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

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

ИЗВЕСТИЯ
Уральского государственного горного университета

Научно-технический журнал

NEWS
of the Ural State Mining University

Scientific and technical journal

Issue 4(48)

2017

Уральский государственный
горный университет

Известия Уральского государственного
горного университета
2017, вып. 4

Ural State
Mining University

News of the Ural State
Mining University
2017, issue 4

Журнал выходит 4 раза в год

Published 4 times a year

Учредитель – Уральский государственный
горный университет

620144, Россия, Екатеринбург,
ул. Куйбышева, 30

Founded by
Ural State Mining University

30, Kuibyshev str., 620144, Ekaterinburg,
Russia

Известия Уральского государственного горного университета – рецензируемый научно-технический журнал, в котором находят отражение актуальные вопросы изучения, оценки и промышленного освоения минерально-сырьевых ресурсов Уральского региона и сопредельных территорий. В их числе проблемы геологии и разведки недр, геофизических исследований, горного дела и горной механики, экономики природопользования.
К публикации принимаются статьи на русском и английском языках.
Полнотекстовая версия журнала размещается в свободном доступе на нашем сайте и на платформе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) Российской универсальной научной электронной библиотеки. Более полная информация и правила оформления статей размещены на сайте журнала.

News of the Ural State Mining University is a peer-reviewed scientific and technical journal, which reflects topical issues of the study, evaluation and commercial development of mineral resources of the Ural region and adjacent territories. These include problems of geology and subsoil exploration, geophysical studies, mining and mining mechanics, environmental economics.
We accept for publication articles in Russian and English languages.
The full-text version of the journal is in the public domain on the website of the journal http://iuggu.ru and in the database of the Russian Science Citation Index of the Russian Universal Scientific Electronic Library.
Website of the journal contains a detailed information about the journal, as well as guidelines for authors.

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55055 от 14.08.2013

Редакционная коллегия

Главный редактор
Н. П. Косарев – д-р техн. наук, профессор
Заместитель главного редактора
О. Н. Грязнов – д-р геол.-минерал. наук, профессор

Ученый секретарь
Ю. А. Поленов – д-р геол.-минерал. наук, профессор

Ответственные редакторы по разделам

Науки о Земле: **А. Б. Макаров** – д-р геол.-минерал. наук, профессор
Технические науки: **А. В. Жабко** – канд. техн. наук, доцент
Экономические науки: **М. Н. Игнатьева** – д-р экон. наук, профессор

Редакционный совет

БАРАННИКОВ Александр Григорьевич – д-р геол.-минерал. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
ВАЛИЕВ Нияз Гадым-оглы – д-р техн. наук, профессор, первый проректор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
ВЕРШКОВ Александр Федорович – д-р экон. наук, Алматы, Казахстан, Департамент геологии АО «Волковгеология»
ГОЛИК Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор, Владикавказ, Россия, Северо-Кавказский горно-металлургический институт
ДРЕБЕНШТЕДТ Карстен – д-р техн. наук, профессор, Фрайберг, Германия, Фрайбергская горная академия
ДУШИН Алексей Владимирович – д-р экон. наук, и. о. ректора УГГУ, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
ДУШИН Владимир Александрович – д-р геол.-минерал. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
ЕРОХИН Юрий Викторович – канд. геол.-минерал. наук, Екатеринбург, Россия, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН
ЗОТОВ Алексей Николаевич – д-р техн. наук, профессор, Уфа, Россия, Уфимский государственный нефтяной технический университет
ИВАНОВ Кирилл Святославич – д-р геол.-минерал. наук, Екатеринбург, Россия, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН
КОРОТЕЕВ Виктор Алексеевич – академик РАН, д-р геол.-минерал. наук, профессор, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН
МАЛИЧ Крешимир Ненадович – канд. геол.-минерал. наук, Екатеринбург, Россия, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН
МЕРКЛЕ Роланд Карл Вилли – Dr, Professor, Претория, Южная Африка, Университет Претории
НАЗАРОВА Зинаида Михайловна – д-р экон. наук, профессор, Москва, Россия, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе
ПОТАПОВ Валентин Яковлевич – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
САДОВЕНКО Иван Александрович – д-р техн. наук, профессор, Днепр, Украина, Национальный горный университет

Экспертный совет

Боярских Геннадий Алексеевич – д-р техн. наук, профессор (Екатеринбург, Россия); Гордеев Виктор Александрович – д-р техн. наук, профессор (Екатеринбург, Россия); Карстен Луиза – Dr. rer. nat. (Ганновер, Германия); Кожушко Герман Георгиевич – д-р техн. наук, профессор (Екатеринбург, Россия); Козин Владимир Зиновьевич - д-р техн. наук, профессор (Екатеринбург, Россия); Корнилков Сергей Викторович – д-р техн. наук, профессор (Екатеринбург, Россия); Стамбульчик Евгений - PhD (Реховот, Израиль); Сурнев Виктор Борисович – д-р физ.-матем. наук, профессор (Екатеринбург, Россия); Тимухин Сергей Андреевич – д-р техн. наук, профессор (Екатеринбург, Россия); Филиппов Сергей – Dr. rer. nat. (Ганновер, Германия); Хальфин Марат Нурмухамедович – д-р техн. наук, профессор (Новочеркасск, Россия).

Editorial staff

Editor-in-Chief
N. P. Kosarev, Dr, Professor
Deputy Editor-in-Chief
O. N. Gryaznov, Dr, Professor

Academic secretary
Yu. A. Polenov, Dr, Professor

Section editors

Earth Sciences: **A. B. Makarov**, Dr, Professor
Engineering sciences: **A. V. Zhabko**, PhD, Associate Professor
Economic sciences: **M. N. Ignat'eva**, Dr, Professor

Editorial council

A. G. Barannikov, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
V. I. Golik, Dr, Professor (Vladikavkaz, Russia, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)
C. Drebenstedt, Dr, Professor (Freiberg, Technical University Bergakademie)
A. V. Dushin, Dr, Rector (Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
V. A. Dushin, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
Yu. V. Erokhin, PhD (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
A. N. Zotov, Dr, Professor (Ufa, Russia, Ufa State Petroleum Technological University)
K. S. Ivanov, Dr (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
V. A. Koroteev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
K. N. Malitch, PhD (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
R. K. W. Merkle, Dr, Professor (Pretoria, South Africa, university of Pretoria)
Z. M. Nazarova, Dr, Professor (Moscow, Russia, Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze)
V. Ya. Potapov, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
I. A. Sadovenko, Dr, Professor (Dnepr, Ukraine, National Mining University)
N. G. Valiev, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
A. F. Vershkov, Dr, Professor (Almaty, Kazakhstan, Geology Department in Uranium Exploration Company «Volkovgeologiia»)

Advisory council

A. M. Amdur, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia), G. A. Boyarskikh, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia), V. A. Gordeev, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia), N. V. Grevtsev, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia), M. N. Khal'fin, Dr, Professor (Novocherkassk, Russia), G. G. Kozhushko, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia), V. Z. Kozin (Ekaterinburg, Russia), S. V. Kornilkov, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia), V. B. Surnev, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia), S. A. Timukhin, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia), Luiza Karsten, Dr. rer. Nat. (Hannover, Germany), Evgeny Stambulchik, PhD (Rehovot, Israel), Sergej Filippow, Dr. rer. Nat. (Hannover, Germany)

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

7 ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОСВОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
О. Н. Грязнов, И. Г. Петрова, Л. А. Стороженко

14 РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ПРОЦЕССА, ЕЕ АНАЛИЗ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ УГЛЕВОДОРОДОВ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА КАСПИЙСКОГО МОРЯ
И. В. Быстрова, Т. С. Смирнова, Д. А. Бычкова, М. С. Мелихов

18 О СЕРЕБРЯНОМ ОРУДЕНЕНИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА
Ф. А. Файзиев, А. Р. Файзиев, М. Каюмарси

23 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДНЫХ ТЕЛАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПОЛЯРНОЕ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)
Д. В. Таймасов

29 ХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ШПИНЕЛЕЙ И ОЛИВИНОВ ИЗ ХРОМИТИТОВ И ВМЕЩАЮЩИХ УЛЬТРАМАФИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЕ МАССИВА РАЙ-ИЗ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)
П. Б. Ширяев, Н. В. Вахрушева
(In English)

36 САНТАБАРБАРАИТ ИЗ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕДНОРУДЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ – ПЕРВАЯ НАХОДКА НА УРАЛЕ
В. С. Пономарев, Ю. В. Ерохин, И. В. Пеков, Н. В. Чуканов

42 МАГНИТНЫЕ СФЕРУЛЫ ИЗ ПОЧВ ВБЛИЗИ ШЛАКОВОГО ОТВАЛА НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА
А. Б. Макаров, Б. М. Осовецкий, И. А. Антонова

46 УСЛОВИЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГИПСА В РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЫ, АБХАЗИЯ)
О. Я. Червяцова, С. С. Потапов, В. И. Ракин, С. Н. Сергеев, Р. С. Дбар, Я. А. Экба

52 ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕРИЛЛИЯ В ОКСИДАХ И СИЛИКАТАХ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНОГО МИКРОЗОНДОВОГО АНАЛИЗА
В. В. Хиллер
(In English)

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

57 К ПРОБЛЕМЕ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО ЗАБАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД
В. И. Голик, Ю. И. Разоренов, Н. П. Косарев

62 ВЛИЯНИЕ НАРУШЕННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ИХ СВОЙСТВА И СОСТОЯНИЕ
О. Г. Латышев, О. О. Казак

66 МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОСАМОСВАЛАМИ В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ
Ю. И. Лель, И. В. Зырянов, Д. Х. Ильбульдин, О. В. Мусихина, И. А. Глебов

72 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБЧАТЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ
С. Я. Давыдов, Н. Г. Валиев, М. С. Филатов, Н. И. Полежаев, Г. Г. Кожушко

CONTENTS

EARTH SCIENCES

7 GEOECOLOGICAL ZONING OF DEVELOPED TERRITORIES
O. N. Gryaznov, I. G. Petrova, L. A. Storozhenko

14 DEVELOPMENT OF THE RATIONAL SCHEME OF GEOLOGICAL EXPLORATION PROCESS, ITS ANALYSIS AND SIGNIFICANCE FOR PROSPECTING AND EXPLORATION OF HYDROCARBONS AT THE RUSSIAN SECTOR OF THE CASPIAN SEA
I. V. Bystrova, T. S. Smirnova, D. A. Bychkova, M. S. Melikhov

18 ON THE SILVER MINERALIZATION OF CENTRAL TAJIKISTAN
F. A. Fayziev, A. R. Fayziev, M. Kayumarsi

23 DISTRIBUTION OF THE ORE ELEMENTS IN ORE BODIES OF THE ZAPOLYARNOYE FIELD (KOLA PENINSULA)
D. V. Taymasov

29 CHEMICAL ZONING OF SPINELS AND OLIVINES FROM CHROMITITES AND THE ENCLOSING ULTRAMAFITES OF THE RAI-IZ MASSIF TSENTRALNOYE DEPOSIT (THE POLAR URALS)
P. B. Shiryaev, N. V. Vakhrusheva
(In English)

36 SANTABARBARAITE FROM THE OXIDATION ZONE OF THE MEDNORUDYANSK FIELD IS THE FIRST FINDING IN THE URALS
V. S. Ponomarev, Yu. V. Erokhin, I. V. Pekov, N. V. Chukanov

42 MAGNETIC SPHERULES FROM THE SOILS NEAR THE SLAG DUMP OF THE NIZHNY TAGIL METALLURGICAL PLANT
A. B. Makarov, B. M. Osovetskiy, I. A. Antonova

46 CONDITIONS AND MORPHOLOGICAL FEATURES OF GYPSUM CRYSTALLIZATION IN LOOSE SEDIMENTS (ON THE EXAMPLE OF THE NOVOAFON CAVE, ABKHAZIA)
O. Ya. Chervyatsova, S. S. Potapov, V. I. Rakin, S. N. Sergeev, R. S. Dbar, J. A. Ekba

52 DETECTION OF BERYLLIUM IN OXIDES AND SILICATES BY ELECTRON-PROBE MICROANALYSIS
V. V. Khiller
(In English)

ENGINEERING SCIENCES

57 THE PROBLEM OF THE INVOLVEMENT OF THE OFF-BALANCE RESERVES OF THE METALLIC ORES INTO THE PRODUCTION PROCESS
V. I. Golik, Yu. I. Razorenov, N. P. Kosarev

62 THE INFLUENCE OF THE GEOLOGICAL MATERIAL DISTURBANCE ON ITS PROPERTIES AND CONDITION
O. G. Latyshev, O. O. Kazak

66 METHODS OF RATIONAL FUEL CONSUMPTION BY THE DUMP TRUCKS IN DEEP PITS
Yu. I. Lel', I. V. Zyryanov, D. H. Il'bul'din, O. V. Musikhina, I. A. Glebov

72 THE USE OF TUBULAR BELT CONVEYORS FOR THE INDUSTRIAL WASTE OF ENTERPRISES
S. Ya. Davydov, N. G. Valiev, M. S. Filatov, N. I. Polezhaev, G. G. Kozhushko

77 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЛЕКТОРОВ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ В ИЗВЕСТНЯКОВО-МЕРГЕЛЬНЫХ ТОЛЩАХ
В. М. Сеидов, Е. Т. Алибекова

84 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПУТЕМ ДОБАВЛЕНИЯ ИХ В СОСТАВ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ
Е. П. Волков, А. Ю. Стовманенко, А. Н. Анушенков

90 ПУСТЫЕ ПОРОДЫ И ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ – ОСНОВА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ
М. Л. Хазин, П. И. Тарасов, О. В. Голубев, В. Т. Дмитриев

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

95 ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ С УЧЕТОМ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ
И. Г. Бурцева, И. Н. Бурцев, Т. В. Тихонова

100 ПРЕДПОСЫЛКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИИ УРАЛА В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0
О. А. Романова, Д. В. Сиротин

108 СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИЙСКОГО И МИРОВОГО РЫНКА ГАЛЛИЯ
Ф. Д. Ларичкин, А. Е. Череповицын, В. Д. Новосельцева, Л. И. Гончарова

115 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТ-АУТСОРСИНГА
И. В. Ершова, Т. А. Минеева, Я. Г. Бездежская

118 ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: СТРУКТУРА, ВЗАИМОСВЯЗИ
В. Е. Стровский, О. В. Косолапов

ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА НА УРАЛЕ

123 ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНИКИ П. К. СОБОЛЕВСКОГО
В. В. Филатов

ИСТОРИЯ УГГУ

130 К СТОЛЕТИЮ НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО
Е. А. Справцева

136 СИМВОЛИКА УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО
А. Г. Шорин

77 METHODS TO EVALUATE SOME RESERVOIR CHARACTERIZATION BY MEANS OF THE GEOPHYSICAL DATA IN THE STRATA OF LIMESTONE AND MARL
V. M. Seidov, E. T. Alibekova

84 THE IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR THE UTILIZATION OF SOLID INDUSTRIAL WASTES BY MEANS OF ADDING THEM TO THE CAST OF HARDENING FILLING MIXTURES
E. P. Volkov, A. Yu. Stovmanenko, A. N. Anushenkov

90 THE PROBLEM OF USING TAILINGS AND WASTE PRODUCTS OF MINING AND PROCESSING PLANTS FOR THE CONSTRUCTION OF HIGHWAYS
M. L. Khazin, P. I. Tarasov, O. V. Golubev, V. T. Dmitriev

ECONOMIC SCIENCES

95 OPPORTUNITIES FOR DEVELOPMENT OF NON-TRADITIONAL HYDROCARBON RESOURCES IN THE TIMAN-NORTH URAL REGION, TAKING INTO ACCOUNT ECOSYSTEM SERVICES
I. G. Burtseva, I. N. Burtsev, T. V. Tikhonova

100 PREREQUISITES AND OPPORTUNITIES FOR REPOSITIONING OF THE URALS METALLURGY WITHIN THE INDUSTRY 4.0
O. A. Romanova, D. V. Sirotin

108 STATE AND PROSPECTS OF RUSSIAN AND WORLD GALLIUM MARKET
F. D. Larichkin, A. E. Cherepovitsyn, V. D. Novosel'tseva, L. I. Goncharova

115 ORGANIZATIONAL-ECONOMIC MODEL OF PROJECT-OUTSOURCING
I. V. Ershova, T. A. Mineeva, Ya. G. Bezdezhskaya

118 ECOLOGICAL AND ECONOMIC SYSTEM OF A MINING ENTERPRISE: STRUCTURE, INTERRELATIONS
V. E. Strovskiy, O. V. Kosolapov

HISTORY OF MINING IN THE URALS

123 P. K. SOBOLEVSKY'S GREATEST STUDENTS
V. V Filatov

HISTORY OF THE URSMU

130 TO THE CENTENARY OF THE SCIENTIFIC LIBRARY OF THE URAL STATE MINING UNIVERSITY
E. A. Spravceva

136 SYMBOLS OF THE URSMU
A. G. Shorin

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 550:502.7:528.9 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-7-13

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОСВОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

О. Н. Грязнов, И. Г. Петрова, Л. А. Стороженко

Geoecological zoning of developed territories

O. N. Gryaznov, I. G. Petrova, L. A. Storozhenko

The article contains information on methods of geoecological zoning carried out based on the assessment of cartographic material using geoinformation technologies for the analysis of factographic cartographic material. The proposed methodology complements the existing methodological recommendations on geological and environmental research, developed by VSEGINGEO. The paper reflects the basic principles of obtaining the initial environmental information for creation of a map evaluation model of the Salekhard Area, and the rationale for selecting factors and numerical criteria for an integrated environmental assessment of the territory, taking into account the specifics of nature-technogenic conditions of the Severnoye Priobye region (West Siberia). The article briefly describes the main natural factors of the region of research, including landscape, geological, radiation, engineering-geological, geocryological, hydrogeological factors. Separate block describes the objects of technogenic load, including technogeneally-transformed landscapes in residential areas, corridors of transport communications, industrial and energy zones, and local ecologically significant objects. Ecological significance of natural and technogenic factors affected conducted ranking of their numerical parameters of the evaluation criteria. The article shows the application of a method of expert scoring for obtaining an integral assessment of the ecological state of the geological environment and creating a map of the regionalization of the Salekhard Area. Based on obtained cartographic model, a brief analysis of the existing ecological situation in the Salekhard Area shows the territories of favorable, satisfactory, tense, and crisis ecological states. The geoinformation-integrated model serves as the basis for determination of ecologically significant factors at the points of mapping the state of the geological environment, which allows for the further development of the territory to take into account possible environmental risks and make competent design decisions.

Keywords: geoecological zoning; technogenic load; ecological map; natural conditions of Severnoye Priobye area; integral assessment of ecological state; geological environment.

В статье приведены сведения о методах геоэкологического районирования, выполняемого на основе оценки картографического материала с использованием геоинформационных технологий при анализе фактографического картографического материала. Предложенная методика дополняет существующие методические рекомендации по геолого-экологическим исследованиям, разработанные ВСЕГИНГЕО. В работе отражены основные принципы получения исходной экологической информации для создания картографической оценочной модели Салехардской площади, и выполнено обоснование выбора факторов и численных критериев для комплексной экологической оценки территории с учетом специфики природно-техногенных условий Северного Приобья. В статье кратко приводится описание основных природных факторов региона исследований, включая ландшафтные, геологические, радиационные, инженерно-геологические, геокриологические, гидрогеологические. В отдельном блоке отражены объекты техногенной нагрузки, в том числе техногенно трансформированные ландшафты в селитебных зонах, коридорах транспортных коммуникаций, зонах промышленности и энергетики и локальные экологически значимые объекты. Ранжирование численных параметров оценочных критериев природных и техногенных факторов выполнено с учетом их экологической значимости. Для получения интегральной оценки экологического состояния ГС и создания карты районирования Салехардской площади применен метод экспертных балльных оценок. На основании полученной картографической модели представлен краткий анализ сложившейся экологической ситуации Салехардской площади выделены территории благоприятного, удовлетворительного, напряженного, кризисного экологического состояния. На основе геоинформационной интегральной модели определяются экологически значимые факторы в точках картирования состояния геологической среды, что позволяет при дальнейшем освоении территории учитывать возможные экологические риски и принимать грамотные проектные решения.

Ключевые слова: геоэкологическое районирование; техногенная нагрузка; экологическая карта; природные условия Северного Приобья; интегральная оценка экологического состояния; геологическая среда.

Введение

Объективным методом оценки техногенного воздействия на геологическую среду освоенных территорий является геоэкологическое картирование: изучение и оценка состояния, состава и свойств геологической среды, сопряженных с ней приземной атмосферы и поверхностной гидросферы. Использование результатов комплексной эколого-геологической съемки и систематических наблюдений за компонентами геологической среды позволяет выполнять геоэкологическое районирование с применением геоинформационных технологий с последующим прогнозированием и моделированием возможных трансформаций под воздействием природных и техногенных процессов.

Основные принципы и методы геоэкологического районирования

Геоэкологическое районирование освоенных территорий – заключительная процедура эколого-геологического изучения. Оно базируется на интегральной оценке состояния геологической среды (ГС) с учетом максимального числа факторов, определяющих трансформацию геологической среды и связанных с ней компонентов окружающей среды. Совокупность анализируемых факторов и их оценочные критерии определяются спецификой природных условий, а также отраслевой специализацией исследуемого региона и могут быть унифицированы. Вариативность оценочных параметров зависит от наличия факторов, осложняющих объективную комплексную экологическую оценку территории. К числу ключевых и наиболее часто используемых факторов относятся: характеристики ландшафтных условий; техногенная нагрузка и нарушенность территории; характеристики водоносных горизонтов, включая их защищенность от загрязнения, а также их химический состав и степень загрязнения; загрязнение приземной атмосферы (через состояние снегового покрова); загрязнение поверхностных вод, почв, грунтов и донных отложений; развитие эндогенных, экзогенных и инженерно-геологических процессов и связанных с ними явлений и др. Все карты составляются в принятой системе условных обозначений без введения балльной оценки экологической роли факторов. При этом объективность и достоверность районирования во многом зависят от количества и качества картографических материалов, отражающих пространственное распределение факторов [1, 2].

Унифицированная методика, утвержденная нормативными документами, или государственная инструкция по геоэкологическому картированию с применением интегральной оценки экологического состояния геологической среды отсутствуют. Пионером в этом вопросе явилось Министерство геологии СССР (ныне его правопреемник – Министерство природных ресурсов

и экологии РФ), предложившее силами Всероссийского научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) методические документы по эколого-геологическому изучению урбанизированных территорий.

ВСЕГИНГЕО разработаны требования по эколого-геологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:50 000–1:25 000 (1990) [3] и Методические рекомендации по составлению эколого-геологических карт масштаба 1:200 000–1:100 000 (1996) [4]. Это обстоятельные документы, регламентирующие проведение эколого-геологического изучения территорий в системе Минприроды РФ. По результатам геоэкологических съемок названных масштабов в документах рекомендуется составление комплектов обязательных (2–6) и вспомогательных (8–16) карт по отдельным классам информации, касающейся экологического состояния компонентов геологической среды. Карты составляются в балльной системе оценок *экологической роли факторов*. Основными являются «Эколого-геологическая карта» и «Карта оценки экологического состояния среды».

