода»
Recommendeds cheme of slag processing of Zlatoust Steel Mill

Результаты обогащения шлаков на концентрационном столе и на центробежном концентраторе
Results of slag enrichment on the concentrator table and centrifugal concentrator

Номер про- бы <i>Sample number</i>	Наименование продукта <i>Product name</i>	Выход, % <i>Yield, %</i>	Массовая доля, % <i>Mass fraction, %</i>		Извлечение, % <i>Extraction, %</i>	
			Fe	Ni	Fe	Ni
Обогащение на концентрационном столе / <i>Enrichment on the concentration table</i>						
1	Концентрат <i>Concentrate</i>	1.8	67.4	2.1	10.33	29.88
	Хвосты <i>Wastes</i>	98.2	16.42	0.09	89.67	70.12
	Итого <i>Total</i>	100	17.81	0.13	100	100
2	Концентрат <i>Concentrate</i>	1.1	69.8	3.44	12.22	42.04
	Хвосты <i>Wastes</i>	98.9	19.49	0.22	87.78	57.96
	Итого <i>Total</i>	100	21.37	0.09	100	100
3	Концентрат <i>Concentrate</i>	2.11	72.4	4.45	16.73	46.95
	Хвосты <i>Wastes</i>	97.89	18.17	0.11	83.27	53.05
	Итого <i>Total</i>	100	20.77	0.2	100	100
4	Концентрат <i>Concentrate</i>	2.87	72.3	4.87	16.32	55.91
	Хвосты <i>Wastes</i>	97.13	21.99	0.11	83.68	44.09
	Итого <i>Total</i>	100	24.81	0.25	100	100
Обогащение на центробежном концентраторе / <i>Enrichment on the centrifugal concentrator</i>						
1	Концентрат <i>Concentrate</i>	2.81	69.2	3.2	20.59	69.17
	Хвосты <i>Wastes</i>	97.19	14.93	0.04	79.41	30.83
	Итого <i>Total</i>	100	17.81	0.13	100	100
2	Концентрат <i>Concentrate</i>	1.26	70.3	4.85	12.5	67.9
	Хвосты <i>Wastes</i>	98.74	19.44	0.03	87.5	32.1
	Итого <i>Total</i>	100	21.37	0.09	100	100
3	Концентрат <i>Concentrate</i>	2.55	73.4	5.71	16.96	72.8
	Хвосты <i>Wastes</i>	97.45	18.12	0.06	83.04	27.2
	Итого <i>Total</i>	100	20.77	0.2	100	100
4	Концентрат <i>Concentrate</i>	2.84	71.7	6.31	15.03	71.68
	Хвосты <i>Wastes</i>	97.16	22.24	0.07	84.97	28.32
	Итого <i>Total</i>	100	24.81	0.25	100	100

ности металлургических шлаков ООО «Златоустовского металлургического завода», позволяющие дать рекомендации к технологической схеме обогащения

с получением железного и никельсодержащего концентратов.

2. Установлено, что в шлаках содержится метал-

лический никель крупностью менее 1 мм, что предопределяет измельчение материала перед выделением никельсодержащего концентрата.

3. Определено, что для выделения магнитного продукта с массовой долей более 42 % из шлака эффективно применять сепарацию на барабанном се-

параторе для крупности -100+40 мм и сепарацию во взвешенном состоянии для крупности 40-0 мм.

4. Выявлено, что для извлечения никельсодержащего концентрата с массовой долей никеля более 5 % эффективно применять центробежный концентратор на материале крупностью 1-0 мм.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Переработка отвальных шлаков на металлургических заводах / М.П. Галкин, В.С. Ларионов, А.В. Степанов, Г.С. Никитин. *Металлург*, 1998. С. 65–67.
2. Дильдин А.Н., Чуманов В.И., Чуманов И.В. Комплексное использование отходов сталеплавильного производства // *Металлург*. 2010. N 11. С. 42–44.
3. Данилов, Е.В. Современная технология утилизации сталеплавильных шлаков // *Металлург*. 2004. N 6. С. 38–39.
4. Демин, Б.Л., Сорокин Ю.В., Зимин А.И. Техногенные образования из металлургических шлаков как объект комплексной переработки // *Сталь*. 2001. N 11. С. 99–102.
5. Гамей А.И., Наумкин В.В., Сухинова Н.В. Схемы переработки металлургических шлаков // *Сталь*. 2007. N 2. С. 144–145.
6. Шамари У. Экономический аспект: защита окружающей среды и ресурсов благодаря шлакам черной металлургии // *Черные металлы*. 2015. N 7. С. 54–56.
7. Дильдин А.Н., Чуманов В.И., Бендера В.И. Утилизация шлаков сталеплавильного производства // *Вестник ЮУрГУ. Серия металлургия*. 2007. N 13(85). С. 15–16.
8. Об использовании отвальных шлаков Златоустовского металлургического завода / Дильдин А.Н., Чуманов В.И., Еремышев В.Е., Жеребцов Д.А. // *Электromеталлургия*. 2015. N 4. С. 28–33.
9. Ковалев В. Н. Металлургический комплекс для получения товарной продукции из материалов техногенного и природного происхождения // *Сталь*. 2013. N 4. С. 78–83.
10. Технология и комплексы оборудования для переработки металлосодержащих отходов с выделением товарной продукции / Серегин А.Н., Ермолов В.М., Степанян А.С., Арсентьев В.А. // *Проблемы черной металлургии и материаловедения*. 2010. N 1. С. 35–40.
11. Федотов В.М., Долинский В.А., Глушаков Ю.М. О переработке сталеплавильных шлаков // *Известия вузов. Черная металлургия*. 1997. N 4. С. 7–10.
12. Глубокая переработка сталеплавильных шлаков / Чижевский, В.Б., Шавакулева О.П., Дегодя Е.Ю., Мудрых Н.А. // *Сталь*. 2014. N 4. С. 124–126.
13. Анализ современного состояния добычи и переработки железных руд и железорудного сырья в Российской Федерации / Юшина Т.И., Петров И.М., Авдеев Г.И., Валавин В.С. // *Горный журнал*. 2015. N 1. С. 41–47.
14. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П., Сединкина Н.А. Извлечение слабомагнитных железосодержащих минералов на центробежном концентраторе // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2015. N 5. С. 123–128.
15. Гзогян Т.Н., Перепелицын А.И. Опыт применения центробежного гравитационного концентратора Falcon для извлечения гематита из хвостов мокрой магнитной сепарации на Михайловском ГОКе // *Обогащение руд*. 2011. N 3. С. 27–30.
16. Царьков В.А. Зарубежные аппараты для центробежного гравитационного обогащения // *Горный журнал*. 1999. N 3. С. 76–80.
17. Баранов В. Ф., Сентемова В.А., Ядрышников А.О. О модернизации технологии рудоподготовки отечественных железорудных фабрик // *Обогащение руд*. 2005. N 1. С. 5–8.
18. Факторы, влияющие на процесс сухой магнитной сепарации во взвешенном состоянии / Сединкина Н.А., Павелин А.В., Хисаметдинова Д.Н., Мубаряков Р.С. // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. 2014. T. 1. С. 39–42.
19. Сухая магнитная сепарация мелкого материала во взвешенном состоянии / Гришин И.А., Горлова О.Е., Шавакулева О.П., Кошкалда А.Н. // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2004. N 3. С. 33–34.
20. Сединкина Н.А. Влияние различных параметров на сепарацию промпродукта ДОФ-5 ОАО «ММК» // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2007. N 3. С. 22–25.

REFERENCES

1. Galkin M.P., Larionov V.S., Stepanov A.V., Nikitin G.S. Recycling of slag waste at metallurgical plants. *Metallurg*. 1998, pp. 65–67.
2. Dildin A.N., Chumanov V.I., Chumanov I.V. Complex processing of waste steel production. *Metallurg*. 2010, no. 11, pp. 42–44.
3. Danilov, E.V. Modern technology of steelmaking slag utilization. *Metallurg*. 2004, no. 6, pp. 38–39.
4. Demin B.L., Sorokin Yu.V., Zimin A.I. Technogenic formations from metallurgical slags as an object of complex processing. *Steel*. 2001, no. 11, pp. 99–102.
5. Gamey A.I., Naumkin V.V., Sukhinova N.V. Schemes of metallurgical slag processing. *Steel*. 2007, no. 2, pp. 144–145.
6. Shamari U. Economic aspect: protection of the environment and resources due to ferrous metallurgy slags. *Ferrous Metals*. 2015, no. 7, pp. 54–56.
7. Dildin A.N., Chumanov V.I., Bendera T.A. Utilization of steelmaking slags. *Bulletin of SUSU*. 2007, no. 13(85), pp. 15–16.
8. Dildin A.N., Chumanov V.I., Yermyshev V.E., Zherebtsov D.A. On the use of waste slag from the Zlatoust Metallurgical Plant. *Electrometallurgy*. 2015, no. 4, pp. 28–33.

9. Kovalev V. N. Metallurgical complex for the production of marketable products from materials of man-made and natural origin. *Steel*. 2013, no. 4, pp. 78–83.

10. Seregin A. N., Ermolov V.M., Stepanyan A.S., Arseniev V.A. Technology and equipment complexes for processing metal-containing waste with the release of marketable products. *Problems of Ferrous Metallurgy and Materials Science*. 2010, no. 1, pp. 35–40.

11. Fedotov V.M., Dolinsky V.A., Glushakov Y.M. On the processing of steel slags. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Ferrous Metallurgy*. 1997, no. 4, pp. 7–10.

12. Chizhevsky V.B., Shavakuleva O.P., Degodya E.Ya., Mudrich N.A. Deep processing of steel slag. *Steel*. 2014, no. 4, pp. 124–126.

13. Yushina T. I., Petrov I.M., Avdeev G.I., Valavin V.S. Analysis of the current state of mining and processing of iron ores and iron ore raw materials in the Russian Federation, *Mining Journal*. 2015, no. 1, pp. 41–47.

14. Chizhevsky V.B., Shavakuleva O.P., Sedinkina N.A. The extraction of weak-magnetic ironbearing minerals at centrifugal concentrator. *Minerals and Mining Engineering*. 2015, no. 5, pp. 123–128.

15. Gzogian T.N., Perepelitsyn A.I. Experience of using the Falcon centrifugal gravity concentrator to extract hematite from wet magnetic separation tailings at Mikheelovskiy processing plant. *Mineral Processing Journal*. 2011, no.3, pp. 27–30.

16. Tsarkov V.A. Foreign apparatuses for centrifugal gravity enrichment. *Mining Journal*. 1999, no. 3, pp. 76–80.

17. Baranov V. F., Sentemova V.A., Yadryshnikov A.O. On the modernization of the technology of ore preparation of domestic iron ore factories. *Ore Enrichment*. 2005, no. 1, pp. 5–8.

18. Sedinkina N.A., Pavelin A.V., Hisametdinova D.N., Mubaryakov R.S. Factors influencing the process of dry magnetic separation in suspended state. *Actual Problems of Modern Science. Technology and Education*. 2014, vol. 1, pp. 39–42.

19. Grishin I.A., Gorlova O.E., Shavakuleva O.P., Koshkolda A.N. Dry magnetic separation of fine material in suspension. *Ferrous Metallurgy*. 2004, no. 3, pp. 33–34.

20. Sedinkina N.A. The influence of various parameters on the separation of the DOF-5 industrial product of OJSC MMK. *Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov*. 2007, no. 3, pp. 22–25.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ШАВАКУЛЕВА Ольга Петровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

+7(3519)034932
shavakylevao@yandex.ru



СЕДИНКИНА Наталья Анатольевна – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

+7(3519)298555
magnetyt@mail.ru



ГМЫЗИНА Наталья Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.

+7(3519)298555
gmnat1307@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olga P. SHAVAKYLEVA – Associate Professor of the Department of Geology, Surveying and Mineral Processing, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia.

+7(3519)034932
shavakylevao@yandex.ru

Natalia A. SEDINKINA – Associate Professor of the Department of Geology, Surveying and Mineral Processing, Candidate of Technical Sciences, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia.

+7(3519)298555
magnetyt@mail.ru

Natalia V. GMYZINA – Associate Professor of the Department of Geology, Surveying and Mineral Processing, Candidate of Technical Sciences, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russia.

+7(3519)298555
gmnat1307@mail.ru



КОСАРЕВ Леонид Владимирович – доцент кафедры строительного дела, кандидат технических наук, Технический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова в г. Нерюнгри», Нерюнгри, Россия.
+7(41147)45276
leonid_kossarev@mail.ru

Leonid V. KOSAREV – Associate Professor of the Department of Construction Engineering, Candidate of Technical Sciences, Technical Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov in Neryungri”, Neryungri, Russia.
+7(41147)45276
leonid_kossarev@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Шавакулева О.П. – собрала материалы по металлургическим шлакам; **Сединкина Н.А.** – собрала необходимый материал по ООО «Златоустовский металлургический завод», проанализировала данные; **Гмызина Н.В.** – собрала материалы по схемам переработки металлургических шлаков; **Косарев Л.В.** – собрал и проанализировал информацию по переработке металлургических шлаков; **Шавакулева О.П., Сединкина Н.А., Гмызина Н.В. и Косарев Л.В.** провели все приведенные исследования, написали рукопись и несут ответственность за плагиат.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Shavakuleva O.P. collected materials on metallurgical slags; **Sedinkina N.A.** collected the necessary general material on Zlatoust steel Mill, analyzed the data; **Gmyzina N.V.** collected materials on the scheme of processing metallurgical slags; **Kossarev L.V.** collected and analyzed information on the processing of metallurgical slags; **Shavakuleva O.P., Sedinkina N.A., Gmyzina N.V.** and the **Kossarev L.V.** conducted all the research in the article, wrote the manuscript and are responsible for plagiarism.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

<https://img3.goodfon.ru/original/1918x1080/4/1a/ispaniya-barselona-gory.jpg>



ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ENGINEERING



*Если бы я захотел читать, еще не зная букв, это было бы бессмыслицей.
Точно так же, если бы я захотел судить о явлениях природы,
не имея никакого представления о началах вещей, это было бы такой же бессмыслицей.*
Михаил ЛОМОНОСОВ

Оригинальная статья
УДК 622:577.4

DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-97-106

Разработка метода анализа и оценки оптимального состояния аэрогазодинамических процессов на угольных шахтах

Игорь И. Босиков¹✉, Роман В. Ключев^{1,2}, Андрей В. Майер³, Галина В. Стась⁴

¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия, igor.boss.777@mail.ru✉

²Московский политехнический университет, Москва, Россия

³Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Москва, Россия

⁴Тульский государственный университет, Тула, Россия

Аннотация. В статье рассмотрено состояние аэрогазодинамических процессов на угольных шахтах. Проведены исследования по продолжительности интервала наблюдения режимов движения воздуха и газа через выработанное и призабойное пространство добычного участка для обеспечения заданной точности определения значений по реализациям нестационарных газодинамических процессов. Получены системы уравнений, описывающие неустановившиеся режимы движений воздуха и газа через выработанное и призабойное пространство добычного участка с позиций аэродинамики. Используя результаты проведенных экспериментов, для процесса концентрации метана выбрана длина реализации, равная одним суткам, так как за это время в лаве успевает завершиться, по крайней мере, один полный производственный цикл. Длительность этого цикла значительно превосходит величину максимального интервала измерения, для которого еще целесообразно на практике определять режимы движений воздуха и газа через выработанное и призабойное пространство добычного участка. Результаты исследований рекомендуются для использования при проектировании эффективных схем воздухообеспечения на добычных участках угольных шахт и правильной расстановки регуляторов для учета концентрации метана в потоке потребляемого воздуха.

Ключевые слова: рудничная атмосфера, концентрация метана, депрессия и аэродинамическое сопротивление, угольная шахта, вентиляция, аэрогазодинамические процессы, оптимальное состояние.

Для цитирования: Босиков И.И., Ключев Р.В., Майер А.В., Стась Г.В. Разработка метода анализа и оценки оптимального состояния аэрогазодинамических процессов на угольных шахтах // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 97–106. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-97-106.

Получена редакцией 03.04.2021; получена после рецензии 05.06.2021; принята к печати 20.06.2021.

Development of a method for analyzing and evaluating the optimal state of aerogasodynamic processes in coal mines

Igor I. Bosikov¹✉, Roman V. Klyuev^{1,2}, Andrey V. Mayer³, Galina V. Stas⁴

¹North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia, igor.boss.777@mail.ru✉

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

³Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin, Moscow, Russia

Abstract. The article deals with the state of aerogasdynamic processes in coal mines. With centralized automatic control and management of mine ventilation using a control system, in the circuit of which application software is used, the choice of a rational period for collecting information received from controlled objects is of great importance. The object of automatic control in a coal mine are the parameters characterizing the state of the mine atmosphere - methane concentration, air flow, temperature and parameters of the ventilation network (depression and aerodynamic resistance). All controlled parameters characterize the state of the atmosphere.

Research goal. The purpose of the research is to develop a method for analyzing and evaluating the optimal state of aerogasdynamic processes in coal mines.

Research objectives. Conduct an analysis of the optimal state of aero- gasdynamic processes and adapt the method at coal industry enterprises.

Research results. Studies have been carried out on the duration of the observation interval for the modes of movement of air and gas through the goaf and bottom-hole space of the production area, to ensure the specified accuracy in determining the values for the implementation of non-stationary gas-dynamic processes. It is determined that the resulting systems of equations describing the unsteady modes of air and gas movement through the mined-out and bottom-hole space of the mining area from the standpoint of hydrodynamics with subsequent simplification of these equations based on the assumptions made. Using the results of the experiments, for the process of methane concentration, a realization length of 1 day was chosen, since during this time at least one complete production cycle has time to complete in the longwall. The duration of this cycle significantly exceeds the value of the maximum measurement interval $\Delta t\beta = 30$ min., for which it is still advisable in practice to determine the modes of movement of air and gas through the mined-out and bottom-hole space of the production area. The research results are recommended for use in the design of efficient air supply schemes in the mining areas of coal mines and the correct placement of regulators to take into account the concentration of methane in the flow of consumed air.

Keywords: mine atmosphere, methane concentration, depression and aerodynamic drag, coal mine, ventilation, aerogasdynamic processes, optimal state.

For citation: Bosikov I.I., Klyuev R.V., Mayer A. V., Stas G.V. Development of a method for analyzing and evaluating the optimal state of aerogasdynamic processes in coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):97-106. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-97-106.

Received by the editors 03.04.2021; received after the review 05.06.2021; accepted for printing 20.06.2021.

Введение

При централизованном автоматическом контроле и управлении проветриванием шахты с помощью системы управления, в контуре которой используется прикладное программное обеспечение (ПО), большое значение имеет выбор рационального периода съема информации, получаемой с контролируемых объектов (рис. 1).

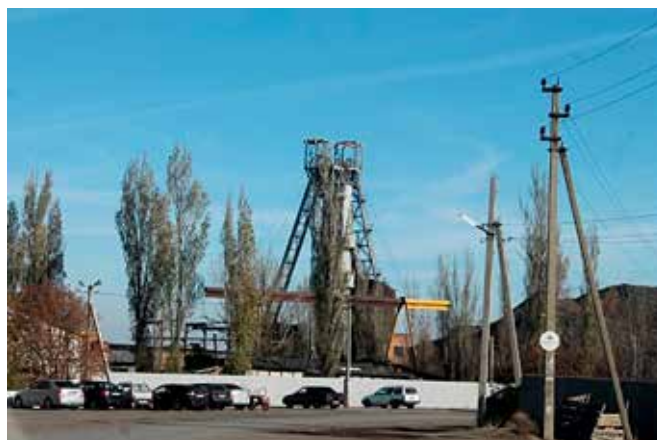


Рис. 1. Угольная шахта №13 Ростовская область

Fig. 1. Coal mine No. 13 Rostov region

Объектом автоматического контроля на шахте являются параметры, характеризующие состояние рудничной атмосферы: концентрация метана; расход воздуха; температура и параметры вентиляционной сети (депрессия и аэродинамическое сопротивление).

Все контролируемые параметры, характеризующие состояние, качество атмосферы, авторы условно разделяют на две группы [1–7].

К первой группе относятся те параметры, отклонения которых от технологических нормативов (даже единичного, кратковременного характера) недопустимы. Подобные отклонения могут привести к нарушениям режима проветривания в вентиляционной сети и даже к аварии. При контроле такого параметра важно не пропустить любое, даже достаточно редкое изменение его за пределы нормы в опасную сторону. К этой группе параметров относится концентрация метана, отклонения которой от уровня, регламентированного ПБ, совершенно недопустимо. Поэтому контроль над концентрацией метана в рудничной атмосфере является основным в системе централизованного контроля и управления проветриванием шахт.

Ко второй группе параметров относятся показатели аэродинамических процессов – скорость и расход воздуха, депрессия, температура и т.д., единичные кратковременные колебания которых существенно не сказываются на вентиляционном режиме объекта. При контроле таких параметров важно знать не столько их мгновенные значения, сколько их усредненные значения за какой-то промежуток времени, т.е. тенденцию их изменения во времени. Для второй группы параметров период съема информации может быть выбран по одному критерию точности измерения, например, по среднеквадратичной ошибке.

Цель работы

Разработка метода анализа и оценки оптимального состояния аэрогазодинамических процессов на угольных шахтах.

Методика исследований

Исследования базировались на современных методах математической статистики, теории графов, теории принятия решений, аппарате математической логики, факторного анализа, математическом моделировании, теории множеств, теории вероятности и системного анализа.

При выборе интервала измерения концентрации метана учитывалось следующее:

- завышенная частота съема информации ведет к увеличению объема получаемой информации и тем самым к усложнению ее переработки;

- занижение частоты съема информации повышает опасность выхода контролируемого процесса в промежутке между замерами за предельно допустимый уровень, определенный правилами безопасности (ПБ), и

увеличивает погрешность аппроксимации непрерывной кривой.

Так как заниженная частота измерения концентрации метана может практически свести к нулю результат дискретного контроля и управления, интервал съема информации Δt должен выбираться таким образом, чтобы:

- погрешность измерения, состоящая из ошибки измерительного прибора и погрешности аппроксимации непрерывной кривой, не превышала заданную;

- значения контролируемого процесса в промежутке между замерами не выходили за предельно-допустимый уровень, регламентированный ПБ.

Определенный таким образом интервал измерения концентрации метана будем называть оптимальным интервалом (Δt_{opt}).

Интервал съема информации, определенный по критерию точности измерения, ограничен нижним и верхним пределом. Нижний предел интервала измерения (Δt_{min}) может быть найден из условия обеспечения стопроцентной точности аппроксимации непрерывной кривой в соответствии с известной теоремой Котельникова. По этой теореме интервал дискретных измерений равен четверти периода колебаний, соответствующего наибольшей частоте спектра разложения [5–10].

Верхний предел интервала измерения (Δt_{max}) может быть определен по критерию, в качестве которого принимается математическое ожидание контролируемого процесса [7–9]. Предельный интервал измерения (Δt_{max}) находится таким образом, чтобы математическое ожидание процесса практически не искажалось. Интервал съема информации находится внутри этих пределов и выбирается обычно на основе других критериев точности.

С другой стороны, интервал измерения концентрации метана необходимо определять так, чтобы обеспечить безопасность ведения горных работ. Для этого система управления проветриванием шахты должна в таких условиях полностью исключать возможность возникновения опасных концентраций метана в рудничной атмосфере.

Опасность создания угрожающей ситуации на участке появляется лишь тогда, когда концентрация метана превышает допустимое по ПБ предельное значение СПБ. Для характеристики степени безопасного ведения горных работ на участке целесообразно ввести критерий безопасности по фактору вентиляции β , который должен обеспечивать систему управления проветриванием на участке и предлагается выбрать разность между допустимым и стабилизируемым уровнем концентрации метана:

$$\beta = C_{ПБ} - C^* \quad (1)$$

После выбора критериев задача поиска оптимального интервала измерения по критерию безопасности и точности измерения сводится к построению кривых

$\beta = f(\Delta t)$ и $\alpha = f(\Delta t)$ с помощью которых по заданным (или выбираемым на основе каких-либо соображений) величинам $\beta = \beta_{\text{зад}}$ и $\alpha = \alpha_{\text{зад}}$ устанавливаются отвечающие им значения Δt_{β} и Δt_{α} .

Оптимальный интервал измерения концентрации метана в соответствии с определением должен удовлетворять следующим неравенствам:

$$\Delta t_{\text{опт}} \leq \Delta t_{\alpha}, \quad (2)$$

$$\Delta t_{\text{опт}} \leq \Delta t_{\beta}. \quad (3)$$

В зависимости от соотношений между Δt_{α} и Δt_{β} оптимальный интервал измерения определяется из равенства:

$$\Delta t_{\text{опт}} = \Delta t_{\alpha} \text{ при } \Delta t_{\alpha} \leq \Delta t_{\beta}, \quad (4)$$

$$\Delta t_{\text{опт}} = \Delta t_{\beta} \text{ при } \Delta t_{\alpha} > \Delta t_{\beta}. \quad (5)$$

Таким образом, определение оптимального интервала измерения концентрации метана следует проводить в такой последовательности:

- по экспериментальным данным построить зависимость критерия безопасности горных работ от интервала измерения, т.е. $\beta = f(\Delta t)$;

- используя зависимость $\beta = f(\Delta t)$, найти интервал измерения Δt_{β} по заданной величине критерия безопасности горных работ $\beta_{\text{зад}}$;

- для выбранного критерия α построить зависимость $\alpha = f(\Delta t)$ и определить по ней интервал измерения Δt_{α} , используя заданный критерий точности $\alpha_{\text{зад}}$;

Учитывая выражения (4, 5), выбран оптимальный интервал измерения $\Delta t_{\text{опт}}$.

В соответствии с требованиями ПБ отклонения концентрации метана от пределов нормы, даже единичного, кратковременного характера, совершенно недопустимы, так как они могут привести к аварийному режиму. При контроле таких объектов важно не пропустить любое, даже достаточно редкое превышение предельно допустимого уровня. Поэтому задачу определения интервала измерения Δt_{β} по критерию безопасности будем решать в следующей постановке [5–10].

Пусть в процессе нормальной эксплуатации объекта на отрезке наблюдения $(0, t)$ получена нестационарная дискретная последовательность значений концентрации метана $C(t_k)$, $t_k = t_{k-1} + \Delta t$, $\Delta t = \text{const}$ ($K = 1, 2, 3, \dots$).

Требуется найти такой функционал I_c , который за промежуток времени между двумя соседними измерениями концентрации метана не должен превышать величину критерия безопасности β , определяемую выражением (1).

Авторами в качестве функционала I предлагается выбирать абсолютную разность значений контролируемого процесса $X(t)$ в соседних точках t_k и $t_k + I$:

$$I = |X(t_{k+1}) - X(t_k)| \quad (6)$$

или среднеквадратичное измерение функции:

$$I = \left\{ \frac{1}{\Delta t} \int_{t_k}^{t_k + \Delta t} [X(t_k + \tau) - X(t_k)]^2 d\tau \right\}^{1/2}. \quad (7)$$

В общем случае функционал I зависит от значений контролируемого процесса $X(t_k)$, времени t и интервала измерения

$$I = I[X(t_k), t, \Delta t]. \quad (8)$$

По проведенному анализу видно, что при ограниченном входном воздействии $U(t)$ на инерционный объект $0 < U(t) \leq M$, $M > 0$ функционалы (6) и (7), построенные по реализациям выходного сигнала, существенно зависят как от числа M , так и от динамических характеристик объекта. Это влияние выражается, например, в том, что скорости нарастания выходного сигнала всегда ограничены при любом законе изменения $U(t)$, в том числе при скачкообразном [10–15]. Поэтому при ограниченном воздействии на инерционный объект приращение выходного сигнала будет всегда конечной величиной при фиксированном интервале измерения Δt .

Так как добычной участок является инерционным объектом с ограниченным входным воздействием, то для решения поставленной задачи может быть использован несколько видоизмененный функционал (6). Искомый функционал I_c должен по своей структуре соответствовать выражению (1) и быть всегда положительным, т.е. $I_c > 0$. С учетом этого требования выберем в качестве функционала I_c положительную разность значений концентрации метана в соседних точках измерения и t_k и t_{k+1} :

$$I_c = C(t_{k+1}) - C(t_k), \quad (9)$$

где

$$C(t_{k+1}) \geq C(t_k). \quad (10)$$

Для выбранного функционала построение зависимости $I_c f(\Delta t)$ может быть произведено по дискретной последовательности процесса концентрации метана следующим образом.

Выберем интервал дискретности равным $t_n = \Delta t u$, определим значения функции (9) для $K = 1, 2$.

Пусть полученные при этом значения I_c удовлетворяют неравенствам $I_c(t_1) \leq 0$, $I_c(t_2) \leq 0$. Значение $I_c(t_2) \leq 0$ отбрасываем как неудовлетворяющее условию (10) и определяем следующее значение функции $I_c(t_3)$ для $K = 3$. Если $I_c(t_3) \leq 0$, то из найденных положительных значений $I_c(t_1)$ и $I_c(t_2)$ выберем наибольшее.

Пусть $I_c(t_1) \geq I_c(t_2)$, тогда, зафиксировав наибольшее значение $I_c(t_1)$, делаем следующий шаг и определяем значение $I_c(t_4)$ для $K = 4$. Если для значения $I_c(t_4)$ выполняется условие (10), то производим его сравнение с наибольшим значением для предыдущих шагов, т.е. $I_c(t_4) \geq I_c(t_1)$. Если $I_c(t_4) \geq I_c(t_1)$, фиксируя наибольшее значение $I_c(t_4)$, делаем следующий шаг, определяем значение функции $I_c(t_5)$ для $K = 5$, сравниваем его с $I_c(t_4)$ и т.д.

Пройдя таким образом всю дискретную последовательность $C(t_k)$ для значений $K = 1, 2, 3, \dots$, найдем для выбранного интервала дискретности Δt максимальное значение функции $I_c^*(\Delta t)$. Для следующего интервала дискретности $\Delta t_2 = 2\Delta t$ производим вышеуказанные

действия и находим максимальное значение $I_c^*(\Delta t_2)$ и т.д. [8–15].

В результате получаем дискретную последовательность максимальных значений функции $I_c^*(\Delta t)$ для различных интервалов дискретности:

$$I_c^*(\Delta t_1), I_c^*(\Delta t_2), I_c^*(\Delta t_2), \dots, I_c^*(\Delta t_m) \quad (11)$$

Дискретная последовательность (11) представляет собой значения верхних границ функции:

$$I_c^*(\Delta t) = \max[C(t_{k+1}) - C(t_k)], \quad (12)$$

$$C(t_{k+1}) \geq C(t_k). \quad (13)$$

По полученной последовательности (12) строим график $I_c^*(\Delta t)$ (рис. 2), который представляет собой монотонно возрастающую функцию с максимумом, равным максимальному значению амплитуды колебаний концентрации метана $C(t)$ на интервале наблюдения $(0, t)$.

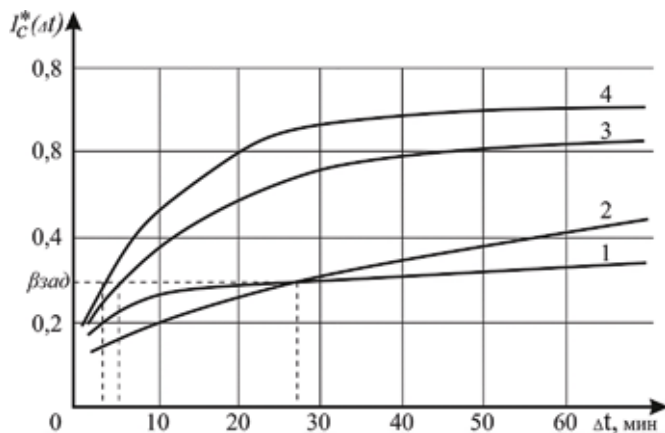


Рис. 2. Графики предельных функций концентрации метана по критерию безопасности: 1, 2 – Северная лава; 3 – Западная лава; 4 – Северо-Западная лава

Fig. 2. Graphs of the limiting functions of the methane concentration according to the safety criterion: 1, 2 – Northern lava; 3 – Western lava; 4 – Northwestern lava

Интервал измерения по критерию безопасности Δt определяется путем решения уравнения:

$$I_c^*(\Delta t) = \beta_{зад}. \quad (14)$$

Рассмотрим продолжительность интервала наблюдения для обеспечения заданной точности определения значений функции $I_c^*(\Delta t)$ по реализациям нестационарных газодинамических процессов.

Как известно, в случае нестационарных процессов определение их характеристик производится по нескольким независимым реализациям путем нахождения среднего арифметического значения результатов, полученных для различных реализаций [15–18]. Длина используемой реализации при этом должна значительно превосходить величину интервала, на котором определяются характеристики процесса.