Наряду с несомненными достоинствами предложенные методики отличаются рядом существенных неудобств, затрудняющих их широкое использование: сложной системой оценок отдельных показателей; условностью численной градации оценок показателей по категориям загрязнения; «разноразмерностью» балльной оценки различных показателей, характеризующих состояние отдельных сред (интегральный критерий оценки состояния ГС заменен средними значениями, что не отражает суммарного воздействия факторов на состояние ГС); информационной перегруженностью результирующих карт (эколого-геологической и оценки экологического состояния), их затрудненным восприятием.

В дополнение к рассмотренным методикам может быть предложена методика, позволяющая провести геоэкологическое районирование территории как по результатам специализированных съемочных работ, так и с использованием материалов геологоразведочных работ по более простой схеме. Методика геоэкологического районирования освоенных территорий была разработана на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета.

Предложенная методика была апробирована при проведении комплексных оценок экологического состояния ГС территорий разной степени освоенности, а именно территории г. Екатеринбурга и Песчанско-Воронцовского рудного поля в 1998–2002 гг. [1]. В 2002–2003 гг. методический подход был несколько трансформирован для территорий, находящихся на ранней стадии урбанизации, и использован для геоэкологического картирования Собско-Райизской площади Полярного Урала [5]. В 2004–2008 гг. по материалам комплексных (геологической, гидрогеологической, инженерно-геологической и геоэкологической) съемок масштаба 1:50 000 Салехардской и Надымской площадей ЯНАО методика геоэкологического районирования была унифицирована с применением ГИС-технологий [6, 7].

Предлагаемая методика базируется на следующих принципах:

– максимальный учет природных и техногенных факторов, определяющих состояние ГС;

– картографическое отражение площадного распространения всех классов факторов в их реальном выражении (принятой легенде условных знаков) без «ранжирования» по степени *экологического воздействия* (фактографический принцип); комплект аналитических карт зависит от числа факторов, определяющих геоэкологическую обстановку изучаемой территории; результирующими являются эколого-геологическая карта и карта геоэкологического районирования территорий;

– принцип экспертных оценок экологической роли факторов; предлагается 10-балльная шкала оценки факторов по их негативному воздействию на состояние ГС (принцип негативности отрицательной роли факторов); это позволяет оценить любую информацию (факторы всех классов) с одних позиций; достоверность субъективных оценок определяется квалификацией и числом экспертов;

– принцип равномерности оценки информации (геоэкологической роли факторов); с этой целью все частные карты (по всем классам факторов) составляются в одних границах (листов соответствующего масштаба или обусловленных границах прямоугольных планшетов); площадь каждой карты разбивается на квадраты со сторонами 1–2 см в зависимости от размеров площади и сложности природных и техногенных условий территорий; среднеарифметическая (или средневзвешенная по площади) оценка в баллах по факторам каждого класса привязывается к центру квадрата;

– принцип интегральной оценки информации при составлении карты геоэкологического районирования; в каждой точке оцениваются все проявленные факторы; средние баллы суммируются; максимальная сумма баллов в каждой точке: Б = 10 n, где n – количество классов информации (классов факторов). Геоэкологическое состояние территорий в зависимости от суммы баллов может быть оценено по следующей шкале: (1–2)n – благоприятное, (2–4)n – удовлетворительное, (4–6)n – напряженное, (6–8)n – кризисное, (8–10)n – чрезвычайное (катастрофическое).

Геоэкологическое районирование Салехардской площади

Проиллюстрируем применение методики на примере Салехардской площади Северного Приобья.

Район характеризуется суровыми климатическими условиями на широте Северного Полярного круга, проходящего через г. Салехард. Низкие среднегодовые температуры, отрицательный радиационный тепловой баланс, сильные ветры предопределили современное существование многолетнемерзлых пород, влагообеспеченность территории и особенности почвенного и растительного покровов. Территория Северного Приобья находится в переходной зоне тундр и лесотундры. Условия существования и миграции загрязняющих веществ, их накопление обусловлены приуроченностью площади к бореально-субарктической ландшафтной зоне и наличием разных типов элементарных ландшафтов (элювиальных, трансэлювиальных, супераквальных и др.).

Породы геологического основания (литогенная основа ландшафтов) является источником поступления химических веществ в аэрогенную и гидрогенную среды. В основании разреза залегают отложения неогеновой системы плиоценового возраста, сложенные породами новопортовской, мыскаменской толщ и тиутейяхской свиты. Это ледниково-морские, аллювиальные и аллювиально-морские отложения глинистого, супесчано-суглинистого, песчаного состава с гравийно-галечниковым материалом. Выше залегают отложения четвертичной системы, представленные осадками эоплейстоцена, неоплейстоцена и голоцена.

Для оценки экологического состояния геологической среды наибольший интерес представляют делювиально-солифлюкционные, аллювиальные отложения I надпойменной террасы и поймы, а также озерно-болотные, озерно-аллювиальные отложения голоцена, залегающие с поверхности и являющиеся почвообразующими породами в границах элементарных ландшафтов.

Характерная черта территории – приуроченность ее к зоне сплошного развития эпигенетически промерзших пород с островами талых. Вертикальное строение мерзлых толщ сложное. Здесь выделяются многолетнемерзлые породы (ММП) однослойного и двухслойного строения с развитием современных и реликтовых толщ. Таликовые зоны представлены сквозными таликами под руслами р. Обь, Полуй, а также несквозными подрусловыми таликами малых рек и щелевидными талыми зонами водораздельных пространств. Глубина залегания кровли многолетнемерзлых пород с поверхности либо с глубины 2–10 м, в целом же для территории характерно неравномерное распределение мерзлых пород как по площади, так и по глубине [8].

Температурный режим пород характеризуется довольно мягкими значениями температур от –3 °С до +1,5 °С, что способствует быстрому переходу пород в талое состояние и негативно сказывается на геоэкологических условиях Северного Приобья.

Недостаточная теплообеспеченность, избыточное увлажнение, наличие многолетнемерзлых пород создают благоприятную обстановку для развития широкого ряда экзогенных процессов и явлений.

Выделены следующие доминирующие группы экзогенных геологических процессов с основными формами проявления этих процессов в рельефе:

– криогенные, обусловленные годовыми и многолетними колебаниями теплообмена на земной поверхности: морозобойное и диагенетическое растрескивание, термокарст, морозное пучение;

– флювиальные, абразионные и водно-балансовые, обусловленные тепловым и механическим воздействием водных масс на оттаивающие и мерзлые породы, годовыми колебаниями теплообмена на поверхности, колебаниями водного баланса поверхности: заболачивание, речная и овражная эрозии;

– гравитационные процессы, обусловленные гравитацией, поверхностным и внутригрунтовым стоком вод, годовыми колебаниями теплообмена на поверхности: осыпи, оползни, солифлюкции [9].

В качестве критерия оценки развития и масштабности экзогенных геологических процессов используется коэффициент пораженности территории.

Четвертичные отложения изучаемой территории являются основными водовмещающими породами. По положению водовмещающих пород относительно многолетнемерзлых пород в районе исследований выделяют следующие типы подземных вод в четвертичных отложениях: подземные воды сквозных таликов; надмерзлотные подземные воды несквозных таликов; надмерзлотные подземные воды присклоновых таликов; межмерзлотные подземные воды; подмерзлотные подземные воды.

Все горизонты и комплексы плиоцен-четвертичных отложений относят к криогенно-таликовым, а водоносный комплекс, связанный с рекой Обь, является таликовым.

Для всех водоносных горизонтов и комплексов характерно совпадение областей питания и распространения. Питание в основном происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, сезонного протаивания многолетнемерзлых пород, перетекания подземных вод соседних горизонтов через проницаемые «окна» в литологических и криогенных водоупорах. Основное направление разгрузки подземных вод – р. Обь и ее притоки.

Подземные воды в районе исследований пресные, минерализация в основном не превышает 0,5 г/дм^3, по составу преимущественно гидрокарбонатные кальциевые, магниевые. В целом для региона характерно повышенное содержание в подземных водах железа и марганца, кремнекислоты, иногда нефтепродуктов.

В настоящее время в районе исследований действуют водозаборы подземных вод, эксплуатирующие подземные воды нескольких водоносных горизонтов и комплексов. В целом анализ гидрогеологических условий позволяет говорить о недостаточной обеспеченности района подземными водами, и при сценарии дальнейшего интенсивного освоения будет наблюдаться значительный их дефицит.

Основные виды воздействия на компоненты природной среды Северного Приобья связаны с наличием техногенных объектов и выражаются в механических нарушениях и химическом загрязнении почв, грунтов, донных отложений, поверхностных и подземных вод. Механические нарушения земель обусловлены необходимостью проведения вертикальной перепланировки местности и перемещения почв и грунтов, а также подсыпкой или их срезкой. Загрязнение компонентов геологической среды происходит почти при любой хозяйственной деятельности и выражается повышенными по отношению к фону концентрациями химических элементов и соединений. В совокупности с инженерными объектами данные преобразования ГС приводят к формированию техногенных и техногенно трансформированных природных ландшафтов.

Анализ экологических условий территории позволил выполнить функциональное зонирование территории и выделить техногенные объекты и комплексы, которые негативно влияют на состояние окружающей среды: селитебный комплекс, промышленно-эксплуатационный комплекс, транспортный комплекс, сельскохозяйственный комплекс, топливно-энергетический комплекс, которые на территории сосредоточены локально.

Интегральная эколого-геологическая оценка Салехардской площади базировалась на результатах анализа природных условий и техногенной нагрузки. При выборе критериев эколого-геологической оценки учитывались приуроченность территории к интразональной ландшафтной области долинного комплекса Оби, широкое развитие многолетнемерзлых пород и экзогенных геологических процессов. В качестве критериев оценки экологического состояния ГС использовались следующие классы информации:

– ландшафтный, определяющий условия миграции и накопления элементов, критерием оценки которых являются типы геохимических ландшафтов;

– геохимический – показателем является химическое и минеральное загрязнение почв, пород зоны аэрации и донных отложений, выраженное через суммарный показатель химического загрязнения Z_c, химическое загрязнение природных вод нефтяными углеводородами и соединениями азота, нормированные через ПДК [10];

– радиоактивность и радиоактивные элементы, оцениваемые через показатель гамма-активности пород и по содержанию техногенных радионуклидов Cs-137, Sr-90 в различных средах;

– экзогенные геологические процессы – критерием оценки является коэффициент пространственной пораженности, оцениваемый в долях единицы и равный отношению площади пораженной части ландшафта к площади территории (по материалам дешифрирования);

– защищенность подземных вод от загрязнения, критерий оценки – наличие криогенного водоупора, в таликовой области – наличие водоупоров и коэффициент фильтрации пород зоны аэрации [11];

– техногенная нагрузка, оцениваемая экспертно по условиям современного преобразования ландшафтов и наличию инженерных сооружений.

Согласно анализу ландшафтно-геологической приуроченности участков различной степени антропогенной трансформации и на основании дифференцированного подхода выполнена интегральная оценка экологического состояния ГС, результаты которой представляют картографическую модель. Таким образом, карта является синтезом оценки систематизированной на аналитических картах информации с ранжированием ее на классы состояний. По каждому из перечисленных классов факторов составлены соответствующие аналитические карты.

Для получения интегральной оценки экологического состояния ГС и создания карты районирования Салехардской площади применен метод экспертных балльных оценок. Суть данного метода заключается в использовании для получения значения интегрального показателя мнения экспертов – квалифицированных специалистов, привлекаемых для оценки всех факторов. В качестве основного методического приема для получения балльных оценок используется индивидуальная экспертиза влияния природных факторов на формирование экологической обстановки. Результатом экспертизы экологической роли факторов явилось создание таблицы, в которой приведены критерии оценки экологического состояния геологической среды Салехардской площади, численные показатели каждого критерия и вес каждого показателя в баллах (таблица). По каждому классу факторов рассчитывается среднеарифметическая оценка.

В качестве основы принята 10-балльная шкала, и все используемые критерии ранжируются по ней. Таким образом, качественные показатели преобразуются в количественные с учетом веса каждого фактора, определяющего современное состояние ГС.

Построение карты геоэкологического районирования Салехардской площади осуществлено путем подсчета суммы баллов по средним значениям по точкам «сетки-грида» [12, 13]. При этом произведено ранжирование экологической роли каждого класса факторов в точке подсчета путем последовательного расположения номеров классов по их значению (от большего к меньшему).

При $n = 6$ классах факторов, определяющих экологическое состояние ГС Салехардской площади, максимальное значение интегрального показателя N негативного (катастрофического) состояния среды будет составлять $10n = 60$ баллов. Благоприятное экологическое состояние ГС определяется значением показателя $N \leq 12$, удовлетворительное $12 < N \leq 24$, напряженное $24 < N \leq 36$, кризисное $36 < N \leq 48$ и катастрофическое (чрезвычайное) $48 < N \leq 60$.

Факторы и критерии оценки экологического состояния геологической среды Салехардской площади.

Классы факторов	Индекс фактора на карте	Фактор и критерий его оценки	Интегральная оценка экологического состояния ГС. Численные оценки критерия (в скобках баллы – оценки экологического состояния): Благоприятное	Удовлетворительное	Напряженное	Кризисное	Чрезвычайное
Ландшафтный	1	Ландшафт элементарный (по баллам экологического состояния)	Элювиальный (преобладает вынос) (2)	Трансэлювиальный (транзитный) (4)	Супераквальный (привнос–вынос) (6)	Аквальный (привнос–вынос) (8)	Субаквальный Суперсубаквальный (преобладает привнос) (10)
Геохимический	2	Химическое и минеральное загрязнение почв грунтов и донных отложений (по Z_c)	$0 < Z_c \le 8$ (2)	$8 < Z_c \le 16$ (4)	$16 < Z_c \le 32$ (6)	$32 < Z_c \le 64$ (8)	$64 < Z_c \le 128$ (10)
		Химическая загрязненность природных вод нефтепродуктами, NO_2, NO_3, NH_4	Ci < 1ПДК (2)	Ci = (1 – 2) ПДК (4)	Ci = (3 – 4) ПДК (6)	Ci = (5 – 6) ПДК (8)	Ci > 6 ПДК (10)
Радиоактивность и радиоактивные элементы	3	Радиоактивность по показателю γ- активности пород R, мкР/ч	$0 < R \le 10$ (2)	$10 < R \le 20$ (4)	$20 < R \le 30$ (6)	$30 < R \le 40$ (8)	$R > 40$ (10)
		Радионуклиды Cs-137, Sr-90 (по сопоставлению с фоном $C_ф$)	$Ci \le C_ф$ (2)	$Ci = (1 – 15)\ C_ф$ (4)	$Ci = (15 – 30)\ C_ф$ (6)	$Ci = (30 – 45)\ C_ф$ (8)	$Ci > 45\ C_ф$ (10)
Экзогенные геологические процессы	4	Распространенность экзогенных геологических процессов (по коэффициенту площадной пораженности)	$0 < K_п \le 0,1$ (2)	$0,1 < K_п \le 0,2$ (4)	$0,2 < K_п \le 0,3$ (6)	$0,3 < K_п \le 0,4$ (8)	$K_п > 0,4$ (10)
Защищенность подземных вод	5	Распространение ММП по площади и в разрезе (в баллах экологического состояния)	Криогенный водоупор (2)	Несквозные присклоновые талики мощность талой части 2–50 м (4)	Несквозные талики с маломощными линзами ММП, мощность талой части более 50 м (6)	Сквозные талики (8–10)	
		Наличие водоупорных горизонтов в таликовых зонах (в баллах экологического состояния)	Алевриты и глины $K_ф < 0,001$ (2)	Суглинки легкие $0,001< K_ф \le 0,01$ (4)	Супеси $0,01< K_ф \le 0,1$ (6)	Пески $K_ф > 0,1$ (8–10)	
Техногенная нагрузка	6	Техногенные ландшафты (в баллах экологического состояния): - сельскохозяйственный - селитебный - промышленный	(2)	(4)[1]	(6)[2]	(8)	(10)
		Трансформированные ландшафты и коридоры коммуникаций (в баллах экологического состояния)	(2)	(4)	(6)	(8)	
		Инженерные сооружения вне техногенных ландшафтов и экологически опасные объекты (в баллах)	(2)	(4)[3]	(6)[4]	(8)[5]	(10)[6]
Сумма баллов			12	24	36	48	60

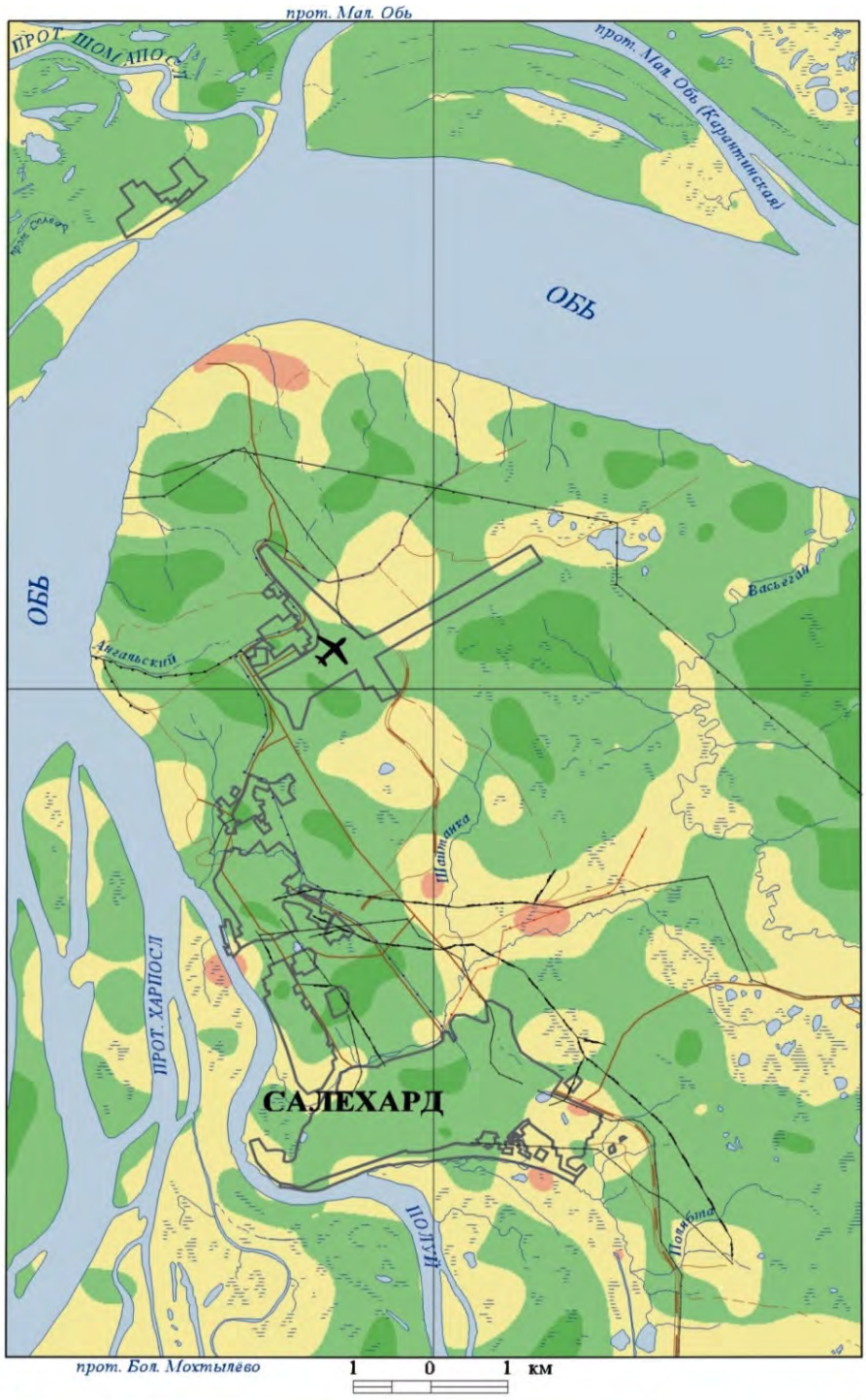
[1]Огороды, приусадебные участки; [2]сельхозопытная станция, молочно-товарная ферма, звероферма; [3]водозабор, метеостанция; [4]карьеры, кладбища, газовая ТЭС, свалки, металлолома, затопленные теплоходы, баржи, катера; водозабор с загрязненными подземными водами; [5]котельные на жидком топливе, переведенные на газ; асфальтобетонные автомобильные дороги; [6]городские очистные сооружения, нефтебазы, АЗС, асфальтобетонный завод, нефтепроводы, причалы перегрузки нефтепродуктов.

Карта геоэкологического районирования Салехардской площади представлена на рис. 1. Чтобы «вспомогательная» информация не мешала восприятию геоэкологического районирования площади, точки подсчета с ранжированием экологического значения факторов вынесены на отдельный планшет (рис. 2).

Выводы

Анализ экологической ситуации, отображенной на карте, свидетельствует о следующем.

1. Большая часть площади характеризуется благоприятным и удовлетворительным экологическим состоянием ГС. Это северная и западная части площади, включая склоны возвышенности Ангальского мыса с лесным ландшафтом, преобладающая часть городской территории вплоть до р. Полябта, правый борт долины р. Оби от водозабора до устья р. Васьеган, часть водораздела р. Шайтанка–Васьеган, междуречье р. Шайтанка–Полябта, Шайтанка–Хасырей, верховье р. Полябты, левый берег р. Обь,



Сумма баллов	12	24	36	48	60
Цвет на карте					
Интегральная оценка экологического состояния ГС	благоприятная (норма)	удовлетворительная (умеренно благоприятная)	напряженная (умеренно неблагоприятная)	кризисная (неблагоприятная)	катастрофическая (чрезвычайная)

Рисунок 1. Карта геоэкологического районирования Салехардской площади Северного Приобья.

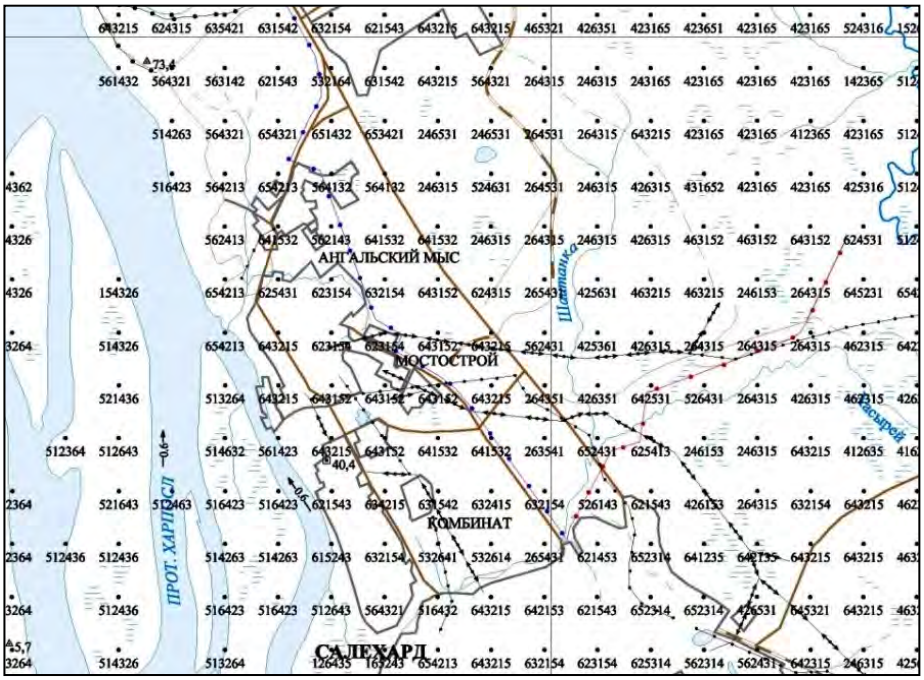


Рисунок 2. Фрагмент карты геоэкологического районирования Салехардской площади (вне масштаба). *Ранжирование факторов экологической оценки в точках грида (индекс по таблице).*

острова Карантинский, Савва-Пугол и др. При различной роли факторов в ареалах благоприятного и удовлетворительного состояния их интегральное воздействие не влечет негативных преобразований ГС.

2. Напряженная экологическая обстановка, связанная с недостаточной защищенностью подземных вод, развитием экзогенных геологических процессов (эрозионных, криогенных, заболачивания), загрязнением почв, грунтов, горных пород и донных отложений, интенсивной техногенной нагрузкой, сложилась в береговой зоне р. Оби, в долинах Васьегана, Шайтанки, Полябты, в урочище Хасырей, в ряде участков междуречья Обь–Полуй, в районе Аэропорта, в таликовой зоне на продолжении взлетно-посадочной полосы и коридоре газопровода, в промышленной, сельскохозяйственной и отчасти жилой зонах юго-восточного сектора г. Салехарда.

3. Кризисная экологическая ситуация выявлена в районе паромной переправы мыса Корчаги, в районе старого карьера строительных песков и остатков 501 стройки железной дороги на правом берегу р. Шайтанки, на путях транспортировки канализационных отходов в районе очистных сооружений в пределах урочища Хасырей, на территории, подверженной трансформации ГС под воздействием хозяйственной деятельности населения, в зоне влияния региональной сельскохозяйственной опытной станции в долине р. Полябта, в районе станции водоподготовки в северо-восточной окраине города, в районе нефтехранилища и месте захоронения судов и барж на левом берегу р. Полуй. Основными факторами, определяющими кризисную обстановку на данных территориях, являются: интенсивная и плотная техногенная нагрузка, а также приуроченность территории к зоне распространения сквозных таликов и, следовательно, характеризующихся низкой степенью защищенности подземных вод от проникновения загрязняющих компонентов. На локальных участках с кризисной экологической обстановкой основной вклад в общую негативную ситуацию вносят наличие природных и техногенных геохимических аномалий в почвах и грунтах, а также высокие значения коэффициента пораженности экзогенными геологическими процессами.

4. Результаты геоэкологического районирования Салехардской площади могут быть использованы для принятия управленческих решений при планировании городской застройки, размещении предприятий промышленного, транспортного, сельскохозяйственного, коммунально-бытового комплексов, выборе и оборудовании рекреационных зон, анализа региональных экологических условий северных территорий Ямало-Ненецкого автономного округа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грязнов О. Н, Брусницын В. Д., Бордокова В. Г. Методические основы геоэкологического районирования урбанизированных территорий (на примере Воронцовского рудного поля, Сев. Урал) // Изв. УГГУ. Сер. «Геология и геофизика». 2002. Вып. 15. С. 243–252.
2. Стурман В. И. Экологическое картографирование. М. Аспект-Пресс, 2003. 251 с.
3. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:50 000–1:25 000 / М. С. Галицын [и др.]. М: ВСЕГИНГЕО, 1990. 127 с.
4. Островский В. Н., Островский Л. А. Методические рекомендации по составлению эколого-геологических карт масштаба 1:20 000–1:100 000. М.: ВСЕГИНГЕО, 1996. 61 с.
5. Петрова И. Г. Оценка экологического состояния геологической среды Собско-Райизской площади Полярного Урала на ранней стадии урбанизации: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2004. 17 с.
6. Отчет по комплексной гидрогеологической, инженерно-геологической и геоэкологической съемке масштаба 1:50 000 листа Q-42-50-A (Салехард) / О. Н. Грязнов [и др.]. Екатеринбург, 2004.
7. Стороженко Л. А. Геоэкологическое районирование Северного Приобья с применением компьютерных технологий: автореф. ... дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2008. 18 с.
8. Грязнов О. Н. Абатурова И. В. и др. Инженерно-геологические условия долинных областей криолитозоны Ямало-Ненецкого автономного округа и их трансформация под воздействием техногенеза. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 198 с.
9. Абатурова И. В., Стороженко Л. А., Петрова И. Г., Савинцев И. А. Строение и закономерности распространения многолетнемерзлых пород в северной геокриологической зоне (на примере г. Салехард) // Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: Изд-во РУДН, 2016. Вып.18. С. 531–536.
10. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайно экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Минприроды РФ, 1992. 37 с.
11. Гольдберг В. М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 262 с.
12. Кошкарев А. В., Каракин В. П. Региональные геоинформационные системы. М.: Наука, 1987. 126 с.
13. Pereira P., Brevik E., Muñoz-Rojas M., Miller B. Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management. Elsevier, 2017. 398 p.

REFERENCES

1. Gryaznov O. N., Brusnitsyn V. D., Bordokova V. G. 2002, *Metodicheskie osnovy geoekologicheskogo rayonirovaniya urbanizirovannykh territoriy (na prim-*

ere Vorontsovskogo rudnogo polya, Severnyi Ural) [Methodical basis of geoecological zoning of urbanized territories (on the example of the Vorontsov ore field, North Ural)]. *Izv. UGGU. Seriya «Geologiya i geofizika»* [News of the Ural State Mining University. Series "Geology and Geophysics"], no. 15, pp. 243–252.
2. Sturman V. I. 2003, *Ekologicheskoe kartografirovanie* [Ecological mapping], Moscow, 251 p.
3. Galitsyn M. S. et al. 1990, *Trebovaniya k geologo-ekologicheskim issledovaniyam i kartografirovaniyu masshtaba 1:50 000–1:25 000* [Requirements for geological and ecological research and mapping at a scale of 1:50 000-1: 25 000], Moscow, 127 p.
4. Ostrovskiy V. N., Ostrovskiy L. A. 1996, *Metodicheskie rekomendatsii po sostavleniyu ekologo-geologicheskikh kart masshtaba 1:20 000–1:100 000* [Methodological recommendations for compiling ecological-geological maps at a scale of 1:20 000-1: 100 000], Moscow, 61 p.
5. Petrova I. G. 2004, *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya geologicheskoy sredy Sobsko-Rayizskoy ploshchadi Polyarnogo Urala na ranney stadii urbanizatsii: avtoref. dis. … kand. geol.-mineral. nauk* [Assessment of the ecological state of the geological environment of the Sobsko-Rayizsky area of the Polar Urals in the early stage of urbanization: dissertation of the candidate of geological-mineralogical sciences], Ekaterinburg, 17 p.
6. Gryaznov O. N. et al. 2004, *Otchet po kompleksnoy gidrogeologicheskoy, inzhenerno-geologicheskoy i geoekologicheskoy s"emke masshtaba 1:50 000 lista Q-42-50-A (Salekhard)* [Report on the integrated hydrogeological, geotechnical and geoecological survey at a scale of 1:50 000 sheets K-42-50-A (Salekhard)], Ekaterinburg.
7. Storozhenko L. A. 2008, *Geoekologicheskoe rayonirovanie Severnogo Priob'ya s primeneniem komp'uternykh tekhnologiy: dis. … kand. geol.-mineral. nauk* [Geoecological zoning of the Severnoye Priobye region with the use of computer technologies: the dissertation of the candidate of geological-mineralogical sciences], Ekaterinburg, 18 p.
8. Gryaznov O. N., Abaturova I. V. et al. 2014, *Inzhenerno-geologicheskie usloviya dolinnykh oblastey kriolitozony Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga i ikh transformatsiya pod vozdeystviem tekhnogeneza* [Engineering-geological conditions of valley regions of the permafrost zone of the Yamal-Nenets Autonomous District and their transformation under the influence of technogenesis], Ekaterinburg, 198 p.
9. Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Petrova I. G., Savintsev I. A. 2016, *Stroenie i zakonomernosti rasprostraneniya mnogoletnemerzlykh porod v severnoy geokriologicheskoy zone (na primere goroda Salekhard)* [Structure and regularities of the distribution of permafrost rocks in the northern geocryological zone (on the example of Salekhard)]. *Sergeevskie chteniya: materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoy geologii i gidrogeologii* [Sergeevsky readings: materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology], Moscow, no.18, pp. 531–536.
10. 1992, *Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territorii dlya vyyavleniya zon chrezvychayno ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya* [Criteria for assessing the ecological situation of the territories for identifying zones of emergency ecological situation and zones of ecological disaster], Moscow, 37 p.
11. Gol'dberg V. M., Gazda S. 1984, *Gidrogeologicheskie osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya* [Hydrogeological basis of protection of groundwater from pollution], Moscow, 262 p.
12. Koshkarev A. V., Karakin V. P. 1987, *Regional'nye geoinformatsionnye sistemy* [Regional Geoinformation Systems], Moscow, 126 p.
13. Pereira P., Brevik E., Muñoz-Rojas M., Miller B. 2017, Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management, Elsevier, 398 p.

Олег Николаевич Грязнов,
Gryaznov.O@ursmu.ru
Ирина Геннадьевна Петрова,
Igp05@mail.ru
Любовь Александровна Стороженко,
Stor_Luba@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Oleg Nikolaevich Gryaznov,
Gryaznov.O@ursmu.ru
Irina Gennad'evna Petrova,
Igp05@mail.ru
Lyubov' Aleksandrovna Storozhenko,
Stor_Luba@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 553.982.2 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-14-17

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО ПРОЦЕССА, ЕЕ АНАЛИЗ И ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ УГЛЕВОДОРОДОВ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

И. В. Быстрова, Т. С. Смирнова, Д. А. Бычкова, М. С. Мелихов

Development of the rational scheme of geological exploration process, its analysis and significance for prospecting and exploration of hydrocarbons at the russian sector of the Caspian sea

I. V. Bystrova, T. S. Smirnova, D. A. Bychkova, M. S. Melikhov

To conduct a justified assessment of the perspective resources of the Caspian Sea and adjacent territories, the authors develop a rational scheme of the geological exploration process with its analysis and identification of significance for hydrocarbon exploration in the northern part of the Caspian Sea. The paper outlines the methodological approaches and concepts of introducing this scheme in search for oil and gas. This allows us to justify and select the optimal set of research methods at various stages of oil and gas production. The system of structure and principles of organization scheme of the geological prospecting process allow to identify the optimal complexes of methods of geological-geophysical and other studies for these stages. The article provides information confirming the necessity of developing and implementing this scheme in the geological exploration process of the studied territory. The necessary development of opportunities in carrying out this work fundamentally changes the qualitative aspect of the geological exploration process. The facts presented in the article allow to study in detail the structures of the shelf zone, the thicknesses and composition of productive subsalt deposits, and to trace their interrelation with continental structural elements. The paper shows the importance of providing, at different levels, a rationale and choice of an optimal set of research methods at different stages of oil and gas prospecting during the development of a rational geological exploration scheme for hydrocarbons in water areas. This paper presents a proposed block diagram of a marine geological prospecting process for hydrocarbons. It describes the sequence of performing the types of work at the regional, exploratory and exploration stages. For each stage of the study, the authors set the tasks, determine the objects of research, methods of geological and geophysical research and their results, and determine methods for engineering-geological investigations. Environmental studies gain particular attention, due to the stringent requirements for geological exploration of oil and gas at all stages. For these purposes, the authors strongly recommend to carry out regional environmental monitoring to assess the impact of geological exploration on the environment.

Keywords: platform; water area; gravimetry; magnetometry; geochemical survey; exploration and evaluation stage; ecological monitoring; storage tank; seismic prospecting; collectors; tires; hydrocarbons.

Для проведения обоснованной оценки перспективных ресурсов Каспийского моря и сопредельных территорий разрабатывается рациональная схема геологоразведочного процесса с ее анализом и выявлением значения для поисков и разведки углеводородов в северной части Каспийского моря. Изложены методологические подходы и концепции внедрения данной схемы при поисках нефти и газа. Это позволяет обосновать и выбрать оптимальный комплекс методов исследований на разных этапах нефтегазопромысловых работ. Система структуры и принципы организации схемы геологоразведочного процесса позволяют выявить оптимальные комплексы методов геолого-геофизических и других исследований к этим этапам. В статье приводятся сведения, подтверждающие необходимость разработки и внедрения этой схемы в геологоразведочный процесс изучаемой территории. Необходимое развитие возможностей в проведении данной работы кардинально меняет качественную сторону геологоразведочного процесса. Приведенные в статье факты позволяют более детально изучить структуры шельфовой зоны, мощности и состав продуктивных подсолевых отложений, а также проследить их связь с континентальными структурными элементами. В работе показано, насколько важно при разработке рациональной схемы геологоразведочного процесса на углеводороды в водных акваториях на разных уровнях обеспечить обоснование и выбор оптимального комплекса методов исследований на разных этапах нефтегазопоисковых работ. В данной работе предложена блок-схема морского геологоразведочного процесса на углеводороды. В ней излагается последовательность выполнения видов работ на региональном, поисковом и разведочном этапах. Для каждого этапа исследования ставятся задачи, определяются объекты исследования, методы геолого-геофизических исследований и их результаты, определяются методы инженерно-геологических изысканий. Уделяется особое внимание экологическим исследованиям, которое объясняется жесткими требованиями к проведению геологоразведочных работ на нефть и газ на всех этапах. Для этих целей настоятельно рекомендуется проведение регионального экологического мониторинга, предназначенного для оценки воздействия геологоразведочных работ на окружающую среду.

Ключевые слова: платформа; акватория; гравиметрия; магнитометрия; геохимическая съемка; поисково-оценочный этап; экологический мониторинг; резервуар; сейсморазведка; коллекторы; покрышки; углеводороды.

Промышленное освоение Каспийского региона насчитывает более чем 150-летнюю историю, а освоение морских месторождений началось с 1920–1930-х гг. Однако следует отметить, что изученность исследуемого региона до сих пор является недостаточной для проведения обоснованной оценки перспективных ресурсов Российского сектора Каспийского моря и сопредельных территорий. Особенно слабо в этом отношении изучен Северный и Средний Каспий [1].

Следовательно, для решения данной проблемы необходимо разработать и внедрить рациональную схему геологоразведочного процесса при поиске углеводородов в северной части Каспия. Это позволит более детально изучить структуры в этой части моря, мощности и состав продуктивных подсолевых (девон-нижнепермских) отложений и их связи с континентальными структурными элементами [2]. Значительную перспективу могут представлять также «поднадвиговые» каменноугольно-пермские и, возможно, триасовые отложения на морском продолжении кряжа Карпинского, находящиеся, согласно результатам анализа и обобщения фактического (геолого-геофизического) материала, в обстановке менее интенсивных тектонических движений, чем их континентальные аналоги [3].

По-видимому, требует значительно более детального анализа и освещения орогенная стадия геологической истории всей Прикаспийской впадины в целом вместе с прилегающими районами современной суши. Ее восстановление позволит понять условия формирования отдельных комплексов разреза данной впадины и особенности распределения углеводородного потенциала в разных ее частях. Переоценка потенциальных ресурсов на современной методологической и фактической базе приведет к открытию новых перспективных зон и позволит подготовить к бурению как мелководную, так и глубоководную части Каспийского моря [4].

Разработка рациональной схемы геологоразведочного процесса на нефть и газ в исследуемом регионе включает обоснование и выбор оптимального комплекса методов исследований на разных этапах нефтегазопоисковых работ [5]. При этом не-

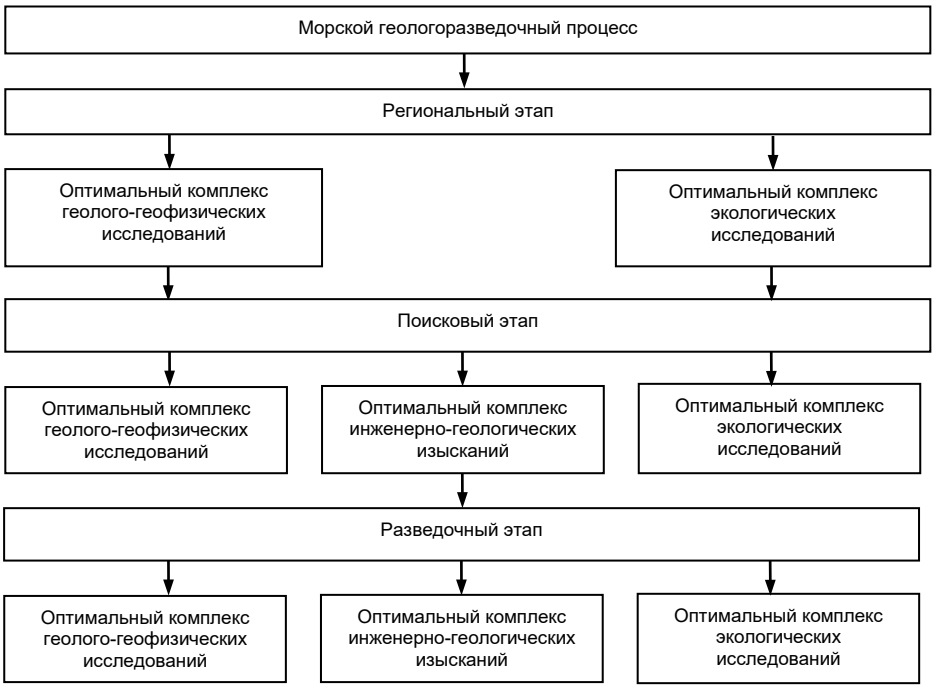


Рисунок 1. Блок-схема морского геологоразведочного процесса.

обходимо учитывать природные, геологические и экологические условия. Комплексный анализ получаемой информации, объединение всех элементов работ в определенной логической последовательности и определение порядка (методики) их выполнения позволяют рассмотреть морские геологоразведочные процессы на нефть и газ как диалектическую систему взаимосвязанных оптимальных геолого-геофизических, инженерно-геологических и экологических методов получения, обработки и интерпретации информации на разных этапах нефтегазопоисковых работ [6].

Блок-схема морского геологоразведочного процесса на нефть и газ отражает закономерность выполнения отдельных видов работ на региональном, поисковом и разведочном этапах (рис. 1).

Рациональная схема геологоразведочного процесса на нефть и газ в северной акватории Каспийского моря разработана на основе полученных результатов геолого-геофизических, инженерно-геологических и экологических исследований.

На базе теоретических и эмпирических данных с учетом разработанной методики интерпретации полученных результатов проводятся обоснование и выбор оптимального комплекса методов исследований на разных этапах нефтегазопоисковых работ [7].

На региональном этапе объектами изучения являются нефтегазоперспективные участки и геологические структуры с учетом их вертикальной и горизонтальной зональности. Оптимальный комплекс геолого-геофизических методов исследований включает гравиметрию, магнитометрию, сейсморазведку МОВ (МОГТ), для определенных районов корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), геохимическую съемку. Результатами данных исследований являются тектонические схемы, региональные структурные карты и схемы, прогнозные оценки ресурсов углеводородов, а также логические геологические модели и рекомендации по направлению дальнейших работ.

С учетом большой площади изучаемой территории необходимо максимально использовать уже имеющуюся информацию прошлых лет и результаты региональных геофизических съемок. Очень важно, особенно в районах с жесткими экологическими требованиями, сократить до необходимого и достаточного объем новых работ без ущерба качества всего комплекса исследований за счет комплексирования имеющейся разнородной геолого-геофизической информации.

Важно понять с точки зрения экологии в частности, что в случае недостаточного объема региональных исследований при, казалось бы, сокращении объемов сейсмической и других геофизических съемок на региональном этапе недостаток информации кратно увеличит объем таких исследований на поисково-оценочном этапе, что будет иметь негативные последствия в более поздний срок проведения работ.

Целесообразно при этом использовать методику оперативной интерпретации по мере поступления новых данных. Для каждой площади региональных исследований ограничиться стадией изучения, при которой получение новых геолого-геофизических данных существенно не уточняет геологическое строение изучаемой территории. Предлагаемая методология при проведении морских геологоразведочных работ не относится к бурению [8].

В морских условиях из-за высокой стоимости нелесообразно и, как правило, не проводится опорное и параметрическое бурение, которые являются типовым комплексом работ на региональном этапе. При геологических построениях используются результаты бурения прошлых лет на сопредельных территориях. В связи с этим не выполняются и инженерно-геологические изыскания, целью которых является обеспечение безопасности постановки буровой платформы и бурения скважин.

Экологические исследования включают региональный экологический мониторинг, предназначенный для оценки воздействия геологоразведочных работ на окружающую среду.

На поисковом этапе изучаются перспективные структуры, ловушки нефти и газа, покрышки, коллектора и месторождения углеводородов. В оптимальный комплекс геолого-геофизических методов исследований входят сейсморазведка МОГТ-2Д, дифференциально-нормированный метод электроразведки (ДНМЭ), прогнозирование коллекторов и УВ-насыщения по технологии AVO-литоскан, бурение, ГИС и вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), проводимые в скважинах (таблица) [9]. По результатам исследований строятся структурные карты, разрезы, подготавливаются паспорта на поисковые объекты, производится подсчет прогнозных ресурсов, разрабатываются рекомендации по направлению дальнейших работ. На данном

Рациональная схема геологоразведочного процесса на нефть и газ в акваториях морей.