Используя результаты проведенных экспериментов, для процесса концентрации метана можно выбрать длину реализации, равной одним суткам, так как за это время в лаве успевает завершиться, по крайней

мере, один полный производственный цикл. Длительность этого цикла значительно превосходит величину максимального интервала измерения $\Delta t_\beta = 30$ мин, для которого еще целесообразно на практике определять значение функции $I_c^*(\Delta t)$.

Так как производственные процессы на участке, производимые в течение одних суток, практически не влияют на характер аэрогазодинамического процесса в течение следующих суток, то суточные реализации процесса концентрации метана можно считать независимыми. Эквивалентом нескольких независимых суточных реализаций в этом случае является многосуточная реализация, полученная в режиме нормальной эксплуатации участка [18–24].

Значения функции $I_c^*(\Delta t)$, определенные по каждой реализации, на длительном интервале наблюдения будут изменяться в некотором диапазоне:

$$I_c^*(\Delta t) = \frac{I_{\max}^*(\Delta t)}{I_{\min}^*(\Delta t)}. \quad (15)$$

Весь диапазон $I_c^*(\Delta t)$ разобьем на ряд квантов в соответствии с заданной ошибкой измерения истинной функции $I_c^*(\Delta t)$.

Для газодинамических процессов вероятности попадания значений функции $I_c^*(\Delta t)$ в крайние кванты диапазона малы. В этом случае можно воспользоваться формулой Пуассона. Вероятность P_k того, что значение функции $I_c^*(\Delta t)$ появятся k раз в крайнем кванте, т.е. будет с определенной точностью являться оценкой максимального значения функции $I_c^*(\Delta t)$, определяется выражением:

$$P_k = \frac{\lambda^k}{k} e^{-\lambda} \quad (16)$$

Параметр λ выражается как:

$$\lambda = a T,$$

где a – среднее число попаданий в крайний квант в единицу времени;

T – время наблюдения.

Таким образом, параметр λ характеризует среднее число попаданий оценки функции $I_c^*(\Delta t)$ в крайний квант диапазона за все время эксперимента.

Если распределение вероятностей внутри диапазона симметрично, вероятность попадания функции $I_c^*(\Delta t)$ хотя бы один раз и в верхний, и в нижний кванты диапазона определяются формулой:

$$P_0 = (1 - e^{-\lambda})^2. \quad (17)$$

Из последнего выражения, задавая значением P_0 , можно найти λ . Для определения интервала наблюдения используем формулу (16), преобразованную следующим образом:

$$T = \frac{\lambda}{P} T_0, \quad (18)$$

где P – вероятность попадания в крайний квант диапазона $I_c^*(\Delta t)$;

T_0 – интервал наблюдения, равный одним суткам.

Предположим, что значения функции $I_c^*(\Delta t)$ внутри диапазона распределены по нормальному закону. Тог-

да для определения вероятности P можно использовать формулу для нахождения вероятности попаданий случайной величины на участок от I_k до I_n [18–20]:

$$P(I_k \leq I_c^*(\Delta t) \leq I_n) = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{I_n - m}{\sigma\sqrt{2}} \right) - \Phi \left(\frac{I_k - m}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right], \quad (19)$$

где Φ – функция Лапласа;

m – математическое ожидание значений функции $I_c^*(\Delta t)$;

σ – среднеквадратичное отклонение значений функции $I_c^*(\Delta t)$ от математического ожидания.

Примем, что максимальное значение функции $I_c^*(\Delta t)$ равно значению $I_n = m + 2\sigma$. Тогда, задаваясь различной точностью получения оценки максимального значения функции $I_c^*(\Delta t)$, по формуле (19) найдем величины вероятности попадания в крайний квант диапазона P .

Результаты расчета по формулам (17–19) интервалов наблюдения (табл. 2) свидетельствуют, что для увеличения точности определения оценок значений функции $I_c^*(\Delta t)$ нецелесообразно увеличивать интервал наблюдения. Так, например, для получения 20–30 % точности оценки требуемый интервал наблюдения должен быть равен 2–4 месяцам (таблица).

В условиях изменения параметров участка с течением времени более простым путем повышения точности оценок интервала измерения является метод уточнения их в процессе диспетчерского контроля и управления [11–18].

Результаты исследований

Предлагается проводить уточнение интервала измерения в процессе диспетчерского контроля и управления по следующей системе.

В темпе поступления данных дискретного контроля вычисляются значения функции $I_c^*(\Delta t)$ по формуле (9) и производится сравнение с заданным значением критерия безопасности $\beta_{зад}$. В случае появления значений,

удовлетворяющих неравенству $I_c^*(\Delta t) \geq \beta_{зад}$, производится определение нового значения интервала измерения Δt_{β} .

Для вывода формулы, по которой можно определять новое значение интервала измерения Δt_{β} используем рис. 3, кривая $I_c^*(\Delta t)$ на рис. 3 соответствует функции (11), полученной до изменения газового режима участка. По кривой $I_c^*(\Delta t)$ найдем интервал измерения Δt_{β} , обеспечивающий заданное значение критерия безопасности $\beta_{зад}$ (отрезок ML на рис. 3) [19–22].

Кривая $I_c^*(\Delta t)$ получена после изменения газовой ситуации на участке. Используя ее, находим, что в новых условиях при интервале измерения Δt_{β} максимальная погрешность превышает значение критерия безопасности $\beta_{зад}$ и равна $I_c^*(\Delta t)$ (отрезок PL на рис. 3).

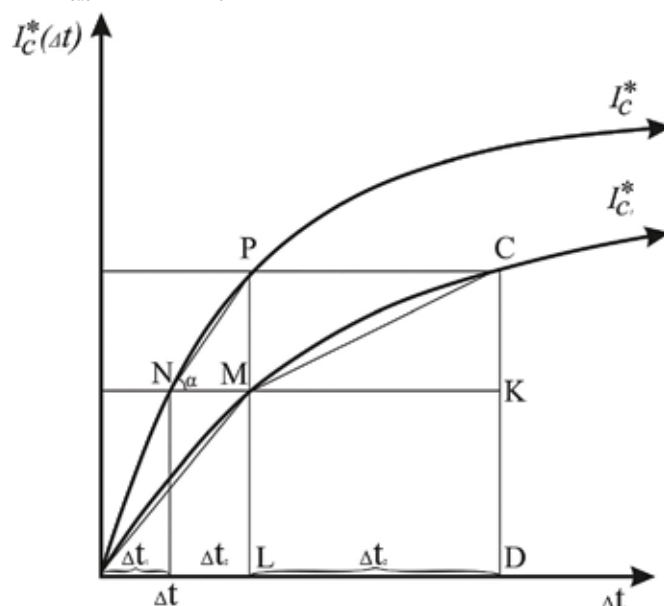


Рис. 3. Графики предельных функций концентрации метана по критерию точности

Fig. 3. Graphs of limiting functions of methane concentration according to the criterion of accuracy

Требуемый интервал наблюдения Required observation interval

№	Относительная погрешность определения функции Relative error of function definition	Коэффициент Coefficient I_k	Вероятность Probability P	Значения функции Лапласа Values of the Laplace function	Время наблюдения, t , сутки Observation time, t , days
1	5	$m+1.9 \sigma$	0.11500	0.9439	320
2	10	$m+1.8 \sigma$	0.01345	0.9284	274
3	15	$m+1.7 \sigma$	0.0221	0.9110	166
4	20	$m+1.6 \sigma$	0.0320	0.8913	115
5	30	$m+1.4 \sigma$	0.0563	0.8427	65
6	40	$m+1.2 \sigma$	0.0923	0.7707	40
7	50	$m+1.0 \sigma$	0.1354	0.6845	27
8	60	$m+0.8 \sigma$	0.1920	0.5713	19
9	70	$m+0.6 \sigma$	0.2517	0.4519	15
10	80	$m+0.4 \sigma$	0.3238	0.3076	12
11	90	$m+0.2 \sigma$	0.3986	0.1580	10

Значение интервала измерения Δt_{β} , которое требуется для обеспечения в новой ситуации заданной величины критерия безопасности $\beta_{зад}$, находим, проведя из точки M прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой $I_c^*(\Delta t)$ в точке N . Перпендикуляр, опущенный из точки N , отсекает на оси абсцисс отрезок, равный новому значению интервала измерения Δt_{β} .

Как видно из рис. 2, интервал измерения Δt_{β} может быть найден из равенства:

$$\Delta t_{\beta} = \Delta t - \Delta t_2 \quad (20)$$

Величину Δt_2 определим из прямоугольного треугольника:

$$\Delta t_2 = \frac{PM}{tg\alpha} = \frac{I_c^*(\Delta t_{\beta}) - \beta_{зад}}{tg\alpha} \quad (21)$$

Приближенную формулу для определения интервала измерения Δt_{β} , когда $I_c^*(\Delta t_{\beta}) \geq \beta_{зад}$, получим, подставив значение Δt_2 из (21) в выражение (20):

$$\Delta t_{\beta}^* = \Delta t_{\beta} - \frac{I_c^*(\Delta t_{\beta}) - \beta_{зад}}{\beta_{зад} / \Delta t_{\beta}} = \Delta t_{\beta} - \frac{I_c^*(\Delta t_{\beta}) - \beta_{зад}}{\beta_{зад}} \cdot \Delta t_{\beta}$$

Таким образом, окончательно имеем:

$$\Delta t_{\beta}^* = \left[2 - \frac{I_c^*(\Delta t_{\beta})}{\beta_{зад}} \right] \cdot \Delta t_{\beta} \quad (22)$$

Проведенная экспериментальная проверка показала, что использование формулы (22) для уточнения интервала измерения в темпе с процессом дает удовлетворительную для целей контроля и управления точность.

Формула (22) достаточно проста и легко может быть реализована в системе диспетчерского контроля в виде отдельного устройства или в виде прикладно-

го ПО, включенного в контур управления объектом [15–24].

Выводы

1. В статье рассмотрено состояние аэродинамических процессов на угольных шахтах.

2. Проведены исследования по продолжительности интервала наблюдения режимов движений воздуха и газа через выработанное и призабойное пространство добычного участка для обеспечения заданной точности определения значений по реализациям нестационарных газодинамических процессов.

3. Определено, что полученные системы уравнений, описывают неустановившиеся режимы движений воздуха и газа через выработанное и призабойное пространство добычного участка с позиций аэродинамики с последующим упрощением этих уравнений на базе принятых допущений.

4. Используя результаты проведенных экспериментов, для процесса концентрации метана выбрана длина реализации, равная одним суткам, так как за это время в лаве успевает завершиться, по крайней мере, один полный производственный цикл. Длительность этого цикла значительно превосходит величину максимального интервала измерения, для которого еще целесообразно на практике определять режимы движений воздуха и газа через выработанное и призабойное пространство добычного участка

5. Результаты исследований рекомендуются для использования при проектировании эффективных схем воздухообеспечения на добычных участках угольных шахт и правильной расстановки регуляторов для учета концентрации метана в потоке потребляемого воздуха.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пучков Л. А., Каледина Н. О., Кобылкин С. С. Системные решения обеспечения метанобезопасности угольных шахт // Горный журнал. 2014. N 5. С. 12–14.
2. Semin M. A., Levin L. Yu. Stability of air flows in mineventilation networks // Process Safety and Environmental Protection. 2019. Vol. 124. P. 167–171. DOI: 10.1016/j.psep.2019.02.006.
3. Thakur P. 1 - Underground Coal Mine Atmosphere. Advanced Mine Ventilation // Respirable Coal Dust, Combustible Gas and Mine Fire Control. 2019. P. 3–16. DOI: 10.1016/B978-0-08-100457-9.00001-8.
4. Cheng L., Guo H., Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling // Process Safety and Environmental Protection. 2021. Vol. 147. P. 1193–1200. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.046.
5. Esterhuizen G. S., Gearhart D. F., Klemetti T., Dougherty H., Dyke M. Analysis of gateroad stability at two long-wall mines based on field monitoring results and numerical

model analysis // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29. Issue 1. P. 35–43. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.021.

6. Wang K., Jiang Sh., Wu Zh., Shao H., Zhang W., Pei X., Cui Ch. Intelligent safety adjustment of branch airflow volume during ventilation-on-demand changes in coal mines // Process Safety and Environmental Protection. 2017. Vol. 111. P. 491–506. DOI: 10.1016/j.psep.2017.08.024.

7. Qiao W. Analysis and measurement of multifactor risk in underground coal mine accidents based on coupling theory // Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 208. N107433. DOI: 10.1016/j.res.2021.107433.

8. Zhang L., Zhou G., Ma Yu, Jing B., Sun B., Han F., He M., Chen Xu. Numerical analysis on spatial distribution for concentration and particle size of particulate pollutants in dust environment at fully mechanized coal mining face // Powder Technology. 2021. Vol. 383. P. 143–158. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.01.039.

9. Ключев Р. В., Босиков И. И., Майер А. В., Гаврина О. А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. N2. С. 283–290.

10. Жилов Р.А. Применение нейронных сетей при кластеризации данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. N1 (99). С. 15–19. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-1-99-15-19. (In Russ.).

11. Ключев Р.В., Голик В.И., Босиков И.И. Комплексная оценка гидрогеологических условий формирования ресурсов минеральных вод Нижне-Кармадонского месторождения // Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. N 8. С. 206–218. DOI: 10.18799/24131830/2021/8/3319.

12. Машинцов Е. А., Котлеревская Л. В., Криничная Н. А. Управление вентиляцией в угольной шахте // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. N7. С. 188–195.

13. Ключев Р. В., Босиков И. И., Гаврина О. А., Ляшенко В. И. Оценка эксплуатационной надежности электроснабжения развивающихся участков добычи руд на высокогорном руднике // Горные науки и технологии. 2021; 6(3): 211–220. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.

14. Скопинцева О. В., Баловцев С. В. Управление аэрологическими рисками угольных шахт на основе статистических данных системы аэрогазового контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. N 1. С. 78–89. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.

15. Каледина Н. О. Обоснование параметров систем вентиляции высокопроизводительных угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. N7. С. 261–271.

16. Бахвалов Л. А., Баранникова И. В., Агабубаев А. Т. Анализ современных систем автоматического управления проветриванием // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. N7. С. 22–28.

REFERENCES

1. Puchkov L. A., Kaledina N. O., Kobylkin S. S. System solutions to ensure methane safety of coal mines. *Gornyyzhurnal*. 2014, no 5, pp. 12–14. (in Russ).

2. Semin M. A., Levin L. Yu. Stability of air flows in mine ventilation networks. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019, vol. 124, pp. 167–171. DOI: 10.1016/j.psep.2019.02.006.

3. Thakur P. 1 - Underground Coal Mine Atmosphere. Advanced Mine Ventilation. Respirable Coal Dust, *Combustible Gas and Mine Fire Control*. 2019, pp. 3–16. DOI: 10.1016/B978-0-08-100457-9.00001-8.

4. Cheng L., Guo H., Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021, vol. 147, pp. 1193–1200. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.046.

5. Esterhuizen G. S., Gearhart D. F., Klemetti T., Dougherty H., Dyke M. Analysis of gateroad stability at two long-wall mines based on field monitoring results and numerical model analysis. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, issue 1, pp. 35–43. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.021.

17. Босиков И. И., Ключев Р. В., Хетагуров В. Н., Ажмухамедов И. М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. N1. С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.

18. Борисов В. В., Авраменко Д. Ю. Нечеткое ситуационное управление сложными системами на основе их композиционного гибридного моделирования // Системы управления, связи и безопасности. 2021. N 3. С. 207–237. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-3-207-237.

19. Васенин И. М., Шрагер Э. Р., Крайнов А. Ю., Палеев Д. Ю., Лукашов О. Ю., Костеренко В.Н. Математическое моделирование нестационарных процессов вентиляции сети выработок угольной шахты // Компьютерные исследования и моделирование. 2011. Т. 3. N2. С. 155–163.

20. Машинцов Е. А., Котлеревская Л. В., Криничная Н. А. Управление вентиляцией в угольной шахте // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. N7. С. 188–195.

21. Харик Е. К., Астанин А. В. Численное исследование вентиляции горной выработки угольной шахты в трехмерной постановке // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. N 4-5. С. 2567–2569.

22. Рычковский В.М., Сергеев О.А., Тюрин В.П. Об управлении вентиляцией на угольных шахтах Кузбасса // Безопасность труда в промышленности. 2004. N11. С. 8–9.

23. Sjöström S., Klintonäs E., Johansson P., Nyqvist J. Optimized model-based control of main mine ventilation air flows with minimized energy consumption // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020. Vol. 30. Issue 4. P. 533–539. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.05.016.

24. Гурин А.А., Шаповалов В.А., Ляшенко В.И. Повышение безопасности работы систем аспирации и вентиляции путем очистки воздухопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2021. N 1. С. 40–45.

6. Wang K., Jiang Sh., Wu Zh., Shao H., Zhang W., Pei X., Cui Ch. Intelligent safety adjustment of branch airflow volume during ventilation-on-demand changes in coal mines. *Process Safety and Environmental Protection*. 2017, vol. 111, pp. 491–506. DOI: 10.1016/j.psep.2017.08.024.

7. Qiao W. Analysis and measurement of multifactor risk in underground coal mine accidents based on coupling theory. *Reliability Engineering & System Safety*. 2021, vol. 208, N107433. DOI: 10.1016/j.res.2021.107433.

8. Zhang L., Zhou G., Ma Yu, Jing B., Sun B., Han F., He M., Chen Xu. Numerical analysis on spatial distribution for concentration and particle size of particulate pollutants in dust environment at fully mechanized coal mining face. *Powder Technology*. 2021, vol. 383, pp. 143–158. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.01.039.

9. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V., Gavrina O. A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, N2, pp. 283–290. (in Russ).

10. Zhilov R. A. Application of neural networks in data clustering Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021. No. 1 (99). pp. 15–19. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-1-99-15-19. (in Russ).
11. Klyuev R.V., Golik V.I., Bosikov I.I. Comprehensive assessment of hydrogeological conditions for formation of mineral water resources of the Nizhne-Karmadon deposit. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021, V. 332, 8, 206–218. DOI: 10.18799/24131830/2021/8/3319.
12. Mashintsov E. A., Kotlerevskaya L. V., Krinichnaya N. A. Ventilation control in a coal mine. *Bulletin of the Tula State University. Technical Science*. 2014, N7. pp. 188–195. (in Russ).
13. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Gavrina O. A., Lyashenko V. I. Assessment of operational reliability of power supply to developing ore mining areas at a high-altitude mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(3):211–220. (in Russ). <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.
14. Skopintseva O. V., Balovtsev S. V. Air quality control in coal mines based on gas monitoring statistics. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(1):78-89. (in Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-78-89.
15. Kaledina N. O. Justification of the parameters of ventilation systems of high-performance coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2011, N7, pp. 261–271. (in Russ).
16. Bahvalov L. A., Barannikova I. V., Agabubayev A. T. Review of the modern systems of automated ventilation control. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, N7, pp. 22–28. (in Russ).
17. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods and management tools aerogas dynamics processes at mining sites. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, N1, pp. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83. (in Russ).
18. Borisov V. V., Avramenko D. Yu. Fuzzy situational control of complex systems based on composite hybrid modeling. *Systems of Control, Communication and Security*. 2021, no. 3, pp. 207–237 (in Russ.). DOI: 10.24412/2410-9916-2021-3-207-237.
19. Vasenin I. M., Shrager E. R., Krainov A. Yu., Paleev D. Yu., Lukashov O. Yu., Kosterenko V. N. Mathematical modeling of non-stationary ventilation processes of the coal mine workings network. *Computer Research and Modeling*. 2011, T. 3, N2, pp. 155–163. (in Russ).
20. Mashintsov E. A., Kotlerevskaya L. V. Krinichnaya N. A. Management of ventilation in the coal mine as difficult system. *Bulletin of the Tula State University. Technical Science*. 2014, N7, pp. 188–195. (in Russ).
21. Kharik E. K., Astanin A. V. Numerical study of ventilation of a coal mine in a three-dimensional setting. *Bulletin of the Nizhny Novgorod University. N.I. Lobachevsky*. 2011, N 4-5. pp. 2567–2569. (in Russ).
22. Rychkovsky V. M., Sergeev O. A., Tyurin V. P. On ventilation control at coal mines of Kuzbass. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*. 2004, N11, pp. 8–9. (in Russ).
23. Sjöström S., Klintonäs E., Johansson P., Nyqvist J. Optimized model-based control of main mine ventilation air flows with minimized energy consumption. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, issue 4, pp. 533–539. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.05.016.
24. Gurin A.A., Shapovalov V.A., Lyashenko V.I. Improving the safety of aspiration and ventilation systems by cleaning air ducts. *Labor Safety in Industry*. 2021, no. 1, pp. 40–45. (in Russ).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



БОСИКОВ Игорь Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело» Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета), Владикавказ, Россия.
+7(928)685-71-17
igor.boss.777@mail.ru



КЛЮЕВ Роман Владимирович – доктор технических наук, профессор. Московский политехнический университет, 107023, Москва, Россия.
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия.
+7(8672)40-73-71 (раб.)
+7(918)707-39-25 (моб.)
klyuev-roman@rambler.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Igor I. BOSIKOV – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Oil and Gas Business of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia.
+7(928)685-71-17
igor.boss.777@mail.ru

Roman V. KLYUEV – Doctor of Engineering Sciences, Professor.
Moscow Polytechnic University, 107023, Moscow, Russia.
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia.
+7(8672)40-73-71 (off.)
+7(918) 707-39-25 (mob.)
klyuev-roman@rambler.ru



МАЙЕР Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела профессионального обучения, Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия.

Andrey V. MAYER – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Vocational Training Department of the Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin, Moscow, Russia



СТАСЬ Галина Викторовна – кандидат технических наук, доцент, Тульский государственный университет, Тула, Россия.
galina_stas@mail.ru

Galina V. STAS – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Tula State University, Tula, Russia.
galina_stas@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Босиков И.И. в значительной степени участвовала в написании работы, в ее концепции, в анализе и интерпретации материала; **Клюев Р.В.** участвовал в обработке полученных экспериментальных данных; **Майер А.В.** участвовал в проведении экспериментальных работ; **Стась Г.В.** корректировал рукопись до подачи в редакцию.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Bosikov I.I. largely participated in the writing of the work, in its conception, in the analysis and interpretation of the material; **Klyuev R.V.** participated in the processing of the obtained experimental data; **Mayer A.V.** participated in the experimental work; **Stas G.V.** proofread the manuscript prior to submission to the editor.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

Оригинальная статья

УДК 622.4:622.8

DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-107-116

Управление аэрологическими рисками в подготовительных выработках угольных шахт

Сергей В. Баловцев¹✉, Ольга В. Скопинцева², Константин С. Коликов³¹⁻³НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, balovcev@yandex.ru✉

Аннотация. Подавляющее число взрывов пылеметановоздушных смесей происходит в подготовительных выработках угольных шахт. Расчеты показали, что применение схем и способов проветривания тупиковых выработок, при которых наблюдается большая степень влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне и малая степень влияния зоны отброса газов на проветривание, является наиболее эффективным. Значения прогнозного показателя аэрологического риска для схем и способов проветривания тупиковых выработок с малой степенью активности перемешивания газов в призабойной зоне и большой степенью влияния зоны отброса газов на проветривание свидетельствуют о чрезвычайно высоком уровне взрывоопасности.

Ключевые слова: угольная шахта, подготовительная выработка, метан, угольная пыль, способ вентиляции, аэрологический риск, управление газовой выделением.

Для цитирования: Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Коликов К.С. Управление аэрологическими рисками в подготовительных выработках угольных шахт // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 107–116. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-107-116.

Получена редакцией 03.06.2021; получена после рецензии 10.08.2021; принята к печати 25.08.2021.

Original article

Aerological risk management in preparation mining of coal mines

Sergey V. Balovtsev¹✉, Olga V. Skopintseva², Konstantin S. Kolikov³¹⁻³National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia, balovcev@yandex.ru✉

Abstract. Objective. The purpose of the research is to assess the indicators of aerological risk in the development workings of highly gas-rich coal mines.

Introduction. The results of a retrospective analysis are presented, substantiating that the vast majority of explosions of dust-methane-air mixtures occur in development workings, and 63.8% of their gassing with methane to explosive concentrations is associated with ventilation disorders.

Methodology. The assessment of aerological risk consists in the calculation of some indicators that reflect the measure of danger, in which an accident may occur, caused by the excess of the values of the mine atmosphere parameters in comparison with the normative ones. Indicators of the main hazards and vulnerability of ventilation schemes and methods make up the general structure of risk in development workings.

Results. The methodological bases for assessing and forecasting the aerological risk of accidents in development workings are presented. A formula for calculating the predictive indicator of aerological risk is given. In accordance with the methodology, it is possible to quantify the reduction in the level of aerological risk when managing outgassing with the help of degassing.

Discussion. Calculations have shown that the schemes and methods of ventilation of dead-end workings, in which there is a large degree of influence of the activity of mixing gases in the bottomhole zone and a small degree of influence of the exhaust gas zone on ventilation, are the most effective, with a normal level of safety. The values of the predicted upper-air risk indicator reach unity for the schemes and methods of ventilation of dead-end workings with a low degree of gas mixing activity in the bottomhole zone and a high degree of influence of the exhaust gas zone on ventilation, which indicates an extremely high level of explosiveness.

Conclusions. Application of the developed methodology allows not only forecasting aerological risks during design, but also justification of aerological safety.

Keywords: methane, coal dust, development mine, ventilation method, aerological risk, gas emission control.

For citation: Balovtsev S.V., Skopintseva O.V., Kolikov K.S. Aerological risk management in preparation mining of coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):107-116. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-107-116.

Received by the editors 03.06.2021; received after the review 10.08.2021; accepted for printing 25.08.2021.

Введение

Аварии, вызываемые пылевой и газовой опасностями в шахтах, относятся к наиболее частым авариям с тяжелыми последствиями [1; 2].

Для каждого случая взрыва газа и опасности появления пыли рассматриваются все обстоятельства конкретной аварии, включая место, причины образования взрывоопасной смеси воздуха, источник высокой температуры и др. Несмотря на применяемый в шахтах комплекс нормативно-организационных и технических требований, систему аэрогазового контроля, количество взрывов газа и пыли имеет тенденцию к некоторому росту [3].

Предопределена необходимость разработки нового системного подхода к оценке взрывоопасности угольных шахт [4–6], основанного на риск-ориентированном подходе [7; 8]. Первоначально была разработана методика оценки аэрологических рисков аварий на выемочных участках по таким показателям, как метанообильность участка, пылеобразующая способность разрабатываемого пласта, вид выделения метана, склонность пласта к самовозгоранию, склонность пласта к горным ударам.

В продолжение развития исследований по оценке аэрологических рисков аварий был разработан метод оценки использования дегазации, газоотсасывающих установок, газодренажных штреков для снижения аэрологических рисков, в результате чего получены прогнозные значения аэрологического риска [9]. Комплексная оценка рисков должна включать оценку аэрологических рисков подготовительных выработок, характеризующихся большей взрывоопасностью (до 2 раз) по сравнению с выемочными участками. Так как по степени опасности возникновения вспышек (взрывов) газа и пыли в шахтах призабойные участки подготовительных выработок являются самыми опасными, то в статье отражены результаты исследований по оценке аэрологических рисков подготовительных выработок. Помимо основного источника воспламенения взрывчатой пылеметановоздушной смеси (взрывных работ), присутствуют так называемые вспомогательные источники воспламенения: фрикционное искрение при работе бурового инструмента, неисправности различных элементов электрооборудования и другие.

Это потребовало разработки общей структурной схемы рисков для подготовительных выработок и выемочных участков угольных шахт. В нее вошли основные опасности на выемочных участках и в подготовительных выработках (которые являются одинаковыми как для очистных забоев, так и для тупиковых), основные виды характеристик схем вентиляции подготовительных выработок и выемочных участков. Что касается выемочных участков, то результаты исследований отражены в ранее опубликованных работах Баловцева С.В. [9].

Необходимо также обратить особое внимание на уязвимость схем вентиляции подготовительных выработок. Приведем некоторые статистические данные по их взрывоопасности. Все места взрывов метана в угольных шахтах можно подразделить на четыре группы: 1) горные выработки: сквозные и тупиковые (действующие и погашаемые); 2) очистные забои (непосредственно лавы, места сопряжения их со штреками и нарезные работы в лавах); 3) выработанные пространства; 4) стволы [10].

Из анализа результатов исследований взрывоопасности угольных шахт следует, что подавляющее число взрывов (64,4 %) происходит в тупиковых и сквозных горных выработках шахт, около 26,4 % взрывов происходит в очистных забоях, 6,7 % взрывов приходится на выработанные пространства и 2,5 % – на стволы [11; 12]. Примерно такое же соотношение распределения взрывов метана по их локации сохраняется во всех угольных бассейнах страны.

К основным причинам загазования выработок метаном до взрывоопасных концентраций относятся: нарушение вентиляции (63,8 %, из них в тупиках подготовительных выработок – 29,4 %, в сквозных выработках и очистных забоях – 34,4 %); повышенное газовыделение (21,5 %); несоответствие расчета количества воздуха фактическому газовыделению (5,5 %); отсутствие контроля за режимом проветривания и газовыделения (4,9 %) и др. [12].

До 80 % причин загазования тупиковых выработок составляют остановки вентиляторов, осуществляющих местное проветривание, и нарушение герметизации вентиляционных труб [13]. Основной причиной загазования в сквозных выработках и на выемочных участках является нарушение режима проветривания из-за уменьшения их поперечного сечения. На шахтах Кузбасса широко применяется нагнетательно-всасывающий способ проветривания подготовительных выработок (для предотвращения эндогенных пожаров). Анализ статистических данных показал, что при таком способе проветривания тупиковых выработок частота взрывов в два раза выше, чем при всасывающем или нагнетательном проветривании [12].

Цель исследований

Разработка метода оценки и управления аэрологическими рисками в подготовительных выработках угольных шахт при различных схемах и способах вентиляции подготовительных выработок на основе установления зависимостей аэрологического риска от газообильности шахты, пылеобразующей способности пласта с учетом уязвимости способов вентиляции, а также применения мероприятий по управлению газовыделением.

Методология исследования

Интенсивность выделения метана и угольной пыли при работе проходческого комбайна определяется природными характеристиками угольных пластов и особенностями аэрогазодинамики, сопутствующей технологии подготовительных работ и др. [14; 15].

Методология оценки аэрологического риска заключается в расчете показателей, отражающих меру опасности возникновения аварии по причине превышения нормативных значений параметров шахтной атмосферы, установленную для схем и способов вентиляции определенной уязвимости [9].

Опасность шахт по относительной метанообильности и пылеобразующей способности пластов будем называть фоновыми факторами, необходимыми для возникновения аварии. Газообильность и уязвимость схем и способов проветривания подготовительных выработок отнесем к системным факторам, которыми можно управлять для снижения аэрологического риска. Недостатки схем и способов проветривания подготовительных выработок, при которых могут образовываться пылевая и газовая опасности, отнесем к уязвимости способов проветривания. Количество подаваемого воздуха и качественная структура воздушных потоков, а также схема проветривания выработок определяются конкретными горно-геологическими и горнотехническими условиями, формирующими задачи проветривания [16; 17].

В негазовых механизированных забоях схема и интенсивность проветривания должны обеспечивать только оптимальные по пылевому фактору скорости движения воздуха в пределах 0,4–0,6 м/с.

В метанообильных подготовительных выработках воздухообмен должен обеспечивать эффективное и качественное перемешивание воздуха с газом для исключения возможности образования местных и слоевых скоплений метана. Высокое газовыделение в подготовительных выработках обуславливает необходимость подачи большего расхода воздуха для их проветривания, чем для очистных забоев [18; 19].

С учетом уровня газообильности подготовительных выработок, их длины, технических характеристик применяемых средств вентиляции могут быть использованы различные схемы проветривания с параллельным, последовательным и параллельно-последовательным включением вентиляторов, а также схемы проветривания с несколькими вентиляторными установками.

При проведении выработок по газоносным пластам оптимальные условия проветривания создаются при значительных турбулентных характеристиках воздушных потоков, которые иногда для высокогазообильных выработок не обеспечиваются даже нагнетательными способами проветривания. Разрабаты-

ваемые в настоящее время пульсирующие способы проветривания дают возможность периодически изменять структуру воздушного потока, движущегося по проветриваемой выработке, и придавать ему повышенные турбулентные характеристики, обеспечивая эффективное перемешивание воздуха с выделяющимся метаном [19].

В комплексе средств управления газовыделением в подготовительной выработке важное место занимает дегазация. Наиболее перспективными являются региональные способы воздействия на угольный массив, к которым можно отнести: предварительную подработку или надработку угольных пластов, предварительную и заблаговременную дегазацию [20]. Также для этих целей может быть использовано предварительное увлажнение угольного массива, его обработка флегматизирующими составами.