Этапы ГРР	Задачи исследований	Объекты исследований (геологические системы)	Геолого-геофизические исследования		Инженерно-геологические изыскания		Экологические исследования	
			Методы исследования	Результаты исследования	Методы исследования	Результаты исследования	Методы исследования	Результаты исследования
Региональный	Изучение геологического строения, оценка перспектив нефтегазоносности, определение районов для постановки поисковых работ. Обеспечение экологической безопасности ГРР	Региональная геологическая система ↓ Вертикальная зональность Фундамент, структурно-формационные системы ↓ Горизонтальная зональность Структурно-тектонические и литолого-фациальные элементы, нефтегазоперспективные участки	Гравиметрия, магнитометрия, сейсморазведка МОВ (МОГТ), в отдельных случаях сейсморазведка КМПВ, геохимическая съемка	Тектонические схемы, региональные структурные карты и схемы, прогнозные оценки ресурсов УВ, логические модели, рекомендации по направлению дальнейших работ	–	–	Региональный экологический мониторинг	Оценка состояния окружающей среды на региональном уровне, оценка воздействия ГРР на окружающую среду
Поисковый	Обнаружение новых месторождений или залежей нефти и газа, оценка их запасов. Обеспечение промышленной и экологической безопасности ГРР	Породно-слоевые системы ↓ Вертикальная зональность Литология, покрышки, коллекторы ↓ Горизонтальная зональность Границы геологических тел, ловушки нефти и газа, месторождения УВ	Сейсморазведка МОГТ-2Д, электроразведка ДНМЭ, прогнозирование коллекторов и УВ-насыщения по технологии AVO-литоскан, бурение, ГИС, ВСП	Структурные карты, разрезы, паспорт на поисковый объект, подсчет прогнозных ресурсов, рекомендации по направлению дальнейших работ	Сейсмоакустическое профилирование, бурение инженерно-геологических скважин, статическое зондирование, лабораторные исследования грунтов, сейсморазведка ВЧ МОГТ	Сейсмостратиграфическое расчленение осадочных отложений, выявление инженерно-геологических опасностей, объемное моделирование геологической среды	Региональный и локальный экологический мониторинг, производственный экологический контроль	Оценка состояния окружающей среды на региональном и локальном уровне, оценка воздействия ГРР на окружающую среду, мероприятия по обеспечению экологической безопасности
Разведочный	Изучение месторождений (залежей), уточнение промысловых характеристик эксплуатационных объектов. Обеспечение промышленной и экологической безопасности ГРР	Минерально-породные системы ↓ Вертикальная зональность Покрышка, коллектор, флюид ↓ Горизонтальная зональность Резервуар	Сейсморазведка 3Д, прогноз коллекторов, бурение, геологическое моделирование	Структурные карты, разрезы, цифровые геологические и гидродинамические модели, подсчет запасов	Сейсмоакустическое профилирование, бурение инженерно-геологических скважин, статическое зондирование, лабораторные исследования грунтов, сейсморазведка ВЧ МОГТ	Сейсмостратиграфическое расчленение осадочных отложений, выявление инженерно-геологических опасностей, объемное моделирование геологической среды	Региональный и локальный экологический мониторинг, производственный экологический контроль	Оценка состояния окружающей среды на региональном и локальном уровне, оценка воздействия ГРР на окружающую среду, мероприятия по обеспечению экологической безопасности

этапе, с точки зрения минимизации вредного воздействия на окружающую среду и повышения эффективности поисково-оценочного бурения, важным является опережающая разбраковка перспективных структур и предполагаемых ловушек до начала строительства скважин.

Очевидно, что сведение к минимуму бурения «пустых» скважин имеет не только финансово-экономическое, но и важное экологическое значение. Это обуславливает помимо проведения необходимого и достаточного объема сейсмических работ, предусмотренного регламентирующими документами, проведение методов, направленных на прогноз коллекторов и углеводородного насыщения подготовленных объектов.

Опыт проводимых работ показывает, что перечисленный комплекс методов позволяет с достаточно высокой точностью разбраковать подготовленные объекты по данным сейсморазведки [10, 11].

Для обеспечения безопасности постановки буровой платформы и бурения поисковых скважин производятся инженерно-геологические изыскания, включающие сейсмоакустическое профилирование, бурение инженерно-геологических скважин, статическое зондирование, лабораторные исследования грунтов, сейсморазведку ВЧ МОГТ. По результатам изысканий производятся сейсмостратиграфическое расчленение осадочных отложений, выявление инженерно-геологических опасностей и объемное моделирование геологической среды. В комплекс экологических исследований входят региональный и локальный экологический мониторинг, производственный экологический контроль, по результатам которых выполняется оценка состояния окружающей среды на региональном и локальном уровне, оценка воздействия геологоразведочных работ на окружающую среду, а также разрабатываются мероприятия по обеспечению экологической безопасности.

На разведочном этапе производится детальное изучение геологических и промысловых характеристик месторождений (залежей) углеводородов. Основу оптимального комплекса геолого-геофизических методов исследований составляют сейсморазведка 3Д, прогноз коллекторов, бурение, геологическое моделирование, по результатам которых строятся структурные карты, разрезы, цифровые геологические и гидродинамические модели, выполняется подсчет запасов. Содержание инженерно-геологических и экологических исследований такое же, как и на поисковом этапе, однако их объемы существенно выше в связи с

большим количеством бурящихся скважин, которые учитывают специфику их бурения (наклонно-направленное бурение и пр.).

Таким образом, представленная схема геологоразведочного процесса на нефть и газ в Северном Каспии наглядно демонстрирует оптимальные комплексы методов геолого-геофизических, инженерно-геологических и экологических исследований на разных этапах геологоразведочных работ, их взаимосвязь, последовательность выполнения и ожидаемые результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кунин Н. Я., Кучерук Е. В. Сейсмостратиграфия в решении проблем поиска и разведки месторождений нефти и газа // Итоги науки и техники. Сер. Месторождения горючих ископаемых. М.: АН СССР, 1984. Т. 13. 199 с.
2. Глумов И. Ф., Маловицкий Я. П., Новиков А. А. и др. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. 342 с.
3. Быстрова И. В. Палеотектонический анализ юрско-мелового комплекса Северо-Западного Прикаспия в связи с нефтегазоносностью: дис. … канд. геол.-минерал. наук. Ставрополь: СевКавГТУ, 2001. 188 с.
4. Misiągiewicz Ju. Caspian region's hydrocarbon potential as a challenge for the energy security policy of the European Union // Energy security in the Caspian region: Globalization and Security in Black Sea and Caspian Seas Region. Tbilisi; Batumi: International Black Sea University, 2012. P. 102–117.
5. Лебедев Л. И., Алексина И. А., Кулакова Л. С. и др. Каспийское море. Геология и нефтегазоносность. М.: Наука, 1987. 295 с.
6. Барков Ф. И., Голованов Э. М., Щербаков В. В. Северный Каспий, строение и перспективы нефтегазоносности. М.: Разведочная геофизика, 1998. 51 с.
7. Быстрова И. В., Смирнова Т. С., Федорова Н. Ф., Мелихов М. С. Роль освоения территории западного Каспия в связи с нефтегазоносностью // Горные науки и технологии. 2016. № 3. С. 29–45.
8. Процессы нефтегазообразования в акватории Каспийского моря / отв. ред. А. А. Геодекян. М., 1978. 143 с.
9. Никитин Б. А., Вовк В. С., Мандель А. Я. и др. Перспективы поисков новых месторождений на шельфе российских морей // Газовая промышленность. 2002. № 2. С. 35–40.
10. Быстрова И. В., Смирнова Т. С., Бычкова Д. А., Мелихов М. С. История изучения и методология геолого-геофизических исследований шельфовой зоны Российского сектора Каспийского моря // Дневник науки. 2017. № 8. URL: http://www.dnevniknauki.ru/images/publications/2017/8/geoscience/Bystrova_Smirnova_Bychkova_Melikhov.pdf
11. Джафаров И. С., Керимов В. Ю., Шилов Г. Я. Шельф, его изучение и значение для поисков и разведки скоплений нефти и газа. СПб.: Недра, 2005. 384 с.

REFERENCES

1. Kunin N. Ya., Kucheruk E. V. 1984, *Seysmostratigrafiya v reshenii problem poiska i razvedki mestorozhdeniy nefti i gaza* [Seismic stratigraphy in solving problems of prospecting and exploration of oil and gas fields]. *Itogi nauki i tekhniki. Ser. Mestorozhdeniya goryuchikh iskopaemykh* [Advances in science and technics. Ser. Deposits of fossil fuels], Mocow, vol. 13, 199 p.
2. Glumov I. F., Malovitskiy Ya. P., Novikov A. A. et al. 2004, *Regional'naya geologiya i neftegazonosnost' Kaspiyskogo morya* [Regional geology and petroleum potential of the Caspian Sea], Moscow, 342 p.
3. Bystrova I. V. 2001, *Paleotektonicheskiy analiz yursko-melovogo kompleksa Severo-Zapadnogo Prikaspiya v svyazi s neftegazonosnost'yu: dis. … kand. geol.-mineral. nauk* [Paleotectonic analysis of the Jurassic-Cretaceous complex of the North-Western Caspian region with regard of oil and gas content: the dissertation of the candidate of geological-mineralogical sciences], Stavropol', 188 p.
4. Misiągiewicz Ju. 2012, Caspian region's hydrocarbon potential as a challenge for the energy security policy of the European Union. Energy security in the Caspian region: Globalization and Security in Black Sea and Caspian Seas Region, Tbilisi, Batumi, pp. 102–117.
5. Lebedev L. I., Aleksina I. A., Kulakova L. S. et al. 1987, *Kaspiyskoe more. Geologiya i neftegazonosnost'* [Caspian Sea. Geology and oil and gas potential], Moscow, 295 p.
6. Barkov F. I., Golovanov E. M., Shcherbakov V. V. 1998, *Severnyy Kaspiy, stroenie i perspektivy neftegazonosnosti* [The Northern Caspian, the structure and prospects of oil and gas], Moscow, 51 p.
7. Bystrova I. V., Smirnova T. S., Fedorova N. F., Melikhov M. S. 2016, *Rol' osvoeniya territorii zapadnogo Kaspiya v svyazi s neftegazonosnost'yu* [The role of development of the territory of the western Caspian in connection with oil and gas]. *Gornye nauki i tekhnologii* [Mining science and technology], no. 3, pp. 29–45.
8. Geodekyan A. A. 1978, *Protsessy neftegazoobrazovaniya v akvatorii Kaspiyskogo morya* [The processes of oil and gas formation in the water area of the Caspian Sea], Moscow, 143 p.
9. Nikitin B. A., Vovk V. S., Mandel' A. Ya. et al. 2002, *Perspektivy poiskov novykh mestorozhdeniy na shel'fe rossiyskikh morey* [Prospects for the search for new deposits on the shelf of the Russian seas]. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry], no. 2, pp. 35–40.
10. Bystrova I. V., Smirnova T. S., Bychkova D. A., Melikhov M. S. 2017, *Istoriya izucheniya i metodologiya geologo-geofizicheskikh issledovaniy shel'fovoy zony Rossiyskogo sektora Kaspiyskogo morya* [History of the study and methodology of geological and geophysical studies of the shelf zone of the Russian sector of the Caspian Sea]. *Dnevnik nauki* [Handbook of Science], no. 8. URL: http://www.dnevniknauki.ru/images/publications/2017/8/geoscience/Bystrova_Smirnova_Bychkova_Melikhov.pdf
11. Dzhafarov I. S., Kerimov V. Yu., Shilov G. Ya. 2005, *Shel'f, ego izuchenie i znachenie dlya poiskov i razvedki skopleniy nefti i gaza* [Shelf, its study and significance for prospecting and exploration of oil and gas accumulations], St. Petersburg, 384 p.

Инна Владимировна Быстрова,
bystrova1948@list.ru
Татьяна Сергеевна Смирнова,
tatyana.smirnova@asu.edu.ru
Динара Абдулаевна Бычкова,
serebryakov-74@mail.ru
Астраханский государственный университет
Россия, Астрахань, ул. Татищева, 20а

Макар Сергеевич Мелихов,
mail: mr.m_m_s@mail.ru
Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина
Россия, Москва, Ленинский просп., 65

Inna Vladimirovna Bystrova,
bystrova1948@list.ru
Tat'yana Sergeevna Smirnova,
tatyana.smirnova@asu.edu.ru
Dinara Abdulaevna Bychkova,
serebryakov-74@mail.ru
Astrakhan State University
Astrakhan', Russia

Makar Sergeevich Melikhov,
mail: mr.m_m_s@mail.ru
Gubkin Russian State University
of Oil and Gas (National Research University)
Moscow, Russia

УДК 552.54:550.42 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-18-22

О СЕРЕБРЯНОМ ОРУДЕНЕНИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА

Ф. А. Файзиев, А. Р. Файзиев, М. Каюмарси

On the silver mineralization of Central Tajikistan

F. A. Fayziev, A. R. Fayziev, M. Kayumarsi

The paper characterizes the silver-tin ore-bearing type of mineralization in Central Tajikistan. A distinctive feature of this type of deposits is the presence of silver minerals along with tin minerals in ore bodies. In addition, there is scheelite in the ores. Distribution of sulfides, arsenopyrite, pyrrhotite, marcasite, chalcopyrite and pyrite is wider than of galena and sphalerite. In the ores there also are bismuth minerals - bismuthine and native bismuth, as well as native gold. The main minerals of silver are pyrargyrite, andorite, freibergite, polybasite and native silver. Silver is also associated with faded ores, galena and other minerals. From the regularities of the silver-tin ore-formation type, we should also note an increase in the concentration of silver in the ore bodies from the lower horizons of the deposits to the upper horizons. All deposits of this type of region are a result of several stages of hypogenous mineral formation; however, industrial mineralization is associated only with two stages: quartz-cassiterite-sulfide and silver-sulfosol-sulphide. Of the total number of mineral associations developed in the deposits, two are productive for silver: pyrrhotite-chalcopyrite and silver-sulfosol-sulphide parageneses. Another characteristic feature of this type is the high temperature of mineral formation. Mineralization in them proceeded in two stages: early skarn and late pneumatolytic-hydrothermal. In the late stage, the processes of mineral formation occurred over a wide temperature range of 550–150 °C and pressures from 1000 to 150 atm. The mineral-forming solutions had a chloride-bicarbonate-sulphate character and a weak concentration (5–24 wt. %). From the cations, in order of increasing concentration, we established potassium, sodium, magnesium and calcium.

Keywords: silver; tin; ore formation type; deposit; ore field; geological structure; folded structure; stage.

Охарактеризован серебро-оловянный рудноформационный тип оруденения в Центральном Таджикистане. Отличительной чертой месторождений этого типа является присутствие в рудных телах наряду с оловянными минералами минералов серебра. Кроме того, в рудах присутствует и шеелит. Среди сульфидов арсенопирит, пирротин, марказит, халькопирит и пирит имеют более широкое распространение, чем галенит и сфалерит. В рудах находятся и минералы висмута – висмутин и самородный висмут, а также самородное золото. Основными минералами серебра являются пираргирит, андорит, фрейбергит, полибазит и самородное серебро. Серебро связано также с блеклыми рудами, галенитом и другими минералами. Из закономерностей серебро-оловянного рудноформационного типа следует также отметить увеличение концентрации серебра в рудных телах от нижних горизонтов месторождений к верхним. Все месторождения этого типа региона образованы в результате проявления нескольких стадий гипогенного минералообразования, однако промышленная минерализация связана только с двумя стадиями: кварц-касситерит-сульфидной и серебро-сульфосольно-сульфидной. Из общего числа минеральных ассоциаций, развитых на месторождениях, продуктивными на серебро являются две: пирротин-халькопиритовый и серебро-сульфосольно-сульфидный парагенезисы. Другой характерной особенностью этого типа является высокая температура образования минералов. Минералообразование в них протекало в два этапа: ранний скарновый и поздний пневматолитово-гидротермальный. В поздний этап процессы минералообразования происходили в широком диапазоне температур 550–150 °С и давлений от 1000 до 150 атм. Минералообразующие растворы носили хлоридно-бикарбонатно-сульфатный характер и были слабоконцентрированными (5–24 масс. %). Из катионов в порядке возрастающей концентрации установлены калий, натрий, магний и кальций.

Ключевые слова: серебро; олово; рудноформационный тип; месторождение; рудное поле; геологическое строение; складчатая структура; стадия.

Таджикистан является одним из важных сереброносных регионов мира. По разведанным запасам этого металла наша страна занимает пятое место [1]. Месторождения серебра здесь по минералого-геохимическим особенностям делятся на серебро-полиметаллические, серебро-сурьмяные, серебро-оловянные и серебро-золотые рудноформационные типы [2]. Сведения о первых двух типах опубликованы [3, 4]. К серебро-оловянному рудноформационному типу относятся более двадцати месторождений и проявлений, расположенных в пределах Центрального Таджикистана. Они объединены в Тарорское (Мирхант), Казнок-Мушистонское (Мушистон, Пагна, Вен, Нижний Вен, Хиргасанг, Кони-Нукра, Тезлок, Молобой, Нижний Заврон, Андарикалон, Сангисафед, Верхний Заврон, Чашма) и Пети-Такфонское (Такфон, Пети, Симич, Пшанза, Ремон, Урашт) рудные поля (рис. 1). Во всех отмеченных месторождениях и проявлениях в качестве основных компонентов содержатся олово от 0,11 до 7,64 мас. % и серебро от 30–40 до 150–1200 г/т.

Далее приведена характеристика серебро-оловянного рудноформационного типа, к которому относятся месторождения Тарорского, Казнок-Мушистонского и Пети-Такфонского рудных полей.

Тарорское рудное поле

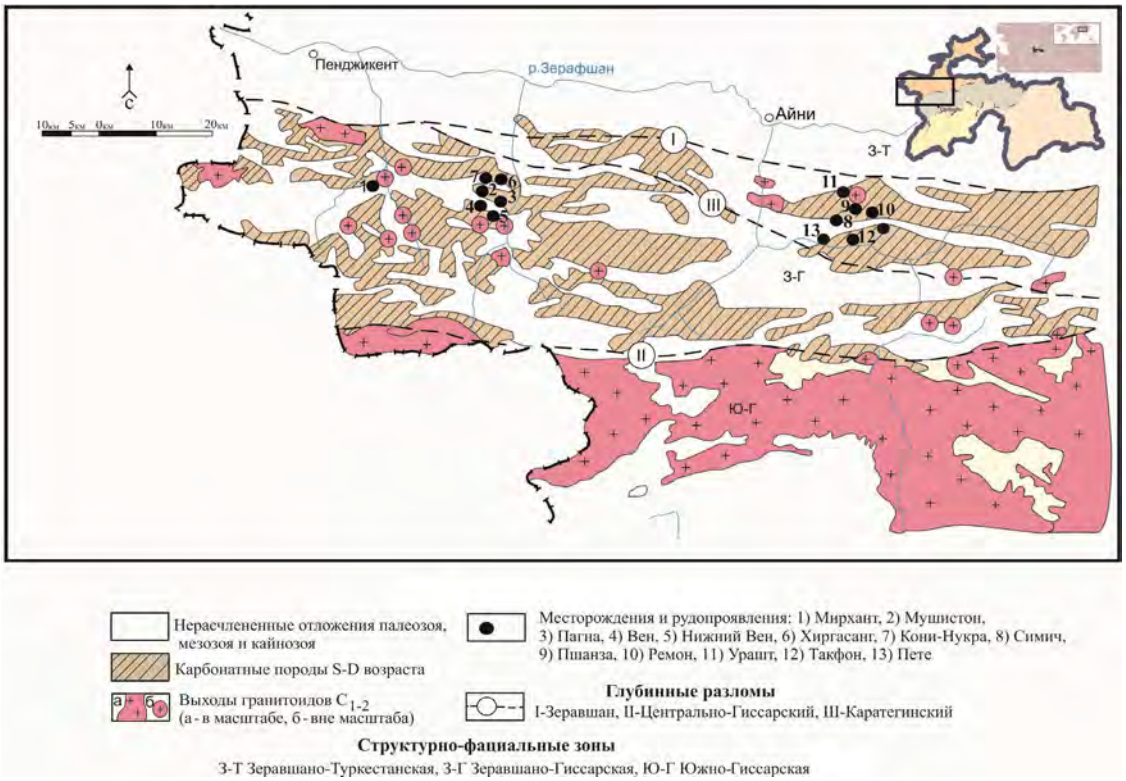
Тарорское рудное поле расположено в Шинг-Магианском междуречье, находящемся в западной части Зеравшано-Гиссарской металлогенической зоны [5], отделенной от Зеравшано-Туркестанской и Южно-Гиссарской зон соответственно Зеравшанским и Главным Гиссарским глубинными разломами. Основной рудоконтролирующей структурой рудного поля является кулисообразная система крутопадающих нарушений Кугитуринского и Рудакского разломов, образующих вытянутую в северо-западном направлении зону (зона «повышенной проницаемости» по А. Б. Павловскому). Эта зона контролирует в терригенно-карбонатных толщах среднего палеозоя как размещение мелких интрузий гранитоидов верхнепалеозойского комплекса, так и продуктов постмагматической деятельности.

В геологическом строении рудного поля принимают участие кремнисто-карбонатная ($O–S_1$ –кварц-серицитовые, кварц-хлоритовые и карбонат-глинистые сланцы с прослоями кварцито-песчаников, иногда известняков), карбонатная (S_2ld_1 – доломитистые известняки, доломиты, $S_2ld_2–D_1$ – слоистые и полосчатые карбонаты с желваками кремней) и терригенная ($D_{2–3}$ – кремнистые и кремнисто-глинистые сланцы с прослоями известняков и песчаников, C_1 – глинистые сланцы, песчаники, гравелиты и конгломераты с прослоями и глыбами известняков и кремнистых сланцев) толщи.

Основной объект Тарорского рудного поля, месторождение Тарор, относится к золото-сульфидной формации [6]. Однако здесь наряду с золото-сульфидной развита и серебро-оловянно-полиметаллическая минерализация, локализованная в верхних и средних его горизонтах. К собственно серебряному месторождению в пределах Тарорского рудного поля относится месторождение Мирхант, где оруденение представлено преимущественно серебро-оловянно-полиметаллической ассоциацией, пространственно совмещенной с сульфидной. На этом месторождении также обнаружено золото, но оно низкопробное и имеет незначительное развитие.

Месторождение Мирхант расположено в юго-восточной части Тарорского рудного поля и приурочено к зоне сброса северо-западного направления. Сброс проходит по контакту нижнедевонских известняков с песчаниками карбона и кремнистых сланцев нижнего-среднего девона.

Основной складчатой структурой месторождения является Мирхантская антиклиналь, которая прослеживается в субмери-



Схематическая карта расположения месторождений серебро-оловянного рудноформационного типа в Центральном Таджикистане.

диональном направлении на 4,5 км при ширине в сводовой части от 100–150 до 500 м. Строение складки весьма сложное. Свод антиклинали сложен массивными известняками нижнего девона, а крылья представлены терригенными породами нижнего карбона с глыбами и тектоническими клиньями кремнистых сланцев и карбонатных пород силур-девонского возраста.

Метасоматические образования на месторождении Мирхант имеют широкое площадное развитие. За счет гидротермального изменения как гранитоидов, так и терригенных пород образуются близкие по минеральному составу кварцево-серицит-доломитовые метасоматиты, сходные с березитами. Карбонатные отложения мраморизованы, доломитизированы, анкеритизированы и гематитизированы. С последней связана лимонитизация [7], которая развита практически во всех разновидностях пород месторождения. Форма проявления минерализации на месторождении – жилы, прожилки, гнезда и вкрапленники.

Гипогенное минералообразование на месторождении происходило в три стадии: кварц-касситерит-сульфидная; карбонат-сульфидная; кальцит-гематит-сульфидная [7]. В первой стадии кристаллизуются кварц, касситерит, пирротин, арсенопирит, пирит, марказит, сфалерит, станнин, халькопирит с редкими выделениями самородных элементов (золота и висмута). Образование продуктов первой стадии происходило в диапазоне температур 430–200 °С из бикарбонатно-сульфатных, с подчиненным значением хлора, растворов с концентрацией 100–250 г/л. Из катионов важную роль играли магний и кальций. Давление в период кристаллизации минералов первой стадии колебалось от 1000 бар в начале стадии до 300 бар в ее конце.

Главными минералами второй стадии являются карбонаты (анкерит, кальцит), сульфиды и сульфосоли (галенит, сфалерит, станнин, фрейбергит, полибазит, пираргирит, фрейеслебенит и др.), а также самородное серебро и уранинит. Кристаллизация минералов второй стадии происходила в сравнительно широком диапазоне температур 350–150 °С.