Была разработана методика оценки аэрологического риска в подготовительных выработках, включающая расчет значений показателя аэрологического риска (R_a) аварий в подготовительных выработках и расчет значений прогнозного показателя аэрологического риска ($Q_{пр}$) аварий в подготовительных выработках с учетом мероприятий по управлению газовыделением.

Для количественной оценки аэрологического риска аварий в подготовительных выработках используются нормирующие коэффициенты [21]. Для оценки степеней опасности и уязвимости способов вентиляции подготовительных выработок учитывались мнения экспертов [22].

Результаты исследований

Приведем порядок расчета значений указанных показателей.

Аэрологический риск аварий в подготовительных выработках:

$$R_a = \lambda \cdot p_y, \quad (1)$$

где λ – коэффициент опасности [9];

p_y – коэффициент уязвимости схем и способов вентиляции тупиковых выработок.

Коэффициент уязвимости p_y рассчитывается по формуле:

$$p_y = (\varphi_{за} \cdot \alpha_{ya} + \varphi_{зо} \cdot \alpha_{yo}) \cdot p_0, \quad (2)$$

где $\varphi_{за}$ – коэффициент значимости степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне;

α_{ya} – значение кода уязвимости схем и способов вентиляции по степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне;

$\varphi_{зо}$ – коэффициент значимости степени влияния зоны отброса газов на проветривание подготовительной выработки;

α_{yo} – значение кода уязвимости способов вентиляции по степени влияния зоны отброса газов на проветривание подготовительной выработки;

p_0 – нормирующий множитель.

Показатели уязвимости для способов вентиляции подготовительных выработок представлены в табл. 1.

Прогнозный показатель аэрологического риска [9] в подготовительных выработках рассчитывается:

$$Q_{\text{пр}} = R_a + R_a \cdot b_1 + R_a \cdot b_2 - R_a \cdot b_3, \quad (3)$$

где b_1 – коэффициент, характеризующий склонность угольных пластов к самовозгоранию;

b_2 – коэффициент, характеризующий склонность к горным ударам;

b_3 – коэффициент, отражающий применение дегазации.

Обсуждение результатов исследования

Анализ рассчитанных значений показателей аэрологического риска (R_a и $Q_{\text{пр}}$) в подготовительных выработках при большой степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне (малая степень влияния зоны отброса газов на проветривание) показал, что для шахт всех категорий газовой опасности, разрабатывающих угольные пласты, опасные по пыли, значения показателей R_a и $Q_{\text{пр}}$ изменяются в интервале 0,105–0,232, что означает нормальный уровень безопасности (табл. 2). Причем для шахт, опасных по внезапным выбросам угля и газа, разрабатывающих угольные пласты с удельным пылевыделением более 1200 г/т, значение R_a составляет 0,2; применение в этом случае дегазации для управления газовой выделением снижает значение R_a на 20 %. В целом управление газовой выделением для всех условий (табл. 2) снижает максимальное значение $Q_{\text{пр}}$ с величины 0,232 до значения 0,192.

Условия рассчитанных значений показателей R_a и $Q_{\text{пр}}$ соответствуют большой степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне (большая степень влияния зоны отброса газов на проветривание). Это соответствует комбинированным способам проветривания подготовительных вы-

работок. Здесь значения показателей R_a и $Q_{\text{пр}}$ изменяются в интервале 0,157–0,348, что характеризуется пониженным уровнем безопасности. Управление газовой выделением повышает уровень безопасности ведения горных работ на 20 %.

Совсем другая картина из расчетных значений R_a и $Q_{\text{пр}}$ складывается для условий в подготовительных выработках при малой степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне (малая степень влияния зоны отброса газов на проветривание). Это присуще всасывающему способу проветривания подготовительных выработок при комбайновом способе их проведения. Для этих условий значения показателей R_a и $Q_{\text{пр}}$ изменяются в интервале 0,365–0,812, что характеризуется аварийной ситуацией при ведении горных работ.

Неприемлемыми для проветривания подготовительных выработок (табл. 3) являются схемы и способы их проветривания при малой степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне (большая степень влияния зоны отброса газов на проветривание). Такие условия складываются при схемах с всасывающим способом проветривания при проведении подготовительных выработок взрывным способом. Для шахт, сверхкатегорных и опасных по внезапным выбросам угля и газа, значения R_a и $Q_{\text{пр}}$ достигают единицы, что свидетельствует о чрезвычайно высоком уровне взрывоопасности в подготовительной выработке по пылегазовому фактору. Приведенные расчеты еще раз доказывают неприменимость всасывающего способа проветривания подготовительных выработок при проведении их взрывным способом.

Заключение

Анализ результатов исследований взрывоопасности угольных шахт показал, что подавляющее число взрывов происходит в тупиковых горных выработках

Таблица 1 / Table 1

Показатели уязвимости для схем и способов вентиляции подготовительных выработок
Vulnerability indicators for schemes and methods of ventilation of development workings

Показатели уязвимости Vulnerability metrics	Степень уязвимости Vulnerability	Коэффициент значимости показателя уязвимости Vulnerability indicator significance coefficient
Степень влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне The degree of influence of the activity of mixing gases in the bottomhole zone	большая Big	0.7
	малая Small	
Степень влияния зоны отброса газов на проветривание подготовительной выработки The degree of influence of the zone of emissions of gases on the ventilation of the development workings	малая Small	0.3
	большая Big	

Таблица 2 / Table 2

Значения показателей аэрологического риска (R_a и Q_{np}) в подготовительных выработках при большой степени активности перемешивания газов в призабойной зоне (малой степени влияния зоны отброса газов на проветривание)

The values of the aerological risk indicators (R_a and Q_{np}) in the development workings with a high degree of gas mixing activity in the bottomhole zone (a small degree of influence of the gas discharge zone on ventilation)

Относительная метанообильность, м ³ /т Relative methane content, m ³ /t	Удельное пылевыведение, г/т Specific dust emission, g/t	Показатель R_a Indicator R_a	Прогнозный показатель Q_{np} / Forecast indicator Q_{np}				
			при применении дегазации when using degassing	для пластов, склонных к самовозгоранию for coal seams prone to spontaneous combustion	для пластов, склонных к горным ударам for coal seams prone to rockbursts	для пластов, склонных к горным ударам, самовозгоранию for coal seams prone to rock bumps and spontaneous combustion	при применении дегазации (для пластов, склонных к горным ударам, самовозгоранию) when using degassing (for coal seams prone to rock bumps and spontaneous combustion)
> 15, суфлярные выделения метана > 15, prompted methane emissions	< 50	0.13	0.104	0.1313	0.1378	0.1508	0.1248
	50 – 100	0.14	0.112	0.1414	0.1484	0.1624	0.1344
	100 – 150	0.15	0.12	0.1515	0.159	0.174	0.144
	150 – 250	0.155	0.124	0.15655	0.1643	0.1798	0.1488
	250 – 400	0.16	0.128	0.1616	0.1696	0.1856	0.1536
	400 – 700	0.165	0.132	0.16665	0.1749	0.1914	0.1584
	700 – 1200	0.17	0.136	0.1717	0.1802	0.1972	0.1632
Наличие опасности внезапных выбросов угля и газа The presence of the danger of sudden emissions of coal and gas	> 1200	0.175	0.14	0.17675	0.1855	0.203	0.168
	< 50	0.155	0.124	0.15655	0.1643	0.1798	0.1488
	50 – 100	0.165	0.132	0.16665	0.1749	0.1914	0.1584
	100 – 150	0.175	0.14	0.17675	0.1855	0.203	0.168
	150 – 250	0.18	0.144	0.1818	0.1908	0.2088	0.1728
	250 – 400	0.185	0.148	0.18685	0.1961	0.2146	0.1776
	400 – 700	0.19	0.152	0.1919	0.2014	0.2204	0.1824
700 – 1200	0.195	0.156	0.19695	0.2067	0.2262	0.1872	
> 1200	0.2	0.16	0.202	0.212	0.232	0.192	

Таблица 3 / Table 3

Значения показателей аэрологического риска (R_a и Q_{np}) в подготовительных выработках при малой степени активности перемешивания газов в призабойной зоне (большой степени влияния зоны отброса газов на проветривание)

The values of the aerological risk indicators (R_a and Q_{np}) in the development workings with a low degree of gas mixing activity in the bottomhole zone (a large degree of influence of the gas discharge zone on ventilation)

Относительная метанообильность, м ³ /т Relative methane content, m ³ /t	Удельное пылевыведение, г/т Specific dust emission, g/t	Показатель R_a Indicator R_a	Прогнозный показатель Q_{np} / Forecast indicator Q_{np}				
			при применении дегазации when using degassing	для пластов, склонных к самовозгоранию for coal seams prone to spontaneous combustion	для пластов, склонных к ударам for coal seams prone to rockbursts	для пластов, склонных к горным ударам, самовозгоранию for coal seams prone to rock bumps and spontaneous combustion	при применении дегазации (для пластов, склонных к горным ударам, самовозгоранию) when using degassing (for coal seams prone to rock bumps and spontaneous combustion)
10 – 15	< 50	0.525	0.42	0.5775	0.5565	0.609	0.504
	50 – 100	0.575	0.46	0.6325	0.6095	0.667	0.552
	100 – 150	0.625	0.5	0.6875	0.6625	0.725	0.6
	150 – 250	0.65	0.52	0.715	0.689	0.754	0.624
	250 – 400	0.675	0.54	0.7425	0.7155	0.783	0.648
	400 – 700	0.7	0.56	0.77	0.742	0.812	0.672
	700 – 1200	0.725	0.58	0.7975	0.7685	0.841	0.696
	> 1200	0.75	0.6	0.825	0.795	0.87	0.72
	< 50	0.65	0.52	0.715	0.689	0.754	0.624
	50 – 100	0.7	0.56	0.77	0.742	0.812	0.672
> 15, сульфурные выделения метана >15, prompted methane emissions	100 – 150	0.75	0.6	0.825	0.795	0.87	0.72
	150 – 250	0.775	0.62	0.8525	0.8215	0.899	0.744
	250 – 400	0.8	0.64	0.88	0.848	0.928	0.768
	400 – 700	0.825	0.66	0.9075	0.8745	0.957	0.792
	700 – 1200	0.85	0.68	0.935	0.901	0.986	0.816
	> 1200	0.875	0.7	0.9625	0.9275	1	0.84
	< 50	0.775	0.62	0.8525	0.8215	0.899	0.744
	50 – 100	0.825	0.66	0.9075	0.8745	0.957	0.792
	100 – 150	0.875	0.7	0.9625	0.9275	1	0.84
	150 – 250	0.9	0.72	0.99	0.954	1	0.864
Наличие опасности внезапных выбросов угля и газа The presence of the danger of sudden emissions of coal and gas	250 – 400	0.925	0.74	1	0.9805	1	0.888
	400 – 700	0.95	0.76	1	1	1	0.912
	700 – 1200	0.975	0.78	1	1	1	0.936
	> 1200	1	0.8	1	1	1	0.96

шахт. Применение представленной методики оценки аэрологических рисков в подготовительных выработках угольных шахт с учетом мероприятий по управлению газовой выделением позволяет осуществлять не только прогнозирование аэрологических рисков при проектировании, но и обоснование аэрологической безопасности [23].

Расчитанные по предложенной методике значения показателей аэрологического риска (R_a и $Q_{пр}$) в подготовительных выработках при большой степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне (малой степени влияния зоны отброса газов на проветривание) для шахт всех категорий изменяются в интервале 0,105–0,232, что означает нормальный уровень безопасности. Применение в этом случае дегазации для управления газовой выделением снижает значения R_a и $Q_{пр}$ на 20 %.

Значения показателей аэрологического риска (R_a и $Q_{пр}$) в подготовительных выработках при большой степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне (большой степени влияния зоны отброса газов на проветривание) изменяются в интервале 0,157–0,348, что характеризуется пониженным уровнем безопасности. Это соответствует комбинированным способам проветривания подготовительных выработок.

Значения показателей аэрологического риска (R_a и $Q_{пр}$) в подготовительных выработках при малой степени влияния активности перемешивания газов в призабойной зоне (малой степени влияния зоны отброса газов на проветривание) изменяются в интервале 0,365–0,812, что характеризуется неудовлетворительным уровнем безопасности по фактору вентиляции и аварийной ситуацией при ведении горных работ. Эти условия соответствуют всасывающему способу проветривания подготовительных выработок при комбайновом способе их проведения.

Значения показателей аэрологического риска (R_a и $Q_{пр}$) в подготовительных выработках при малой степени влияния активности перемешивания газов в

призабойной зоне (большой степени влияния зоны отброса газов на проветривание) достигают единицы, что свидетельствует о чрезвычайно высоком уровне взрывоопасности в подготовительной выработке по фактору вентиляции. Такие условия складываются при схемах со всасывающим способом проветривания при проведении подготовительных выработок взрывным способом.

Выводы

1. Проведены исследования взрывоопасности угольных шахт, показывающие, что подавляющее число взрывов (64,4 %) происходит в тупиковых и сквозных горных выработках шахт, около 26,4 % взрывов происходит в очистных забоях, 6,7 % взрывов приходится на выработанные пространства и 2,5 % – на стволы.

2. Установлено, что значения показателей аэрологического риска в подготовительных выработках при нагнетательном способе проветривания изменяются в интервале 0,105–0,232, что означает нормальный уровень безопасности для шахт всех категорий газовой опасности, разрабатывающих угольные пласты, опасные по пыли. При комбинированном способе проветривания аэрологическая безопасность характеризуется пониженным уровнем, значения показателей риска изменяются в интервале 0,157–0,348.

3. Определено, что значения показателей аэрологического риска в подготовительных выработках при всасывающем способе проветривания изменяются в интервале 0,365–0,812, что характеризуется неудовлетворительным уровнем безопасности по фактору вентиляции и аварийной ситуацией при ведении горных работ.

4. Выявлено, что значения показателей аэрологического риска в подготовительных выработках достигают единицы при проведении выработок взрывным способом с применением всасывающего способа проветривания, что свидетельствует о чрезвычайно высоком уровне взрывоопасности и недопустимости применения всасывающего способа проветривания при ведении буровзрывных работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мясников С. В., Коршунов Г. И., Кабанов Е. И. Метод комплексной оценки и прогноза профессионального риска травмирования персонала угольных шахт при взрывах метана и пыли // Безопасность труда в промышленности. 2018. N5. С. 60–65. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-5-60-65.

2. Gendler S.G., Rudakov M.L., Kuznetsov V.S. Evaluation Principles of the Dust Influence of Mining Enterprises on the Environment // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2019. Vol. 56, iss. 3. P. 62–69. DOI: 10.2478/lpts-2019-0020.

3. Архипов И. А., Филин А. Э. Анализ состояния аварийности на угольных предприятиях России // Горный

информационно-аналитический бюллетень. 2019. N1. С. 208–215. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-208-215.

4. Cheng L., Guo H., Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling // Process Safety and Environmental Protection. 2021. Vol. 147. P. 1193–1200. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.046.

5. Зиновьева О. М., Кузнецов Д. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. N2–1. С. 113–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123.

6. Босиков И. И., Ключев П. В., Ажмухамедов И. М., Резвов В. Ч. Оценка управления проветриванием угольных

шахт с помощью методов статистической динамики // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. N11. С. 123–135. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_123.

7. Куликова Е. Ю., Виноградова О. В. Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. N7. С. 146–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

8. Константинова А. А., Меркулова А. М., Переладов А. И., Чавкина Л. Ю. Риск-ориентированный подход в обеспечении промышленной безопасности при добыче золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. N2–1. С. 100–112. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-100-112.

9. Баловцев С. В. Оценка схем вентиляции с учетом горно-геологических и горнотехнологических условий отработки угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. N6. С. 173–183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183.

10. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. MATEC Web of Conferences, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823901021>.

11. Кабанов Е. И., Коршунов Г. И., Корнев А. В., Мяков В. В. Анализ причин взрывов, вспышек и воспламенений метана в угольных шахтах России в 2005–2019 гг. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. N2–1. С. 18–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29.

12. Айруни А. Т., Клебанов Ф. С., Смирнов О. В. Взрывоопасность угольных шахт. Издательство «Горное дело». 2011. 264 с.

13. Kulikova E.Y., Ivannikov A.L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining. IOP Conf. Series: Journal of Physics, 2020, 1425, 012062; doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012062.

14. Левин Л. Ю., Исаевич А. И., Семин М. А., Газизуллин Р. Р. Исследование динамики пылевоздушной смеси при проветривании тупиковой выработки в процессе работы комбайновых комплексов // Горный журнал. 2015. N1. С. 43–55. DOI: 10.17580/gzh.2015.01.13.

15. Босиков И. И., Ключев Р. В., Хетагуров В. Н., Ажмухамедов И. М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. N1. С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.

16. Качурин Н. М., Стась Г. В., Качурин А. Н. Динамика газовой выделения с поверхности обнажения газоносных угольных пластов средней мощности // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. N3. С. 441–448. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-441-448.

17. Trinh L.H., Nguyen V.N. Mapping coal fires using Normalized Difference Coal Fire Index (NDCFI): case study at Khanh Hoa coal mine, Vietnam. Mining Science and Technology (Russia). 2021;6(4):233–240. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-233-240>.

18. Petrov V., Sadridinov A., Pichuev A. Analysis and Modeling of Power Consumption Modes of Tunnelling Complexes in Coal Mines. E3S Web of Conferences, 174, 01006 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401006>.

19. Филин А. Э., Овчинникова Т. И., Зиновьева О. М., Меркулова А. М. Развитие пульсирующей вентиляции в горном производстве // Горный журнал. 2020. N3. С. 67–71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13.

20. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A., Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. Solid Fuel Chemistry, 2015, t. 49, no. 6, pp. 381–386.

21. Куликова Е. Ю. Методика интегральной оценки риска в шахтном и подземном строительстве // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. N2–1. С. 124–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133.

22. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Magomet R.D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings. Journal of Applied Science and Engineering, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 105–110. [http://dx.doi.org/10.6180/jase.202102_24\(1\).0014](http://dx.doi.org/10.6180/jase.202102_24(1).0014).

23. Верчеба А. А. Подготовка кадров для горно-геологической отрасли России // Горные науки и технологии. 2021. N6(2). С. 144–153. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-144-153>.

REFERENCES

1. Myasnikov S.V., Korshunov G.I., Kabanov E.I. The method of the comprehensive assessment and the forecast of the occupational risk of injury to coal mine personnel during methane and dust explosions. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, 2018, no. 5, pp. 60–65. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-5-60-65 (In Russian).

2. Gendler S.G., Rudakov M.L., Kuznetsov V.S. Evaluation Principles of the Dust Influence of Mining Enterprises on the Environment. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2019, vol. 56, iss. 3, pp. 62–69. DOI: 10.2478/lpts-2019-0020/

3. Arhipov I.A., Filin A. E. Accident rate analysis in coal mines in Russia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 1, pp. 208–205. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-208-215 (In Russian).

4. Cheng L., Guo H., Lin H. Evolutionary model of coal mine safety system based on multi-agent modeling. *Process Safety and Environmental Protection*, 2021, vol. 147, pp. 1193–1200. DOI: 10.1016/j.psep.2021.01.046.

5. Zinovieva O.M., Kuznetsov D.S., Merkulova A.M., Smirnova N.A. Digitalization of industrial safety management systems in mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):113–123. DOI: 10.25018/0236–1493–2021–21–0–113–123 (In Russian).

6. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Azhmukhamedov I. M., Revazov V. Ch. Statistical dynamics-based estimation of ventilation control in coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11):123–135. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_123 (In Russian).

7. Kulikova E.Yu., Vinogradova O.V. Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(7):146–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154 (In Russian).

8. Konstantinova A.A., Merkulova A.M., Pereladov A.I., Chavkina L. Yu. Risk-based approach to keep industrial safety in the mining of gold-bearing ores. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*

2021;(2–1):100–112. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-100-112 (In Russian).

9. Balovtsev S.V. Assessment of ventilation circuits with regard to geological and geotechnical conditions of coal seam mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 6, pp. 173–183. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-173-183 (In Russian).

10. Pleshko M., Kulikova E., Nasonov A. Assessment of the technical condition of deep mine shafts. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 239, 01021. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201823901021>.

11. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Kornev A.V., Myakov V.V. Analysis of the causes of methane explosions, flashes and ignitions at coal mines of Russia in 2005–2019. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):18–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-18-29 (In Russian).

12. Airuni A.T., Klebanov F.S., Smirnov O.V. *Explosion hazard of coal mines*. Izdatel'stvo "Gornoye delo", 2011. p. 264 (In Russian).

13. Kulikova E.Y., Ivannikov A.L. The terms of soils removal from the defects of the underground structures' lining. *IOP Conf. Series: Journal of Physics*, 2020, 1425, 012062; doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012062.

14. Levin L.Yu., Isaevich A.I., Semin M.A., Gazizullin R.R. Dynamics of air-dust mixture in ventilation of blind drifts operating a team of cutter-loaders. *Gornyi Zhurnal*, 2015, no. 1, pp. 43–55. DOI: 10.17580/gzh.2015.01.13 (In Russian).

15. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods and management tools aerogas dynamics processes at mining sites. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2021, no. 1, pp. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83 (In Russian).

16. Kachurin N.M., Stas G.V., Kachurin A.N. Dynamics of gas emission from exposed surface of gas bearing coal seams

having medium thickness. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2021, no. 3, pp. 441–448. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-3-441-448 (In Russian).

17. Trinh L.H., Nguyen V.N. Mapping coal fires using Normalized Difference Coal Fire Index (NDCF): case study at Khanh Hoa coal mine, Vietnam. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(4):233–240. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-233-240>.

18. Petrov V., Sadridinov A., Pichuev A. Analysis and Modeling of Power Consumption Modes of Tunnelling Complexes in Coal Mines. *E3S Web of Conferences*, 174, 01006 (2020), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017401006>

19. Filin A.E., Ovchinnikova T.I., Zinovieva O.M., Merkulova A.M. Advance of pulsating ventilation in mining. *Gornyi Zhurnal*, 2020, no. 3, pp. 67–71. DOI: 10.17580/gzh.2020.03.13 (In Russian).

20. Slastunov S.V., Kolikov K.S., Zakharova A.A., Mazanik E.V. Selection of an effective technology for the degasification of coal beds. *Solid Fuel Chemistry*, 2015, v. 49, no. 6, pp. 381–386.

21. Kulikova E.Yu. Methods of forming an integral risk assessment in mine and underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):124–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133 (In Russian).

22. Kabanov E.I., Korshunov G.I., Magomet R.D. Quantitative risk assessment of miners injury during explosions of methane-dust-air mixtures in underground workings. *Journal of Applied Science and Engineering*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 105–110. [http://dx.doi.org/10.6180/jase.202102-24\(1\).0014](http://dx.doi.org/10.6180/jase.202102-24(1).0014).

23. Vercheba A.A. Personnel training for the mining and geological sector of Russia. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(2):144–153. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-144-153> (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



БАЛОВЦЕВ Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия. balovtsev@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-0961-6050>



СКОПИНЦЕВА Ольга Васильевна – доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия. skopintseva54@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-7257-8720>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey V. BALOVTSEV – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia.

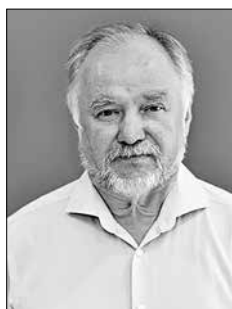
balovtsev@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0961-6050>

Olga V. SKOPINTSEVA – Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia.

skopintseva54@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7257-8720>



КОЛИКОВ Константин Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность и экология горного производства», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия.
 kolikovks@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8831-1927>

Konstantin S. KOLIKOV – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Safety and Ecology of Mining Industry, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia.

kolikovks@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8831-1927>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Баловцев С. В. – развитие методологии оценки аэрологических рисков в подготовительных выработках, обработка статистических данных по аварийности в угольных шахтах, литературный обзор, обработка данных, полученных методом экспертных оценок; расчет прогнозного показателя аэрологических рисков в подготовительных выработках с учетом мероприятий по управлению газовой выделением (50 %); **Скопинцева О. В.** – оценка эффективности схем и способов вентиляции подготовительных выработок; оценка уязвимости схем и способов вентиляции подготовительных выработок (25 %); **Коликов К. С.** – анализ эффективности применения дегазации; оценка влияния способов дегазации разрабатываемых пластов на снижение аэрологических рисков (25 %).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Sergey V. Balovtsev – development of a methodology for assessing aerological risks in development workings, processing of statistical data on accidents in coal mines, a literature review, processing of data obtained by the method of expert assessments; calculation of the forecast indicator of aerological risks in the development workings, taking into account the measures to control gas emission (50 %); **Olga V. Skopintseva** – evaluation of the effectiveness of schemes and methods of ventilation of preparatory workings; assessment of the vulnerability of schemes and methods of ventilation of development workings (25 %); **Konstantin S. Kolikov** – analysis of the effectiveness of the use of degassing; assessment of the impact of degassing methods of developed seams on the reduction of aerological risks (25 %).

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

Оригинальная статья

УДК 622.44

DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-117-125

Обоснование параметров и создание высокоэкономичных вентиляторных установок аппаратов воздушного охлаждения

Николай В. Макаров¹✉, Владимир Н. Макаров², Александр В. Угольников³, Михаил Б. Носырев⁴

¹⁻⁴Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия, mnikolay84@mail.ru✉

Аннотация. Установлены причины низкого эксергетического КПД теплообменных аппаратов, обусловленные недостаточной экономичностью применяемых в них вентиляторных установок, выполненных по схеме «К». Разработана математическая модель корреляции параметров вентиляторных установок с их экономической эффективностью в функции от удельной быстроходности и остаточной закрутки потока. Доказана необходимость увеличения аэродинамического качества профилей лопаток рабочих колес и снижения аэродинамического сопротивления элементов воздуховода. Подтверждена существенность влияния коэффициента расходной скорости на экономичность вентиляторной установки, при этом не существенно влияя на КПД вентилятора. Определен оптимальный диапазон значений теоретического коэффициента давления для вентиляторных установок большой быстроходности. Спроектирована аэродинамическая схема и создан промышленный образец вентиляторной установки ОГМ ВУ 2.7-1.2 КЗ с профилями ОВ-121ТОН.

Ключевые слова: вентилятор, установка, быстроходность, воздуховод, эксергетический КПД, аэродинамическое качество, расходная скорость.

Для цитирования: Макаров Н.В., Макаров В.Н., Угольников А.В., Носырев М.Б. Обоснование параметров и создание высокоэкономичных вентиляторных установок аппаратов воздушного охлаждения // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 117–125. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-117-125.

Получена редакцией 24.07.2021; получена после рецензии 26.08.2021; принята к печати 06.09.2021.

Original article

Parameters justification and highly economical fan installations creation for air cooling devices

Nikolay V. Makarov¹✉, Vladimir N. Makarov², Alexander V. Ugolnikov³, Mikhail B. Nosyrev⁴

¹⁻⁴Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia, mnikolay84@mail.ru✉

Abstract. Introduction. Sustainable development of regions with high subsoil use demands performance improvement in gas cooling at compressor stations of main gas pipelines and environmental safety. Low energy prices specified the design parameters of gas transmission units throughout the boost of the gas industry. Therefore, the crucial task is to enhance the economic efficiency of main gas pipelines. One of the most energy-intensive units here is the cooling system of transported gas, which enables the reduction in operating costs. Gas air-cooling units used for cooling transported gas flow have spread significantly being notable for their increased energy output. Simulation methods of fan system parameters in gas air cooling units are assuming great importance in a rapidly globalizing world depending on their specific speed.

Research objective. This study aims to develop a simulation model and guidelines on the construction of fans with high specific speed comparable cost-effectively to industrial fans. To support business objectives it is essential to specify the principles of cost-efficiency variation from that of specific speed, the influence of geometric and kinematic parameters, to conduct an experimental investigation to verify the results.

Materials and methods. The research was based on a hypothesis for the consistency of the ratio between the pressure loss in a fan and the specific energy of transferrable air. Aerodynamic efficiency was accepted as a criterion for a fan local efficiency in order to determine the dependency of fan cost-effectiveness against its specific speed. Basic equations of fluid mechanics and theory of optimization were used as research mathematical tools.

Results and discussion. In this study, we have established the influence pattern of the structural elements of a fan air duct and its geometrical parameters on the efficiency over a wide range of alterations of specific speed. We have obtained a mathematical model of correlation between geometrical and kinematic parameters of fans and their cost-effectiveness in a function of specific speed and residual flow swirl. The study has proved that it is essential to improve the aerodynamic quality of impeller airfoils and reduce the aerodynamic drag of air duct elements with the increase in specific speed of fans to extend their cost-effectiveness.

© Н. В. Макаров, В. Н. Макаров, А. В. Угольников, М. Б. Носырев, 2022.

Conclusion. The research described in this paper confirms the commercial importance of utilizing fans in air-cooling units according to aerodynamic configurations with a single wheel “K” and high specific speed $n_y \geq 400$, as far as they provide the highest possible aerodynamic efficiency at minimum weight dimension characteristics. The paper shows the capability of designing aerodynamic configurations of fan units of high specific speed $n_y \geq 400$ with the efficiency $\geq 0,85$ where $\varepsilon_y \leq 0,2$ achieves aerodynamic efficiency of impeller sections $K \geq 25$. It has been established that the optimal region of theoretical pressure coefficient of fan units with a specific speed $380 \leq n_y \leq 450$ is located in the range $0,02 < \Psi_T < 0,08$. We have determined that when the aerodynamic drag coefficient of an air duct of a fan unit is equal to $\varepsilon_y \geq 1,2$, its efficiency declines by more than 25 percent relative to $\varepsilon_y \leq 0,1$.

The authors have designed an aerodynamic scheme and produced an industrial prototype of a fan unit OGM VU 2.7-1.2 K3 with OV-121TOH airfoils.

Keywords: fan, unit, specific speed, air duct, exergy efficiency, aerodynamic characteristics, flow rate.

For citation: Makarov N.V., Makarov V.N., Ugolnikov A.V., Nosyrev M.B. Parameters justification and highly economical fan installations creation for air cooling devices. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):117-125. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-117-125.

Received by the editors 24.07.2021; received after the review 26.08.2021; accepted for printing 06.09.2021.

Введение

Устойчивое динамичное развитие регионов с активным недропользованием неразрывно связано с решением задач повышения эффективности охлаждения газа на компрессорных станциях (КС) магистральных газопроводов и экологической безопасности.

В настоящее время в топливно-энергетическом комплексе РФ (в первую очередь, в газовой отрасли) актуальна проблема энергоэффективности. В 60–70 годы ускоренного развития газовой отрасли проектные параметры газоперекачивающих аппаратов (ГПА) и вспомогательного оборудования, в том числе системы охлаждения транспортируемого газа, подбирались в условиях низких цен на энергоносители [1–3]. Вследствие этого удельная энергоёмкость российских магистральных газопроводов (МГ) на 15–30 % выше зарубежных, что обусловлено в том числе низкими значениями эксергетического КПД теплообменных аппаратов, т.е. его КПД с учётом энергетических затрат на принудительную конвекцию охлаждающего воздуха вентиляторными установками. В условиях отставания отечественного компрессоростроительного комплекса приходилось устанавливать на КС газоперекачивающие аппараты с более низким КПД по сравнению с зарубежными аналогами [2].

Одним из важных элементов МГ является система охлаждения транспортируемого газа, которая позволяет повысить надёжность её и сократить эксплуатационные затраты. При понижении температуры газа пропускная способность газопровода возрастает. Для охлаждения потока транспортируемого газа наибольшее распространение на КС получили аппараты воздушного охлаждения (АВО). Указанные аппараты имеют ряд преимуществ перед другими типами теплообменных аппаратов. АВО не требуют предварительной подготовки теплоносителей, надёжны

в эксплуатации, экологически чисты, имеют простые схемы подключения.

Современный магистральный транспорт природного газа развивается в энерго-ресурсосберегающем направлении с одновременной интенсификацией технологических процессов, связанных с увеличением объёмов транспортируемого газа [4]. В связи с этим в процессе эксплуатации происходит изменение перепадов давлений, градиентов температур, скоростей движения теплоносителей, что вызывает увеличение энергозатрат, особенно при неудовлетворительном техническом состоянии АВО. При этом требования к эффективности функционирования аппаратов постоянно растут [5].

АВО включают в себя следующие основные узлы и агрегаты: секции оребрённых теплообменных труб (ТВО) от 3 до 12 м², вентиляторные установки, состоящие из вентиляторов с электроприводами, воздухопроводов и жалюзи для регулирования расхода воздуха, несущие конструкции, механизмы регулирования. Применяемые для охлаждения газа АВО имеют развитые наружные поверхности, что создаёт благоприятные условия для осаждения на них пыли и загрязнений растительного происхождения и песка. Процесс усугубляется высокой температурой поверхности, применением осевых вентиляторов с низкой скоростью охлаждающего воздуха в теплообменных секциях. В сочетании с плохими теплофизическими свойствами воздуха это обуславливает низкие значения коэффициента теплоотдачи: $\alpha = 30\text{--}90$ Вт/(м²·К) и, как следствие, значительные габаритные размеры АВО [6–8].

При работе АВО, в режиме нагнетания с нижним расположением вентилятора, происходит искажение поля осевых скоростей, обусловленное тем, что на периферийной части ТВО образуется зона повышенного давления, а в центре – зона пониженного давления. Поток за рабочим колесом вентилятора закручивается

в сторону вращения ротора; уменьшение кинетической энергии на выходе из рабочего колеса не приводит к росту потенциальной энергии давления, а лишь компенсирует потери на трение, вызванные вращением потока, что снижает экономичность АВО [8; 9].

Применяемые в АВО вентиляторы выполнены по аэродинамической схеме «К» с одним рабочим колесом без спрямляющего аппарата. По этой причине поток охлаждающего воздуха за рабочим колесом имеет существенную остаточную закрутку, то есть циркуляцию. Циркуляционный поток, движущийся по спирали, поступает на вход в теплообменную секцию с большими разбросами углов рассогласования по отношению к ребрам пучков труб ТВО, что приводит к существенному увеличению сопротивления теплообменных секций, и как результат – к росту расхода энергии для перемещения охлаждающего воздуха (снижения энтальпии охлаждаемого газа), а следовательно падению эксергетического КПД АВО [10]. Увеличение КПД, экономичности вентиляторных установок, т.е. снижение затрат энергии на принудительную конвекцию охлаждающего воздуха способствует росту эксергетического КПД АВО [10].

Для АВО используются осевые специальные вентиляторы, с большой удельной быстроходностью n_y до 450. Эти вентиляторы отличаются малой удельной потенциальной энергией потока воздуха за рабочим колесом, что обуславливает существенное влияние геометрических параметров воздуховода вентиляторной установки на ее экономичность [10; 11]. До настоящего времени не проводились комплексные исследования влияния удельной быстроходности на экономическую эффективность вентиляторных установок [7; 10; 11].

Цель исследований

Разработка рекомендаций по созданию вентиляторных установок с большой удельной быстроходностью по экономичности соизмеримых с вентиляторами общепромышленного исполнения. Для решения поставленной задачи необходимо построить математическую модель зависимости аэродинамического КПД вентиляторной установки, т.е. ее экономической эффективности от удельной быстроходности, определить пути изменения геометрических и кинематических параметров, установить общие закономерности и различия изменения КПД вентилятора и вентиляторной установки с ростом удельной быстроходности и провести экспериментальные исследования.

Методы исследования

Для установления зависимости экономичности вентиляторной установки от ее удельной быстроходности примем в качестве критерия ее локальной эффективности аэродинамический КПД – η_y [11; 12]. Для построения математической модели зависимости экономической эффективности вентиляторов и

вентиляторных установок от удельной быстроходности воспользуемся исследованиями, приведенными в статье [12]. Уравнение для аэродинамического КПД вентиляторной установки, приведенное в работе [12], преобразуем с учетом аналитического выражения её удельной быстроходности.

После соответствующих вычислений получим уравнение, определяющее закономерности изменения аэродинамического КПД вентиляторной установки от ее удельной быстроходности, коэффициента аэродинамического сопротивления воздуховода и остаточной циркуляции в виде:

$$\eta_y = 1 - \frac{\varphi_2}{rk} - \frac{r}{\varphi_2 k} - \frac{182.7}{n_y^3} \ln \frac{v}{1-v^2} \cdot \varphi_2^3 - 1.37 \cdot 10^{-3} \cdot n_y^4 \cdot \varepsilon_y \cdot \varphi_2^4 \quad (1)$$

где φ_2 – текущее значение коэффициента скорости на выходе из вентиляторной установки; k – коэффициент аэродинамического качества профилей лопаток рабочего колеса вентиляторной установки; r – относительный средний аэродинамический радиус лопаток рабочего колеса, v – втулочное отношение рабочего колеса; n_y – удельная быстроходность вентиляторной установки, ε_y – коэффициент аэродинамического сопротивления воздуховода вентиляторной установки.

На рис. 1 приведен график изменения КПД вентиляторной установки от удельной быстроходности при различных значениях коэффициента аэродинамического сопротивления воздуховода.

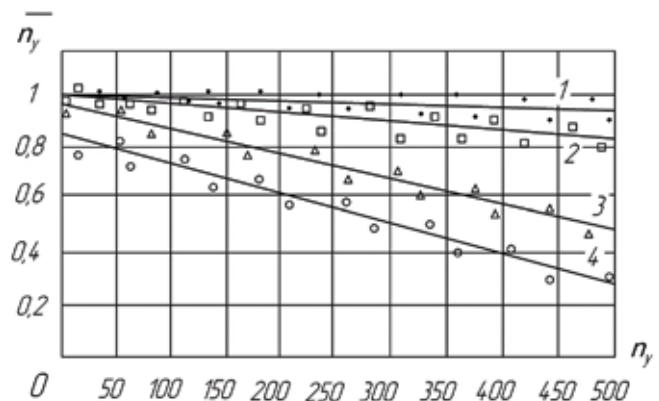


Рис. 1. Зависимость относительного КПД вентиляторной установки от удельной быстроходности при:

$$\varepsilon_1 = 0 \quad (1);$$

$$\varepsilon_2 = 0,1 \quad (2); \quad \varepsilon_3 = 0,3 \quad (3); \quad \varepsilon_4 = 1,2 \quad (4)$$

Fig. 1. Dependence of the relative efficiency of the fan installation on the specific speed at:

$$\varepsilon_1 = 0 \quad (1); \quad \varepsilon_2 = 0,1 \quad (2); \quad \varepsilon_3 = 0,3 \quad (3); \quad \varepsilon_4 = 1,2 \quad (4)$$

Из анализа формулы (1) и рис. 1 видно, что с ростом удельной быстроходности растет негативное влияние на КПД вентиляторной установки аэродинамического сопротивления ее воздуховода, поскольку уменьшается удельная потенциальная энергия перемещаемого воздуха. Поэтому для обеспечения эконо-

мичности вентиляторных установок большой удельной быстроходности, применяемых для АВО, необходимо всеми доступными средствами повышать аэродинамическое качество профилей лопаток рабочих колес и снижать аэродинамическое сопротивление элементов воздуховода [12–14].

Результаты исследований

Математическое моделирование

Для доказательства целесообразности использования в АВО осевых вентиляторов по аэродинамической схеме с одним рабочим колесом «К», получим уравнение для коэффициента полезного действия вентиляторной установки с входным направляющим аппаратом (ВНА) и спрямляющим аппаратом (СА) в виде:

$$\eta_y = 1 - \frac{\varphi}{rk} - \frac{\varphi n_1}{rk_6} - \frac{\varphi(n_1+1)(n_2-1)}{rk_c} - \frac{1}{r\varphi k} \left[r - 182.7 \frac{(1+2n_1)\varphi^{\frac{2}{3}}}{r n_y^{\frac{4}{3}}} \right]^2 - 33.11^4 \frac{n_1^3 \varphi^{\frac{1}{8}}}{r^3 k_6 n_y^{\frac{3}{8}}} \times \left[\frac{(n_1+1)(n_2+1)\varphi^{\frac{2}{3}}}{r^* n_y^{\frac{4}{3}}} \right]^2 - 365,5 \ln \frac{v}{1-v^2} n_2^2 (n_1+1) \frac{\varphi^{\frac{2}{3}}}{n_y^{\frac{4}{3}}} - 4,11 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon_y n_y^{\frac{4}{3}} \varphi^{\frac{4}{3}} \tag{2}$$

где k_6, k_c – коэффициенты аэродинамического качества профилей ВНА и СА;

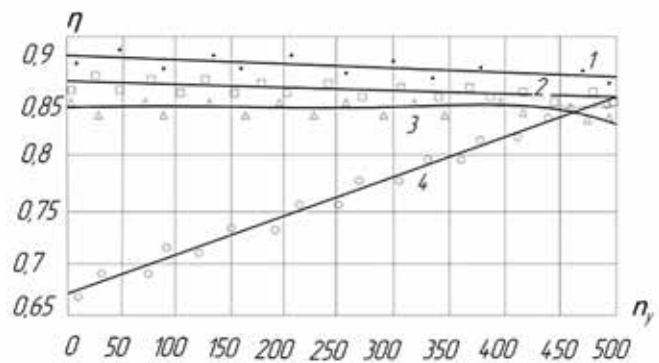


Рис. 2. Зависимость максимального КПД одноступенчатой вентиляторной установки от удельной быстроходности по аэродинамической схеме: 1 – «К+СА», 2 – «ВНА+К+СА», 3 – «ВНА+К», 4 – «К», $\varepsilon_y=0,1$

Fig. 2. Dependence of the maximum efficiency of a single-stage fan installation on the specific speed according to the aerodynamic scheme: 1 – «K+SA», 2 – «BHA+K+SA», 3 – «BHA+K», 4 – «K», $\xi_y=0,1$

n_1, n_2 – коэффициенты циркуляции ВНА и СА, определяющие скорость закручивания потока в них.

На рис. 2 приведены графики изменения максимального изменения КПД одноступенчатой вентиляторной установки, выполненной по четырем различным схемам в зависимости от удельной быстроходности.

Из рис. 2 видно, что при изменении удельной быстроходности от 20 до 450 КПД вентиляторной установки, выполненной по схеме «К», возрастает от 0,68 до 0,86, т.е. величины, соизмеримой с КПД вентиляторной установки, выполненной по схеме «К+СА», устраняющей отрицательное влияние на экономичность остаточной закрутки потока. При этом вентиляторные установки по аэродинамической схеме «К» отличаются меньшими на 40 % осевыми габаритами и на 35 % меньшей металлоемкостью. По вышеуказанным причинам практически нецелесообразно применять для АВО вентиляторные установки по аэродинамическим схемам «К+СА».

Таким образом, применение для АВО вентиляторов по схеме «К» обосновано, поскольку течение потока в них характеризуется низким значением критерия Эйлера ($Eu=2-30$). Применение в АВО вентиляторов по схеме «ВНА+К+СА» неизбежно приведет к снижению экономичности и росту материалоемкости и габаритов вентиляторных установок [15–17].

Для установления зависимости экономической эффективности вентиляторных установок большой быстроходности от коэффициента расходной скорости с учетом уравнения (1) получим выражение для КПД вентиляторной установки с цилиндрической втулкой в зоне её оптимальной подачи охлаждающего воздуха:

$$\eta_y = 1 - \frac{\varphi_2^2 - \varphi_{2opt}^2}{\varphi_2 \cdot k} - 365,5 \ln \frac{v}{(1-v^2)} \cdot \frac{\varphi_2^{\frac{2}{3}}}{n_y^{\frac{4}{3}}} - 1,37 \cdot 10^{-3} \varepsilon_y \cdot n_y^{\frac{4}{3}} \cdot \varphi_2^{\frac{4}{3}}, \tag{3}$$

где φ_{2m} – коэффициент оптимальной расходной скорости вентиляторной установки, соответствующей максимальному КПД.

Из (3) видно, что при увеличении подачи охлаждающего воздуха, т.е. росте коэффициента расходной скорости φ_2 КПД вентиляторной установки уменьшается. Продифференцировав (1), получим выражение для максимального КПД вентиляторной установки по расходной скорости φ_2 :

$$\eta_{y \max} = 1 - \frac{2\varphi_{2opt}}{k} - \frac{365,5}{n_y^{\frac{4}{3}}} \cdot \ln \frac{v}{(1-v^2)} \cdot \varphi_2^{\frac{2}{3}} - 4,11 \cdot 10^{-3} \cdot n_y^{\frac{4}{3}} \cdot \varepsilon_y \cdot \varphi_2^{\frac{4}{3}}. \tag{4}$$

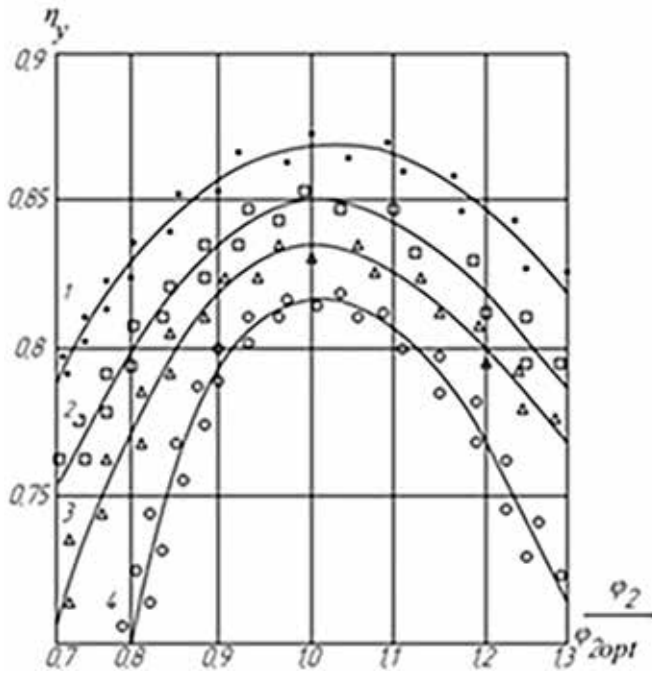


Рис. 3. Зависимость максимального КПД вентиляторной установки от коэффициента расходной скорости, отнесенной к оптимальной скорости при $\varepsilon_y = 0,15$: 1 – $\varphi_2/\varphi_{2opt} = 0,1$; 2 – $\varphi_2/\varphi_{2opt} = 0,12$; 3 – $\varphi_2/\varphi_{2opt} = 0,14$; 4 – $\varphi_2/\varphi_{2opt} = 0,16$

Fig. 3. Dependence of the maximum efficiency of the fan unit on the coefficient of the flow rate, referred to the optimal speed at $\eta_y = 0.15$: 1 – $\varphi_2/\varphi_{2opt} = 0.1$; 2 – $\varphi_2/\varphi_{2opt} = 0.12$; 3 – $\varphi_2/\varphi_{2opt} = 0.14$; 4 – $\varphi_2/\varphi_{2opt} = 0.16$

Из формулы (4) можно сделать вывод о том, что изменение коэффициента расходной скорости φ_2 наиболее существенно влияет на экономичность вентиляторной установки, при этом, не существенно влияя на КПД вентилятора. Указанное обусловлено тем, что с ростом коэффициента расходной скорости существенно возрастают потери динамического давления в воздуховоде вентиляторной установки при одном и том же давлении [12; 18].

Таким образом, при заданном коэффициенте аэродинамического сопротивления воздуховода вентиляторной установки с большим аэродинамическим сопротивлением необходимо максимально снизить оптимальное значение коэффициента расходной скорости.

Результаты расчета и испытаний приведены на рис. 3.

Для определения рационального диапазона коэффициента теоретического давления вентиляторных установок большой удельной быстроходности получены зависимости максимального КПД вентиляторных установок, выполненных по различным аэродинамическим схемам с удельной быстроходностью 450 от коэффициента теоретического давления Ψ_T (рис. 4).

Из рис. 4 следует что оптимальный теоретический коэффициент давления для вентиляторных установок большой быстроходности, применяемых в АВО, находится в диапазоне $0,02 < \Psi_T < 0,08$; для удельной быстроходности – в диапазоне $380 < n_y < 450$. Дальнейшее увеличение коэффициента теоретического давления Ψ_T приводит к снижению экономичности вентиляторных установок.

Зависимости КПД и оптимального расхода вентилятора от коэффициента качества профилей в решетке рабочего колеса приведены на рис. 5.

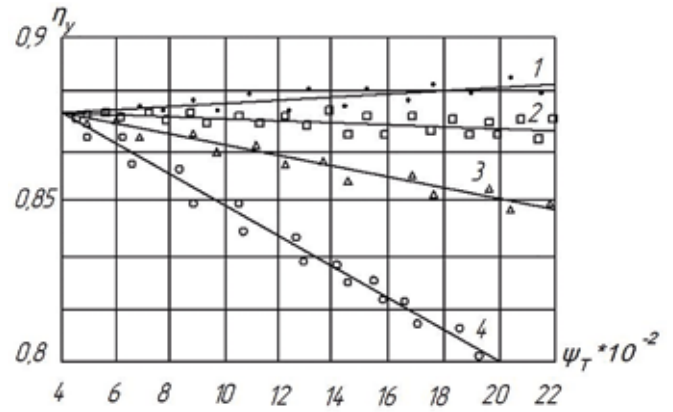


Рис. 4. Зависимость максимального КПД одноступенчатой вентиляторной установки от теоретического давления по схеме: 1 – «К+СА», 2 – «ВНА+К+СА», 3 – «ВНА+К», 4 – «К», при n_y , равном 450, $\varepsilon_y = 0,1$

Fig. 4. Dependence of the maximum efficiency of a single-stage fan unit on the theoretical pressure according to the scheme: 1 – «K+SA», 2 – «BNA+K+SA», 3 – «BNA+K», 4 – «K», for n_y equal 450, $\varepsilon_y = 0$

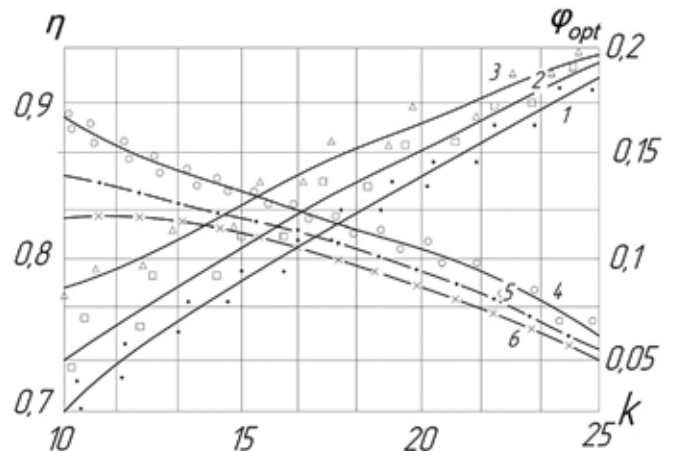


Рис. 5. Зависимость КПД (1–3) и оптимального расхода вентилятора (4–6) от коэффициента качества профилей в решетке рабочего колеса при: 1 – $\Psi_T = 0,12$; 2 – $\Psi_T = 0,09$; 3 – $\Psi_T = 0,06$, $n_y = 420$; 4 – $n_y = 350$; 5 – $n_y = 400$; 6 – $n_y = 450$

Fig. 5. Dependence of the efficiency (1–3) and optimal flow rate (4–6) of the fan on the quality factor of the profiles in the impeller lattice at: 1 – $\Psi_T = 0.12$; 2 – $\Psi_T = 0.09$; 3 – $\Psi_T = 0.06$, $n_y = 420$; 4 – $n_y = 350$; 5 – $n_y = 400$; 6 – $n_y = 450$

Из рис. 5 и формулы (1), в которой коэффициент аэродинамического сопротивления воздуховода вентиляторной установки $\xi_{\Sigma} = 0$, можно сделать следующий вывод. С ростом удельной быстроходности вентилятора и снижения его коэффициента давления для обеспечения высокого КПД, необходимо повышать аэродинамическое качество профилей лопаток рабочих колес. Равное значение КПД вентилятора с удельной быстроходностью 450 и осевого двухступенчатого вентилятора с удельной быстроходностью 80 можно обеспечить за счет достижения аэродинамического качества профилей лопаток рабочего колеса одноступенчатой вентиляторной установки до уровня $K=25$.

Обсуждение результатов

При проектировании вентиляторных установок для АВО необходимо особое внимание уделять математическим моделям, устанавливающим связь кинематических и геометрических параметров с их экономичностью. Чем выше оптимальное значение удельной быстроходности вентиляторной установки, тем актуальнее требование к профилированию лопаток рабочих колес, повышению коэффициента их аэродинамического качества.

Профили лопаток должны обеспечивать ламинарное безотрывное течение воздуха по аналогии с крылом птицы, т.е. проектирование профилей необходимо вести на базе принципа природоподобной соразмерности [19; 20]. Остаточная закрутка потока на выходе из вентиляторной установки, определяемая четвертым слагаемым в уравнении (1), снижает, с одной стороны, ее экономичность за счет потерь динамического давления, определяемых критерием Эйлера, а с другой – способствует турбулизации потока воздуха, поступающего на теплообменник воздушного охлаждения АВО в определенном диапазоне, повышая коэффициент теплоотдачи, зависящей от критерия Нуссельта, т.е. аэротермическую экономичность АВО. Оптимальная остаточная закрутка потока определяется уравнением:

$$\frac{\partial Nu}{\partial \varphi} \frac{Eu}{Eu} = 0.$$

По результатам экспериментальных исследований могут быть получены зависимости коэффициента теплоотдачи, определяющие критерии Нуссельта и коэффициент аэродинамического сопротивления, определяющий коэффициент Эйлера в зависимости от коэффициента динамического давления остаточной закрутки потока [21].

Для повышения экономичности вентиляторных установок для АВО необходимо добиваться максимально возможного аэродинамического качества элементов их воздуховода: коллектора, кока, диффузора. Учитывая нелинейность отношения критерия Нуссельта к критерию Эйлера, показана возможность существования оптимальной остаточной циркуляции, при которой прирост теплоотдачи от турбулизации охлаждающего воздушного потока растет быстрее, чем гидравлическое сопротивление теплообменника воздушного охлаждения.

Доказано более существенное повышение экономической эффективности вентиляторных установок большой удельной быстроходности по отношению к вентиляторам малой быстроходности при снижении коэффициента аэродинамического сопротивления их воздуховода. С использованием полученной математической модели [4] улучшения аэродинамического качества профилей, оптимизации тангенциального и осевого навалов и закона закрутки лопаток по радиусу, ламинарной формы коллектора воздуховода в

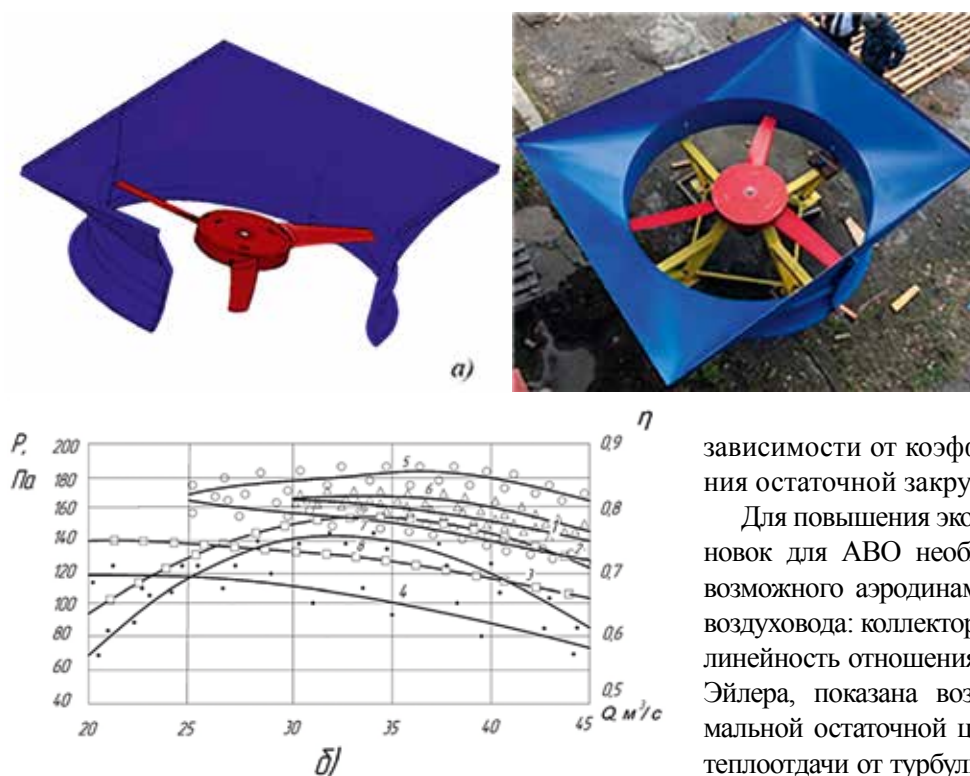


Рис. 6. Промышленный образец вентиляторной установки ОГМ ВУ 2,7–1,2 К3: 3D-модель (а); аэродинамические характеристики вентиляторной установки (б) при различных углах установки лопаток рабочего колеса θ : 1–4 – давление (p); 5–8 – КПД (η); 1, 6 – $\theta = 12^\circ$; 2, 5 – $\theta = 10^\circ$; 3, 7 – $\theta = 8^\circ$; 4, 8 – $\theta = 5^\circ$

Fig. 6. Industrial sample of the OGM fan installation VU 2.7-1.2 K3: 3D model (a); aerodynamic characteristics of the fan installation (b) at different angles of installation of the impeller blades θ : 1–4 – pressure (p); 5–8 – efficiency (η); 1, 6 – $\theta = 12^\circ$; 2, 5 – $\theta = 10^\circ$; 3, 7 – $\theta = 8^\circ$; 4, 8 – $\theta = 5^\circ$

виде кривых Безье четвертого порядка разработана аэродинамическая схема и изготовлен промышленный образец вентиляторной установки ОГМ ВУ 2.7 – 1.2 К4 с профилями OV – 121ТОН.

На рис. 6 приведены 3D-модель, промышленный образец и аэродинамические характеристики вентиляторной установки при коэффициенте аэродинамического сопротивления воздуховода вентиляторной установки $\varepsilon_y = 0,044$; удельной быстроходности $n_y = 404$; КПД (η) = 0,85; коэффициенте аэродинамического качества профилей $K = 25$.

Заключение

Подтверждена экономическая целесообразность использования в АВО вентиляторных установок по аэродинамическим схемам с одним рабочим колесом «К», большой удельной быстроходностью $n_y \geq 400$ поскольку они обеспечивают максимальный аэродинамический КПД при минимальных габаритно-массовых характеристиках.

Показана возможность проектирования аэродинамических схем вентиляторных установок большой быстроходности $n_y \geq 400$ с КПД $\geq 0,85$ при $\varepsilon_y \leq 0,2$ достижении аэродинамического качества профилей рабочего колеса $K \geq 25$.

Установлено, что область оптимальных значений теоретического коэффициента давления вентиляторных установок с удельной быстроходностью $380 \leq n_y \leq 450$ расположена в диапазоне $0,02 < \Psi_T < 0,08$.

Определено, что при коэффициенте аэродинамического сопротивления воздуховода вентиляторной установки $\varepsilon_y \geq 1,2$ ее коэффициент полезного действия снижается более чем на 25 % по отношению к $\varepsilon_y \leq 0,1$.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ванчин А.Г. Методы оценки технического состояния аппаратов воздушного охлаждения газа в условиях компрессорной станции магистрального газопровода // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2012. N 6. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18749>
2. Хворов Г.А., Юмашев М.В. Анализ энергосберегающих технологий по материалам охлаждения газа на основе аппаратов воздушного охлаждения в транспорте газа ПАО «Газпром» // Territoria neftegas oil and gas territory. N9 2016. N1. С. 3–12.
3. Шабанов В.А., Пашкин В. В., Ивашкин О.Н. Анализ потерь электроэнергии в электроприводе аппарата воздушного охлаждения газа // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2014. N1. Т. 10. С. 30–42.
4. Январев И. А. Комбинированный способ регулирования температурных режимов модульной установки воздушного охлаждения газа // Омский научный вестник. 2014. N2. С.130.
5. Калинин А.Ф., Фомин А.В., Оценка эффективности режимов работы АВО // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2011. N 4. С. 265.

Выводы

1. Проведены исследования эффективности эксплуатации вентиляторных установок большой быстроходности в составе аппаратов воздушного охлаждения компрессорных станций магистральных газопроводов.
2. Установлены причины низкого эксергетического КПД теплообменных аппаратов, обусловленные недостаточной экономичностью применяемых в них вентиляторных установок, выполненных по схеме «К». Доказана необходимость увеличения аэродинамического качества профилей лопаток рабочих колес и снижения аэродинамического сопротивления элементов воздуховода.
3. Получены закономерности влияния структурных элементов воздуховода вентиляторных установок и геометрических параметров на экономичность в широком диапазоне изменения удельной быстроходности, разработана математическая модель корреляции геометрических и кинематических параметров вентиляторных установок с их экономической эффективностью в функции от удельной быстроходности и остаточной закрутки потока.
4. Доказано, что изменение коэффициента расходной скорости наиболее существенно влияет на экономичность вентиляторной установки, при этом не существенно влияя на КПД вентилятора.
5. Определен оптимальный диапазон значений теоретического коэффициента давления для вентиляторных установок большой быстроходности, применяемых аппаратов воздушного охлаждения.
6. Спроектирована аэродинамическая схема и создан промышленный образец вентиляторной установки ОГМ ВУ 2.7-1.2 К3 с профилями OV- 121ТОН.

6. Ванчин А.Г., Методы оценки работы аппаратов воздушного охлаждения газа при разных вариантах включения вентиляторов // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2018. N3. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18749>.
7. Kychkin A., Nikolaev A. IoT-based mine ventilation control system architecture with digital twin // 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) = ICIEAM 2020: Proceedings, Sochi, Russian Federation, 18-22 May 2020. New York: IEEE, 2020. Art. 9111995. 5 p.
8. Рубцова И.Е., Мочалкин Д.С., Крюков О.В. Основные направления и задачи энергосбережения при реконструкции КС. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография. Под ред. О.В. Крюкова. Вектор ТиС, 2012. С. 572.
9. Ivanov E.S., Kitaitev S.V., Shammazov I.A., Methods for improving the energy efficiency of natural gas pipelines, St. Petersburg, Nedra, 2008, 439 p.
10. Абакумов А.М., Мигачев А.В., Степашкин И.П. Исследование системы управления аппаратом воздушного

охлаждения природного газа // Известия вузов. Электромеханика. 2016. №6. С. 130–134.

11. Abakumov A.M., Stepashkin I.P. Research of the adaptive automatic control system at the natural gas air – cooling unit // IEEE Xplore. 2017. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076297 (in Russ.).

12. Брусиловский И.В. Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов. М.: Машиностроение, 1986. С. 240.

13. Брусиловский И.В. Аэродинамический расчет осевых вентиляторов. М.: Машиностроение, 1986. С. 288.

14. Makarov N.V., Makarov V.N., Lifanov A.V. and Kitonsa H. Mathematical model of conformal mappings in the theory of radial grids of mine turbomachines. *Mathematical Analysis with Applications // In Honor of the 90th Birthday of Constantin Corduneanu, Springer Proceedings in mathematical & Statistics*, 2020, 318, pp. 337–346. DOI: 10.1007/978-3-030-42176-233 (in Russ.).

15. Nikolaev A. V. Energy-efficient air conditioning in shallow mines // *Gornyi Zhurnal*. 2017. N 3. P. 71–74.

16. Лойцанский Л.Г. Механика жидкости и газа. Учебник для вузов. 7е изд., испр. М.: Дрофа, 2003. С.840.

17. Torshizi S.A.M., Benisi A., Durali M. Multilevel optimization of the splitter blade profile in the impeller of a centrifugal compressor // *Scientia Iranica*. 2017. N 24. pp. 707–714. (in Russian).

18. MAO Y. F. Numerical Study of Correlation between the Surge of Centrifugal Compressor and the Piping System: Ph.D. Thesis, Xi'an Jiaotong University, Xi'an. 2016.

19. Wu D., Yin K., Yin Q., Zhang X., Cheng J., Ge D., Zhang P. Reverse circulation drilling method based on a supersonic nozzle for dust control // *Applied sciences (Switzerland) (Applied sciences (Switzerland))*. 2017. Vol. 7. No. 1, pp. 5–20. Патент 2482337 (Россия), М.Кл. F 04 D 29/28.

20. Косарев Н.П., Макаров Н.В., Макаров В.Н. Способ повышения давления и экономичности лопастных турбомашин. Заявл. 29.11.2011. Опубл. В Б.И. 20.05.2013 N14.

21. Belskikh A.M. Makarov V.N., Materov A.Y. Mathematical modeling of thermovortex heat transfer in air coolers. XVI International Forum – Contest of Students and Young Researchers "Topical Issues of Rational Use of Natural Resources". Scientific Conference Abstracts, 31 May–6 June 2021. Saint Petersburg, 2021, vol. 2, pp. 140–141.

REFERENCES

1. Vanchin A.G. Methods for assessing the technical condition of gas air coolers in the conditions of a main gas pipeline compressor station. *Oil and Gas Business: Electronic Scientific Journal*. 2012, no. 6. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18749>

2. Khvorov G.A., Yumashev M.V. Analysis of energy-saving technologies based on gas cooling materials based on air coolers in gas transport of Gazprom PJSC. *Territoria Neft-egas Oil and Gas Territory*. 2016, no. 9, no.1, pp. 3–12.