Отложение минералов третьей стадии начинается с кристаллизации кальцита II и гематита. Кроме того, в этой стадии кристаллизовались в ничтожных количествах сфалерит, халькопирит и киноварь. Образование минералов третьей стадии происходило в пределах температур от 220–200 до 75–65 °С и давлений 150 атм и ниже. Состав минералообразующих растворов был хлоридно-бикарбонатным.

На месторождении Мирхант описано около 80 видов минералов. Наиболее распространенными рудными минералами являются арсенопирит, галенит, сфалерит, пирит, марказит, тетраэдрит, станнин, гематит, касситерит, а основными минералами серебра – пираргирит, андорит, фрейбергит, фрейеслебенит, полибазит и самородное серебро. Из более редких минералов серебра на месторождении установлены акантит, штернбергит, матильдит, кераргирит, прустит, миаргирит, рамдорит, густавит, науманнит, богдановичит. Жильные минералы представлены кварцем и кальцитом.

Анализы проб, отобранных из горных выработок и скважин в интервале высот от 1000 до 1407,11 м над уровнем моря, показывают, что максимальные мощности рудных тел и высокие содержания серебра наблюдаются в верхних горизонтах месторождения, начиная с гипсометрических высот 1150 м (участок Нижний Кштудак) и 1250 м (участок Вичгона). Следовательно, вертикальный размах оруденения на месторождении колеблется от 150 до 250 м.

В рудных телах концентрация серебра растет от нижних горизонтов месторождения к верхним. Например, если в рудном интервале штрека 1 штольни № 1 (гипсометрический уровень 1344,6 м) среднее содержание серебра равно 146,3 г/т (среднее из 115 анализов), то в рассечках 7 и 8 штольни № 4 (1407,11 м над уровнем моря) – 198,4 г/т.

Для выявления мощностей зон распространения ореолов рассеивания серебра вокруг рудных тел были проанализированы пробы, отобранные вкрест простирания рудных тел в подземных горных выработках, находящихся на различных горизонтах месторождения. Полученные данные свидетельствуют о том, что повсюду в непосредственном контакте с рудными телами содержание серебра во вмещающих мраморизованных и брекчированных известняках повышенное и колеблется от 76 до 298 г/т. Далее по мере удаления от рудных тел концентрация серебра в боковых породах постепенно снижается до достижения фонового уровня, который на месторождении равен примерно 0,2 г/т. При этом ширина интервала повышенных содержаний серебра зависит от мощности рудных тел. Так, при

мощности рудного тела около 2 м уменьшение концентрации элемента до «фонового» уровня происходит на расстоянии 4–6 м, а 5 м – 12–14 м, 6 м – 14–16 м и 8 м – 16–18 м. Следовательно, размеры первичных геохимических ореолов рассеивания серебра на месторождении в 2,1–2,6 раза превосходят мощности рудных тел.

При изучении влияния рудообразующих растворов на вмещающие породы обращает на себя внимание еще одна их особенность – неодинаковые размеры ореолов рассеивания в лежачем и висячем боках рудных тел. Так, если в висячем боку тела мощностью около 5 м активное влияние гидротермальных растворов на вмещающие мраморизованные известняки фиксируется на расстоянии около 14 м, то в лежачем боку рудного тела оно распространяется на 10 м. При этом концентрация серебра в ореолах рассеивания в висячем боку рудного тела более высокая, чем в лежачем.

На месторождении установлена зависимость между содержаниями серебра и сопутствующих ему металлов. По мере увеличения концентрации серебра в рудах повышаются содержания свинца, меди, сурьмы и висмута. Так, при средней концентрации Ag в рудах 173,2 г/т содержание Pb в них 1,3 масс. %, а при 395 г/т – 4,3 масс.%. При увеличении концентрации меди в рудах от 0,04 до 0,5 масс.% содержание серебра соответственно увеличивается от 75 до 530 г/т. Наиболее тесная корреляция наблюдается между серебром и сурьмой. Это вполне согласуется с тем, что в рудах эти элементы фиксируются во фрейбергите.

Казнок-Мушистонское рудное поле

Казнок-Мушистонское рудное поле расположено на северном склоне Зеравшанского хребта, в бассейне р. Арчамайдан. Административно оно относится к Пенджикентскому району Согдийской области. В структурно-металлогеническом отношении рудное поле входит в состав Зеравшано-Гиссарской структурно-формационной зоны [8].

На площади Казнок-Мушистонского рудного поля размещаются месторождения и рудопроявления олова с серебром (Мушистон, Вен, Нижний Вен) и полиметаллов с серебром и оловом (Хиргасанг, Конинукра, Тезлок, Молобой, Нижний Заврон, Андарикалон, Сангисафед, Верхний Заврон, Чашма, Пагна). Во всех отмеченных проявлениях в качестве попутного или основного компонента содержится серебро в количестве от 30–40 до 150–174 г/т.

В геологическом строении рудного поля принимают участие в основном отложения палеозойского возраста. Это хлорит-серицитовые сланцы, кварциты и вулканиты кислого состава (O_3–S_1), карбонатно-терригенные отложения (S_{1-2}), доломиты, доломитовые известняки (S_2–D_1) и терригенно-кремнистые породы (D_1–C_1). Интрузивные образования развиты слабо и представлены линзовидными телами гранит-порфиров и дайками лампрофиров P–T возраста [9].

Структура рудного поля характеризуется типичным складчато-чешуйчатым строением с преобладанием разрывных нарушений. Наиболее крупной пликативной структурой здесь является Венская антиклиналь субширотного простирания, протягивающаяся на расстояние 3 км при размахе крыльев до 1–1,5 км. Эта структура осложнена антиклинальными и синклинальными складками более высоких порядков. Одна из них под названием Мушистонская брахиантиклиналь расположена в центральной части одноименного месторождения. Разрывные структуры на площади Казнок-Мушистонского рудного поля имеют весьма широкое распространение. Наиболее крупными из них являются Казнокский сброс, Мушистонский сбросо-надвиг, Хиргасангский и Чукуракский взбросо-надвиги. Все они имеют субширотные простирания и прослеживаются через всю площадь рудного поля с повсеместным ориентированием плоскостей их сместителей в южном направлении. Например, к Казнокскому сбросу приурочены месторождения и рудопроявления олова с серебром (Мушистон, Вен, Нижний Вен) и серебро-полиметаллическое оруденение с незначительным содержанием олова (Конинукра, Хиргасанг). Кроме разрывных структур субширотной ориентировки на площади рудного поля отмечается серия более молодых крутопадающих разрывов субмеридионального направления. Дизъюнктивные нарушения разделяют площадь рудного поля на 4 структурных блока, которые, в свою очередь, осложнены серией более мелких нарушений.

В распределении эндогенной минерализации в рудном поле намечается площадная рудная зональность, которая, по всей вероятности, является отражением вертикальной зональности минеральных комплексов по В. И. Смирнову [10, 11]. В центре рудного поля локализуется более высокотемпературное оловянное оруденение с серебром (месторождение Мушистон). В южном, северо-восточном и восточном направлениях оно меняется на менее высокотемпературное олово-полиметаллическое с серебром (Вен, Нижний Вен, Чашма, Водораздельное), полиметаллическое с серебром (Северное, Зимтут, Безымянное) и сурьмяно-полиметаллическое с серебром (Негнот, Пагна), а в западном и северо-западном направлениях – на серебро-полиметаллическое с оловом (Кони-Нукра, Хиргасанг).

Элементы площадной зональности минерализации наблюдаются и на отдельных месторождениях. Так, на месторождении Мушистон в центральной его части развито оловянное оруденение с серебром, которое в южном и западном направлениях меняется на олово-полиметаллическое с серебром.

На площади рудного поля, на примере месторождения Мушистон, М. М. Мамадвафоевым и др. [11] установлена вертикальная геохимическая зональность, выраженная в том, что максимальное относительное накопление свинца наблюдается на самом нижнем горизонте месторождения; олова, меди и серебра – на среднем, а цинка и мышьяка – на верхнем.

Метасоматические изменения вмещающих карбонатных пород в рудном поле выражены в их скарнировании, а терригенных пород – ороговиковании. Гидротермальные метасоматические процессы в границах рудоносных зон выражены в калишпатизации и окварцевании боковых пород. Последнее на площади рудного поля имеет весьма широкое распространение в виде значительных по объему жильно-прожилковых масс. Наиболее интенсивно окварцевание проявлено вдоль зон разрывных нарушений северо-восточного простирания с образованием систем рудоносных кварцево-рудных жил и прожилков, часто сопровождающихся жилами и прожилками кальцита.

Основными формами рудных тел Казнок-Мушистонского рудного поля являются линейно вытянутые штокверки, образованные серией сближенных круто- и пологопадающих жил и прожилков, имеющих сложную морфологию с раздувами, пережимами и ответвлениями как в плане, так и по падению. Например, на месторождении Мушистон оруденение представлено серией параллельно и кулисообразно расположенных кварцево-рудных жил, образующих линейно вытянутые рудоносные зоны, которые группируются в пучки. Здесь выделены семь пучков рудоносных зон: Мушистонский, Пагнинский, Негнотский, Казнокский, Промежуточный, Центральный и Водораздельный [9]. Протяженность их по простиранию колеблется от 100 до 800 м, а ширина – от первых десятков до 200 м. Иногда наряду с жильно-прожилковыми встречаются прожилково-вкрапленные рудные образования. На участках пересечения жильных зон образуются столбообразные тела, большая часть которых образовалось в результате выполнения открытых трещин. При этом роль метасоматоза вмещающих пород незначительна.

Наложенная на скарны минерализация на месторождениях Казнок-Мушистонского рудного поля происходила в три стадии [9]: бор-кремний-сернистая; кремний-сернистая; кремний-углекислая. Олово привносилось в первую бор-кремний-сернистую стадию, а серебро и висмут – на протяжения всего гипогенного минералообразования.

В рудном поле основными считаются кварц-арсенопирит-касситеритовый и кальцит-кварц-сфалерит-станниновый типы руд. В рудах последнего типа в некоторых участках в заметных количествах отмечаются галенит, халькопирит, пирротин, пирит, джемсонит, арсенопирит, висмутин, тиллит, антимонит и киноварь. Руды характеризуются неравномернозернистой коррозионной структурой. Преобладающими текстурами являются массивная, вкрапленная, прожилковая, брекчиевая и реликтовая. Основным полезным компонентом руд является олово. В

повышенных количествах в рудах содержится серебро. Дополнительными полезными компонентами могут оказаться также цинк, висмут и кадмий.

Минеральный состав оловорудных месторождений Центрального Таджикистана, в том числе и Казнок-Мушистонского рудного поля, изучался А. Б. Павловским и Н. К. Маршуковой. Главными минералами рудного поля являются касситерит, станнин, сфалерит, галенит, буланжерит, арсенопирит и висмутин. Тиллит, антимонит и киноварь относятся к числу редких минералов. Серебряные минералы представлены аргентитом, акантитом, пруститом, павонитом, пираргиритом, штромейеритом и самородным серебром. Основными жильными минералами являются кварц и кальцит. Гипергенные минералы имеют широкое распространение и представлены гидростаннатами (висмирновит, натанит, мушистонит, варламовит), малахитом, азуритом, скородитом, церруситом, каламином, гетитом, лимонитом, стибиконитом, базовисмутином и др. В общей сложности на долю рудных минералов олова, меди, серебра, цинка, свинца, мышьяка и др. приходится около 3,9 % рудной массы.

Рудоотложение на месторождении Мушистон, основном объекте рудного поля, происходило в широком интервале температур – 440–100 °С из слабо концентрированных (5–24 мас. %) существенно жидких сульфатно-хлоридно-магниево-натриевых, иногда хлоридно-кальциевых флюидов [12].

Пети-Такфонское рудное поле

Пети-Такфонское рудное поле, представленное месторождениями Такфон, Пети, Симич и др., также входит в состав Зеравшано-Гиссарской структурно-формационной зоны. Оно приурочено к южному крылу Зеравшанского антиклинория широтного простирания, выделенного П. Д. Виноградовым [8]. В пределах антиклинория широко развиты антиклинальные и синклинальные складки субширотного и северо-западного простирания. На площади рудного поля находятся Гутикалонская антиклиналь и Ремонская и Симичская синклинали с пологими (не более 45°) крыльями. Складчатые структуры осложнены многочисленными разрывными нарушениями надвигового, сбросо-сдвигового и взбросового характера. Кроме того, в рудном поле широко проявились межпластовые и внутрипластовые тектонические нарушения, сопровождающиеся межформационным дроблением вмещающих пород и системами мелких внутриформационных трещин.

В геологическом строении рудного поля широким развитием пользуются образования палеозоя, которые представлены силурийскими (сланцы, известняки, доломиты с прослоями кварцитов), девонскими (кремнистые и слюдистые сланцы с прослоями кремней и известняков) и каменноугольными (известняки с горизонтами глинистых сланцев, песчаников и конгломератов) отложениями. Южнее площади рудного поля комплекс образований палеозоя перекрывается субплатформенными отложениями мезозоя. Магматические образования представлены Петинской интрузией гранодиоритов, дайками гранодиорит-порфиров и лампрофиров.

По морфологическим особенностям скарново-рудные тела и наложенная на них гидротермальная минерализация делятся на три типа: пластовые залежи; жильные тела сложного строения; трещинные жилы простого строения. Пластовые залежи локализуются на контактах известняков со сланцами, мощность которых колеблется от первых десятков сантиметров до первых десятков метров. Жилы сложного строения обычно размещаются в висячем боку пластовых залежей на контакте с известняками, нередко метасоматически замещая их. Жилы простого строения нередко пространственно размещаются в сланцах и концентрируются в пределах отдельных трещинных зон. Мощность наиболее крупных таких жил достигает 1 м. Однако в большинстве своем они маломощны (5–30 см), а серия их образует жильные зоны шириной до 6 м.

Минералообразование в рудном поле протекало в два этапа: ранний скарновый и поздний пневматолитово-гидротермальный. В ранний этап выделялись минералы кварц-пирротин-шеелитовой минеральной ассоциации. В поздний этап процессы проходили в три стадии: кварцево-редкометалльная, кварцево-сульфидная и кварцево-карбонатная [13]. В этих стадиях кристаллизовались касситерит, арсенопирит, пирротин, пирит, а также халькопирит, сфалерит, галенит, станнин, блеклые руды, висмутин. Нерудные минералы в основном представлены кварцем, кальцитом и сидеритом. Образование минералов позднего этапа происходило в широком диапазоне температур – 550–170 °С [13]. Минералообразующие растворы носили хлоридно-бикарбонатно-сульфатный характер. Из катионов в порядке возрастающей концентрации установлены калий, натрий, магний и кальций.

По минеральному составу на площади рудного поля выделено два главных типа руд: кварц-пирротин-шеелитовый и кварц-карбонат-арсенопирит-касситеритовый с галенитом, сфалеритом, станнином и самородным серебром. Основную массу кварц-пирротин-шеелитовых руд составляют минералы скарнов и метасоматически измененных известняков, к которым относятся диопсид, геденбергит, гранат, полевой шпат, роговая обманка, тремолит, актинолит и др. Наряду с шеелитом и пирротином, в данном типе руд в виде мельчайших зерен отмечаются магнетит, халькопирит, пирит и молибденит. Руда характеризуется неравномернозернистой структурой и прожилковой, вкрапленной, полосчатой и цементирующей текстурами. Основным полезным компонентом данного типа руд является вольфрам в виде шеелита.

Основу кварц-карбонат-арсенопирит-касситеритовых руд составляют кварц, кальцит, арсенопирит и касситерит. В этих рудах встречаются также галенит, халькопирит, пирит, пирротин, станин, сфалерит, висмутин, блеклые руды и самородное серебро. Руды характеризуются четко выраженной гипидиоморфнозернистой структурой и массивной и коррозионной текстурами. Главными полезными компонентами этих руд являются олово и серебро. Как попутные компоненты могут представлять интерес свинец и цинк. Главным концентратором серебра являются блеклые руды тетраэдритового ряда. Меньшая часть серебра входит в виде изоморфной примеси в галенит, станнин и сфалерит. Кварц-карбонат-арсенопирит-касситеритовый тип руд в большей степени подвергся процессам окисления. При этом образовались зоны окисленных руд, в которых основными минералами являются лимонит, скородит, малахит и азурит.

Из приведенных материалов явствует, что серебро-оловянные месторождения находятся главным образом среди карбонатных пород. Реже они приурочены к терригенным отложениям и локализованы преимущественно в зонах межформационного срыва – между карбонатными породами и сланцами. При этом в большинстве случаев сланцы выполняют роль экрана.

Другая общая особенность рассматриваемых месторождений заключается в том, что во всех этих объектах продуктами раннего метасоматоза являются скарны или скарноиды с ранней кварц-шеелитовой минерализацией. Однако околорудный метасоматоз, зависящий от состава и физико-механических свойств вмещающих пород, в них неодинаковый. В карбонатных породах главными типами этих метасоматитов являются окварцевание, кальцитизация, доломитизация, березитизация и лиственитизация и редко анкеритизация (Мирхант). По терригенным породам (сланцы, песчаники) развиваются окварцевание, березитизация и серицитизация.

Все месторождения серебро-оловянного рудноформационного типа региона образованы в результате проявления нескольких стадий гипогенного минералообразования. Однако промышленная минерализация образована в двух стадиях: кварц-касситерит-сульфидной и серебро-сульфосольно-сульфидной. Из общего числа минеральных ассоциаций, развитых на месторождениях, продуктивными на серебро являются две: пирротин-халькопиритовый и серебро-сульфосольно-сульфидный парагенезис.

Вопрос времени образования руд в пределах Зеравшано-Гиссарской зоны, в том числе серебро-оловянных месторождений, является дискуссионным. Известны только данные определения абсолютного возраста серицитов из березит-лиственитовой формации месторождения Мирхант, соответствующие верхней перми [6]. Указывает на нижнепермский возраст месторождений региона и М. М. Мамадвафоев [14].

Отметим, что отличительной особенностью месторождений серебро-оловянного рудноформационного типа является

присутствие в рудных телах, наряду с оловянными и серебряными минералами, также вольфрамовой минерализации (шеелит). Среди сульфидов арсенопирит, пирротин, марказит, халькопирит и пирит имеют более широкое распространение, чем галенит и сфалерит. В рудах находятся и минералы висмута – висмутин и самородный висмут, а также самородное золото. Основными минералами серебра являются пираргирит, андорит, фрейбергит, полибазит и самородное серебро. Серебро связано также с блеклыми рудами, галенитом и другими минералами. Из закономерностей серебро-оловянного рудноформационного типа следует также отметить увеличение концентрации серебра в рудных телах от нижних горизонтов месторождений к верхним. Вертикальный размах оруденения в них колеблется от 150–200 до 600–800 м.

Другой характерной особенностью этого типа является высокая температура образования минералов. Минералообразование в месторождениях протекало в два этапа: ранний скарновый и поздний пневматолитово-гидротермальный. В поздний этап процессы минералообразования происходили в несколько стадий. Образование минералов здесь происходило в широком диапазоне температур – 550–150 °С и давлений от 1000 до 150 атм. Минералообразующие растворы носили хлоридно-бикарбонатно-сульфатный характер и были слабоконцентрированными (5–24 мас. %). Из катионов в порядке возрастающей концентрации установлены калий, натрий, магний и кальций.

В заключение отметим, что, месторождения серебро-оловянного рудноформационного типа известны в Боливии (Потоси, Чокайя, Порко, Оруро, Льяльягуа и др.), Северо-Востока России (Булатское, Купольное, Хетинское и др.), Германии (Фрейберг) и других странах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров С. В., Полеховский Ю. С. Минерально-сырьевые ресурсы мира. СПб.: Изд-во СПб. гос. ун-та, 2007, 140 с.
2. Файзиев А. Р., Файзиев Ф. А. Рудноформационные типы серебряных месторождений Таджикистана // Изв. АН РТ. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. 2015. № 3 (155). С. 92–99.
3. Файзиев А. Р., Файзиев Ф. А. Серебро-сурьмяный рудно-формационный тип оруденения в Таджикистане. Докл. АН РТ. 2015. Т. 58, № 5. С. 413–417.
4. Файзиев А. Р., Файзиев Ф. А. Серебро-полиметаллический рудно-формационный тип оруденения в Таджикистане // Вестник ТНУ. 2015. № 1/5 (188). С. 271–278.
5. Карпова Е. Д. Металлогеническое районирование Тянь-Шаня и Памира // Сов. геол. 1959. № 8. С. 81–101.
6. Блохина Н. А. Минералогия, геохимия и условия образования золотосульфидных месторождений в формации магнезиальных скарнов (Центральный Таджикистан). Душанбе: Дониш, 1984, 277 с.
7. Файзиев Ф. А. Минералогия и условия формирования олово-серебро-полиметаллического месторождения Мирхант (Центральный Таджикистан): автореф. … дис. … канд. геол.-минерал. наук. СПб., 2008. 18 с.
8. Виноградов П. Д. Основные этапы формирования структуры западной части палеозойской синклинали Тянь-Шаня (Центральный Таджикистан) // Тектоника Памира и Тянь-Шаня: материалы II Всесоюз. тектонич. совещ. М., 1964. С. 192–207.
9. Шустиков Б. И. Казнокское рудное поле и оловорудное месторождение Мушистон // Геология и полезные ископаемые бассейна р. Зеравшан. Душанбе: Дониш, 1989. С. 54–63.
10. Павловский А. Б. Казнокская оловоносная площадь // Геология оловорудных месторождений СССР. М.: Недра, 1986. Т. 2. Кн. 2. С. 87–101.
11. Мамадвафоев М. М., Бахронов Н., Логинова И. М. Оловорудное месторождение Мушистон: геология и генезис оруденения (Центральный Таджикистан) // Материалы республ. науч. конф. Душанбе, 2012. С. 112–122.
12. Мамадвафоев М. М., Алидодов Б. А., Сохибов Ш. С. и др. О температуре образования и солевом составе растворов оловорудного месторождения Мушистон (Центральный Таджикистан) // Геология рудных месторождений. 1992. № 4. С. 107–112.
13. Рахманов А. М. Геология и физико-химические условия формирования скарново-редкометальных месторождений Зеравшано-Гиссарской горной области. Душанбе: Ирфон, 1977. 168 с.
14. Мамадвафоев М. М. Петролого-геохимические особенности интрузивных комплексов некоторых рудных полей Зеравшано-Гиссарской металлогенической зоны и связанные с ними оруденения (Центральный Таджикистан). Душанбе: Ирфон, 2017. 238 с.