3. Shabanov V.A., Pashkin V.V., Ivashkin O.N. Analysis of electricity losses in the electric drive of an air-cooled gas apparatus. *Electrotechnical and Information Complexes and Systems*. 2014, v. 10, no.1, pp. 30–42.

4. Yanvarev I. A. Combined method for controlling the temperature regimes of a modular gas air cooling unit. *Omsk Scientific Bulletin*. 2014, no. 2, p. 130.

5. Kalinin A.F., Fomin A.V., Evaluation of the efficiency of air cooler operation modes. *Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin*, 2011, no. 4, p. 265.

6. Vanchin A.G., Methods for assessing the operation of gas air coolers with different options for turning on fans. *Oil and Gas Business: Electronic Scientific Journal*, 2018, no.3. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18749>.

7. Kychkin A., Nikolaev A. IoT-based mine ventilation control system architecture with digital twin. *2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) = ICIEAM 2020: Proceedings, Sochi, Russian Federation, 18-22 May 2020*. New York: IEEE, 2020, Art. 9111995, 5p.

8. Rubtsova I.E., Mochalkin D.S., Kryukov O.V. *The main directions and tasks of energy saving during the reconstruction of the CS. Energy saving and automation of electrical equipment of compressor stations*. In: O.V. Kryukov (ed). Vector TiS Publ., 2012, p. 572.

9. Ivanov E.S., Kitaitev S.V., Shammazov I.A. *Methods for improving the energy efficiency of natural gas pipelines*, Nedra Publ., St. Petersburg, 2008, 439 p.

10. Abakumov A.M., Migachev A.V., Stepashkin I.P. Investigation of the control system of the apparatus for air cooling of natural gas. *Izvestiya vuzov. Electromechanics*. 2016, no.6, pp. 130–134.

11. Abakumov A.M., Stepashkin I.P. Research of the adaptive automatic control system at the natural gas air – cooling unit. *IEEE Xplore*. 2017. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076297 (in Russ.).

12. Brusilovsky I.V. *Aerodynamic schemes and characteristics of axial fans*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986, p. 240.

13. Brusilovsky I.V. *Aerodynamic calculation of axial fans*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986, p. 288.

14. Makarov N.V., Makarov V.N., Lifanov A.V. and Kitons H. Mathematical model of conformal mappings in the theory of radial grids of mine turbomachines. *Mathematical Analysis with Applications. In Honor of the 90th Birthday of Constantin Corduneanu. Springer Proceedings in Mathematical & Statistics*. 2020, 318, pp. 337–346. DOI: 10.1007/978-3-030-42176-233 (in Russ.).

15. Nikolaev A. V. Energy-efficient air conditioning in shallow mines. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 3, pp. 71–74.

16. Loitsansky L.G. *Mechanics of liquid and gas*. Textbook for universities. 7th ed., rev. Drofa Publ., Moscow, 2003, c. 840.

17. Torshizi S.A.M., Benisi A., Durali M. Multilevel optimization of the splitter blade profile in the impeller of a centrifugal compressor. *Scientia Iranica*, 2017, no. 24, pp. 707–714 (in Russ.).

18. MAO Y. F. *Numerical Study of Correlation between the Surge of Centrifugal Compressor and the Piping System*. Ph. D. Thesis, Xi'an Jiaotong University, Xi'an. 2016.

19. Wu D., Yin K., Yin Q., Zhang X., Cheng J., Ge D., Zhang P. Reverse circulation drilling method based on a supersonic nozzle for dust control. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2017, vol. 7, no. 1, pp. 5–20.

20. Kosarev N.P., Makarov N.V., Makarov V.N. Patent 2482337 (Russia), М.Кл. F 04 D 29/28. *A method for increasing the pressure and efficiency of bladed turbomachines.*

21. Belskikh A.M. Makarov V.N., Materov A.Y. Mathematical modeling of thermovortex heat transfer in air coolers.

XVI International Forum – Contest of Students and Young Researchers "Topical Issues of Rational Use of Natural Resources". Scientific Conference Abstracts, 31 May-6 June 2021. Saint Petersburg, 2021, vol. 2, pp. 140–141.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



МАКАРОВ Николай Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой горной механики, Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, Россия.

+7(963)049-94-32
+7(343)257-45-42
mnikolay84@mail.ru



МАКАРОВ Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры горной механики, Уральский государственный горный университет, 620144, Екатеринбург, Россия.

+7(343)295-04-48
uk.intelnedra@gmail.com



УГОЛЬНИКОВ Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники. Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, Россия.

+7(343)257-45-42
ugolnikov@yandex.ru



НОСЫРЕВ Михаил Борисович – доктор технических наук, профессор, первый проректор (2003–2017 гг.), Уральский государственный горный университет, 620144, Екатеринбург, Россия.

+7(912)614-09-99
nosyrev.mb@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikolay V. MAKAROV – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Mining Mechanics, Ural State Mining University, Yekaterinburg, 620144, Russia.

+7(963)049-94-32
+7(343)-257-45-42
mnikolay84@mail.ru

Vladimir N. MAKAROV – Dr. Sci.(Eng.), Professor at the Department of Mining Mechanics, Ural State Mining University, Yekaterinburg, 620144, Russia.

+7(343)295-04-48
uk.intelnedra@gmail.com

Alexander V. UGOLNIKOV – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering, Ural State Mining University,

Yekaterinburg, 620144, Russia.
+7(343)257-45-42
ugolnikov@yandex.ru

Mikhail B. NOSYREV – Dr. Sci.(Eng.), Professor, First Vice-Rector (2003–2017), Ural State Mining University, Yekaterinburg, 620144, Russia.

+7(912)614-09-99
nosyrev.mb@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

Нормирование потерь и разубоживания при поэтапно-камерной системе разработки с последующей закладкой

Иван А. Пыталев¹, Елена А. Романько¹✉, Елена В. Бобылева², Мария С. Колкова¹

¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия, romanko_H@mail.ru✉

²АО «Учалинский ГОК», Учалы, Россия

Аннотация. Приведены основные положения о нормировании показателей извлечения из недр, дана краткая горно-геологическая характеристика и особенности подземной геотехнологии освоения запасов Ново-Учалинского месторождения.

Выделены основные виды потерь и разубоживания руды, характерные для применяемой в условиях месторождения поэтапно-камерной системы разработки с последующей закладкой. Приведены основные решения по нормированию их величины. Определено, что критерием определения нормативной величины показателей использования недр является максимальная прибыль от добычи и переработки 1 т погашенных балансовых запасов выемочной единицы. На основании указанного критерия нормируются только взаимовлияющие виды потерь и разубоживания, остальные определяются аналитически, экспериментально, статистически или способом аналогий.

Ключевые слова: показатели извлечения запасов, потери руды, разубоживание, нормирование потерь, экономическая эффективность.

Для цитирования: Пыталев И.А., Романько Е.А., Бобылева Е.В., Колкова М.С. Нормирование потерь и разубоживания при поэтапно-камерной системе разработки с последующей закладкой // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 126–133. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-126-133.

Получена редакцией 14.08.2021; получена после рецензии 15.08.2021; принята к печати 25.08.2021.

Original article

Losses and drying normalization with a level-chamber development system with following laying

Ivan A. Pytalev¹, Elena A. Romanko¹✉, Elena V. Bobyleva², Maria S. Kolkova¹

¹Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, 455000, Russia, romanko_H@mail.ru✉

²Joint-Stock Company "Uchalinskiy GOK", Uchaly, 453700, Russia

Abstract. Ensuring the sustainable development of mining territories is impossible without the rational use of natural resources – minerals during their extraction and primary processing. So, at the stage of mining operations, it is necessary to establish the normative value of losses and dilution of minerals. This value is determined taking into account mining and geological, technological, economic, organizational factors. The normative value of losses and dilution ensures the maximum possible economic effect from the applied geotechnology and primary processing of recoverable reserves. In addition, in order to implement full-fledged rationing, it is necessary to identify the main types of losses and dilution and establish the causes of their formation.

The researchers found that the normalization of recovery indicators is possible in the case of searching for the level of losses and dilution at the contact of the deposit, that is, when these indicators are interdependent. For the conditions of most deposits with almost any method and system of development, this is the only type of normalized losses and dilution. The only exceptions are underground mining systems with the collapse of ore and host rocks. All other extraction indicators are determined analytically, experimentally, statistically, by direct measurement.

For the conditions of development of the Novo-Uchalinsky deposit by underground geotechnology, the main types of extraction indicators are identified, their causes are established, recommendations are given for determining their magnitude and rationing. Thus, losses in the array and in the beaten form are highlighted, such as losses due to the complexity of the contact and in the corners of the camera, losses on the bottom of the camera and in the baseboards. Dilution occurs in the following types – from the complexity of contact, vaulting in the roof of the chamber, laying on the side of neighboring chambers, from mixing rock in rock dykes. Rationing is carried out by losses and dilution due to the complexity of the contact, in addition, it is possible to normalize dilution by laying on the side of neighboring chambers, since it is possible to establish the optimal contour of the projected chamber on contact with neighboring laid ones. Losses in the corners of the chamber,

“in the baseboards”, dilution from vaulting in the roof of the chamber are determined analytically; losses on the bottom of the chamber, dilution by laying from neighboring chambers – experimentally; by direct measurement by geophysical methods, the parameters of the dikes of empty rocks are determined to establish the amount of dilution from mixing the rock in the rock dikes. The actual level of losses and dilution of ore after the mining of the dredging unit is provided equal to the standard with strict execution of the development system and technology of the main production processes.

Keywords: indicators of reserves recovery, ore losses, dilution, rationing of losses, economic efficiency.

For citation: Pytalev I. A., Romanko E. A., Bobyleva E. V., Kolkova M. S. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):126-133. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-126-133.

Received by the editors 14.08.2021; received after the review 15.08.2021; accepted for printing 25.08.2021.

Введение

Устойчивое развитие горнодобывающих районов невозможно без организации экономически и экологически эффективного пользования недрами с целью достижения наилучших показателей применяемой геотехнологии [1]. Одними из них являются показатели извлечения запасов из недр – потери и разубоживание полезных ископаемых. Их величина устанавливается в основном с учетом геологических и технологических факторов: параметров и геологических особенностей рудного тела, наличия прослоев вмещающих пород (даек) в залежи, применяемой системы разработки, ее параметров, средств механизации основных производственных процессов, и, кроме того, организационных и экономических [2]. Нормативной величиной потерь и разубоживания полезного ископаемого является то их соотношение, при котором обеспечивается максимальная экономическая эффективность – прибыль предприятия от добычи и переработки полезного ископаемого. При этом величина фактических потерь и разубоживания обеспечивается неукоснительным исполнением конструкции системы разработки, технологии выполнения основных производственных процессов [3–6].

Цель исследования

Разработка методики нормирования потерь и разубоживания руды для условий камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства.

Материал и методы исследования

Горно-геологические условия Ново-Учалинского месторождения – крутое падение рудных тел и их большая глубина предопределили выбор подземного способа разработки. Контакты рудного тела с вмещающими породами висячего бока резкие, отчетливые. В дацитовых порфиритах надрудной части разреза, контактирующих с рудой, отмечается маломощная (до 5 см) хлоритовая оторочка и слабое рассланцевание. В нижней выклиночной части указанные породы сильнее рассланцованы, серицитизированы, минерализованы пиритом. В лежачем боку рудного тела контакты сплошной руды с подстилающими рилито-дацитами в большинстве случаев более распыльчатые, чем в висячем боку, и зачастую переход в

породы висячего бока происходит через вкрапленные руды. Внутри рудных тел зафиксированы прослои хлорит-серицит-кварцевых метасоматитов и мощные (до 7 м) дайки диабазов, габбро-диоритов.

Основными источниками разубоживания являются: порфириды основного состава, рудокласты и кислые вулканиты, залегающие в кровле залежи, метасоматиты разного состава, вмещающие в себя рудную залежь, а также прослои хлорит-серицит-кварцевых метасоматитов и мощных (до 7 м) даек диабазов, габбро-диоритов, находящиеся внутри рудных тел, и материал закладки при отработке вторичных камер [7].

Подземный рудник, осваивающий запасы Ново-Учалинского месторождения, вводится в эксплуатацию в три очереди, для каждой из которых определена годовая производственная мощность. Запасы месторождения вскрываются Скипо-Клетевым стволом и Вентиляционным наклонным съездом. Схема вентиляции – фланговая, способ проветривания всасывающий.

Для освоения запасов месторождения приняты варианты камерной системы разработки: подэтажно-камерная система разработки с восходящей и с нисходящей выемкой подэтажей. Подкровельная часть месторождения (подэтаж 650/680 м) разрабатывается подэтажно-камерной системой разработки с нисходящей выемкой, формируя искусственный целик, а оставшиеся запасы Верхнего Яруса (в подэтажах 680/770 м) разрабатываются с восходящей выемкой. Запасы Среднего и Нижнего Яруса отрабатываются подэтажно-камерной системой разработки с нисходящей выемкой подэтажей.

Технология очистной выемки при всех вариантах подэтажно-камерной системы разработки осуществляется без доступа людей в очистное пространство.

Основана на буровзрывном способе отбойки руды в камере вертикальными слоями, отгрузке руды самоходными погрузочно-доставочными машинами с дистанционным управлением и закладке выработанного пространства твердеющими смесями. Фактическая величина потерь и разубоживания определяется маркшейдерской службой прямым методом с использованием лазерной сканирующей системы полостей OptechCMSV400.

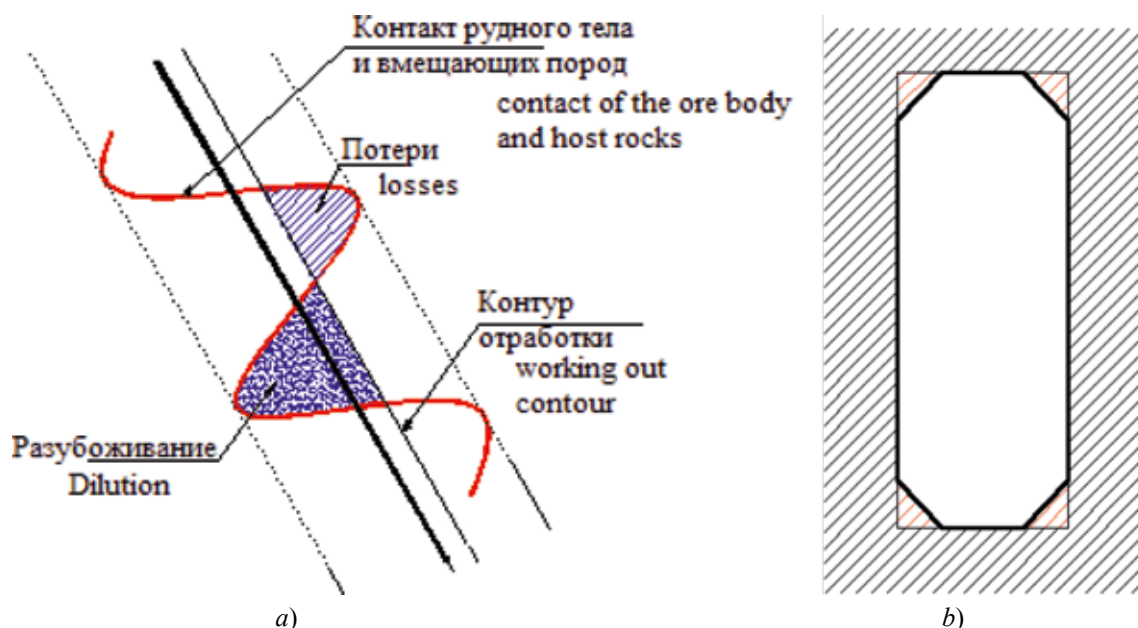


Рис. 1. Потери руды в массиве: а) потери и разубоживание руды на контакте с вмещающими породами; б) потери руды в углах камеры

Fig. 1. Ore losses in the array: a) loss and dilution due to the difficulty of contacting the orebody; b) losses at camera corners

В общем случае нормирование потерь и разубоживания руды осуществляется следующими способами: аналитическим, экспериментальным, статистическим, аналогий. Аналитически способ предусматривает определение потерь и разубоживания полезных ископаемых на основе конструкций систем разработки и параметров их элементов (рудных корок и т.д.), а также на основе теории выпуска руды из блоков. Экспериментальный способ основан на результатах учета показателей потерь и разубоживания в отдельных (экспериментальных) блоках или на модели в лабораторных условиях, наиболее полно отражающих горно-геологические и технико-экономические условия участка или месторождения в целом. Статистический способ установления потерь и разубоживания полезных ископаемых и закономерностей их взаимосвязи предусматривает использование отчетных фактических данных за 5–7 лет без учета части потерь и разубоживания вследствие нарушения технологии добычи или отклонения от ее оптимальных параметров. Нормативные показатели извлечения также могут быть установлены способом аналогий, т.е. определение величины нормативов потерь и разубоживания по аналогии с уже отработанными месторождениями с одинаковыми горно-геологическими условиями и детально установленными нормативами потерь и разубоживания [8].

Очевидно, что для различных способов и систем разработки могут применяться различные способы установления величины нормативных показателей извлечения [1–6; 9–25].

Методика нормирования показателей потерь и разубоживания руды предусматривает анализ опыта отработки камер с выявлением основных видов показателей

использования недр, установление причин их образования, определение величины и нормирование [10–16].

Для анализа видов потерь и разубоживания рассмотрены результаты съемок отработанных камер Ново-Учалинского, Учалинского и Узельгинского подземных рудников, технология добычи руды и горно-геологические условия которых аналогичны [9–12]. Виды эксплуатационных потерь и разубоживания с учетом производственного процесса производства очистных работ, на котором они образуются в условиях Ново-Учалинского месторождения, представлены в таблице.

Потери и разубоживание из-за сложности контакта рудного тела образуются из-за оставления полезного ископаемого на контактах с вмещающими породами, либо из-за несовпадения контура рудного тела с контуром отбойки, обусловленного морфологией контакта и технологическим исполнением отбойки руды; локализируются в кровле рудного тела, на флангах и выклинках залежи (рис. 1а). Оставление полезного ископаемого в углах камеры из-за «затухания» скважин приводит к потерям в углах камеры (рис. 1б).

Потери руды на днище камеры и в «плинтусах» происходят из-за оставления отбитого полезного ископаемого на дне камеры вследствие неполноты зачистки, обусловленной возможностями технологического оборудования, занятого на доставке и зачистке. Реализуется в двух видах – по всей площади основания камеры и в плинтусах (рис. 2а, б).

Причиной разубоживания от сводообразования в кровле камеры является образование свода естественного равновесия в ранее заложенных камерах над отработанной (рис. 3). Действие силы взрыва на массив соседних заложенных камер

Виды эксплуатационных потерь и разубоживания
Types of operational losses and dilution

Вид потерь (П) и разубоживания (Р) <i>Type of loss (L) and dilution (D)</i>	Условное обозначение <i>Symbol</i>	Ярус отработки Ново-Учалинского месторождения <i>Stage of development of the Novo-Uchalinsky field</i>		
		верхний <i>Top</i>	средний <i>Middle</i>	нижний <i>Lower</i>
Потери полезного ископаемого в массиве / Losses of minerals in the array				
Основной производственный процесс – отбойка запасов / The main production process is stock breaking				
Потери из-за сложности контакта рудного тела <i>Loss due to the difficulty of contacting the orebody</i>	П ₁	+	+	+
Потери в углах камеры <i>Losses at camera corners</i>	П ₂	+	+	+
Потери полезного ископаемого в отбитом виде / Losses of minerals dislodged from the array				
Основной производственный процесс – доставка отбитой руды из камеры <i>The main production process is the delivery of the chipped ore from the camera</i>				
Потери руды на днище камеры и в «плинтусах» <i>Losses of ore at the bottom of the camera and in the "plinths"</i>	П ₃	+	+	+
Разубоживание полезного ископаемого вмещающей породой или материалом закладки <i>Dilution of the mineral by the host rock or by the filling material</i>				
Основной производственный процесс – отбойка камерных запасов <i>The main production process is the removal of camera stocks</i>				
Разубоживание из-за сложности контакта рудного тела <i>Dilution due to the difficulty of contacting the orebody</i>	Р ₁	+	+	+
Разубоживание от сводообразования в кровле камеры <i>Dilution from arching in the top of camera</i>	Р ₂	-	+	+
Разубоживание закладкой со стороны соседних камер <i>Dilution by a filling material from the side of neighboring cameras</i>	Р ₃	+	+	+
Разубоживание от примешивания породы в породных дайках <i>Dilution from mixing rock in rock dikes</i>	Р ₄	+	+	+

приводит к разубоживанию закладкой со стороны соседних камер, либо во избежание этого вида разубоживания вынужденно оставляют на контакте с отработанной камерой так называемую «рудную корку». За счет прихвата породы из внутриконтурных включений сверх установленных кондиций образуется разубоживание от примешивания породы в породных дайках.

Рядом работ [3–4; 9–12; 14; 19] установлено, что нормировать величину показателей извлечения полезных ископаемых возможно при наличии контакта рудного тела с вмещающими породами или закладкой. Для условий Ново-Учалинского месторождения этому виду соответствуют потери П₁ и разубоживание Р₁. Также возможно нормировать величину разубоживания Р₃, задавая положение контура вторичной камеры с учетом обеспечения максимальной прибыли от добычи и переработки.

Экспериментально определяются, согласно опыту отработки Учалинского ГОКа, потери отбитой руды на днище блока (часть от П₃), разубоживание от стенок соседних камер Р₃. Аналитически определяются потери в углах камер П₂, в «плинтусах» (часть от П₃), разубоживание от сводообразования Р₂. Непосредственным замером определяется величина разубоживания от примешивания породы в породных дайках Р₄.

Общие величины потерь и разубоживания определяются суммированием их значений.

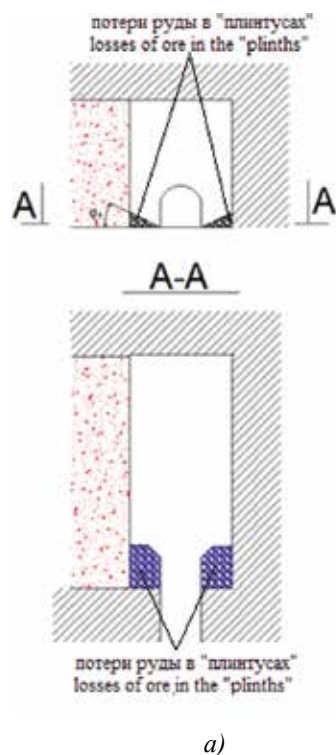


Рис. 2. Потери отбитой руды на днище камеры с отгрузкой руды ПДМ с дистанционным управлением: а) при торцовых заездах в камеру; б) при боковых заездах в камеру

Fig. 2. Loss of separated ore at the bottom of the chamber with ore unloading by remote-controlled machines: a) at the end entrances to the camera, b) at side entrances to the camera

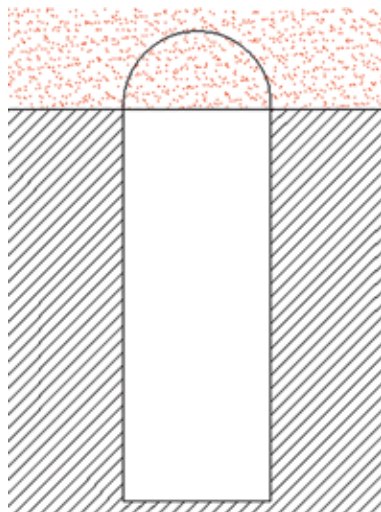


Рис. 3. Разубоживание от сводообразования в кровле камеры

Fig. 3. Dilution from arching in the top of camera

Результаты исследований и обсуждение

Нормирование потерь и разубоживания полезных ископаемых в условиях Ново-Учалинского месторождения

Потери и разубоживание руды из-за сложности контакта рудного тела в зависимости от исходных данных для их нормирования могут быть определены одним из способов. Согласно рекомендациям «Отраслевой инструкции» [1] через установление величины коэффициента μ , характеризующего оптимальное соотношение между потерями и разубоживанием руды на границе выемки и определяемого в зависимости от качества руды, либо через соотношение площадей теряемой руды и прирезаемой породы, определяемых графическим способом, обеспечивается максимальный экономический эффект полноты и качества извлечения.

Критерием определения нормативного уровня потерь и разубоживания для рудных месторождений является максимум прибыли с 1 т погашаемых балансовых запасов выемочной единицы [9–13]:

$$\text{Пр} = \text{Ц}_Б \text{К}_Н \text{И}_С - \text{С}_{\text{ТОВ}} \frac{\text{К}_Н}{\text{К}_К} \rightarrow \text{max.}$$

где $\text{Ц}_Б$ – средневзвешенная извлекаемая ценность полезного компонента в 1 т погашенных балансовых запасов; $\text{К}_Н$, $\text{К}_К$ – соответственно коэффициенты извлечения из недр и изменения качества полезного ископаемого; $\text{И}_С$ – сквозной коэффициент извлечения полезного компонента при переработке

руды; $\text{С}_{\text{ТОВ}}$ – полная себестоимость добычи, транспортировки и переработки 1 т товарной руды, руб./т.

Потери в углах камер определяются по известной методике, в основу которой положено выявленное в ходе анализа разрезов отработанных камер наблюдение, что целики в угловых частях камеры являются равнобедренными треугольниками.

Потери отбитой руды в «плинтусах» в зависимости от вида заезда в камеру определяются:

- при трех боковых заездах с использованием ПДМ с дистанционным управлением:

$$V_{\text{гр}} = 0,33 \left(6L_{\text{пдм}} \frac{L_{\text{кам}} - nb_{\text{выр}}}{n+1} + 2 \left(\frac{L_{\text{кам}} - nb_{\text{выр}}}{n+1} \right)^2 \right) \left(L_{\text{пдм}} + \frac{L_{\text{кам}} - nb_{\text{выр}}}{n+1} \right) \tan \varphi_e,$$

- при торцовых заездах с использованием ПДМ с дистанционным управлением определяется по формуле:

$$V_{\text{гр}} = 0,3 \left((B_k - b_{\text{выр}}) L_{\text{пдм}} + \frac{(B_k - b_{\text{выр}})^2}{4} \right) (B_k - b_{\text{выр}} + L_{\text{пдм}}) \tan \varphi_e,$$

где n – количество буродоставочных выработок; $b_{\text{выр}}$ – ширина буродоставочных выработок, м; $L_{\text{пдм}}$ – длина ПДМ, м; φ_e – угол естественного откоса отбитой руды, град.

Величина разубоживания от сводообразования устанавливается по результатам анализа разрезов по отработанным камерам, по которым можно отметить, что зона обрушения может быть описана уравнением свода естественного равновесия.

Выводы

1. Проведено исследование нормирования показателей извлечения полезных ископаемых из недр. Предложен критерий для установления нормативных показателей извлечения – максимальный уровень прибыли

от добычи и переработки полезных ископаемых. Установлено, что основным видом показателей извлечения в рассматриваемых условиях, обеспечивающих нормативный их уровень, являются потери и разубоживание на контакте с вмещающими породами для камер первой очереди и (или) материалом закладки для камер второй и последующих очередей при установлении положения проектного контура выемочной единицы (камеры) в пространстве. Остальные виды потерь и разубоживания определяются экспериментально, непосредственным замером и аналитически.

2. Установлено, что для обеспечения фактической величины показателей извлечения в соответствии с их нормативным уровнем, необходимо соблюдение точного выноса в натуру проектных параметров выемочной единицы, и неукоснительного исполнения технологии ведения основных производственных процессов добычи руды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В., Гаврина О.А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. N 2. С. 283–291.
2. Jang H., Topal E.. Transformation of the Australian mining industry and future prospects // Mining technology-transactions of the institutions of mining and metallurgy. 2020. N 129. Vol. 13. P. 120–134.
3. Атрушкевич В.А., Пепелев Р.Г., Карасев Г.А. Двухстадийный выпуск руды при отработке наклонных залежей // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. N5. С. 5–8.
4. Атрушкевич В.А., Карасев Г.А., Пепелев Р.Г. Прогнозирование показателей извлечения при наклонном контакте выпускаемой руды с обрушенными породами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. N7. С. 13–17.
5. Мокроусов И.Н., Пестерев А.В. Определение потерь и засорения руды при отработке технологических блоков в удароопасных условиях на подземных рудниках Горной Шории и Хакасии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. N7. С. 56–60.
6. Белоусов В.В. Оптимальные показатели извлечения запасов апатит-нефелиновых руд – основа рационального недропользования в ОАО «Апатит» // Горный журнал. 2009. N9. С. 58–61.
7. Галиуллин И.Б. Особенности геологического строения и вещественного состава руд Ново-Учалинского медноколчеданного месторождения, Южный Урал // Металлогения древних и современных океанов. 2011. N1. С. 294–295.
8. Отраслевая инструкция по определению, нормированию и учету потерь и разубоживания руды и песков на рудниках и приисках Министерства цветной металлургии СССР. Сборник инструктивных материалов по охране и рациональному использованию полезных ископаемых. М.: Недра, 1977. 197 с.
9. Вохмин С.А., Загиров Н.Х., Требуш Ю.П., Курчин Г.С. Методические основы нормирования показателей извлечения из недр при отработке рудных и нерудных месторождений подземным способом // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. N2. С. 10–15.
10. Анохин А.Г., Подкуйко Н.В., Вохмин С.А., Требуш Ю.П. Нормирование потерь и разубоживания медно-никелевых руд в системах разработки Талнахского и Октябрьского месторождений с закладкой выработанных пространств // Горный журнал. 2015. N6. С. 55–59.
11. Дроздов А.В., Вохмин С.А., Требуш Ю.П., Курчин Г.С., Майоров Е.С. Особенности нормирования показателей извлечения из недр при слоевой системе разработки с полной закладкой выработанного пространства и комбинированной отбойкой руды в условиях рудника «Мир» // Недропользование XXI век. 2015. N5 (55). С. 96–105.
12. Вохмин С.А., Загиров Н.Х., Требуш Ю.П., Курчин Г.С., Майоров Е.С. Нормирование потерь и разубоживания как механизм рационального природопользования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. N1 (41). С. 7–10.
13. Айнбиндер И.И., Калмыков В.Н., Романько Е.А. Пути снижения потерь и разубоживания руды при отработке приконтурных запасов системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. N1 (7). С. 14–18.
14. Романько Е.А. Методика оптимизации показателей извлечения руды из недр при подземной разработке запасов месторождения технологиями с обрушением руды // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). 2014. N2. С. 52–56.
15. Marinin M., Marinina O., Wolniak, R. Assessing of Losses and Dilution Impact on the Cost Chain: Case Study of Gold Ore Deposits // Sustainability. 2021. V. 13. N 3830. DOI: 10.3390/su13073830.
16. Смирнов А.А., Соколов И.В., Антипин Ю.Г. К вопросу экономической оценки потерь и разубоживания при подземной добыче медных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. N3. С. 272–275.
17. Yu K.P., Ren F.Y., Chitombo G., Puscasu R., Kang LL. Optimum Sublevel Height and Drift Spacing in Sublevel Cave Mining Based on Random Medium Theory // Mining Metallurgy & Exploration. 2020. V. 37. N 2. P. 681–690.
18. Azaryan A.A., Batareyev O.S., Karamanits F.I. Ways to reduce ore losses and dilution in iron ore underground mining in Kryvbass // Science and Innovation. 2018. V. 14, N 4. P. 17–24.
19. Романько Е.А. К вопросу обеспечения оптимальных показателей извлечения руды из недр при освоении запасов месторождения технологиями с обрушением и донным выпуском руды // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: Сб. науч. трудов по ма-

териалам международной научно-практической конференции / под ред. С.Е. Гавришева. Магнитогорск: изд-во Магнитогорского государственного техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С. 175–180.

20. Li GH., Ren FY., Ding HX, Liu H, Sun MZ, Li G. A Dynamic Intersecting Arrangement Model Based on Isolated Draw Zones for Stope Structure Optimization during Sublevel Caving Mining // *Mathematical problems in engineering*. 2021. N 6669558.

21. Golik V. I., Razorenov Yu.I., Dmitrak Yu.V. To the concept of single stage excavation of metal deposits // *Proceedings of the Tula States University – Sciences of Earth*. 2020. N4. P. 151–167.

22. Ключев Р. В., Босиков И. И., Гаврина О. А., Ляшенко В. И. Оценка эксплуатационной надежности электроснабжения развивающихся участков добычи руд на высоко-

горном руднике // *Горные науки и технологии*. 2021; 6(3): 211–220. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-211-220>.

23. Босиков И.И., Ключев Р.В., Хетагуров В.Н., Ажмухамедов И.М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021. N1. С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.