REFERENCES

1. Petrov S. V., Polekhovskiy Yu. S. 2007, *Mineral'no-syr'evye resursy mira* [Mineral resources of the world], St. Petersburg, 140 p.
2. Fayziev A. R., Fayziev F. A. 2015, *Rudnoformatsionnye tipy serebryanykh mestorozhdeniy Tadzhikistana* [Ore formation types of silver deposits of Tajikistan]. *Izv. AN RT. Otd. fiz.-mat., khim., geol. i tekhn. nauk* [News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of physical, mathematical, chemical, geological and technical sciences], no. 3(155), pp. 92–99.
3. Fayziev A. R., Fayziev F. A. 2015, *Serebro-sur'myanyy rudno-formatsionnyy tip orudeneniya v Tadzhikistane* [Silver-antimony ore-formation type of mineralization in Tajikistan]. *Dokl. AN RT* [Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan], vol. 58, no. 5, pp. 413–417.
4. Fayziev A. R., Fayziev F. A. 2015, *Serebro-polimetallicheskiy rudno-formatsionnyy tip orudeneniya v Tadzhikistane* [Silver-polymetallic ore-formation type of mineralization in Tajikistan]. *Vestnik TNU* [Bulletin of the Tajik National University], no. 1/5(188), pp. 271–278.
5. Karpova E. D. 1959, *Metallogenicheskoe rayonirovanie Tyan'-Shanya i Pamira* [Metallogenic zoning of Tien Shan and Pamir]. *Sov. geol.* [Soviet geology], no. 8, pp. 81–101.
6. Blokhina N. A. 1984, *Mineralogiya, geokhimiya i usloviya obrazovaniya zolotosul'fidnykh mestorozhdeniy v formatsii magnezial'nykh skarnov (Tsentral'nyy Tadzhikistan)* [Mineralogy, geochemistry and formation conditions of gold sulfide deposits in the formation of magnesian skarns (Central Tajikistan)], Dushanbe, 277 p.
7. Fayziev F. A. 2008, *Mineralogiya i usloviya formirovaniya olovo-serebro-polimetallicheskogo mestorozhdeniya Mirkhant (Tsentral'nyy Tadzhikistan): avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk* [Mineralogy and formation conditions of tin-silver-polymetallic deposit Mirhant (Central Tajikistan): the author's abstract of the dissertation of the candidate of geological-mineralogical sciences], St. Petersburg, 18 p.
8. Vinogradov P. D. 1964, *Osnovnye etapy formirovaniya struktury zapadnoy chasti paleozoyskoy sinklinali Tyan'-Shanya (Tsentral'nyy Tadzhikistan)* [The main stages in the formation of the structure of the western part of the Paleozoic syncline of the Tien Shan (Central Tajikistan)]. *Tektonika Pamira i Tyan'-Shanya: materialy II Vsesoyuz. tektonich. soveshch* [Tectonics of the Pamir and Tien Shan: materials of the Second All-Union tectonics council], Moscow, pp. 192–207.
9. Shustikov B. I. 1989, *Kaznokskoe rudnoe pole i olovorudnoe mestorozhdenie Mushiston* [Kaznoksky ore field and tin ore deposit Mushyston]. *Geologiya i poleznye iskopaemye basseyna r. Zeravshan* [Geology and minerals of the river Zerafshan], Dushanbe, pp. 54–63.
10. Pavlovskiy A. B. 1986, K*aznokskaya olovonosnaya ploshchad'* [Kaznokskaya tin-bearing area]. *Geologiya olovorudnykh mestorozhdeniy SSSR* [Geology of tin deposits of the USSR], Moscow, vol. 2, no. 2, pp. 87–101.
11. Mamadvafoev M. M., Bakhronov N., Loginova I. M. 2012, *Olovorudnoe mestorozhdenie Mushiston: geologiya i genezis orudeneniya (Tsentral'nyy Tadzhikistan). Materialy respubl. nauch. konf.* [Tin ore deposit Mushiston: geology and genesis of mineralization (Central Tajikistan). Materials of the Republic Scientific Conference, pp. 112–122.
12. Mamadvafoev M. M., Alidodov B. A., Sokhibov Sh. S. et al. 1992, *O temperature obrazovaniya i solevom sostave rastvorov olovorudnogo mestorozhdeniya Mushiston (Tsentral'nyy Tadzhikistan)* [On the temperature of formation and salt composition of solutions of the tin ore deposit Mushiston (Central Tajikistan)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposits], no. 4, pp. 107–112.
13. Rakhmanov A. M. 1977, *Geologiya i fiziko-khimicheskie usloviya formirovaniya skarnovo-redkometal'nykh mestorozhdeniy Zeravshano-Gissarskoy gornoy oblasti* [Geology and physico-chemical conditions for the formation of the skarn-rare metal deposits of the Zeravshan-Hissar mountain region], Dushanbe, 168 p.
14. Mamadvafoev M. M. 2017, *Petrologo-geokhimicheskie osobennosti intruzivnykh kompleksov nekotorykh rudnykh poley Zeravshano-Gissarskoy metallogenicheskoy zony i svyazannye s nimi orudeneniya* (Tsentral'nyy Tadzhikistan) [Petro-geochemical features of intrusive complexes of some ore fields of the Zeravshan-Hissar metallogenic zone and associated mineralization (Central Tajikistan)], Dushanbe, 238 p.

Фотех Абдувакилович Файзиев
foteh81@mail.ru
Таджикский национальный университет
Республика Таджикистан, Душанбе, просп. Рудаки, 17

Абдулхак Раджабович Файзиев
Институт геологии, сейсмостойкого строительства
и сейсмологии АН Республики Таджикистан
Республика Таджикистан, Душанбе, ул. Айни, 267

Махмадкарим Каюмарси
Главное управление геологии при Правительстве Республики Таджикистан
Республика Таджикистан, Душанбе, ул. Мирзо Турсун-заде, 27

Fotekh Abduvakilovich Faiziev
foteh81@mail.ru
Tajik National University
Tajikistan, Dushanbe

Abdulkhak Radzhabovich Faiziev
Institute of Geology, seismological construction and seismology
Tajikistan, Dushanbe

Makhmadkarim Kayumarsi
Main Department of Geology of Tajikistan
Tajikistan, Dushanbe

УДК 553.3 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-23-28

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РУДНЫХ ТЕЛАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПОЛЯРНОЕ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Д. В. Таймасов

Distribution of the ore elements in ore bodies of the Zapolyarnoe field (Kola Peninsula)

D. V. Taymasov

The author conducted studies of the chemical zonality of ore deposits of all types for the sulfide-copper-nickel deposit Zapolyarnoe. Within the deposit of sulfide-copper-nickel ores Zapolyarnoe are the following industrial types of ores: rich interspersed ores, which are interspersed mineralization in peridotites; brecciated ores formed by detrital material; poor interspersed ores characterized by vein-interspersed mineralization; solid ores in a form of massive sulphide emissions. This work is based on operational and detailed exploration data. The author sorted samples according to the types of ores. Using the results, the author derived regression lines and their formulas to rectilinear dependencies. Analysis of the graphs showed that for all types of ores the dependences of copper and cobalt content on nickel content are direct, but at that, in thick-interspersed and brecciated types they are similar, and in scattered-interspersed they differ significantly. It becomes clear that correlation of copper and nickel in ore body depends on the scattered-interspersed ores, whereas the correlation of cobalt and nickel is determined mainly by thick-interspersed and brecciated ores. Dependencies between nickel, copper and cobalt in ores change when concentration of nickel in the ore changes. The graphs also show that the ratio of Ni/Cu in breccias and scattered-interspersed ores, as well as in near-ore metaperidotites, is almost constant at different nickel concentrations, on average 2:1.5 and 1, respectively. Thick- interspersed ores show the tendency towards an increase in the ratio with an increase in nickel content. The Ni/Co ratio increases with an increase of Ni concentration in all types of ores. In rich ores, growth occurs along a stepped curve, and in breccias – rectilinearly. Thus, the analysis of distribution of ore elements in ore bodies indicates a complex heterogeneous composition of sulphide mineralizations in different types of ores and their similarity in zones differing in the content of metals from the sampling data. It is obvious that the chemical zonality in brecciated and thick- interspersed ores is mainly due to a different concentration of sulphides with constant qualitative composition. The main types of zonality in the deposit are asymmetric zoning (columnar) in brecciated deposits and symmetric (concentric) in deposits of thick-interspersed ores. One can determine these types of zonality using the distribution of useful components of ores and mineralogical data confirms it. Based on this author concludes that the eastern branch, in which the thick-interspersed deposits lie, is the so-called supply canal (conductor) to the upper part of the deposit and to the western branch, which is similar in its morphological parameters with the central part.

Keywords: Zapolyarnoe deposit; supply channel; ore types; asymmetric zoning; symmetrical zoning; chemical zoning.

Проведены исследования химической зональности залежей руд по всем типам руд сульфидно-медно-никелевого месторождения Заполярное. В пределах месторождения сульфидных медно-никелевых руд Заполярное выделяются следующие промышленные типы руд: богатые вкрапленные руды, представляющие вкрапленное оруденение в перидотитах; брекчиевидные руды, образованные обломочным материалом; бедные вкрапленные руды характеризуются прожилково-вкрапленной минерализацией; сплошные руды представляют собой массивные выделения сульфидов. Работа основана на данных эксплуатационной и детальной разведки. Была осуществлена разбраковка проб по типам руд. Результаты позволили вывести линии регрессии и их формулы для прямолинейных зависимостей. Анализ графиков показал, что для всех типов руд зависимости содержания меди и кобальта от содержания никеля прямые, причем в густовкрапленных и брекчиевидных типах они близки, а в рассеянновкрапленных существенно отличаются. Хорошо видно, что на соотношение меди и никеля в рудном теле заметно влияют рассеянновкрапленные руды, тогда как соотношение кобальта и никеля определяется главным образом таковым в густовкрапленных и брекчиевидных рудах. Зависимости между никелем, медью и кобальтом в рудах не остаются постоянными при изменении концентрации никеля в руде. Также графики показали, что отношение Ni/Cu в брекчиях и рассеянновкрапленных рудах, а также в околорудных метаперидотитах практически постоянно при разных содержаниях никеля, в среднем 2 : 1,5 и 1 соответственно, а в густовкрапленных рудах отмечена тенденция к возрастанию отношения с увеличением содержания никеля. Отношение Ni/Co возрастает с увеличением концентрации Ni во всех типах руд. В богатых рудах рост происходит по ступенчатой кривой, а в брекчиях – прямолинейно.

Ключевые слова: месторождение Заполярное; подводящий канал; типы руд; асимметричная зональность; симметричная зональность; химическая зональность.

Месторождение Заполярное расположено на северо-западе Кольского полуострова в Печенгском районе Мурманской области Российской Федерации.

В геологическом строении месторождения участвуют три крупных разновозрастных структурно-стратиграфических комплекса докембрийских образований: раннеархейский, позднеархейский и раннепротерозойский [1, 2].

Печенгский структурный блок является частью Полмак-Пасвик-Печенгско-Варзугского пояса карелид Балтийского щита и протягивается с северо-запада на юго-восток через всю Кольскую субпровинцию Лапландско-Кольско-Карельской провинции (восточная часть Балтийского щита) [3–5].

Промышленные месторождения [6, 7] группируются в ждановской свите в пределах Печенгского рудного поля, образуя два рудных узла – Западный и Восточный. Западный рудный узел включает месторождения Каула, Промежуточное, Котсельваара-Каммикиви, Семилетка. Восточный рудный узел включает месторождения Ждановское, Заполярное, Спутник, Тундровое, Быстринское и Верхнее.

Месторождение Заполярное расположено в центральной части Восточного рудного узла, в низах «продуктивной» ждановской свиты, на контакте туфогенно-осадочных пород с долеритами третьего эффузивного покрова [8, 9]. Оно приурочено к протяженной межпластовой тектонической зоне. В состав месторождения входит одно крупное Северное рудное тело (95 % запасов) и серия мелких линз-сателлитов [10].

Северное рудное тело (СРТ) прослежено по простиранию на расстоянии 1000–1500 м, по падению – на 1000 м. Элементы залегания рудного тела: азимут простирания 130–150° на юго-восток, падение – на юго-запад под углами 40–65°. Склонение на юго-восток под углом около 20° к линии падения. Общая пластовая форма залежи СРТ осложнена чередованием раздувов и пережимов мощности и разделяется по простиранию безрудным пережимом («окном») шириной до 200 м на две части: западную (западный фланг) и восточную (восточный фланг), различающиеся по своим морфологическим параметрам.

В пределах месторождения сульфидных медно-никелевых руд Заполярное выделяются следующие промышленные типы руд:

– богатые вкрапленные руды, представляющие вкрапленное оруденение в перидотитах, содержащих также сульфидные прожилки различной протяженности и мощностью от нескольких миллиметров до первых сантиметров;

– брекчиевидные руды, образованные обломочным материалом с высокой степенью измененных осадочно-метаморфических и магматических пород, сцементированных сульфидным и сульфидно-карбонатно-силикатным материалом;

– бедные вкрапленные руды, характеризуются прожилково-вкрапленной минерализацией;

– сплошные руды, представляют собой массивные выделения сульфидов, содержащие весьма незначительные по количеству вкрапленники нерудных минералов.

Рудные минералы по их количественному содержанию в рудах могут быть разделены на главные и второстепенные. К числу

главных минералов во всех типах относятся пирротин, пентландит и халькопирит, в отдельных участках брекчиевидных руд в эту группу входит также пирит. Второстепенные минералы представлены сульфоарсенидами ряда герсдорфит–кобальтин, сфалеритом, галенитом, макинавитом, виоларитом и минералами благородных металлов (серебросодержащий пентландит и самородное золото, сперрилит), платиноносными сульфоарсенидами и теллуридами (алтаит).

Исследование химической зональности руд проведено на основании данных эксплуатационной и детальной разведки. Было осуществлено разделение проб по типам руд, при этом использованы полные горизонтальные пересечения, по которым выполнен химический анализ.

В брекчиевидных рудах подтверждено наличие хорошо выраженной химической зональности по распределению трех основных компонентов – никеля, меди и кобальта. Ранее этот тип зональности установлен С. М. Баржицкой и С. В. Соколовым [11].

Полученные данные свидетельствуют о развитии в брекчиях зоны бедных руд (Ni < 2 %, Cu < 1,0 % и Co < 0,04 %) – западный фланг и зоны богатых руд (Ni > 3,5 %, Cu > 1,5 % и Co > 0,04 %) – восточный фланг. Граница между бедными рудами западного рудного столба и богатого рудами восточного рудного столба, сложенного изменчивыми по концентрации, но преимущественно 2–3,5 %-ными по Ni рудами, согласна с восточным («висячим») боком массива габбро, совпадает по склонению с направлением серии «борозд» в подошве рудного тела в долеритах.

В целом распределение рудных столбов по всем элементам подчинено основному структурному элементу месторождения – ориентировке таких элементов, как контакты массива габбро, флексурный перегиб рудного тела, «борозды» в подошве рудного тела, фиксируемые по структуре кровли долеритов, т. е. крупные и мелкие столбы согласны со склонением рудного тела, конкретно – его восточной части.

Вместе с тем в распределении концентраций каждого элемента прослеживаются свои особенности. В частности, для меди более четко выражен линейно-струйчатый характер рудных столбов крупного плана с содержаниями 1–1,5 %, а также с 3 % и более подчинен основному элементу структуры. Для кобальта характерно формирование наиболее высококонцентрированных столбов (с Co > 0,10) в наиболее сложной по структуре зоне месторождения на востоке. Этот участок отмечен также отщеплением крупных апофиз, имеющих значение самостоятельных

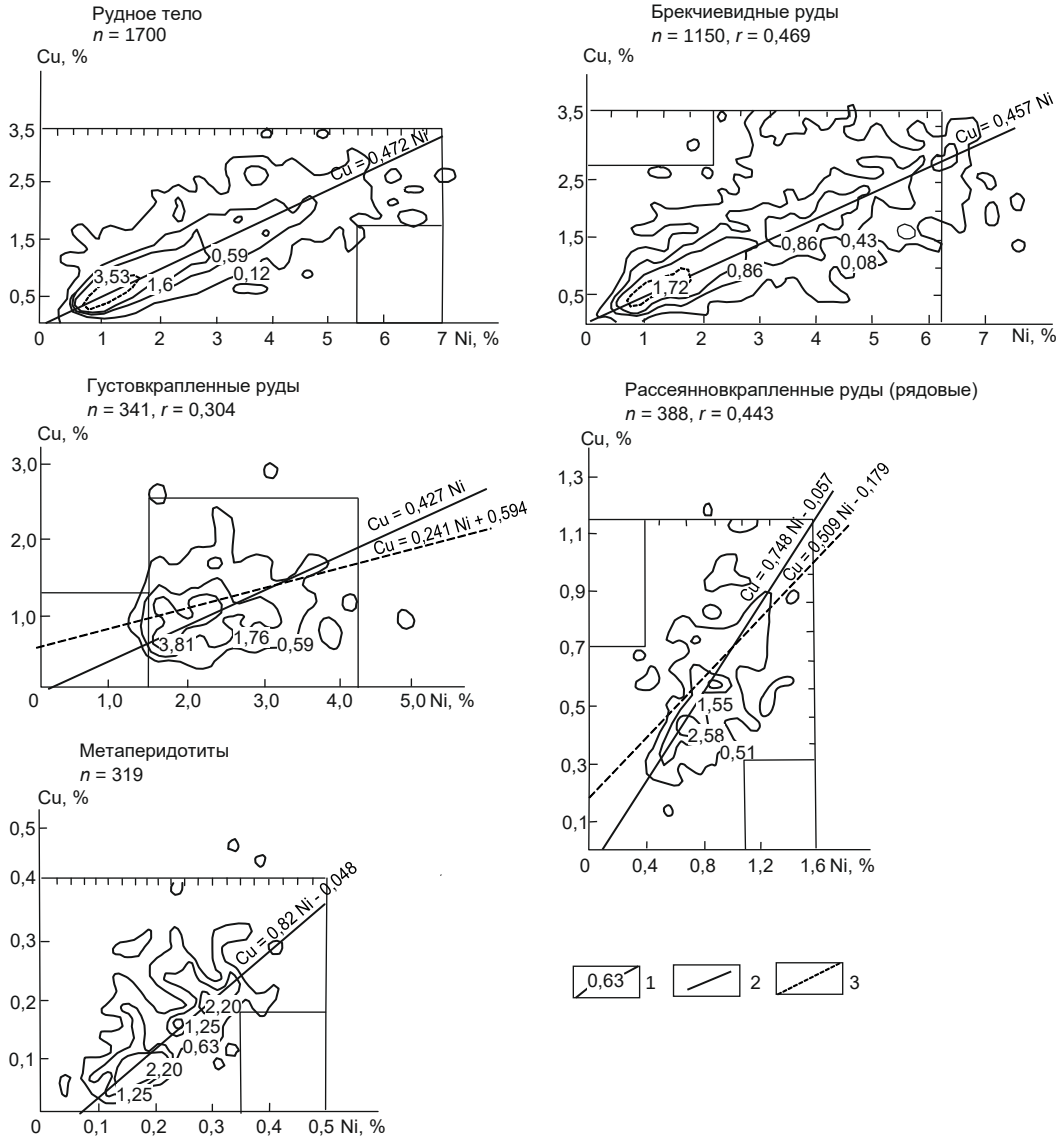


Рисунок 1. Диаграмма зависимости содержаний меди от содержания никеля: *n* – количество проб; *r* – коэффициент корреляции. 1 – изолинии плотности точек на единицу площади в процентах от общего числа проб; 2 – линия регрессии и ее формульное выражение (по графическому построению); 3 – то же по математическим расчетам.

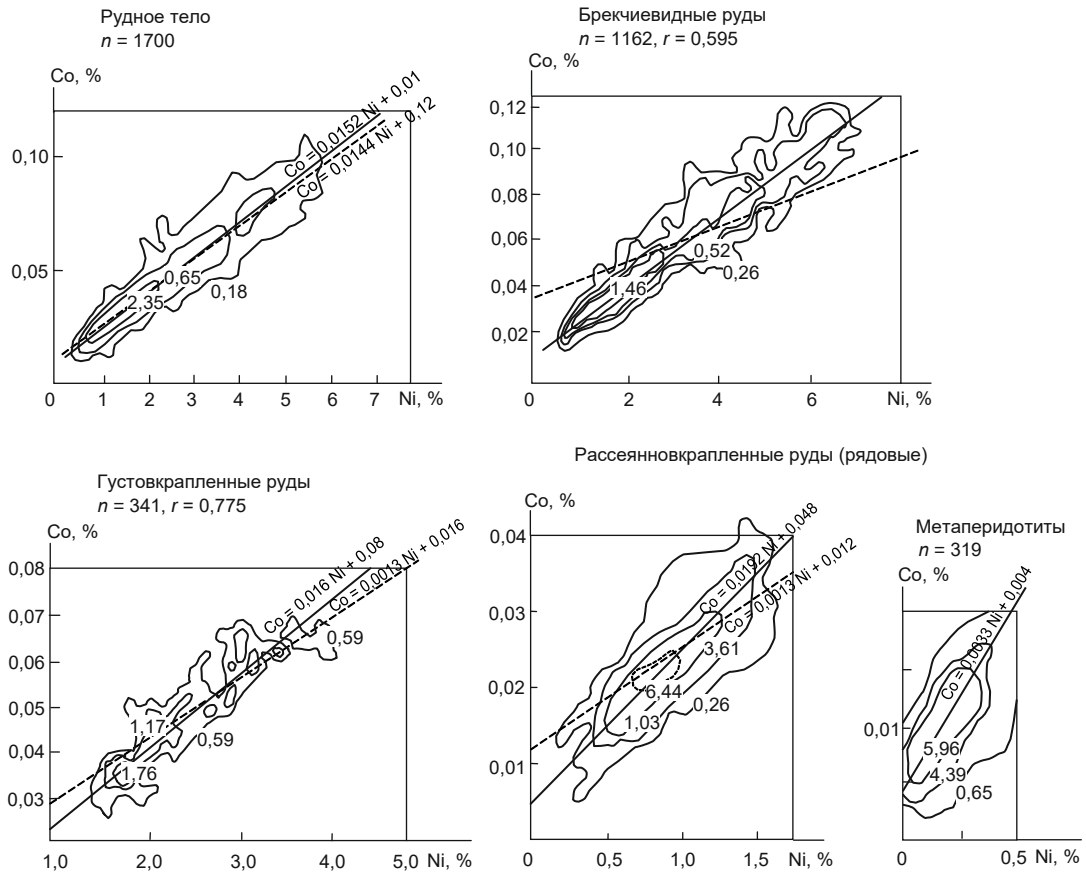


Рисунок 2. Диаграмма зависимости содержания кобальта от содержания никеля.

рудных тел. В целом это свидетельствует о развитии мощных зон трещиноватости, что, возможно, благоприятно сказалось на перераспределении Co, ассоциирующего с такими «поздними» минералами, как пирит и кобальтин.

Внутри основных рудных столбов наблюдается развитие более мелких, не подчиненных каким-либо известным структурным элементам. Характерно, что области концентрации никеля более широкие, а меди – более узкие, линейные. Слабо выражена тенденция концентрации более медистых брекчий в восточной части месторождения, но более вероятно, что изменение состава происходит параллельно.

Интересно, что крупный рудный столб в восточной части месторождения сложен рудами, в которых содержание никеля варьирует в очень узких пределах – 3,5–4 %, а меди – в широких – 1,5–3 %. Следовало бы ожидать в связи с этим изменения отношения Cu : Ni в сторону увеличения, чего не наблюдается.

Отношение Cu : Ni в целом по брекчиям не обнаруживает заметной закономерной тенденции изменения. Можно отметить развитие более обширных участков с устойчивым отношением больше модального (0,5) или меньше, западнее габбрового массива и развитие руд с отношением Cu : Ni > 1 на восточном выклинивании рудного тела. Основная же часть месторождения характеризуется равномерной «крупностолбчатой» структурой распределения брекчиевидных руд с отношением Cu : Ni , близким к 0,5. Отношение Co : Ni меняется в брекчиях весьма слабо (80 % проб от 0,01 до 0,025), причем для «богатых» брекчий характерны более низкие отношения, т. е. менее 0,02, а для «бедных» – более высокие, что связано с непропорциональным возрастанием концентрации Ni в «богатых» брекчиях относительно Co.

На основании полученных данных при разработке месторождения сделаны выводы о том, что на глубоких горизонтах месторождений структура зональности брекчий меняется. Основное направление склонения рудных столбов ориентируется почти вертикально. По данным опробования эксплуатационной разведки, граница между бедными и богатыми разностями брекчиевидных руд прослеживается на всю глубину месторождения.

Главный рудный столб богатых брекчиевидных руд смещается от восточного фланга рудного тела к его центру и «сечет» контуры «окон» (маломощных участков) в теле брекчий, т. е. не согласуется с его морфологией. Эти тенденции указывают на изменение взаимосвязи брекчий со структурными элементами на глубину.

Отношения между никелем, медью и кобальтом в рудах различны, а в пределах одного типа руд устойчивы в соответствующих диапазонах содержаний.

Была проведена подборка проб по типам руд и рудному телу в целом с учетом данных детальной и эксплуатационной разведки. Результаты позволили вывести линии регрессии и их формулы для прямолинейных зависимостей (рис. 1). Эти данные позволяют предполагать, что поведение главных элементов – меди и кобальта – на глубине аналогичны поведению никеля.

Анализ графиков, представленных на рис. 2, показывает, что для всех типов руд зависимости содержания меди и кобальта от содержания никеля прямые, причем в густовкрапленных и брекчиевидных типах они близки, а в рассеянновкрапленных существенно отличаются. Хорошо видно, что на соотношение меди и никеля в рудном теле заметно влияют рассеяновкрапленные руды, тогда как соотношение кобальта и никеля определяется главным образом таковым в густовкрапленных и брекчиевидных рудах.

Зависимости между никелем, медью и кобальтом в рудах не остаются постоянными при изменении концентрации никеля в руде.

Как показывают графики (рис. 3, 4), отношение Ni/Cu в брекчиях и рассеянновкрапленных рудах, а также в околорудных

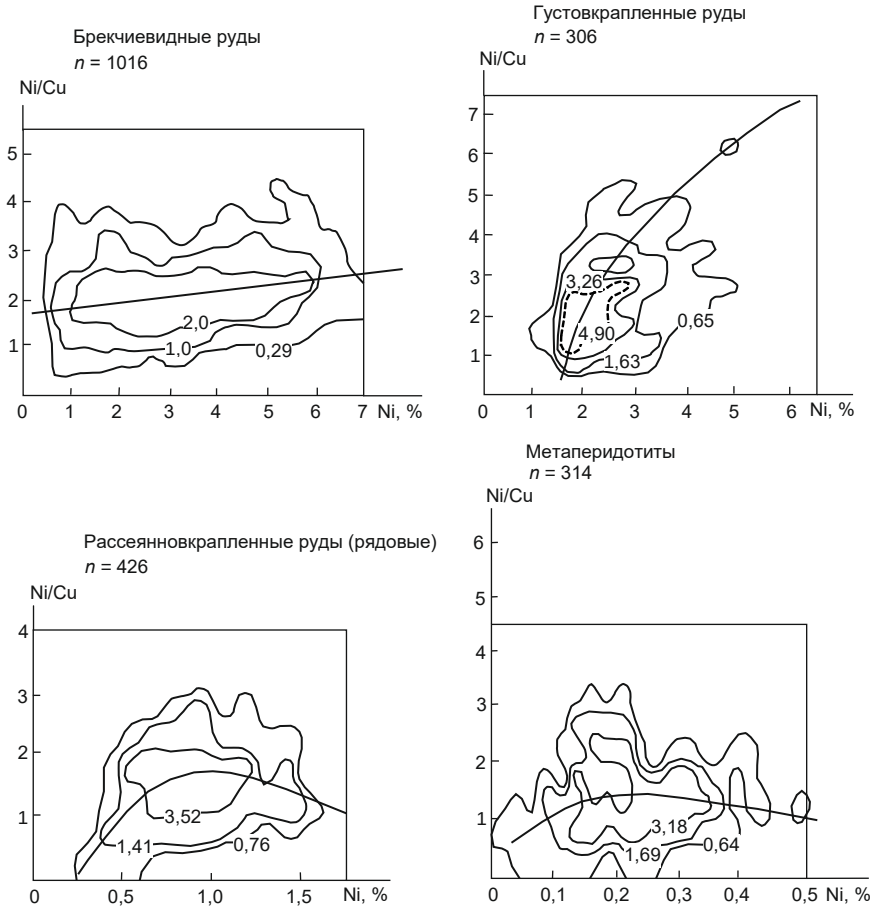


Рисунок 3. Диаграммы зависимости величины отношения Ni/Cu от содержания никеля.

метаперидотитах практически постоянно при разных содержаниях никеля, в среднем 2 : 1,5 и 1 соответственно, а в густовкрапленных рудах отмечена тенденция к возрастанию отношения с увеличением содержания никеля.

Отношение Ni/Co возрастает с увеличением концентрации Ni во всех типах руд. В богатых рудах рост происходит по ступенчатой кривой, а в брекчиях – прямолинейно.

Таким образом, в брекчиевидных рудах установлено прямолинейное соотношение меди и никеля: Cu = 0,455 Ni; кобальта и никеля: Co = 0,015 Ni + 0,01; слабое возрастание отношения Ni / Cu от 1,8 до 2,5 при изменении содержания никеля от 1,0 до 7,0 % в брекчиевидных рудах и ступенчатое возрастание отношения Ni/Co от 30 до 50 в диапазоне содержаний никеля 0,5–2,5 % и от 50 до 65 в диапазоне 2,5–7 % Ni. Характерно, что резкое увеличение отношения Ni/Co в бедных брекчиевидных рудах аналогично изменению данного отношения в рядовых вкрапленных рудах.

Распределение концентраций элементов *в густовкрапленных рудах* подчинено структуре и форме залежей. Во всех залежах установлена тенденция обогащения элементами ядерных частей, как правило, наиболее мощных. Вместе с тем установлено отсутствие взаимосвязи состава и мощности в восточной залежи, где известно «гнездо» густовкрапленных руд линейной формы. Области высоких концентраций элементов в пределах центрального и восточного столбов залежей густовкрапленных руд имеют более сложную форму, нередко распадаются на ряд мелких полей. При этом максимумы концентраций располагаются не только в пределах основного столба, но и в сателлитах. В западном столбе наиболее отчетливо выражена концентрическая зональность.

Здесь, как и в брекчиевидных рудах, отмечаются общая тенденция распределения низких и средних концентраций элементов и пространственное разделение максимальных концентраций.

Таким образом распределение Ni, Cu и Co в рудных телах согласуется с формой залежей, а эпицентры концентрации, как правило, приурочены к осям синклинальных «борозд» в долеритах, кроме того, аномальные точки по концентрации Co (> 0,070) сосредоточены в узлах изгибов «борозд» и флексурных волн во вмещающих породах. Также наблюдается пространственная взаимосвязь концентрационных столбов по Ni и Cu в густовкрапленных и брекчиевидных рудах. Рудные столбы никеля в брекчиевидных рудах западной части месторождения (северное ответвление) смещены к западу относительно густовкрапленных руд, а в центральной и особенно в восточной частях месторождения эпицентры концентрации Ni в брекчиях смещены относительно эпицентров концентрации Ni в густовкрапленных рудах к востоку, т. е. во всех случаях концентрационные столбы не совпадают пространственно. Рудные столбы никеля брекчиевидных и густовкрапленных руд в западной и центральной частях месторождения совпадают по уровням концентраций, а в восточной части наблюдается отчетливое смещение повышенных концентраций Cu в брекчиях восточнее густовкрапленных руд.

На глубоких горизонтах месторождения, где густовкрапленные руды слагают большую часть рудного тела, распределение никеля также имеет концентрический характер. Концентрический тип зональности в залежах густовкрапленных руд аналогичен ранее изученному на примере залежей месторождения Котсельваара [12], но проявлен значительно менее контрастно, а также осложнен вследствие разрыва залежей. Распределение меди и кобальта на глубоких горизонтах взаимосвязано с никелем соответствующими отношениями Cu = 0,427 Ni; Co = 0,016 Ni + 0,008 (рис. 1, *4*). С увеличением концентрации никеля, т. е. с переходом в блоки богатых густовкрапленных руд, отношение

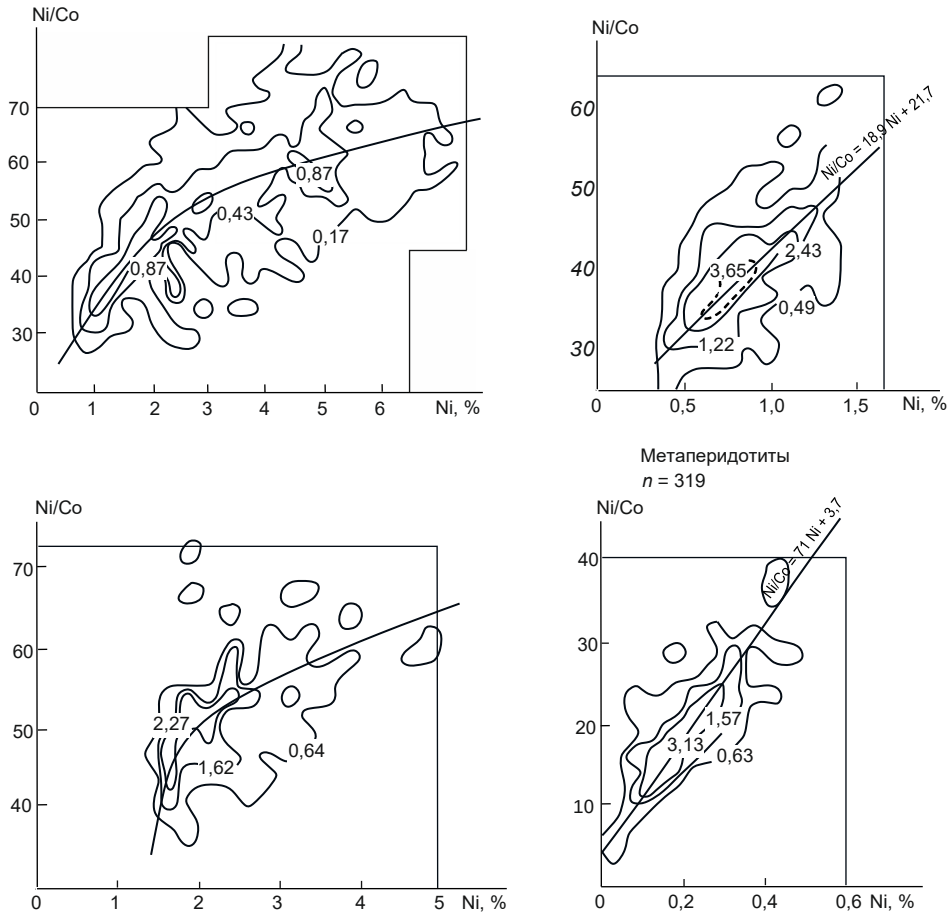


Рисунок 4. Диаграммы зависимости величины отношения Ni/Co от содержания никеля.

Ni/Cu возрастает от 0,5 до 4 (рис. 3), а Ni/Co – от 40 до 55 и более в зависимости от содержании никеля (рис. 4).

В рядовых вкрапленных рудах содержание элементов варьирует слабо. Тем не менее наблюдается некоторое обогащение полезными компонентами руд в средней части месторождения, а фланговые части залежи, в том числе и наиболее мощные на западе, сложены более бедными рудами. Повышение концентрации химических элементов не коррелируется с какими-либо хорошо выраженными элементами структуры и строением самой залежи, но столб обогащенных руд прослеживается на всю глубину отработанной части.

В целом по месторождению рассеянновкрапленные руды характеризуются одинаковым уровнем содержания полезных элементов, хотя отдельные залежи глубокозалегающих руд заметно обеднены никелем.

Соотношения между элементами рассеянновкрапленных руд существенно отличаются от брекчиевидных и густовкрапленных. Во-первых, для них характерно наиболее контрастное увеличение содержания меди с увеличением никеля (рис. 1); Cu = 0,748 Ni – 0,057, во-вторых, аналогично ведет себя кобальт, Co = 0,0192 Ni + 0,048 (рис. 2). Это приводит к тому, что на каждый 1 % никеля в рассеянновкрапленной руде содержание меди составляет 0,691 %, а кобальта – 0,0672 %, что является высоким показателем для рудного тела в целом и значительно превышает данные по брекчиевидньм и густовкрапленным рудам. Своеобразно меняются в рассеянновкрапленных рудах и отношения Ni/Cu и Ni/Co (рис. 3, 4). Вариационная линия отношения Ni/Cu поднимается от 1,0 до 1,7 с ростом никеля от 0,5 до 1,0 % и в дальнейшем понижается до 1,0. Вариационная линия отношения Ni/Co от содержания Ni проходит от 30 до 50 при изменении содержаний никеля от 0,5 до 1,5 % и имеет форму прямой с уравнением Ni/Co = 18,9 Ni + 21,7. Как уже отмечено ранее, такую же закономерность изменения отношения имеют и бедные брекчии. Это, по мнению автора, связано с тем, что обломочный материал в этих брекчиях в основном представлен блоками деформированных рассеянновкрапленных руд.

Детальный анализ влияния химических особенностей бедных вкрапленных руд на геохимию рудного тела в целом показал, что присутствие их в разрезе рудного тела значительно меняет среднее отношение Cu/Ni.

Подводя итог на основании выполненных исследований, можно сказать о сложном и неоднородном составе сульфидных минерализаций в разных типах руд, которые, в свою очередь, подобны в зонах, отличающихся содержанием металлов. Также выделены главные типы зональности – это в брекчиевидных рудах асимметричная и в залежах густовкрапленных руд симметричная зональность. Согласно полученным результатам, механизм формирования минералого-геохимических различий руд и зон определен распределением магматического вещества как вследствие дифференциации на глубине до внедрения в рудолокализующую зону, так и в результате динамической дифференциации под влиянием тектонических факторов на месте локализации руд и, наконец, кристаллизационной дифференциацией сульфидного расплава. Все это не исключает, а отчасти подтверждает теорию о том, что восточная ветвь, в которой залегают густовкрапленные руды, является так называемым подводящим каналом (проводником) к верхней части месторождения и к западной ветви, которая схожа по своим морфологическим параметрам с центральной частью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Begg G. C., Hronsky J. A. M., Arndt N. T. et al. Lithospheric, cratonic and geodynamic setting of Ni–Cu–PGE sulphide deposits // Economic geology. 2010. Vol. 105, № 6. P. 1057–1070.
2. Song X.-Y., Danyushevsky L.V., Keays R. R., Chen L.-M. et al. Structural, lithological and geochemical constraints on the dynamic magma plumling system of the Yinchuan Ni–Cu sulphide deposits. NW China // Mineralium Deposita. 2012. Vol. 47, № 3. P. 277–298.
3. Горбунов Г. И., Астафьев Ю. А., Бартенев И. С. и др. Структуры медно-никелевых рудных полей и месторождений Кольского полуострова. Л.: Наука, 1978. 160 с.
4. Горбунов Г. И., Астафьев Ю. А., Гончаров Ю. В. и др. Медно-никелевые месторождения Печенги. М.: ГЕОС, 1999. 236 с.
5. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia / P. Eilu (ed.). Geological Survey of Finland, Special Paper 53. 2012. 401 p.
6. Бежанова М. П., Стругова Л. И. Ресурсы, запасы и добыча важнейших видов полезных ископаемых. М.: ОАО «ВНИИзарубежгеология», 2011. 145 с.
7. Беневольский Б. И. Состояние и пути развития минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов России // Разведка и охрана недр. 2011. № 5. С. 28–36.
8. Maier W. D., Groves D. I. Temporal and spatial controls on the formation of magmatic PGE and Cu–Ni deposits // Mineralium Deposita. 2011. Vol. 46, № 8. P. 841–857.
9. Mudd G. M. Global trends and environmental issues in nickel mining: sulphides versus laterites. Australia, Clayton: Monash Univ., 2011. 35 p.
10. Пожиленко В. И., Гавриленко Б. В., Жиров Д. В. и др. Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты. Изд-во КНЦ РАН, 2002. 359 с.
11. Баржицкая С. М., Соколов С. В. О зональности и скрытых вариациях состава богатых руд одного из месторождений Печенги // Минералы и парагенезисы минералов медно-никелевых и колчеданных руд Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во Кол. фил. АН СССР, 1982. С. 102–109.
12. Нерадовский Ю. Н., Грибушин Г. М. Минеральная и химическая зональность залежей густовкрапленных руд одного медно-никелевого месторождения Печенги // Петрология, минералогия и геохимия. Сер. «Вопросы геологии и металлогении Кольского полуострова». Апатиты, 1974. Вып. 5. Ч. 2. С. 221–226.

REFERENCES

1. Begg G. C., Hronsky J. A. M., Arndt N. T. et al. 2010, Lithospheric, cratonic and geodynamic setting of Ni–Cu–PGE sulphide deposits. *Economic geology*, vol. 105, no. 6, pp. 1057–1070.
2. Song X.-Y., Danyushevsky L.V., Keays R. R., Chen L.-M. et al. 2012, Structural, lithological and geochemical constraints on the dynamic magma plumling system of the Yinchuan Ni–Cu sulphide deposits. NW China. Mineralium Deposita vol. 47, no. 3, pp. 277–298.
3. Gorbunov G. I., Astaf'ev Yu. A., Bartenev I. S. et al. 1978, *Struktury medno-nikelevykh rudnykh poley i mestorozhdeniy Kol'skogo poluostrova* [Structures of copper-nickel ore fields and deposits of the Kola Peninsula], Leningrad, 160 p.
4. Gorbunov G. I., Astaf'ev Yu. A., Goncharov Yu. V. et al. 1999, Medno-nikelevye mestorozhdeniya Pechengi [Copper-nickel deposits of Pechenga], Moscow, 236 p.
5. Eilu P. 2102, Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Special Paper 53, 401 p.
6. Bezhanova M. P., Strugova L. I. 2011, *Resursy, zapasy i dobycha vazhneyshikh vidov poleznykh iskopaemykh* [Resources, reserves and extraction of the most important types of minerals], Moscow, 145 p.
7. Benevol'skiy B. I. 2011, *Sostoyanie i puti razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy blagorodnykh i tsvetnykh metallov Rossii* [State and ways of development of mineral and raw materials base of noble and non-ferrous metals in Russia]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources], no. 5, pp. 28–36.
8. Maier W. D., Groves D. I. 2011, Temporal and spatial controls on the formation of magmatic PGE and Cu–Ni deposits. Mineralium Deposita, vol. 46, no. 8, pp. 841–857.
9. Mudd G. M. 2011, Global trends and environmental issues in nickel mining: sulphides versus laterites, Australia, Clayton, 35 p.
10. Pozhilenko V. I., Gavrilenko B. V., Zhirov D. V. et al. 2002, *Geologiya rudnykh rayonov Murmanskoy oblasti* [Geology of ore regions of the Murmansk region], Apatity, 359 p.
11. Barzhitskaya S. M., Cokolov S. V. 1982, *O zonal'nosti i skrytykh variatsiyakh sostava bogatykh rud odnogo iz mestorozhdeniy Pechengi* [Zonality and hidden variations in the composition of rich ores of one of the Pechenga deposits]. *Mineraly i paragenezisy mineralov medno-nikelevykh i kolchedannykh rud Kol'skogo poluostrova* [Minerals and parageneses of minerals of copper-nickel and pyrite ores of the Kola Peninsula], Apatity, pp. 102–109.
12. Neradovskiy Yu. N., Gribushin G. M. 1974, *Mineral'naya i khimicheskaya zonal'nost' zalezhey gustovkraplennykh rud odnogo medno-nikelevogo mestorozhdeniya Pechengi* [Mineral and chemical zoning of the deposits of gypsum-grained ores of one copper-nickel deposit of Pechenga]. *Petrologiya, mineralogiya i geokhimiya. Ser. «Voprosy geologii i metallogenii Kol'skogo poluostrova»* [Petrology, mineralogy and geochemistry. Series "Problems of geology and metallogeny of the Kola Peninsula"], vol. 5, pt. 2, pp. 221–226.

Дмитрий Витальевич Таймасов,
tdv126@rambler.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Dmitriy Vital'evich Taimasov,
tdv126@rambler.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 553.461+552.13 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-29-35

CHEMICAL ZONING OF SPINELS AND OLIVINES FROM CHROMITITES AND THE ENCLOSING ULTRAMAFITES OF THE RAI-IZ MASSIF TSENTRALNOYE DEPOSIT (THE POLAR URALS)

P. B. Shiryaev, N. V. Vakhrusheva

Химическая зональность шпинелей и оливинов из хромититов и вмещающих ультрамафитов месторождения Центральное массива Рай-Из (Полярный Урал)

П. Б. Ширяев, Н. В. Вахрушева

Изучена химическая зональность сосуществующих оливинов и хромовых шпинелей из хромититов и вмещающих пород месторождения Центральное массива Рай-Из. Установлено два типа зональности. Первый тип проявлен как в акцессорных, так и в рудообразующих шпинелях и оливинах и возникает на контакте минералов, вследствие перераспределения между ними катионов Fe и Mg. К контакту зерен железистость оливина убывает, а шпинели – возрастает. В обоих минералах к краю увеличивается количество Cr_2O_3. Такая зональность формируется в условиях понижения температуры и повышения фугитивности кислорода. Второй тип зональности наблюдается в пластически деформированных энстатит-оливиновых породах, продуктах метаморфизма гарцбургитов. Он характеризуется понижением железистости и повышением количества Cr_2O_3 от внутренних частей зерен оливина и шпинели к их контактам. Образование такой зональности происходило при постоянной температуре и фугитивности кислорода. Если первый тип зональности хорошо изучен и широко обсуждается в литературе, то зональность второго типа является сравнительно редкой. Аналогичное распределение элементов наблюдается в зернах акцессорных шпинелей массивов Миямори и Хироман (Япония), где оно интерпретируется как результат кинетического перераспределения химических компонентов в структуре минерала, которое происходит под действием диффузионной ползучести Набарро-Херрнига в условиях направленного стресса. Присутствие в энстатит-оливиновой породе признаков пластических деформаций – зон динамической рекристаллизации, – полисинтетическое двойникование в зернах оливина также позволяют интерпретировать зональность акцессорных шпинелей как результат кинетического диффузионного перераспределения компонентов в зерне минерала под действием стресса.

Ключевые слова: оливин; хромовая шпинель; химическая зональность; хромититы; гипербазиты; массив Рай-Из; Полярный Урал.