24. Sun H., Jin A., Elmo D., Gao Y., Wu S. A Numerical Based Approach to Calculate Ore Dilution Rates Using Rolling Resistance Model and Upside-Down Drop Shape Theory // *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2020. N53(10). P. 4639–4652.

25. Podkuiko N.V., Tsatskin V.V., Vokhmin S.A., Kurchin G.S. Evaluation of the adverse effect of dilution in ore mining // *Gornyi Zhurnal*. 2020. N6. P. 63–68.

REFERENCES

1. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V., Gavrina O.A. “Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system”, *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020, v. 2, pp. 283–291.

2. Jang H., Topal E. “Transformation of the Australian mining industry and future prospects”, *Mining Technology-Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy*, 2020, no. 129, vol. 13, pp. 120–134.

3. Atrushkevich V.A., Pepelev R.G., Karasev G.A. “Two-stage release of ore in the development of inclined deposits”, *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2014, v.5, pp. 5–8.

4. Atrushkevich V.A., Karasev G.A., Pepelev R.G. “Prediction of recovery rates for inclined contact of the produced ore with cave rocks”, *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2014, v.7, pp. 13–17.

5. Mokrousov I.N., Pesterev A.V. “Determination of losses and clogging of ore during mining of technological blocks in rock burst hazardous conditions at underground mines of Gornaya Shoria and Khakassia”, *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2012, v.7, pp. 56–60.

6. Belousov V.V. “Optimal indicators of extraction of reserves of apatite-nepheline ores – the basis of rational subsoil use at JSC “Apatite”, *Gornyi Zhurnal*, 2009, v.9, pp. 58–61.

7. Galiullin I.B. “Features of the geological structure and material composition of ores of the Novo-Uchalinsky copper-crusted deposit, Southern Urals”, *Metallogeny of Ancient and Modern Oceans*, 2011, v. 1, pp. 294–295.

8. *Sectoral instruction for the determination, regulation and accounting of losses and dilution of ore and sand in mines and mines of the Ministry of Nonferrous Metallurgy of the USSR. Collection of Guidance Materials on the Protection and Rational use of Minerals*, Nedra Publ., Moscow, 1977, 197 p.

9. Vokhmin S.A., Zagirov N.H., Trebush Yu.P., Kurchin G.S. “Methodological foundations of standardization of indicators of extraction from subsoil during mining of ore and nonmetallic deposits by underground method”, *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2010, v.2, pp. 10–15.

10. Anokhin A.G., Podkuiko N.V., Vokhmin S.A., Trebush Yu.P. “Rationing of losses and dilution of copper-nickel ores in the development systems of the Talnakh and Oktyabrskoe deposits with backfilling of worked-out spaces”, *Gornyi Zhurnal*, 2015, v. 6, pp. 55–59.

11. Drozdov A.V., Vokhmin S.A., Trebush Yu.P., Kurchin G.S., Mayorov E.S. “Peculiarities of standardization of extraction indices from the subsoil in a layered mining system with full backfilling of the worked-out area and combined ore breaking in the conditions of the Mir mine”, *Nedropolzovanie XXI vek*, 2015, v. 5 (55), pp. 96–105.

12. Vokhmin S.A., Zagirov N.H., Trebush Yu.P., Kurchin G.S., Mayorov E.S. “Rationing of losses and dilution as a mechanism for rational use of natural resources”, *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2013, v. 1 (41), pp. 7–10.

13. Ainbinder I.I., Kalmykov V.N., Romanko E.A. “Ways to reduce losses and dilution of ore during the development of near-contour reserves by mining systems with caving of ore and enclosing rocks”, *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2007, v.1 (7), pp. 14–18.

14. Romanko E.A. “Methods for optimizing ore extraction indices from the depths of underground mining of deposit reserves using technologies with ore caving”, *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2014, v.2, pp. 52–56.

15. Marinin M., Marinina O., Wolniak, R. “Assessing of Losses and Dilution Impact on the Cost Chain: Case Study of Gold Ore Deposits”, *Sustainability*, 2021, v. 13. no. 3830. DOI: 10.3390/su13073830.

16. Smirnov A.A., Sokolov I.V., Antipin Yu.G. “On the issue of economic assessment of losses and dilution during underground mining of copper ores”, *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2012, v.3, pp. 272–275.

17. Yu K.P., Ren F.Y., Chitombo G., Puscasu R., Kang LL. “Optimum Sublevel Height and Drift Spacing in Sublevel Cave Mining Based on Random Medium Theory”, *Mining Metallurgy & Exploration*, 2020, v. 37, iss. 2, pp. 681–690.

18. Azaryan A.A., Bataryev O.S., Karamanits F.I. “Ways to reduce ore losses and dilution in iron ore underground mining in Kryvbass”, *Science and Innovation*, 2018, v. 14, iss. 4, pp. 17–24.

19. Romanko E.A. “On the issue of ensuring optimal indicators of ore extraction from the subsoil during the development of deposit reserves using technologies with caving and bottom ore discharge”, *Mine surveying and geological support of mining operations: Collection of scientific papers based on the materials of the international*

scientific and practical conference, Magnitogorsk, 2013, pp. 175–180.

20. Li GH., Ren FY., Ding HX, Liu H, Sun MZ, Li G. A. “Dynamic Intersecting Arrangement Model Based on Isolated Draw Zones for Stope Structure Optimization during Sublevel Caving Mining”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, no. 6669558.

21. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Dmitrak Yu.V. “To the concept of single stage excavation of metal deposits”, *Proceedings of the Tula States University – Sciences of Earth*, 2020, v.4, pp.151–167.

22. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Gavrina O. A., Lyashenko V. I. “Assessment of operational reliability of power supply to developing ore mining areas at a high-altitude mine”, *Mining Science and Technology (Russia)*, 2021;6(3):211–

220. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-4-211-220>.

23. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. “Development of methods and management tools aerogas dynamics processes at mining sites”, *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2021, no.1, pp. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021- 13-1-77-83.

24. Sun H., Jin A., Elmo D., Gao Y., Wu S. A “Numerical Based Approach to Calculate Ore Dilution Rates Using Rolling Resistance Model and Upside-Down Drop Shape Theory”, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2020, v.53(10), pp. 4639–4652.

25. Podkuiko N.V., Tsatskin V.V., Vokhmin S.A., Kurchin G.S. “Evaluation of the adverse effect of dilution in ore mining”, *Gornyi Zhurnal*, 2020, v.6, pp. 63–68.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



РОМАНЬКО Елена Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 455000, Магнитогорск, Россия.
+7(351)929-85-40
Romanko_H@mail.ru



ПЫТАЛЕВ Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, директор института горного дела и транспорта Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 455000, Магнитогорск, Россия.
+7(351)929-85-56
vehicle@list.ru



БОБЫЛЕВА Елена Владимировна – заместитель главного маркшейдера АО «Учалинский ГОК», 453700, Учалы, Республика Башкортостан, Россия.
+7(347) 919-59-91
bo_elena@ugok.ru



КОЛКОВА Мария Сергеевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 455000, Магнитогорск, Россия.
+7(351)929-85-40
kolkova_ms@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Elena A. ROMANKO – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, 455000, Magnitogorsk.
+7(351)929-85-40
romanko_h@mail.ru

Ivan A. PYTALEV – Doctor of Technical Sciences; Professor of the Department of Mineral Resources Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, 455000, Magnitogorsk.
+7(351)929-85-56
vehicle@list.ru

Elena V. BOBYLEVA – Deputy Chief Surveyor, Joint-Stock Company “Uchalinskiy GOK”, Russia, 453700, Uchaly.
+7(347)919-59-91
bo_elena@ugok.ru

Maria S. KOLKOVA – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant of the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, 455000, Magnitogorsk.
+7(351)929-85-40
kolkova_ms@mail.ru

Исследование структуры и свойств механоактивированного титаната самария

Гюзель Х. Шарипзянова¹✉, Жанна В. Еремеева², Анна А. Саенко²

¹Московский политехнический университет, Москва, Россия, guzel@mtw.ru✉

²Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

Аннотация: Методом механохимического синтеза получен порошок титаната самария. Проведены исследования его структуры и определены основные физико-химические свойства с применением методов рентгенфлуоресцентного анализа, растровой электронной спектроскопии, просвечивающей электронной микроскопии и др. В работе были подобраны режимы механохимического синтеза, при которых происходит полное превращение исходных оксидов металлов в наноаморфный титанат самария.

Ключевые слова: диоксид титана, титанат самария, порошки, механохимический синтез, наноаморфный титанат самария.

Для цитирования: Шарипзянова Г. Х., Еремеева Ж. В., Саенко А. А. Исследование структуры и свойств механоактивированного титаната самария // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 134–141. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-134-141.

Получена редакцией 11.06.2021; получена после рецензии 15.08.2021; принята к печати 27.08.2021.

Original article

Structure and properties of mechanoactivated Samarium titanate powder

Gyuzel K. Sharipzyanova¹✉, Zhanna V. Eremeeva², Anna A. Sayenko²

¹Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia, guzel@mtw.ru✉

²National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia

Abstract. The relevance of the work is explained by the need to improve the quality of metal raw materials for the production of products with special properties, for example, in mining when leaching metals from ores, allowing to increase the extraction of components with a higher content in concentrates while minimizing the content of impurities.

The purpose of the work. Substantiation of the possibility of changing the structure and properties of samarium titanate powder by processing in a spherical planetary mill "Activator 2S" due to the need to increase the purity of powders.

Research methods: systematization, generalization and analysis of theoretical and experimental studies. To study the properties of samarium titanate, the following methods were used: scanning electron microscopy, X-ray phase, chemical, low-temperature nitrogen adsorption, X-ray phase analysis, spectral and atomic absorption with the processing of the results by methods of mathematical statistics.

Results. The results of the study of the structure and properties of samarium titanate powders obtained by mechanochemical synthesis using a spherical planetary mill are presented. It is shown that the elemental composition of the mechanochemically synthesized charge corresponds to the stoichiometric content of titanium oxide and samarium. Quantitative values of activation parameters are given. The time of transformation of the initial oxides into nanocrystalline samarium titanate has been determined. The phases of the transformation of samarium titanate from an amorphous state to a crystalline state under the influence of temperature are differentiated. The properties of the samarium titanate powder obtained by mechanosynthesis are given. The possibility of obtaining nanoamorphous powder of samarium titanate by mechanochemical treatment of samarium and titanium oxides of the desired condition is proved.

Keywords: titanium dioxide, samarium titanate, powders, mechanochemical synthesis, nanoamorphous samarium titanate.

For citation: Sharipzyanova G.H., Eremeeva Zh.V., Saenko A.A. Structure and properties of mechanoactivated Samarium titanate powder. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):134-141. (In Russ.). DOI: 134-141.21177/1998-4502-2022-14-1-134-141.

Received by the editors 11.06.2021; received after the review 15.08.2021; accepted for printing 27.08.2021.

Введение

Многочисленными исследованиями теоретически и экспериментально доказано, что основными факторами, определяющими скорость и эффективность получения металлов являются состав и соотношение масс реагентов. При механоактивации в скоростных мельницах к этим факторам добавляются частота вращения измельчителей и физико-механические условия обработки первичного сырья.

В современном производстве керамических материалов особый интерес представляют сложные оксидные соединения редкоземельных металлов [1–3], обладающие разнообразными и уникальными физическими и химическими свойствами [4–6]. Наиболее часто материалы этого типа получают высокотемпературным сплавлением оксидов в индукционных печах [7–9].

В настоящее время порошки титанатов и гафнатов лантаноидов можно получать, используя механохимический синтез, который относится к технологически простым и сравнительно распространенным методам получения порошков [10–12].

Добыча металлосодержащего минерального сырья и впредь будет характеризоваться масштабно-стью, уменьшением содержания металлов, увеличением глубины горнодобычных работ при разработке рудных месторождений подземным способом и удорожанием добываемого сырья для металлургического производства [13–17].

Модернизация процессов обогащения руд осуществляется за счет совмещения операций гидрометаллургической и химической переработки в рамках новых технологических процессов. Перспективным направлением извлечения металлов из металлосодержащего сырья и подготовки является комбинированное химическое обогащение и механическая активация материалов высокой энергией в скорост-

ной мельнице, когда процесс активации вещества происходит одновременно с разрушением породной матрицы.

Концепция подготовки пород и руд в мельнице получила теоретическое и практическое обоснование, однако дальнейшее развитие технологии нуждается в продолжении теоретических исследований, направленных на конкретизацию параметров извлечения металлов из разноразмерных руд [18–22].

Цель работы

Детализация параметров получения нанопорошков титаната самария методом механохимического синтеза.

Научная новизна исследований

Научная новизна исследований заключается в интерпретации параметров тонкоструктурного физико-химического взаимодействия, определении атомно-молекулярной структуры исследуемых элементов при возникновении упорядоченных, неупорядоченных и наноразмерных фаз и исследовании химических связей в ходе реакций в силовых полях.

Методы исследований

Для синтеза гафната самария использовали оксид самария и диоксид титана. Вид частиц порошков представлен на рис. 1.

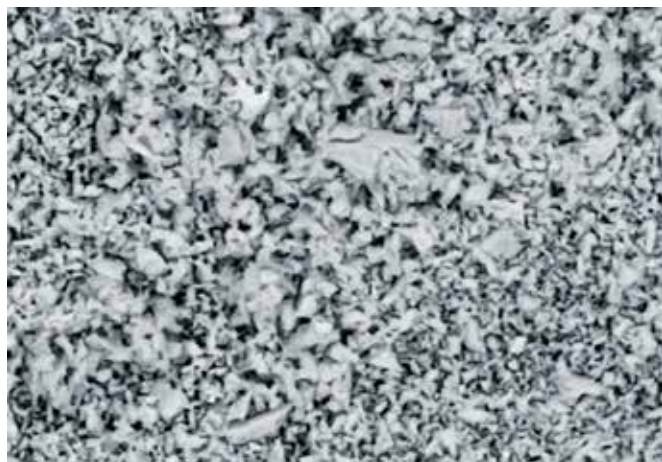
Параметры активации механохимического синтеза порошков в шаровой планетарной мельнице «Активатор 2S» представлены в табл. 1.

Микроструктура механоактивированной смеси оксидов самария и титана представлена на рис. 2.

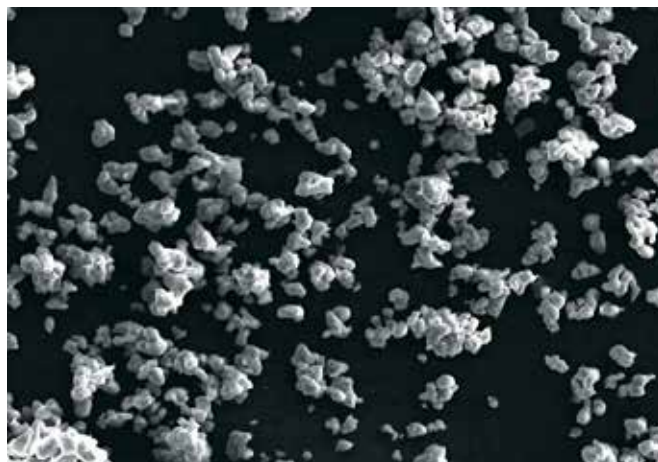
Данные о приборном обеспечении исследований свойств порошков сведены в табл. 2.

Результаты исследований и их обсуждение

В результате механохимической активации смеси



a



b

Рис. 1. Микроструктура оксидов самария и титана до активации:

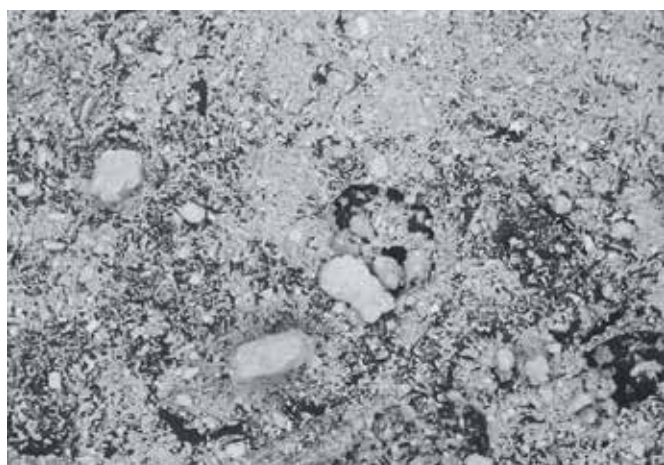
a – оксид самария; *b* – диоксид титана

Fig. 1. Microstructure of samarium and titanium oxides before activation:

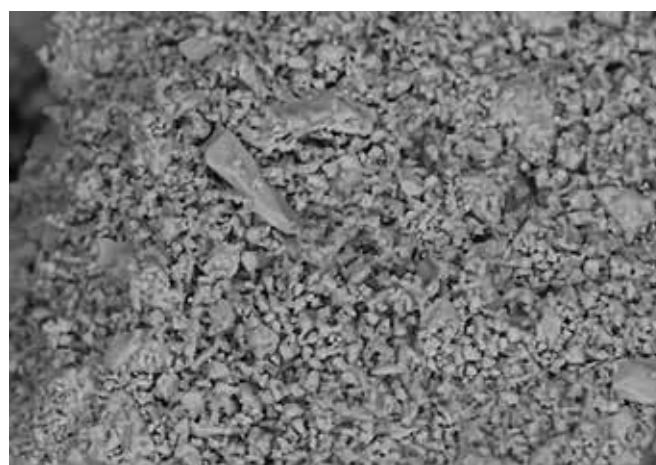
a – samarium oxide; *b* – titanium dioxide

Параметры механоактивации
Mechanical activation parameters

Параметр <i>Parameter</i>	Единица измерения <i>Units</i>	Значение показателей <i>Value of parameter</i>	
		минимальное <i>Minimum</i>	максимальное <i>Maximum</i>
Скорость вращения планетарного диска <i>The rotation speed of the planetary disk</i>	об/мин <i>Turnover/min</i>	700	1200
Скорость вращения барабанов <i>The speed of rotation of the reels</i>	об/мин <i>Turnover/min</i>	800	2400
Отношение массы шаров к массе шихты <i>The ratio of the mass of the balls to the mass of the charge</i>	-	30:1	45:1
Давление <i>Pressure</i>	атм. / <i>atm.</i>	3	5
Продолжительность <i>Duration</i>	мин / <i>min</i>	5	90



a



b

Рис. 2. Микроструктура оксидов самария и титана после активации
Fig. 2. Microstructure of samarium and titanium oxides after activation

Таблица 2 / Table 2

Средства исследований параметров механоактивации
Means of research of mechanical activation parameters

Исследования <i>Researches</i>	Приборы <i>Instrumentation</i>	Примечания <i>Notes</i>
Гранулометрический состав <i>Granulometric composition</i>	FRITSCH ANALYSETTE 22 MicroTec plus3	Универсальный лазерный прибор <i>Universal laser device</i>
Анализ оксидов и соединений <i>Analysis of oxides and compounds</i>	ДРОН-2,0 <i>DRONE-2.0</i>	Рентгеновский с длиной волны излучения в диапазоне углов дифракции от 100–1300 <i>X-ray with a wavelength of radiation in the range of diffraction angles from 100–1300</i>
КР-спектр <i>KR-spectrum</i>	Horiba Jobin Yvon T64000	С полупроводниковым лазером и объективом Olympus X100 <i>With semiconductor laser and Olympus X100 lens</i>
Электроннограммы <i>Electronograms</i>	JEM-2100	Аналитический электронный микроскоп <i>Analytical Electron Microscope</i>
	ПРЭМ	Растровый электронный микроскоп <i>Scanning electron microscope</i>
	JED-2300	Энергодисперсионный рентгеновский спектрометр <i>Energy dispersive X-ray spectrometer</i>

оксидов титана и самария их превращение в нанокристаллический титанат самария произошло в течение 30–60 минут (рис. 3).

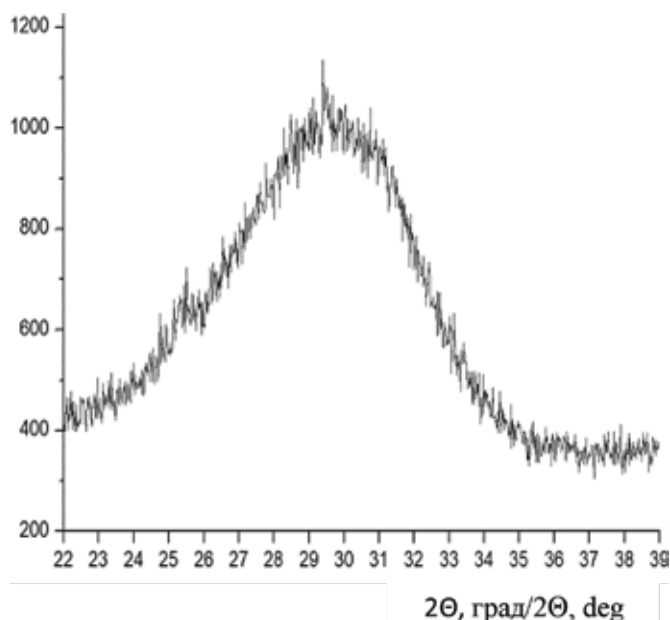


Рис. 3. Рентгенофазовый анализ смеси при обработке в течение 45 мин

Fig. 3. X-ray phase analysis of the mixture during treatment for 45 min

Результаты количественного анализа механоактивированной смеси оксидов диспрозия и гафния и структурный тип соединения F12/1 в течение 30 мин представлены в табл. 3.

Синтезированные в процессе механохимической активации порошки титаната самария представляют собой нанокристаллические частицы неравноосной формы с размером 10–95 нм, объединенные в агломераты.

На рис. 4 представлены результаты определения гранулометрического состава порошка титаната самария, полученного механической обработкой смеси оксидов титана и самария, объединенных в стехиометрическом соотношении.

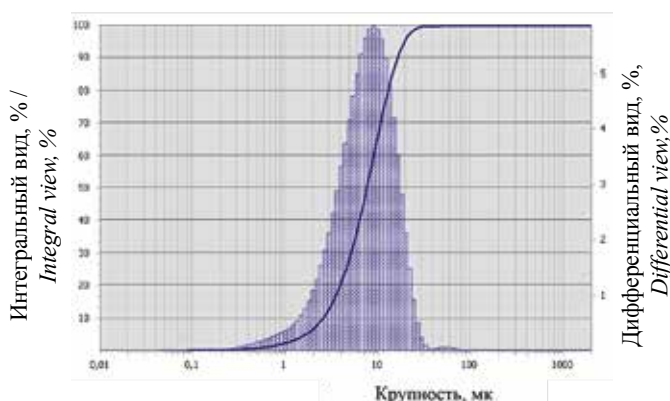


Рис. 4. Гистограмма распределения частиц порошка по размерам

Fig. 4. Histogram of powder particle size distribution

Полученный в результате механосинтеза дисперс-

ный продукт представляет собой совокупность агломератов размерами 2–5 мкм (рис. 5).

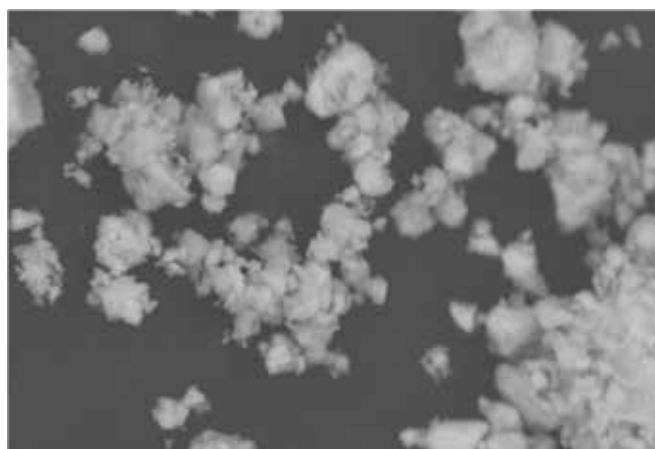


Рис. 5. СЭМ-изображение частиц механосинтезированного порошка

Fig. 5. SEM image of particles of mechano-synthesized powder

В течение 45 мин механосинтеза из наноаморфного порошка при нагревании сначала до температуры 800 °С с выдержкой, а затем до температуры 1200 °С также с выдержкой переход титанат самария происходит из аморфного состояния в кристаллическое (рис. 6).

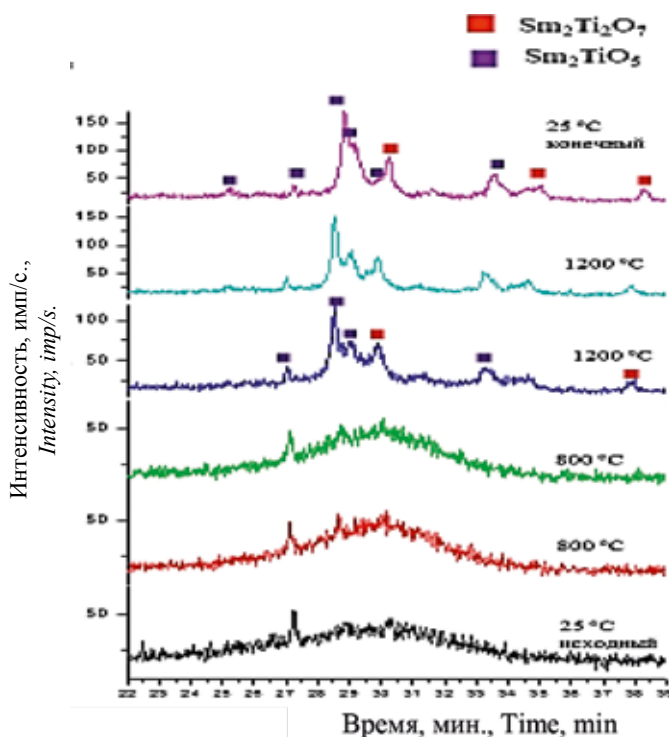


Рис. 6. Параметры изменения фазы титаната при обработке в течение 45 минут

Fig. 6. Parameters of titanate phase change during treatment for 45 minutes

Пики, соответствующие началу образования кристаллической решетки титаната самария, появились при нагреве его в течение 45 мин до температуры 800 °С с выдержкой и последующим охлаждением. При нагреве порошка до 1000 °С с выдержкой и последующим охлаждением образование кристалли-

Результаты анализа смеси
Results of the mixture analysis

Фаза <i>Phase</i>	Объемная доля, % <i>Volume fraction, %</i>	Весовая доля, % <i>Weight fraction, %</i>	Период <i>Period</i>
Sm ₂ TiO ₅ (type C ₁)	100	100	А

Таблица 3 / Table 3

Свойства порошков гафната самария
Properties of Samarium Hafnate Powders

Материал <i>Material</i>	Текучесть <i>Fluidity</i>	Насыпная плотность, г/см ³ <i>Bulk density, g/cm³</i>	Удельная поверхность, м ² /г <i>Specific surface area, m²/g</i>	Размер агломератов, мкм <i>Size of agglomerates, microns microns</i>	Размер частиц, нм <i>Particle size, nm</i>
Sm ₂ TiO ₅	Не течет <i>Does not leak</i>	1.85–1.87	18–26	2–5	10–95

Таблица 4 / Table 4

Свойства гафнатов металлов
Properties of Metal Hafnates

Материал <i>Material</i>	Текучесть <i>Fluidity</i>	Насыпная плотность, г/см ³ <i>Bulk density, g/cm³</i>	Удельная поверхность, м ² /г <i>Specific surface area, m²/g</i>	Размер агломератов, мкм <i>Size of agglomerates, microns microns</i>	Размер частиц, нм <i>Particle size, nm</i>
Самарий <i>Samaria</i>	Не течет <i>Does not leak</i>	1.85–1.87	18–26	2–5	10–95
Европий <i>Europium</i>	Не течет <i>Does not leak</i>	1.75–1.77	18–26	300 – 400	40–70
Лантан <i>Lanthanum</i>	Не течет <i>Does not leak</i>	1.85–1.87	16–24	200 – 400	50–100

ческой решетки активизируется. После дальнейшего повышения температуры до 1100 °С с выдержкой и охлаждением образование кристаллической решетки титаната самария завершается.

Полученный порошок состоит, в основном, из ультрадисперсных кристаллических частиц и содержит небольшое количество частиц сферической формы размером до 60 нм. Частицы агломерированы.

Свойства механосинтезированного порошка титаната самария приведены в табл. 3.

Результаты исследования механосинтезированного порошка титаната самария метода ПЭМ характеризуют его, как совокупность частиц с разупорядоченным состоянием атомов, которая соответствует аморфному строению.

Параметры порошков механоактивированного гафната самария сопоставляются с результатами исследования аналогов-металлов (табл. 4).

Из данных таблицы следует, что при идентичных условиях продукты механоактивации гафнаты металлов имеют адекватные векторы свойств и образуют агломераты. Это подтверждает корректность исследования и достижение поставленной цели исследования.

Выводы

1. Проведены исследования структуры и свойств полученных механохимическим синтезом порошков титаната самария с использованием шаровой планетарной мельницы.

2. Установлено, что элементный состав механохимически синтезированной шихты соответствует стехиометрическому содержанию оксида титана и самария.

3. Выявлено, что результаты исследования механосинтезированного порошка титаната самария метода ПЭМ характеризуют его как совокупность частиц с разупорядоченным состоянием атомов, которая соответствует аморфному строению.

4. Выявлено, что имеется возможность получения наноаморфного порошка титаната самария путем механохимической обработки оксидов самария и титана нужной кондиции.

5. Определено, что параметры порошков механоактивированного гафната самария сопоставляются с результатами исследования аналогов-металлов.

6. Определено, что управление свойствами порошков возможно путем оптимизации параметров механохимического синтеза.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Sinha A, Sharma B.P. Development of dysprosium titanate based ceramics // *J. of the Amer. Ceram. Soc.* 2005. N 2. P. 238–241.
2. Халамейда С.В. Некоторые новые подходы при механохимическом синтезе нанодисперсного титаната бария. // *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии*. Киев, Украина. 2009. Т. 7. N 3. С.911–918.
3. Xue J., Wang J., Wan D. Nanosized Barium Titanate Powder by Mechanical Activation // *J. Amer. Ceram. Soc.* 2000. Vol. 83. No. 1. P. 232–234.
4. Lyashenko L. P., Shcherbakova L. G., Kolbanev I.V., Knerel'man E. I., Davydova G. I. Mechanism of Structure Formation in Samarium and Holmium Titanates Prepared from Mechanically Activated Oxides // ISSN 0020-1685, *Inorganic Materials*. 2007. Vol. 43. N 1. P. 46–54.
5. Szafraniak-Wiza I., Hilczer B., Talik E., Pietraszko A., Malic B. Ferroelectric perovskite nanopowders obtained by mechanochemical synthesis // *Processing and Application of Ceramics*. 2010. N 4 [3]. P. 99–106.
6. Анохин А.С., Лянгузов Н.В., Рошаль С.Б., Юзюк Ю.И., Wen Wang. Спектры комбинационного рассеяния поликристаллических нанотрубок титаната висмута // *Физика твердого тела*. 2011. Т.53, вып.9. С.1968–1772.
7. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. М.: Техносфера. 2004. 256 с.
8. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера. 2004. 384 с.
9. Сидорова О.В., Алешина Л.А., Калинин А.М. Влияние механоактивации на структурное состояние титаната стронция // *Фундаментальные исследования*. 2014. N 12-2. С. 280–288.
10. Иванов С.А., Ниткин М.Н., Шарипзянова Г.Х. Изучение влияния природы наноразмерных частиц и способа смешивания на механические свойства порошковой легированной стали пк70х3 // *Нанотехнологии: наука и производство*. 2015. No. 6. С. 36.
11. Панов В.С., Еремеева Ж.В., Шарипзянова Г.Х., Скориков Р.А., Михеев Г.В., Агеев Е.В. Влияние природы наноразмерных частиц и способа смешивания на трибологические свойства порошковой стали 70п // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2014. No. 6 (57).С. 8–14.
12. Петров Ю.С., Хадзарагова Е.А., Соколов А.А., Шарипзянова Г.Х., Таскин А.В. Основные принципы получения, передачи и хранения информации о параметрах технологического цикла горно-металлургического предприятия // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2020. N 11-1. С. 178–188.
13. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Пузин В.С., Стась Г.В. Дифференцированная оценка устойчивости обнажений горных пород при поэтажно-камерной системе разработки с закладкой // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2021. N 5. С. 85–93.
14. Валиев Н.Г., Пропп В.Д., Вандышев А.М. Кафедре горного дела УГГУ – 100 лет // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2020. N 8. С. 130–143.
15. Душин А.В., Валиев Н.Г., Лагунова Ю.А., Шорин А.Г. Уральский горный и московский горный: взаимодействие вузов // *Горный журнал*. 2018. N 4. С. 4–10.
16. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В. Комплексный анализ генетических особенностей минерального вещества и технологических свойств полезных компонентов Джебазганского месторождения // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2019. Т. 11. N3(41). С. 321–330.
17. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects // *Hydrometallurgy*. 2015. T. 157. P. 306–324.
18. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Разоренов Ю.И., Масленников С.А., Ляшенко В.И. Механохимическая технология извлечения железа из хвостов обогащения // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2021. Т. 64. N 4. С. 282–291.
19. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Кожиев Х.Х. Минимизация влияния горного производства на окружающую среду // *Экология и промышленность России*. 2018. Т. 22. N 6. С. 26–29.
20. Ключев Р. В., Босиков И. И., Гаврина О. А., Ляшенко В. И. Оценка эксплуатационной надежности электроснабжения развивающихся участков добычи руд на высокогорном руднике // *Горные науки и технологии*. 2021; 6(3): 211–220. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.
21. Босиков И.И., Ключев Р.В., Хетагуров В.Н., Ажмухамедов И.М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2021. N1. С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.
22. Maedeh Tayebi-Khorami, Mansour Edraki, Glen Corder and Artem Golev. Re-Thinking Mining Waste Through an Integrative Approach Led by Circular Economy Aspirations // *Minerals*. 2019. Vol. 9. P. 1–13.

REFERENCES

1. Sinha A., Sharma B.P. Development of ceramics based on dysprosium titanate. *J. of the Amer. Ceram. Soc.* 2005, no. 2, pp. 238–241.
2. Halameida S.V. Some new approaches in the mechanochemical synthesis of nanodisperse barium titanate. *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*. 2009, vol. 7, no. 3, pp. 911–918.
3. Xue J., Wang J., Wang D. Nanoscale powder of barium titanate by mechanical activation method. *J. Amer. Ceram. Soc.* 2000, vol. 83, no. 1, pp. 232–234.
4. Lyashenko L. P., Shcherbakova L. G., Kolbanev I.V., Knerelman E. I., Davydova G. I. Mechanism of structure formation in samarium and holmium titanates obtained from mechanically activated oxides. ISSN 0020-1685. *Inorganic Materials*. 2007, vol. 43, no. 1, pp. 46–54.

5. Shafranyak-Visa I., Hilcher B., Talik E., Pietrashko A., Malik B. Ferroelectric perovskite nanopowders obtained by mechanochemical synthesis. *Processing and Application of Ceramics*. 2010, no. 4 [3], pp. 99–106.
6. Anokhin A.S., Lyanguzov N.V., S. Roshal.B., Yuzyuk Yu.I., Wen Wang Raman spectra of polycrystalline nanotubes of vis-muta titanate. *Solid State Physics*. 2011, vol. 53, issue 9, pp. 1968–1772.
7. Shindo D., Oikawa T. *Analytical transmission electron microscopy*. Tehnosfera Publ., Moscow, 2004, 256 p. (in Russ.).
8. Brandon D., Kaplan U. *Microstructure of materials. Methods of research and control*. Tehnosfera Publ., Moscow, 2004, 384 p. (in Russ.).
9. Siorovda O.V., Alyoshina L.A. and Kalinkin M. The effect of mechanical activation on the structural state of strontium titanate. *Fundamental Research*. 2014, no.12-2, pp. 280–288. (in Russ.).
10. Ivanov S.A., Nitkin M.N., Sharipzyanova G.H. Studying the influence of the nature of nanoscale particles and the mixing method on the mechanical properties of pk70x3 powder alloy steel. *Nanotehnologii: nauka i proizvodstvo*. [Nanotechnologies: science and production]. 2015, no. 6, p. 36. (in Russ.).
11. Panov V.S., Eremeeva Zh.V., Sharipzyanova G.H., Skorikov R.A., Mikheev G.V., Ageev E.V. The influence of the nature of nanoscale particles and the mixing method on the tribological properties of powder steel 70p. *Proceedings of the Southwestern State University*. 2014, no. 6 (57), pp. 8–14. (in Russ.).
12. Petrov Yu.S., Hadzaragova E.A., Sokolov A.A., Sharipzyanova G.H., Taskin A.V. Basic principles of obtaining, transmitting and storing information about parameters of the technogenic cycle of a mining and metallurgical enterprise. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2020, no. 11-1, pp. 178–188. (in Russ.).
13. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Puzin V.S., Stas G.V. Differentiated assessment of the stability of rock outcrops in the underground chamber system of development with a bookmark. *Physical and Technical Problems of Mineral Development*. 2021, no. 5, pp. 85–93. (in Russ.).
14. Valiev N.G., Propp V.D., Vandyshev A.M. The Mining Department of UGSU is 100 years old. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyi zhurnal*. 2020, No. 8, pp. 130–143. (in Russ.).
15. Dushin A.V., Valiev N.G., Lagunova Yu.A., Shorin A.G. Ural Mining and Moscow mining: interaction of universities. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyi zhurnal*. 2018, no. 4, pp. 4–10. (in Russ.).
16. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V. Complex analysis of genetic features of mineral matter and technological properties of useful components of the Dzhezkazgan deposit. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, vol. 11, no. 3 (41), pp. 321–330. (in Russ.).
17. Sinclair L., Thompson J. Copper leaching in situ: problems and prospects for the future. *Hydrometallurgy*. 2015, vol.157, pp. 306–324.
18. Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Razorenov Yu.I., Maslennikov S.A., Lyashenko V.I. Mechanochemical technology of iron extraction from enrichment tailings. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*. 2021, vol. 64, no. 4, pp. 282–291. (in Russ.).
19. Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Gabaraev O.Z., Kojiev H.H. Minimizing the impact of mining on the environment. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2018, vol. 22, no. 6, pp. 26–29. (in Russ.).
20. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Gavrina O. A., Lyashenko V. I. Assessment of operational reliability of power supply to developing ore mining areas at a high-altitude mine. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(3):211–220. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-3-211-220>.
21. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods and management tools aerogas dynamics processes at mining sites. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, no.1, pp. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-1-77-83.
22. Maede Tayebi-Chorami, Mansur Edraki, Glen Corder and Artem Golev. Rethinking the waste of the mining industry With the help of an integrative approach based on circular economic aspirations. *Minerals*. 2019, vol. 9, pp.1–13.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ШАРИПЗЯНОВА Гюзель Харрисовна – кандидат технических наук, доцент, проректор Московского политехнического университета, 107023, Москва, Россия.
guzel@mtw.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gyuzel K. SHARIPZYANOVA – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector of Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia 107023.
guzel@mtw.ru



ЕРЕМЕЕВА Жанна Владимировна – доктор технических наук, профессор кафедры «Порошковая металлургия и функциональные покрытия», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, г. Москва, Россия.

eremeeva-shanna@yandex.ru

Zhanna V. EREMEEVA – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Powder Metallurgy and Functional Coatings, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia 119049.

eremeeva-shanna@yandex.ru



САЕНКО Анна Андреевна – магистрант кафедры «Порошковая металлургия и функциональные покрытия», Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, г. Москва, Россия.

saenko_anna_99@mail.ru

Anna A. SAYENKO – Master's student of the Department of Powder Metallurgy and Functional Coatings, National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russia 119049.

saenko_anna_99@mail.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Шарипзянова Г. Х – выполнение исследований технологии механоактивации металлов; **Еремеева Ж. В.** – компоновка рукописи статьи, выходных данных; **Саенко А. А.** – оформление иллюстраций и таблиц.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Sharipzyanova G. K. – research on the technology of mechanical activation of metals; **Eremeeva Zh. V.** – layout of the manuscript, imprint; **Sayenko A. A.** – design of illustrations and tables.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interests.

Рационализация конструкции секции скребкового конвейера средствами автоматизированного метода анализа прочностных характеристик

Иван А. Жуков¹✉, Николай С. Голиков¹, Никита В. Мартюшев²

¹Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, tmmiok@yandex.ru✉

²Томский политехнический университет, Томск, Россия

Аннотация. Изложена методика анализа прочностных характеристик конструкции секции става скребкового конвейера, работающего под действием системы внешних сил, обусловленных совместной эксплуатацией в очистном комплексе при добыче угля. На основе результатов оценки напряженно-деформированного состояния секции приводятся рекомендации по совершенствованию ее конструкции. Предлагаемые решения обосновываются и подтверждаются сравнительным анализом прочности элементов секции.

Ключевые слова: скребковый конвейер, секция, очистной шахтный комплекс, прочность, напряжение, деформация, прочность.

Благодарность: Работа выполнена в рамках программы развития Томского политехнического университета.

Для цитирования: Жуков И.А., Голиков Н.С., Мартюшев Н.В. Рационализация конструкции секции скребкового конвейера средствами автоматизированного метода анализа прочностных характеристик // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т.14, № 1. С. 142–150. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-142-150.

Получена редакцией 06.05.2021; получена после рецензии 23.07.2021; принята к печати 11.08.2021.

Original article

Design rationalization of the scraper conveyor section by means of an automated method of strength characteristics analysis

Ivan A. Zhukov ¹✉, Nikolay S. Golikov¹, Nikita V. Martyushev²

¹Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, tmmiok@yandex.ru✉

²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Abstract. Purpose. The article is devoted to the approbation of a computational methodology for analyzing the strength characteristics of a section of a scraper conveyor, taking into account the external impact on the section from elements of a mine treatment complex used in coal mining. Elimination of structural defects of the section is carried out, as a rule, by simple means of increasing the size of its elements. The presence of a generalized technique for analyzing the strength of the conveyor section ensures a rational choice of materials and geometric elements of the section at the design stage.

Methods. The developed method of analysis of the stress-strain state of the section of the scraper conveyor is based on the application of the method of finished elements, which is the basis of automated systems of engineering calculations. The created design model of the section makes it possible to determine the strength characteristics of the structure depending on the operating conditions and the external system of forces caused by the interaction of the section with other elements of the mining treatment complex.

Results. Based on the results of the conducted research, a plan has been drawn up to optimize the design of the conveyor section, the implementation of which ensures an increase in structural strength and, consequently, an extension of the service life of the conveyor. The obtained results of computer calculations are quite correlated with production data on the assessment of the failure of conveyor sections as a result of the destruction of structural elements.

Conclusions. The developed computer model of the section of the scraper conveyor, when implementing the proposed methodology for analyzing the strength characteristics of the structure, ensures the selection of rational geometrically and technological parameters of the section at the design stage.

Keywords: scraper conveyor, section, cleaning mine complex, strength, stress, deformation, strength.

Acknowledgment: The research was carried out within the framework of the development program of the Tomsk Polytechnic University.

For citation: Zhukov I. A., Golikov N. S., Martyushev N. V. Design rationalization of the scraper conveyor section by means of an automated method of strength characteristics analysis. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):142-150. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-142-150.

Received by the editors 06.05.2021; received after the review 23.07.2021; accepted for printing 11.08.2021.

Введение

Добыча твердых полезных ископаемых подземным способом сопряжена с необходимостью применения комплекса шахтного механизированного оборудования [1], включающего в себя, в том числе, скребковый конвейер.

Наиболее широко такой тип конвейера применяется при транспортировке угля из очистного забоя. При таких условиях перемещение угля и горной массы осуществляется посредством закрепленных на тяговых цепях скребков, движущихся по неподвижному ставу секций (рис. 1). Современные требования к горно-шахтному оборудованию основаны на обеспечении максимальной производительности и минимальной металлоемкости [2–5] в условиях обеспечения адаптации добычного комплекса к меняющимся горно-геологическим условиям [6; 7]. Достижение указанных критериев невозможно без учета условий прочности и жесткости конструкций [8–11] в совокупности с требованиями безопасности [12–14]. Анализ известных научно-исследовательских работ и отраслевой нормативной документации [15–17] свидетельствует о том, что проблема совершенствования секции рештачного става идет, как правило, изобретательским путем, эмпирически [18; 19].

Задача создания обобщенной методики анализа прочностных характеристик секции рештачного става скребкового конвейера представляется весьма сложной в связи с наличием в конструкции секции элементов, требующих отдельных специальных расчетов, как, например, рейка с зубчатым зацеплением. В связи с этим до настоящего времени не разработаны научно обоснованные практически рекомендации по совершенствованию конструкции рештачного става.

На этом основании в рамках сотрудничества с производителями горно-шахтного оборудования было принято решение о создании методики расчета напряженно-деформированного состояния конструкции рештачного става скребкового конвейера в условиях реальной эксплуатации с привлечением автоматизированных программных средств выполнения инженерных расчетов и проектирования.

Цель исследований

Разработка и апробация расчетной методики анализа прочностных характеристик секции скребкового конвейера, учитывающей внешнее воздействие на секцию элементов шахтного очистного комплекса, которая позволила бы осуществлять на этапе проектирования рациональный выбор материалов и геометрических элементов секции, обеспечивающих выполнение условий прочности и долговечности.

Методы исследований

Для реализации поставленной цели в качестве программного обеспечения был выбран модуль «Статический анализ» системы, позволяющий на основе метода конечных элементов (МКЭ) осуществлять расчет прочностных характеристик конструкций под действием приложенной к модели системы внешних нагрузок. Таким образом, можно оценить характер напряженно-деформированного состояния проектируемой конструкции в зависимости от допускаемых напряжений, определить наиболее уязвимые места и элементы, внести необходимые конструктивные изменения и оптимизировать изделие [20].

Первоначально была создана трехмерная твердотельная модель секции (рис. 2), каждая деталь которой была построена в отдельном файле, а затем посредством ассоциативной привязки встроена в сборочную модель в виде фрагмента. Детали секции были размещены в сборке с учетом их фактического месторасположения под действием собственного веса. Таким способом был обеспечен непосредственный контакт деталей по смежным поверхностям.



Рис. 1. Типовая секция конвейера
Fig. 1. Typical conveyor section

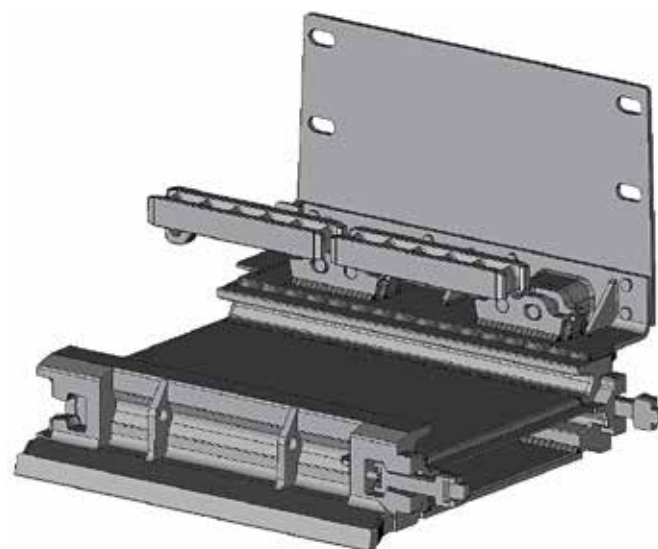


Рис. 2. 3D-модель секции
Fig. 2. 3D model of the section

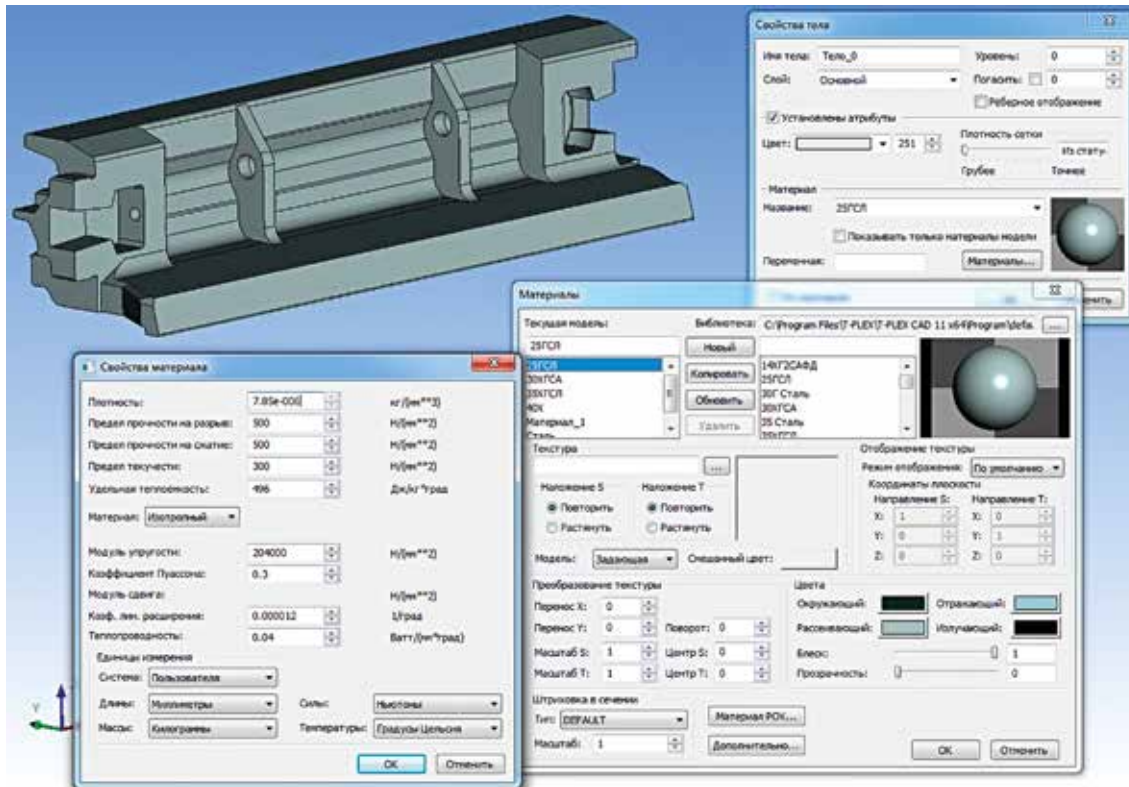


Рис. 3. Пример задания свойств материала
Fig. 3. Example of setting material properties

Всем деталям секции конвейера заданы реальные физико-механические свойства согласно применяемым материалам (рис. 3).

Особенностью конструкции секции является наличие сварных соединений, учет которых при прочностном расчете всей конструкции является безоговорочно необходимым. Посредством специальной функции системы T-Flex были смоделированы все сварные швы в строгом соответствии с их параметрами (рис. 4): тип сварного соединения, конструк-

тивные элементы, обозначение, ГОСТ, катет шва, параметры усиления, механические характеристики сварочного материала.

Таким образом, разработанная компьютерная модель секции решетчатого става позволяет учесть геометрию деталей конструкции, характер их соединения, механические свойства материалов и особенности сварных соединений. Программный модуль «T-Flex Анализ» обладает вполне эффективным генератором конечно-элементных сеток, автоматически подбирающим размеры 10-узловых тетраэдрических конечных элементов в зависимости от относительных размеров деталей, участвующих в расчетной модели (рис. 5).

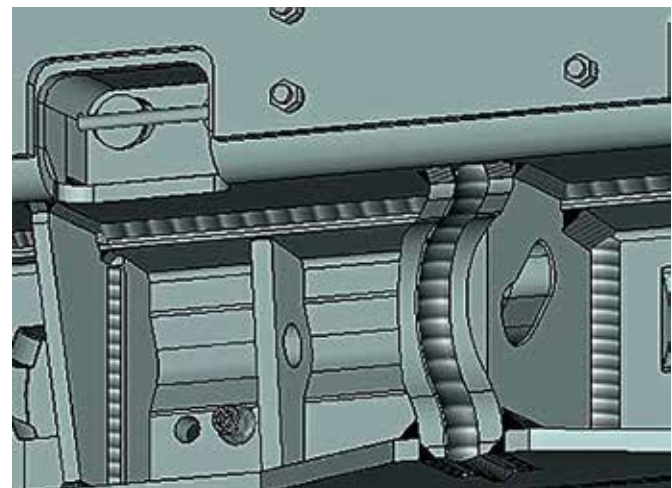
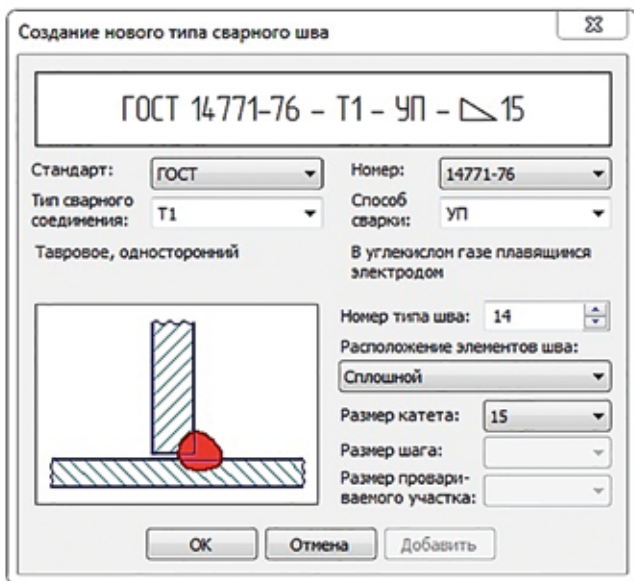


Рис. 4. Пример моделирования сварного соединения
Fig. 4. Example of modeling a welded joint

План оптимизации и совершенствования секции конвейера
The plan of optimization and improvement of the conveyor section

№	Цель <i>Purpose</i>	Недостаток <i>Disadvantage</i>	Изменения в расчетной модели <i>Changes in the calculation model</i>
1	Исключение прерывистости сварных швов <i>Elimination of discontinuity of welds</i>	Разрушение сварных соединений <i>Destruction of welded joints</i>	Изменение параметров и свойств сварных швов <i>Changing the parameters and properties of welds</i>
2	Исключение появления остаточных деформаций в нижнем листе секции <i>Exclusion of the appearance of residual deformations in the lower sheet of the section</i>	Постепенное изменение геометрии нижнего листа, приводящее к выходу из строя <i>Gradual change in the geometry of the bottom sheet, leading to failure</i>	Установка дополнительных ребер жесткости на нижний лист секции <i>Establishment of additional stiffeners on the bottom sheet of the section</i>
3	Уменьшение зазора в соединении пальца, корзины и рейки до минимально допустимого <i>Reducing the gap in the connection of the finger, basket and rail to the minimum allowable</i>	Наличие свободного хода рейки <i>Availability of free running rails</i>	Использование ходовой посадки в соединении <i>Using a running landing in the connection</i>
4	Изготовление рейки с прямым профилем зуба <i>Manufacturing of a rail with a straight cogs profile</i>	Некорректная геометрия исходной рейки <i>Incorrect geometry of the original rail</i>	Анализ и создание 3D-модели рейки с прямым профилем зуба <i>Analysis and creation of a 3D model of a rail with a straight tooth profile</i>
5	Установка дополнительной опоры на средней рейке <i>Establishment of an additional support on the middle rail</i>	Концентрация напряжений в опорных поверхностях рейки <i>Stress concentration in the support surfaces of the rail</i>	Включение 3D-модели дополнительной опоры рейки в расчетную модель секции <i>Inclusion of a 3D model of an additional rail support in the design model of the section</i>

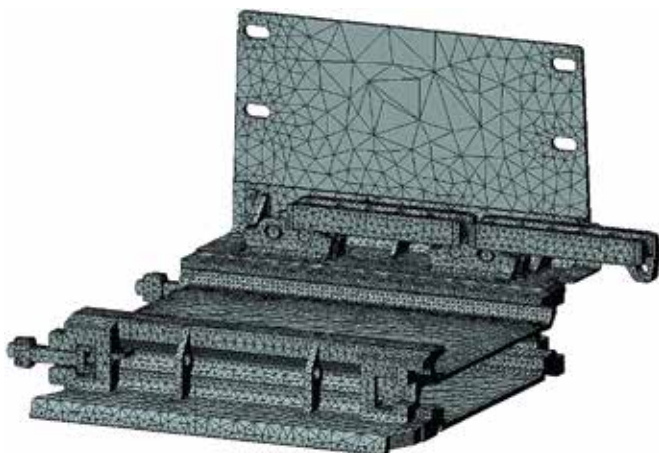


Рис. 5. Конечно-элементная сетка
Fig. 5. Finite element grid

Решение поставленной задачи, обусловленное применением МКЭ, требует правильного задания граничных условий [21], которыми при статическом анализе выступают внешние закрепления, внутренние контакты деталей и система внешних сил.

Полное закрепление, блокирующее все степени свободы, задается на нижние поверхности секции (рис. 6), которые контактируют с забоем. Учет харак-

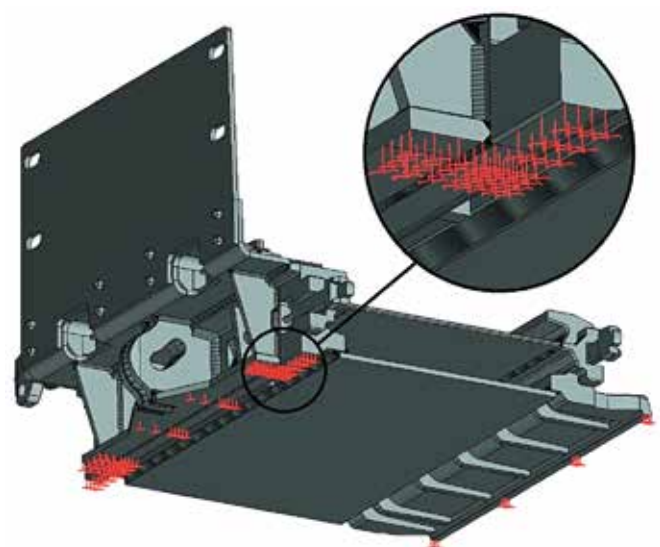


Рис. 6. Условия закрепления и контакта
Fig. 6. Fixing and contact conditions

тера соприкосновения смежных деталей осуществляется заданием так называемых контактных ограничений. В разработанной модели заданы два варианта касания поверхностей. Первый моделирует условие запрета взаимопenetрации соприкасающихся

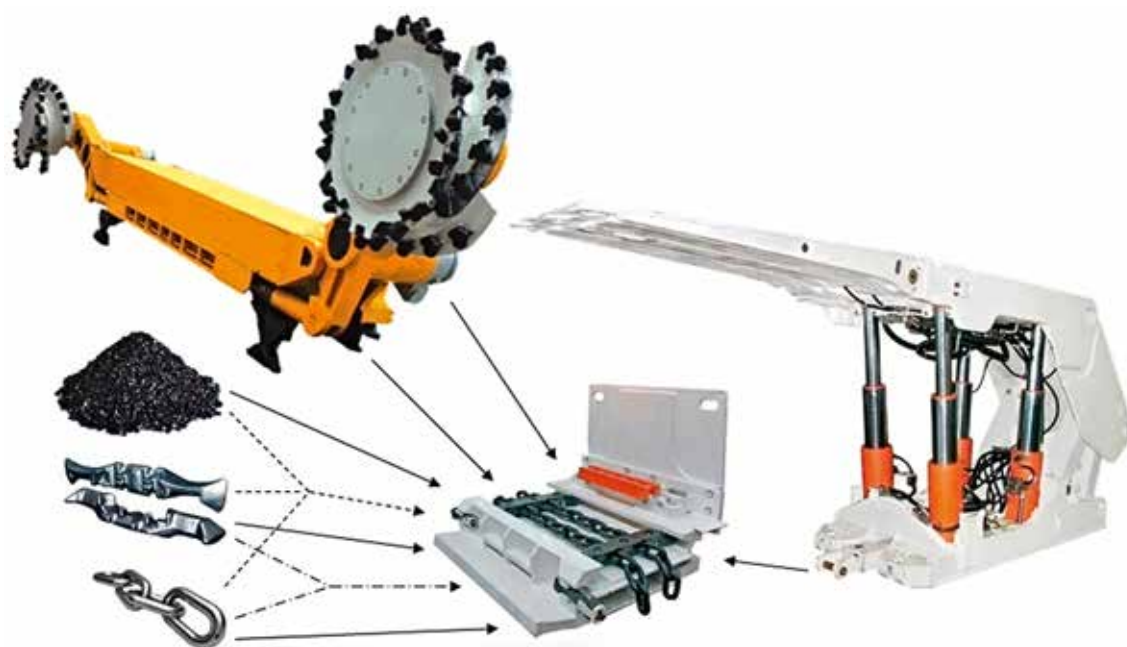


Рис. 7. Система внешних сил
Fig. 7. The system of external forces

граней элементов, но не препятствует их относительному перемещению. Второй вариант моделирует жесткую связь, запрещающую как взаимопenetрацию, так и относительное смещение, что позволило адекватно учесть сварные соединения.

В условиях реальной эксплуатации на секцию решетчатого става шахтного скребкового конвейера действует система внешних сил [22–25], включающая в себя следующие виды нагружений (рис. 7):

- 1) усилие воздействия на секцию от расположенных на нем скребков и тяговых цепей;
- 2) динамическая нагрузка от транспортируемой горной породы, определяемая с учетом угла естественного откоса [26; 27];
- 3) нагрузка от действия опоры комбайна на боковину;
- 4) усилие в зацеплении звездочки комбайна и зубчатой рейки секции;
- 5) сдвиговая нагрузка на верхний и нижний листы секций, обусловленная перемещением горной массы, скребков и цепей;
- 6) нагрузка, возникающая при сдвиге крепи [28; 29].

Результаты исследований

Научно-методические основы определения указанных нагружений приведены в работе [30]. Разработанная расчетная методика была апробирована на конструкции секции решетчатого става скребкового конвейера, производимого и применяемого в горно-шахтных условиях Кемеровской области. По результатам расчета с целью проверки принятых конструкторских решений на условие прочности была произведена оценка перемещений, напряжений и коэффициента запаса прочности в любой точке исследуемой секции. Результаты анализа компьютерной

модели подтверждают физический характер выхода из строя конструкции под действием системы внешних сил. Выявлены три основных элемента, требующих оптимальной корректировки конструкторского исполнения: 1) сварные швы, разрушение которых происходит в местах разрыва или изменения параметров; 2) нижний лист секции, в котором со временем накапливаются остаточные деформации; 3) зубчатая рейка, разрыв которой происходит в опорных сечениях (рис. 8).

С целью увеличения срока службы конвейера был составлен план действий (таблица) по корректировке конструкции и соответствующей расчетной модели, обеспечивающий выполнение условий прочности.

Исключение прерывистости сварных швов (рис. 9) позволяет получить более точную картину распределения напряжений в сварных соединениях.



Рис. 8. Разрушение зубчатой рейки
Fig. 8. Destruction of the toothed rail

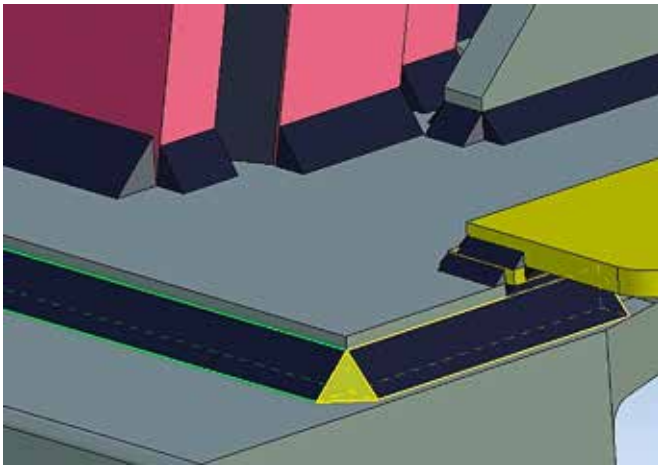


Рис. 9. Исправление прерывистости сварных швов
Fig. 9. Correction of discontinuity of welds

Уточненная модель сварных соединений позволила выявить конкретные места концентрации напряжений и принять решение об изменении параметров сварного шва, что в последствии обеспечило эксплуатацию секции без разрушения в местах сварки.

На нижний лист секции было предложено установить ребра жесткости, геометрия и шаг расположения которых определяли путем анализа прочностных характеристик модели в программной среде. Такой вариант решения позволяет повысить продольную устойчивость листа, оснащенного ребрами жесткости, при одновременном уменьшении его толщины (рис. 10).

Модернизация зубчатой рейки согласно установленному плану (табл. 1) позволяет существенно уменьшить величину сжимающих напряжений в опасных сечениях, снять проблему разрушения рейки при движении очистного комбайна (рис. 11).

Выводы

Таким образом, разработанная компьютерная модель секции решетчатого става скребкового конвейера

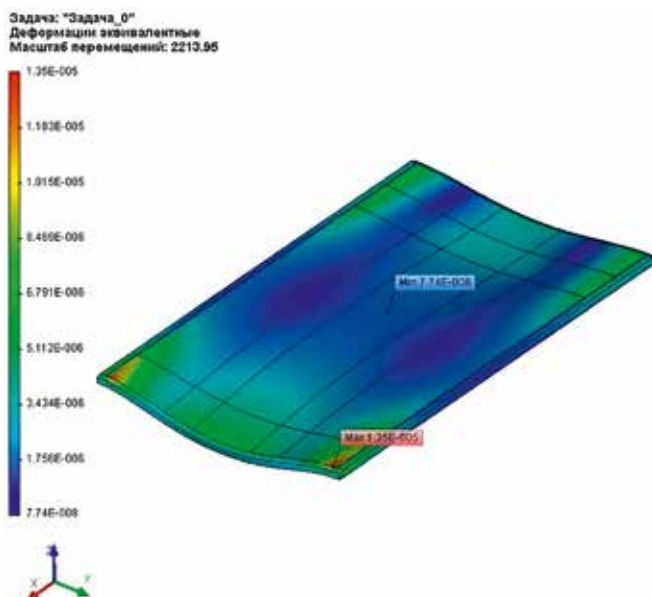


Рис. 10. Анализ деформаций нижнего листа до и после изменения конструкции
Fig. 10. Analysis of deformations of the bottom sheet before and after the design change

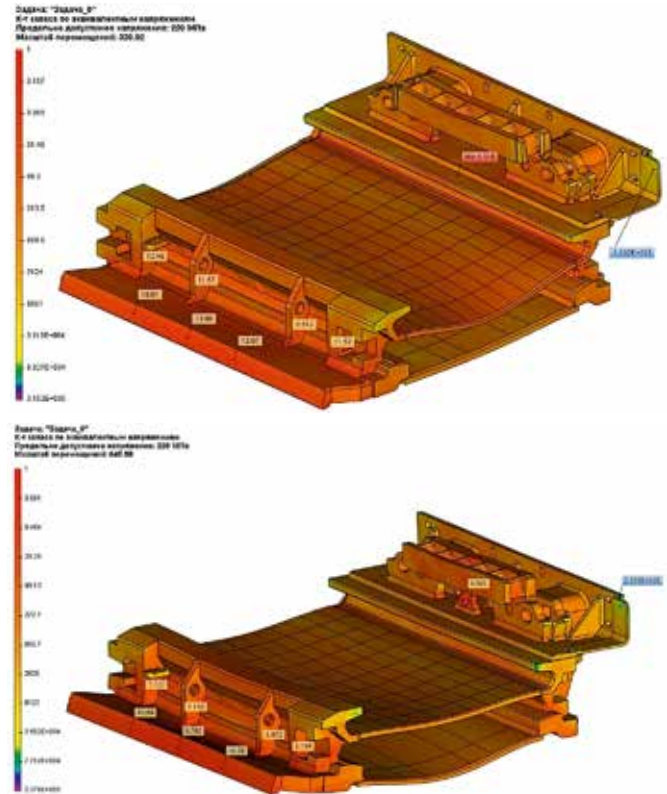
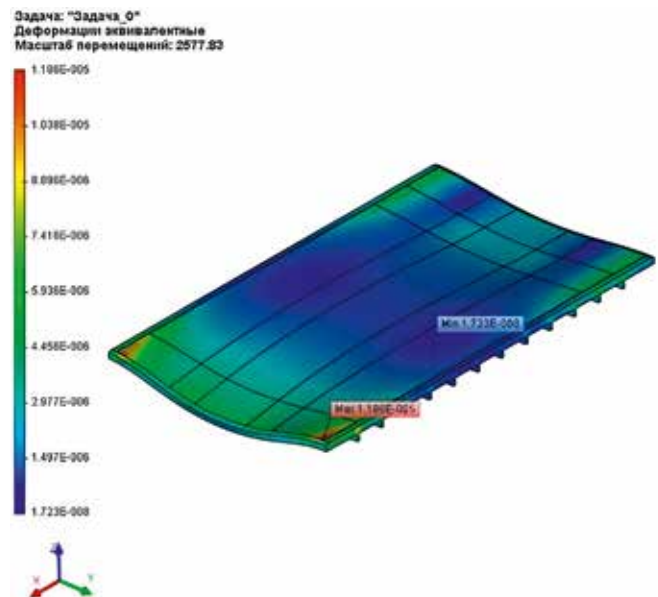


Рис. 11. Сравнение прочностных характеристик исходной и усовершенствованной конструкции секции
Fig. 11. Comparison of strength characteristics of the original and improved section design

при реализации предложенной методики анализа напряженно-деформированного состояния конструкции дает достоверные сведения о прочностных характеристиках исследуемой модели, адекватно сопоставимые с наработками выхода из строя секции в промышленных условиях эксплуатации. Применение созданной методики анализа прочности обеспечивает подбор рациональных геометрических и технологических параметров конструкции на стадии проектирования.



СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ефимов В.И., Абрамкин Н.И., Вернигор В.В., Хакимов Б.Х. Комплекты оборудования для подземной добычи угля в пологих пластах // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12, N4(46). С. 510–515. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-510-515.
2. Nguyen K.L., Gabov V.V., Zadkov D.A. Improving efficiency of cleanup and coal flow formation on conveyor by shearer loader with accessorial blade // Eurasian Mining. 2019. Is. 1. P. 37–39. DOI: 10.17580/em.2019.01.09.
3. Басалай Г.А. Снижение энергоемкости транспортирования руды скребковым конвейером // Горная механика и машиностроение. 2019. N3. С. 75–79.
4. Бабокин Г.И., Шаллоева В.А. Исследование влияния технологической схемы работы очистного комбайна и длины лавы на удельный расход электроэнергии скребкового конвейера механизированного очистного забоя // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. N4. С. 167–176. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_167
5. Бабокин Г.И. Исследование энергетических параметров системы очистной комбайн-скребковый конвейер // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. N 8. С. 290–296.
6. Королев А.И., Габов В.В. Забойный скребковый конвейер очистного механизированного комплекса адаптивного к изменяющимся горно-геологическим условиям // Инновации на транспорте и в машиностроении. Сборник трудов IV международной научно-практической конференции. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. С. 27–30.
7. Королев А.И. Анализ способа повышения адаптации очистного механизированного комплекса к изменяющимся горно-геологическим условиям // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2019. С. 77.
8. Высоцкий Г.В., Литвак А.Г. Прочность и долговечность исполнительных органов угледобывающих комбайнов и скребковых конвейеров. М.: Научная книга, 2001. 154 с.
9. Ивченко Т.Ю., Оболенская Т.А. Исследование контактной надежности зубчатых передач скребковых конвейеров методом статистических испытаний // Машинобудовання: Збірник наукових праць. 2007. N 1. С. 50–57.
10. Масленников Н.Р. Влияние длины забойного скребкового конвейера на динамические нагрузки при тяговом расчете // Горное оборудование и электромеханика. 2015. N 7 (116). С. 17–22.
11. Eshchin E.K. Scraper face conveyors dynamic load control // Journal of Mining Institute. 2019. Vol. 239. P. 570–575. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.570.
12. Yungmeyster D.A., Urazbakhtin R.Yu. Rescue complex for coal mines // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, vol. 87(9), no. 092032. DOI: 10.1088/1755-1315/87/9/092032.
13. Urazbakhtin R.Yu., Yungmeyster D.A. The results of studies of the tunneling rescue complex for coal mines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 560(1), no. 012130. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012130.
14. Косарев И.В., Мезников А.В., Волотов А.Е., Кондрахин В.П. Повышение технического уровня и безопасности эксплуатации забойных скребковых конвейеров // Вестник Донецкого национального технического университета. 2020. N 4 (22). С. 11–21.
15. Барышев А.И., Будишевский В.А., Скляр Н.А., Сулима А.А., Ткачук А.М. Расчет и проектирование транспортных средств непрерывного действия: научное пособие для вузов / Под ред. В.А. Будишевского. Донецк, 2005. 689 с.
16. Гнутов А.Н., Дьячков В.К., Зенков Р.Л. Конвейеры: справочное издание / Под ред. Ю.А. Пергена. Л.: Машиностроение, 1984. 368 с.
17. Руководство по эксплуатации и монтажу. Скребковый забойный конвейер СЗК 190/800. ЧР.: Машинное оборудование, 2009. 66 с.
18. Лукиенко Л.В. Результаты стендовых исследований реечного механизма подачи тяжело нагруженных машин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. N 9. С. 576–579.
19. Филипп Г., Кандция Р., Рогозин А.А. Повышение надежности производства и производительности очистного забоя за счет эмпирических расчетов параметров цепи конвейера // Уголь. 2020. N 7 (1132). С. 26–30. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-7-26-30.
20. Народхан Д., Исабек Т.К., Ходжаев Р.Р., Хуанган Н. Численное моделирование устойчивости бортов угольных разрезов под действием распределенных нагрузок // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12, N3(45). С. 428–435. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-428-435
21. Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Акижанова Ж.Т., Шашанова М.Б. Цифровое моделирование объектов взаимодействия машин и рабочей среды в 3D. Караганда: РИО «Болашак-Баспа», 2019. 173с.
22. Корнеев С.В., Доброногова В.Ю., Долгих В.П. Моделирование статических нагрузок забойных скребковых конвейеров // Прогресивні технології і системи машинобудовання. 2014. N 3 (49). С. 93–100.
23. Cenacewicz K., Katunin A. Modeling and simulation of longwall scraper conveyor considering operational faults // Studia Geotechnica et Mechanica. 2016. Vol. 38. P. 15–27.
24. Shprekher D.M., Zelenkov A.V., Ovsyannikov D.S. Universal computer model for studying the dynamics of a two-motor scraper conveyor // Proceedings - 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2021. 2021. P. 321–326. DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537429.
25. Овсянников Д.С. Моделирование динамики распределения нагрузки на скребковом конвейере // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. N 11. С. 435–440.
26. Linh N.K., Chien D.V., Gabov V.V., Giap D.V., Tien P.V. Study of the influence of structure and parameters of loading and transporting devices of a cleaning combine on the efficiency of coal loading // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1384(1). No. 012036. DOI: 10.1088/1742-6596/1384/1/012036.
27. Linh N.K., Gabov V.V., Lykov Y.V., et al. Evaluating

the efficiency of coal loading process by simulating the process of loading onto the face conveyor with a shearer with an additional share // *International Journal of Engineering*, 2021, issue 7, vol. 34, pp. 1804–1809. DOI: 10.5829/IJE.2021.34.07A.25.

28. Gabov V.V., Zadkov D.A., Babyr N.V., Fangwei X. (2021). Nonimpact rock pressure regulation with energy recovery into the hydraulic system of the longwall powered support // *Eurasian Mining*, 2021(2), 55-59. DOI: 10.17580/em.2021.02.12.

29. Демин В.Ф., Демина Т.В., Кайназаров А.С.,

Кайназарова А.С. Оценка эффективности применения технологических схем проведения выработок для повышения устойчивости их контуров // *Устойчивое развитие горных территорий*. 2018. Т. 10, №4. С.606–616. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-4-606-616.

30. Варнава А.В., Жуков И.А. К разработке методики расчета напряженно-деформированного состояния секции става шахтного скребкового конвейера // *Горное оборудование и электромеханика*. 2012. №8. С. 35–39.

REFERENCES

1. Efimov V.I., Abramkin N.I., Vernigor V.V., Khakimov B.Kh. Underground mining equipment kits coal in shallow beds. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol.12, no. 4(46), pp. 510–515. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-510-515 (in Russian).

2. Nguyen K.L., Gabov V.V., Zadkov D.A. Improving efficiency of cleanup and coal flow formation on conveyor by shearer loader with accessorial blade. *Eurasian Mining*. 2019, is. 1, pp. 37–39. DOI: 10.17580/em.2019.01.09.

3. Basalai G.A. Reduction of the energy intensity of ore transportation by a scraper conveyor. *Mining Mechanics and Mechanical Engineering*. 2019, no. 3, pp. 75–79 (in Russian).

4. Babokin G.I., Shalloeve V.A. Investigation of the influence of the technological scheme of the cleaning combine and the length of the lava on the specific power consumption of the scraper conveyor of the mechanized cleaning face. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2021, no. 4, pp. 167-176. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_167 (in Russian).

5. Babokin G.I. Investigation of the energy parameters of the cleaning combine-scraper conveyor system. *News of Tula State University. Technical Sciences*. 2021, no. 8, pp. 290–296 (in Russian).

6. Korolev A.I., Gabov V.V. Downhole scraper conveyor of a cleaning mechanized complex adaptive to changing mining and geological conditions. *Innovations in transport and mechanical engineering. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, National Mineral Resources University "Mining"*. 2016, pp. 27–30 (in Russian).

7. Korolev A.I. Analysis of the method of increasing the adaptation of the treatment mechanized complex to changing mining and geological conditions. *Technological equipment for the mining and oil and gas industry. Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference, Ekaterinburg, Ural State Mining University*. 2019, p. 77 (in Russian).

8. Vysotsky G.V., Litvak A.G. *Strength and durability of executive bodies of coal-mining combines and scraper conveyors*. Nauchnaya kniga Publ., Moscow, 2001, 154 p. (in Russian).

9. Ivchenko T.Yu., Obolenskaya T.A. *Investigation of contact reliability of gears of scraper conveyors by the method of statistical tests*. Mashinobudovannya: Zbirnik naukovikh prats. 2007, no. 1, pp. 50–57. (in Russian).

10. Maslennikov N.R. Influence of the length of the downhole scraper conveyor on dynamic loads during traction cal-

ulation. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2015, no. 7(116), pp. 17–22. (in Russian).

11. Eshchin E.K. Scraper face conveyors dynamic load control. *Journal of Mining Institute*. 2019, vol. 239, pp. 570-575. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.570.

12. Yungmeyster D.A., Urazbakhtin R.Yu. Rescue complex for coal mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, vol. 87(9), no. 092032. DOI: 10.1088/1752-1315/87/9/092032.

13. Urazbakhtin R.Yu., Yungmeyster D.A. The results of studies of the tunneling rescue complex for coal mines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019, vol. 560(1), no. 012130. DOI: 10.1088/1752-899X/560/1/012130.

14. Kosarev I.V., Meznikov A.V., Volotov A.E., Kondra-khin V.P. Improving the technical level and safety of operation of downhole scraper conveyors. *Bulletin of Donetsk National Technical University*. 2020, no. 4(22), pp. 11–21 (in Russian).

15. Baryshev A.I., Budishevsky V.A., Sklyarov N.A., Sulima A.A., Tkachuk A.M. *Calculation and design of continuous vehicles: a scientific manual for universities*. Edited by V.A. Budishevsky. Donetsk, 2005, 689 p. (in Russian).

16. Gnutov A.N., Dyachkov V.K., Zenkov R.L. *Conveyors: reference edition*, In Yu.A. Perten (ed.), Mashinostroyeniye Publ., Leningrad, 1984, 368 p. (in Russian)

17. *Operation and installation manual. Scraper downhole conveyor SZK 190/800*. CR, Mashinnoye oborudovaniye, 2009, 66 p. (in Russian).

18. Lukienko L.V. Results of bench studies of rack-and-pinion feeding mechanism of heavily loaded machines. *News of Tula State University. Technical Sciences*. 2021, no. 9, pp. 576-579 (in Russian).

19. Philip G., Kandtsia R., Rogozin A.A. Improving the reliability of production and productivity of the treatment face due to empirical calculations of conveyor chain parameters. *Coal*. 2020, no. 7(1132), pp. 26–30. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-7-26-30 (in Russian).

20. Narodkhan D., Isabek T.K., Khodjaev R.R., Khuangan N. Numerical simulation of the stability of the sides of coal mines under the influence of distributed loads. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020, vol.12, no. 3(45), pp. 428-435. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-428-435 (in Russian).

21. Beisembaev K.M., Malybaev N.S., Akizhanova Zh.T., Shashchanova M.B. *Digital modeling of objects of interaction between machines and the working environment in 3D*. Karaganda, "Bolashak-Baspa" Publ., 2019, 173 p. (in Russian).

22. Korneev S.V., Dobronogova V.Yu., Dolgikh V.P. Modeling of static loads of downhole scraper conveyors. *Progressivni tehnologii i sistemi mashinobudovannya*. 2014, no. 3(49), pp. 93-100 (in Russian).

23. Cenacewicz K., Katunin A. Modeling and simulation of longwall scraper conveyor considering operational faults. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2016, vol. 38, pp. 15-27.

24. Shprekher D.M., Zelenkov A.V., Ovsyannikov D.S. Universal computer model for studying the dynamics of a two-motor scraper conveyor. *Proceedings - 2021 International Russian Automation Conference, RusAutoCon-2021*. 2021, pp. 321-326. DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537429.

25. Ovsyannikov D.S. Modeling the dynamics of load distribution on a scraper conveyor. *News of Tula State University. Technical Sciences*. 2021, no. 11, pp. 435-440 (in Russian).

26. Linh N.K., Chien D.V., Gabov V.V., Giap D.V., Tien P.V. Study of the influence of structure and parameters of loading and transporting devices of a cleaning combine on the efficiency of coal loading. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019, vol. 1384(1), no. 012036. DOI: 10.1088/1742-6596/1384/1/012036.

27. Linh N.K., Gabov V.V., Lykov Y.V., et al. Evaluating the efficiency of coal loading process by simulating the process of loading onto the face conveyor with a shearer with an additional share. *International Journal of Engineering*. 2021, iss.7, vol. 34, pp. 1804-1809. DOI: 10.5829/IJE.2021.34.07A.25.

28. Gabov V.V., Zadkov D.A., Babyr N.V., Fangwei X. (2021). Nonimpact rock pressure regulation with energy recovery into the hydraulic system of the longwall powered support. *Eurasian Mining*. 2021(2), pp. 55-59. DOI: 10.17580/em.2021.02.12.

29. Demin W.F., Demina T.In., Kaynazarov A.S., Kaynazarova A.S. Evaluation of the workings technological schemes effectiveness to increase the stability of their contours. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018, vol.10, no. 4, pp. 606-616. DOI: 10.21177/1998-4502-2018-4-606-616. (in Russian).

30. Varnava A.V., Zhukov I.A. To the development of a methodology for calculating the stress-strain state of the stave section of a mine scraper conveyor. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2012, no.8, pp. 35-39 (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ЖУКОВ Иван Алексеевич – доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Россия.
+7(905)918-73-10
tmmiok@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9068-3201>



ГОЛИКОВ Николай Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Россия.
+7(911)735-61-15
Golikov_NS@pers.spmi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9434-4925>



МАРТЮШЕВ Никита Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Томский политехнический университет, 634050, Томск, Россия.
+7(906)956-4322
martjushev@tpu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0620-9561>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ivan A. ZHUKOV – Doctor of Technical Sciences, Professor, Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

+7(905)918-73-10
tmmiok@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9068-3201>

Nikolay S. GOLIKOV – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

+7(911)735-61-15
Golikov_NS@pers.spmi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9434-4925>

Nikita V. MARTYUSHEV – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tomsk Polytechnic University, 634050, Tomsk, Russia.

+7(906)956-4322
martjushev@tpu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0620-9561>



Наука – великое украшение и весьма полезное орудие.
М. МОНТЕНЬ

Оригинальная статья
УДК 622:577.4

DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-151-154

Реализация профессиональных компетенций и взаимодействие с индустриальными партнерами горно-металлургической отрасли как показатели качества образования в технических вузах

Игорь А. Алексеев

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),
Владикавказ, Россия

Аннотация. Работа автора заключается в выработке системы повышения качества образовательного процесса в вузе и эффективных механизмов его контроля, а также в выстраивании системы взаимовыгодного сотрудничества с ведущими отраслевыми партнерами в горно-металлургической промышленности.

Для достижения указанной цели были использованы различные методологические приемы, такие, как анализ, системный подход, сравнительно-правовой подход. Эти приемы были реализованы применительно к техническим вузам, территориально расположенным в горных регионах.

В результате проведенного научного анализа предложены подходы, которые, по нашему мнению, позволят поднять качество образования в технических вузах, ведущих тесное сотрудничество с индустриальными партнерами в различных сферах и отраслях, в том числе горно-металлургической.

Ценность и значимость полученных выводов заключается в попытке внедрения и апробации описанных подходов и оценке предварительно полученных результатов в технических вузах, расположенных, в том числе, в горных территориях.

Ключевые слова: технические вузы, горные территории, качество высшего образования, профессиональные компетенции, карта компетенций, педагогические технологии, образовательный процесс и его контроль, взаимодействие с индустриальными партнерами, лицензионные договоры, результаты интеллектуальной деятельности.

Для цитирования: Алексеев И.А. Реализация профессиональных компетенций и взаимодействие с индустриальными партнерами горно-металлургической отрасли как показатели качества образования в технических вузах // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, №1. С. 151–154. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-151-154.

Получена редакцией 03.09.2021; получена после рецензии 14.10.2021; принята к печати 24.10.2021.

Professional competencies implementation and interaction with industrial partners of the mining and metallurgical industry as education quality indicators at technical universities

Igor A. Alekseev

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

Abstract. The author's work consists in developing a system for improving the quality of the educational process at the university and effective mechanisms for its control, as well as in building a system of mutually beneficial cooperation with leading partners in the mining and metallurgical industry.

To achieve this goal, various methodological techniques were used, such as analysis, a systematic approach and a comparative legal approach. These techniques were implemented in relation to the technical universities located geographically in the mountainous regions.

As a result of the conducted scientific analysis, approaches are proposed that, in our opinion, will improve the quality of education in the technical universities leading close cooperation with industrial partners in various fields and industries, including mining and metallurgy.

The value and significance of the results lies in the attempt to implement and test the described approaches and evaluate the preliminary results obtained in technical universities located in the mountainous areas.

Keywords: technical universities, mountain territories, quality of higher education, professional competencies, competence map, pedagogical technologies, educational process and its control, interaction with industrial partners, license agreements, results of intellectual activity.

For citation: Alekseev I. A. Professional competencies implementation and interaction with industrial partners of the mining and metallurgical industry as education quality indicators at technical universities. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022;14(1):151-154. (In Russ.). DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-151-154.

Received by the editors 03.09.2021; received after the review 14.10.2021; accepted for printing 24.10.2021.

Введение

Тема профессиональных компетенций выбрана не случайно. Автор основывается на своем опыте при проведении проверок образовательных организаций в качестве государственного эксперта, и эксперта по общественно-профессиональной аккредитации.

Обозначенная тема имеет существенное значение как для государственной, так и для общественно-профессиональной процедур оценки качества образования, в первую очередь, для технических вузов в горных территориях.

Основной вопрос, который всегда возникает у образовательных организаций при проведении процедуры аккредитации, это подтверждение качества реализации образовательных программ, включая все уровни (СПО, бакалавриат/специалитет, магистратура, аспирантура). Этой же логики придерживается и новая система независимой оценки качества образования, вступающая в силу с 01 марта 2022 г. Особенно эта задача актуальна для технических вузов, расположенных в горных территориях, в частности, на Северном Кавказе, в силу территориальных и социально-политических особенностей.

Традиционно образовательные организации, подтверждая качество реализации образовательного процесса, предоставляют совокупность фондов оценочных средств, материалы, содержащие оценку знаний учащихся по отдельным дисциплинам учебного плана или по всем

дисциплинам, предусмотренным к изучению в конкретном учебном году.

Однако данный подход, по нашему мнению, является ошибочным по следующему основанию. Если мы обратимся к федеральным государственным образовательным стандартам, то образовательные требования стандартов относятся, прежде всего, к образовательным организациям, которые несут ответственность за освоение обучающимися учебной программы. То есть образовательная организация несет ответственность перед государством за то, что у выпускника должны быть сформированы общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции.

В связи с этим данную позицию следует рассматривать в двух направлениях.

Методика исследований

Направление первое. Именно образовательная организация ответственна за обеспечение условий реализации компетенций, к которым относится не только материально-техническая база, наличие профессорско-преподавательского состава, специализированных аудиторий, библиотечного фонда, учебных планов, программ, федеральных образовательных стандартов и так далее, но и качество образовательного процесса.

Направление второе. Наличие фондов оценочных средств (то есть оценка качества знаний обучающегося),

полученных при освоении учебного курса, либо образовательной программы в целом.

Образовательная организация обязана контролировать качество образовательного процесса, причем на всех его стадиях

Наличие форм, требующих обязательного заполнения при проведении процедуры государственной аккредитации, подтверждает эту позицию.

Разработка универсальной карты компетенций для технических вузов

Придя к выводу о необходимости разработки универсальной карты компетенций для технических вузов, мы начали задумываться о формах и способах контроля над качеством образовательного процесса со стороны администрации образовательной организации.

И в этой связи приступили к разработке и созданию универсальной карты компетенций по всем уровням образования.

Универсальная карта компетенций представляет собой перечень всех компетенций, предусмотренных учебным планом, где освоение каждой компетенции реализовано через педагогические технологии, и определены конкретные навыки, качество освоения которых обучающимися затем проверяется через фонды оценочных средств. При этом мы сделали это для каждого уровня образования, в том числе для бакалавриата, магистратуры и аспирантуры, включая не только рабочие программы дисциплин, но и практики.

Исходя из этого, у образовательных организаций есть два варианта решения этого вопроса.

Первый вариант – образовательная организация берет на себя труд по подготовке универсальной карты компетенций, которая будет привязана к определенным педагогическим технологиям, и которая дает возможность осуществлять контроль над качеством образовательного процесса, поскольку к каждой теме изучаемого предмета закреплены конкретные компетенции и способы их реализации.

Следовательно, в любой период проведения занятий можно проверить, как преподаватель выполняет свои обязанности и ведет учебный процесс.

Второй вариант, это когда система реализации компетенций отдается под ответственность профессорско-преподавательского состава, что дает возможность и право преподавателям самим определить способы реализации компетенций.

Но, исходя из практики, второй вариант очень сложен в реализации. Да и нельзя забывать, что на процедуру аккредитации выходит именно образовательная организация, а не конкретный, даже очень авторитетный преподаватель.

Отдельно следует остановиться на освоении компетенций в рамках практик и выпускных квалификационных работ (у кого они есть).

Важно понимать, что в процессе прохождения практик студентом задействован представитель работодателя и руководитель практики от организации. К сожалению, в большинстве случаев не все студенты знают перечень компетенций, которые должны быть ими освоены, а работодатели не всегда хорошо разбираются в учебном процессе и еще меньше понимают, что в процессе прохождения прак-

тики студент обязан освоить конкретный набор компетенций, которые работодатель должен оценить.

В этой ситуации образовательной организации необходимо либо в задании по практике, либо в дневнике, императивным путем закрепить перечень необходимых компетенций и ознакомить с ними студента, а работодателю разъяснить необходимость их освоения и последующей оценки. Тут также необходимо отметить и профиль организаций, в которых студенты проходят практику в соответствии со своим направлением подготовки или специализацией.

И в заключение этой части несколько слов скажем о процедуре государственной итоговой аттестации, где не только подтверждают качество своих знаний студенты, но и документально подтверждается образовательной организацией освоение ими необходимых компетенций. Можно ввести Положение о государственной итоговой аттестации, с которым учащийся обязан быть ознакомлен, и до него должно быть доведено, что подтверждение освоения компетенций обучающимся реализуется в процессе сдачи государственного экзамена и защиты выпускной квалификационной работы.

Разработка технологии взаимодействия с индустриальными партнерами в технических вузах

Еще одним серьезным вопросом, который имеет значение при оценке качества образования, является взаимодействие образовательной организации с индустриальными партнерами (работодателями), которое выражается в различных формах. Остановимся на выполнении выпускных квалификационных работ студентами по заявкам работодателей в технических вузах.

Исходя из опыта изучения этого вопроса, можем сказать, что образовательные организации в этой части представляют письма от различных работодателей, в которых указаны, как правило, конкретные темы, рекомендованные для разработки выпускниками.

Если такой формат сотрудничества имеет место, то считается, что в этой части взаимодействие существует, а если еще и рецензия работодателем подписана, то эта форма взаимодействия вуза и работодателя реализована в полном объеме.

Предлагаем посмотреть на данный аспект под другим углом. Все мы понимаем, что приведенная выше форма взаимодействия вуза и работодателя является во многом формальной. Работодатели, как правило, из уважения к образовательной организации подписывают эти письма и, если используют результаты, полученные в результате выполнения выпускных квалификационных работ, то это скорее в техническом секторе. Использование результатов, полученных в выпускных квалификационных работах, особенно в гуманитарной сфере, то это скорее исключение.

В этой части следует пересмотреть эти подходы и использовать данную ситуацию на взаимовыгодной основе, используя для этого весь огромный потенциал науки и практики.

Необходимо в этом процессе главенствующую роль предоставить ведущим отраслевым работодателям и во многом ориентироваться на их потребности и професси-

ональные интересы. Что же нового содержится в нашем предложении?

Главная новация заключается в том, что помимо предложения работодателей о разработке научных тем следует сформировать их заинтересованность в приобретении результатов, полученных в исследовании, которые были бы интересны для практического применения.

То есть работодателям предлагается приобрести результаты интеллектуального труда. Обращаем ваше внимание не на выпускную квалификационную работу, а на результат, который получился после реализации так называемого индивидуального задания. То есть, студент-выпускник в течение отведенного периода для подготовки выпускной квалификационной работы занимается выполнением конкретного задания в рамках своей специализации.

После защиты выпускной квалификационной работы ее результаты по лицензионному соглашению передаются в пользование работодателю. Для того чтобы эта система начала работать, необходимо серьезно поработать над структурой выпускной квалификационной работы и превратить ее, по сути, в профессиональный проект, а также ввести на выпускных курсах дисциплину, обучающую студентов профессиональному проектированию. Причем эту систему возможно ввести на всех уровнях высшего образования, включая аспирантуру, но у каждой формы есть свои особенности.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



АЛЕКСЕЕВ Игорь Александрович – и.о. ректора, кандидат юридических наук, доцент, профессор кафедры публичного права и органов власти, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия.

Зачем же все это нужно?

На наш взгляд, именно такая форма «завершенного» сотрудничества дает возможность максимально вовлечь в процесс работодателей, а вузу – зарабатывать внешне привлеченные денежные средства и качественно готовить выпускников к будущей профессии. Не сразу, через определенное время, считаем нужно оценивать именно по этому критерию взаимодействие с работодателями.

Выводы

Все вышеизложенное, на наш взгляд, позволит образовательным организациям сформировать реальную систему взаимодействий с индустриальными партнерами, а также сформировать так называемые индустриальные площадки и / или технобизнеспарки, что, особенно на базе гуманитарных вузов, будет иметь под собой реальную основу и механизмы, которые достаточно просто проверить и вести их учет. Это, в свою очередь, позволит оценивать потенциал вузов во взаимодействии с работодателями, что является предметом оценки, например, международной аккредитации, где акцент делается именно на индустриальных партнерах, их вовлеченность в учебный, научный процесс.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Igor A. ALEKSEYEV – Acting Rector, Candidate of Law, Associate Professor, Professor of the Department of Public Law and Authorities, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia.



ПОДПИСКА 2022 - ПЕРВОЕ ПОЛУГОДИЕ

КАК ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ «УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ»



На почте в любом отделении связи



КАТАЛОГ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»
полугодовой подписной индекс - 58885
цена - 1400 р. за 6 мес.

По системе адресной подписки

(производится издательством)
цена - 1200 р. за 6 мес.

Адресная подписка - это:

- Удобно!** Бухгалтерия заполняет платежное поручение, сдает его в банк - и все! (укажите свой адрес в платежном поручении)
- Выгодно!** Никаких почтовых надбавок, а значит - дешевле!
- Быстро!** Отправка журнала ценной бандеролью по адресу подписчика сразу из типографии.
- Надежно!** Если вы не получили журнал, издательство гарантированно досылает Вам пропавший номер.



Оплату адресной подписки
произвести по реквизитам:

ФГБОУ ВО «СКГМИ(ГТУ)»
362021, Россия, РСО-Алания,
г. Владикавказ, ул. Николаева, 44
ИНН 1501002522, КПП 151601001
БИК ТОФК 019033100, Л/счет 20106Х45350
Номер казначейского счета
03214643000000011000
ЕКС 40102810945370000077
В отд. НБ Респ. Северная Осетия-Алания
Банкв России / УФК по РСО-Алания, г. Владикавказ

Внимание!

В платежном поручении
обязательно укажите «За подписку
на журнал
«Устойчивое развитие горных
территорий»

В графе «Назначение платежа» необходимо
написать почтовый адрес (с индексом),
по которому мы должны отправить журнал.

Телефон для справок:
+7(918)707-39-25

10.00-17.00 (время Москвы)

Стоимость адресной подписки для любого региона РФ НДС не облагается
Стоимость доставки включена.

В дизайне обложки использованы фото из открытых источников Yandex:
https://yandex.ru/images/search?rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cb1r%2F1554516%2FXaj6pgNGMx6mQvjDP7xMhQ874%2Forig&cbir_id=1554516%2FXaj6pgNGMx6mQvjDP7xMhQ874&from=tabbar
https://yandex.ru/images/search?rpt=imageview&url=https%3A%2F%2Favatars.mds.yandex.net%2Fget-images-cb1r%2F247340%2Fv6gHSjrsHBxUt3yIF210yA926%2Forig&cbir_id=247340%2Fv6gHSjrsHBxUt3yIF210yA926&from=tabbar