The authors studied the chemical zoning of coexisting olivines and chromium spinels from chromitites and near-ore rocks of the of the Rai-Iz massif Tsentralnoye deposit. There are two types of zoning. The first type appears both in accessory and in ore-forming spinels and olivines and occurs at the contact of minerals due to the redistribution of Fe and Mg cations between them. On approaching the grain contact the Fe/(Fe + Mg) in olivine decreases while in spinel it increases. In both minerals the Cr_2O_3 content increases to the grain rims. This zoning has been formed under the conditions of temperature decreasing and oxygen fugacity rising. The second type of spinel zoning can be observed in plastically deformed enstatite-olivine rocks, the products of harzburgite metamorphism. It is characterized by the Fe content decreasement and the Cr_2O_3 increasement from the inner parts of spinel and olivine grains to their contact. The formation of this zoning occurred at a constant temperature and oxygen fugacity. The first type of zoning is well studied and widely discussed in literature, but zoning of the second type is relatively rare. The similar distribution of elements is observed in the grains of accessory spinels of the Miyamori and Hiroman massifs (Japan), where it is considered as the result of kinetic redistribution of chemical components in the mineral structure that occurs under the influence of Nabarro-Herrnig diffusion creep in conditions of directed stress. The presence of plastic deformation signs (dynamic recrystallization zones and polysynthetic twinning in olivine grains) in the studied enstatite-olivine rock sample also permits the authors to interpret the zoning of accessory spinels as the result of kinetic diffusion redistribution of components in the mineral grain under stress conditions.

Keywords: olivine; chrome-spinel; chemical zoning; chromitites; ultramafic rocks; Rai-Iz massif; Polar Urals.

In the grains of ore-forming and accessory chrome-spinels, as well as in olivines of the Rai-Iz massif one can observe a chemical zoning – heterogeneous distribution of chemical components. A variety of publications discusses the zoning in chromium spinels from various associations, but practically no publications touch upon a topic of the olivine chemical zoning, both in meta-ultramafites and chromitites. Most authors associate zoning formation in spinels with metamorphism [1, 2–4 and many others]. For zonal accessory spinels of the Rai-Iz massif I. S. Chashchukhin shows [1] that the type of zoning depends mainly on the type of metamorphic associations in which the mineral is located. In spinels from the olivine-enstatite rocks (the highest-temperature metamorphites of the Rai-Iz massif) from the center to the edge of the grain FeO total increases, the Al_2O_3 and MgO contents decrease, distribution of the remaining elements chromium, manganese, titanium, etc. stay relatively uniform. In olivine-talc amphibole rocks towards the spinel grain edge the content of iron, titanium, and manganese rises, while the the content of magnesium, chromium and aluminum oxides falls. At the edge part of the spinel grains from olivine-antigorite rocks relatively the central one, the FeO and TiO_2 content increases and MgO and Al_2O_3 decreases, the content of Cr_2O_3 within the grain varies insignificantly [1].

An alternative model of zoning formation in spinels is suggested in works [5–7]. According to this model redistribution of chemical components in the initially homogeneous spinel occurs under the action of Nabarro-Herring diffusion creep. Stress chemical zoning (kinetic demixing) appears when the diffusivities of two final components are unequal. Lighter ions are concentrated at the crystal faces in tensions and the heavier ones – on the compression faces, so the spinel grains acquire a “multipolar” zoning. A number of natural objects demonstrate reliability of the model – plastically deformed harzburgites of the Miyamori and Horoman (Japan) complexes, peridotites of the Golyamo-Kamenyane (Bulgaria), the chromitites of Oman (Turkey). An increase in the Cr content to the grain edge along the short axis (compression) for this mechanism of zoning formation in spinel is accompanied by an increase in the Mg cation number. On the long (stretching) axis to the grain rim Al content increases together with Fe^{2+} [5].

Generally, the works devoted to the spinel zoning do not consider or do not discuss the composition of coexisting olivine. However, heterogeneity of the chemical composition of this mineral can allow to interpret the zonal distribution of Fe and Mg in spinel grains and estimate the conditions for the formation of its zones.

In this paper the authors present the results of studying of the zoning of the coexisting spinels and olivines from chromitite and ore-hosting ultramafites of the Tsentralnoye deposit southern block

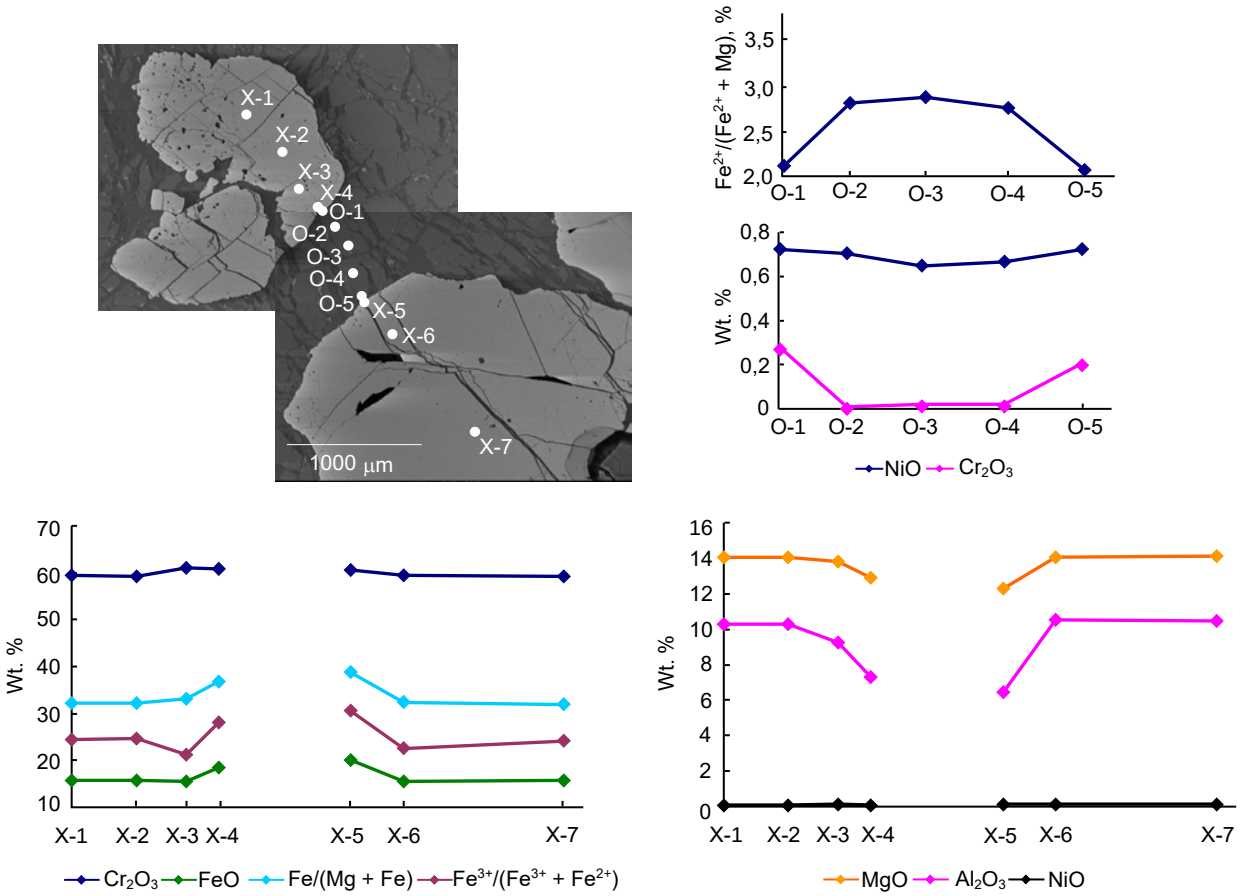


Figure 1. Ore-forming chrome spinel (light-gray, the analysis points X-1...X-4 and X-5...X-7) and olivine (gray, the analysis points O-1...O-5) grains contact from the sample P-3. BSE image, CAMECA SX 100. The diagrams show variations in composition within the grains of minerals.

Table 1. Chrome-spinel chemical composition.

Oxide	Sample number						
	P-1	P-1	P-1	P-1	P-1	P-2	P-2
	Point number						
	X-1	X-2	X-3	X-4	X-5	X-1	X-2
TiO_2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03	0,09	0,14
Cr_2O_3	34,30	31,48	33,14	33,42	40,89	48,21	34,72
Al_2O_3	1,11	0,96	0,96	1,01	1,16	1,48	1,15
FeO	54,61	57,88	57,49	56,29	49,11	43,17	55,69
MgO	4,10	3,79	3,84	3,83	4,16	3,91	3,30
MnO	0,29	0,27	0,24	0,37	0,52	0,52	0,37
NiO	0,64	0,77	0,65	0,78	0,42	0,34	0,67
V_2O_3	0,14	0,14	0,17	0,14	0,12	0,22	0,25
ZnO	0,13	0,10	0,14	0,09	0,22	0,11	0,25
CoO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Total	95,41	95,46	96,70	96,00	96,67	98,05	96,56
	Formula units normalized to 3 cations						
Cr	1,00	0,92	0,96	0,97	1,18	1,38	1,01
Al	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Fe	1,69	1,79	1,76	1,73	1,50	1,31	1,71
Mg	0,23	0,21	0,21	0,21	0,23	0,21	0,18
Ni	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Fe^{3+}	0,94	1,03	0,99	0,98	0,76	0,55	0,93
Fe^{2+}	0,74	0,76	0,76	0,75	0,74	0,76	0,78
xFe^{2+}_{Sp}	76,7	78,4	78,4	78,2	76,5	78,3	81,2
XCr_{Sp}	95,4	95,7	95,9	95,7	95,9	95,6	95,3
#Fe	56,0	57,7	56,7	56,5	50,9	41,9	54,4

Oxide	Sample number						
	P-3	P-3	P-3	P-3	P-3	P-3	P-3
	Point number						
	X-1	X-2	X-3	X-4	X-5	X-6	X-7
TiO_2	0,12	0,13	0,10	0,14	0,15	0,10	0,12
Cr_2O_3	59,49	59,10	61,25	60,76	60,13	59,43	58,99
Al_2O_3	10,29	10,22	9,30	7,28	6,38	10,54	10,43
FeO	15,86	15,68	15,56	18,58	19,98	15,52	15,63
MgO	14,10	14,02	13,86	12,88	12,24	14,06	14,07
MnO	0,14	0,19	0,16	0,18	0,21	0,16	0,15
NiO	0,08	0,09	0,11	0,08	0,11	0,12	0,11
V_2O_3	0,09	0,11	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08
ZnO	0,03	0,06	0,01	0,02	0,04	0,00	0,04
CoO	0,03	0,04	0,01	0,00	0,03	0,01	0,02
Total	100,23	99,64	100,46	100,02	99,37	100,02	99,64
	Formula units normalized to 3 cations						
Cr	1,50	1,50	1,55	1,57	1,58	1,50	1,50
Al	0,39	0,39	0,35	0,28	0,25	0,40	0,39
Fe	0,42	0,42	0,42	0,51	0,55	0,42	0,42
Mg	0,67	0,67	0,66	0,63	0,60	0,67	0,67
Mn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe^{3+}	0,10	0,10	0,09	0,14	0,17	0,09	0,10
Fe^{2+}	0,32	0,32	0,33	0,36	0,38	0,32	0,32
XFe^{2+}_{Sp}	32,3	32,1	33,2	36,8	38,9	32,4	32,1
XCr_{Sp}	79,5	79,5	81,5	84,8	86,3	79,1	79,1
#Fe	24,4	24,6	21,2	28,2	30,5	22,6	24,3

Note: $XFe^{2+}_{Sp} = Fe^{2+} \times 100/(Fe^{2+} + Mg)$; $XCr_{Sp} = Cr \times 100/(Cr + Al)$; $\#Fe = Fe^{3+} \times 100/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$.

(ore pool 9). In this part of the deposit chromitites occur among the rocks of the dunite-harzburgite complex, in which the dunite component gradually decreases in the southwestern direction. Ultramafic rock samples were collected from the deposit tunnel at a distance from the ore body (sample P-1) and from the ore body contact 9 (sample P-2), while the chromitites (sample P-3) – from its inner part. The sample P-1 presents itself an enstatite-olivine rock of poikiloblastic structure, directive texture, with the content of olivine – 80–85 %, enstatite – 12–15 %, chrome-spinel – 1–2 % as well of some flakes of clinochlore and antigorite. The rock contains two generations of olivine grains, differing in size and internal structure features. The cross sections of the grains of the first generation usually are slightly elongated according to directivity and vary in size from 2 to 7 mm. Such grains have cleavage cracks, kink bands and (or) undulose extinction. Orthopyroxene (enstatite) also occurs as single large (2–3 mm) porphyroblasts, saturated with poikilitic inclusions of olivine and chrome spinel.

The cross sections of the olivine grains of the second generation are isometric or slightly elongated; their average size is 0.3–0.5 mm, rarely more. Grains were not affected by internal stress and often form aggregates with a mosaic texture. Olivine grains of the second generation together with the enstatite neoblasts form 3–5 mm wide linear zones oriented subparallel to general mineral lineation in the rock. Chrome-spinel grains, localized within recrystallization zones, have irregular, elongated/flattened shape, 0.7–1.5 mm in length and 0.3–1 mm in width. Spinel inclusions in olivine grains of the first generation, on the contrary, have octahedral shape, and their size does not exceed 0.5 mm.

The presence of linear zones composed of olivine and enstatite of the second generation in the rock and the kink bands in olivine grains of the first generation indicate that the rock undergone plastic deformations with recrystallization.

The amphibole-enstatite-olivine rock of poikiloblastic texture with foliated structure (sample P-2) consists in olivine (75–80 %) and enstatite (12–15 %), which, as in the sample P-1, are presented by two generations with identical average grain sizes. Apart from these minerals the rock contains prismatic grains of amphibole (tremolite) of 5–7 % with length up to 3-5 mm, sometimes more. Amphibole is often found within the bands formed by recrystallized olivine and enstatite. Spinel is present as a elongated/flattened grains of irregular shape localized within the zones of recrystallization and as octahedral crystals with the same dimensions as that of spinel grains from enstatite-olivine rock of sample P-1.

Chromitite (sample P-3) is densely disseminated and has a medium-grained texture and massive structure. The chromitite is composed of chrome spinel (70–75 %), olivine (17–20 %), chlorite (3–5 %), serpentine (2–3 %). Chrome spinel grains are usually isometric or slightly elongated in shape with smoothed edges up to 5 mm in size. Olivine grains are xenomorphic and elongated and also occur in two size fractions/generations – the first one is 3-5 mm and the second one is 1–1.5 mm long. Kink bands and undulose extinction appear in the grains of both generations, but they are much less common than in olivines from the near-ore rocks. Both of olivine generations are serpentinized, in a number of cases clinochlore flakes are developed at olivine and spinel boundaries.

Compositions of olivines and spinels studied in this work were obtained from mineral grains that are in direct contact with each other. The analyses have been carried out on the CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer by D. A. Zamyatin (IGG UB RAS, Yekaterinburg). The change in the composition of the ore-forming spinel and the contacting olivine grain from chromite (sample P-3) is shown in Fig. 1 and in Table 1 and 2. Fayalite content (Fa, $f = Fe \times 100/(Fe + Mg)$) in olivine grains varies from 2.9 % at the core to 2.1 % at the rim. Spinel grains have another component distribution: the iron content of the mineral increases towards the grain rim reaching 36–39 %, whereas at the center of grains its value is close to 32 %. Similar zoning of minerals occurs during the ion exchange of Mg and Fe between olivine and spinel as the temperature is decreasing [8, 9]. Cr_2O_3 content at the grain rims increases, in olivine at the olivine-spinel contact its value varies from 0.2 to 0.3 %. Cr_2O_3 content at the cores of spinel

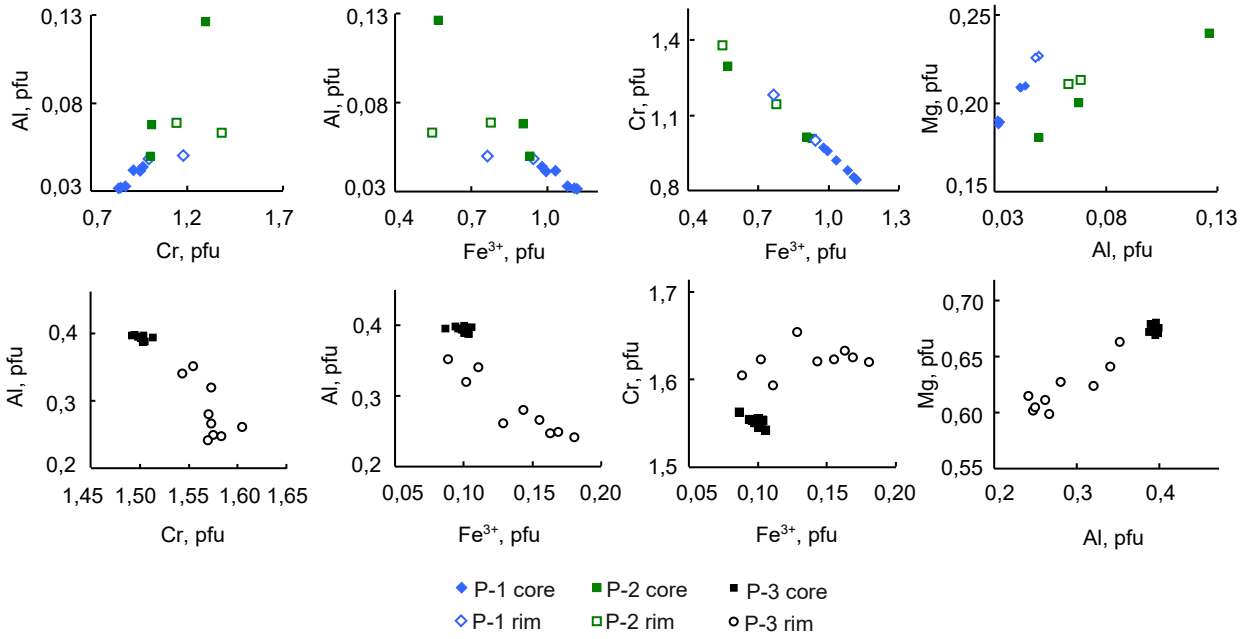


Figure 2. The main correlation dependences of the component contents in the studied chrome spinels.

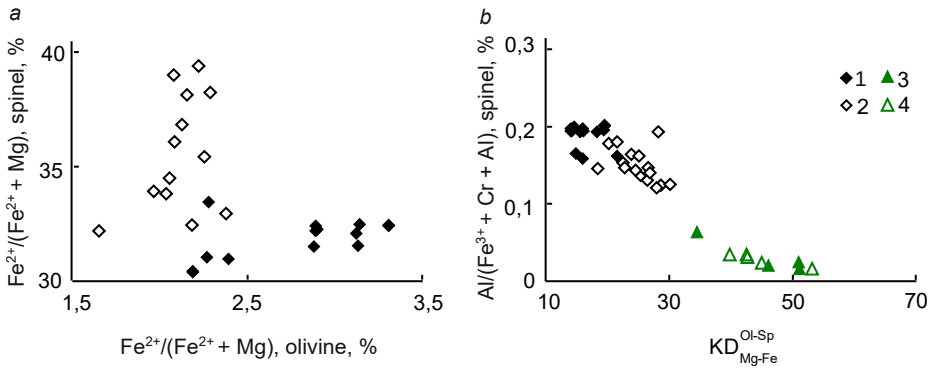


Figure 3. Compositional variation of coexisting olivines and spinels from the studied samples. 1 – olivine and spinel grain cores from chromite; 2- olivine and spiel grain rims from chromite; 3 – olivine and spinel grain cores from meta-ultramafites; 4 – olivine and spinel grain rims from meta-ultramafites.

grains is around 59 %, at the rims – 61 %. The component content in spinel increases quite sharply and is accompanied by an increase in #Fe ($Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$, pfu).

For all these #Fe decreases at 200 μm from the grain rim which is accompanied by a sharp Cr_2O_3 content increase. At the spinel rim (analysis point is located at 5 μm from the grain boundary) Cr_2O_3 content slightly decreases, and #Fe in spinel, on the contrary, sharply increases. Al_2O_3 content gradually decreases to the rims of the spinel grains, along with MgO lowering. NiO content in chromium spinel smoothly increases from grain cores to rims from 0.08 to 0.11–0.12 % and sharply decreases to 0.02 % at the contact with olivine grain. Olivine grains demonstrate the increase in NiO from the center to the rim (from 0.65 % to 0.72 %). We also have studied several more grains of spinel and olivine from this sample. All of them have similar zoning. For more reliable reconstruction of chemical transformations occurring in spinel, a number of scatter charts has been done. They characterize the behavior of bivalent and trivalent cations at the cores and rims of spinel grains (Fig. 2). At the grain rims the proportionality of amount of Fe^{3+} and Fe^{2+} cations with Al is inverse, while the amount of Al and Mg is directly proportional. Cr and Fe^{3+} proportionality in the grain cores is inverse. It is noticeable that the internal parts of the grains are uniform in composition, and the obtained dependences characterize its change from one grain to another. In the rims the content of chromium and ferric iron increases and the alumina content decreases.

There are two different groups with a different inclination of the trend line on the diagram Fa – XFe^{2+}_{Sp} (Fig. 3, *a*) for the analysis of cores and rims of the grains. As the reason for this can serve the fact that the rims of the spinel grains are depleted with Al and enriched with chromium and trivalent iron which increase $KD^{Ol\text{-}Sp}_{Mg\text{-}Fe}$ at a constant temperature. Consequently a more intensive redistribution of magnesium into olivine and of iron – into spinel takes place in the olivine-spinel pair. Fig. 3, *b* shows the proportionality of $KD^{Ol\text{-}Sp}_{Mg\text{-}Fe}$ and the fraction of Al ($Al/(Fe^{3+} + Al + Cr)$) at the rims and cores of spinel grains, which confirms this assumption. The addition of ferric iron ensures the stability of the spinel lattice during its depletion with aluminum cations (Fig. 2). The grains of rock-forming olivine from the enstatite-olivine rock (sample P-1, Fig. 4) are also zonal: grain cores contain 7.3 % Fa, and to the rim its content decreases to 6.2%. Iron distribution in an accessory spinel is similar – XFe^{2+}_{Sp} = 78.4 % at the core, and 76.5 % at the grain rim. The content of chromium and aluminum oxides increases to the grain rims in both minerals. The content of NiO in the grains of accessory spinel (0.43–0.81 %) is higher than in the grains of rock-forming olivine (0.31–0.5 %). XFe^{3+} in spinel decreases to the rim from 59 % to 58.4 % in the first and from 58 % to 51 % in the second grain. The content of Al cations in spinel is extremely low (Fig. 2), but despite this there is clear direct Al proportionality to Mg and Cr. The content of Cr cations is inversely proportional to the content of Fe^{3+}.

The fayalite molecule content in olivines from amphibole-enstatite-olivine rock (sample P-2, fig. 5) also decreases to the grain rims.

Table 2. Olivine chemical composition.

Oxide	Sample number						
	P-1	P-1	P-1	P-1	P-1	P-2	P-2
	Point number						
	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5	O-1	O-2
SiO_2	41,03	41,60	40,86	40,55	40,89	40,63	40,53
MgO	50,91	50,74	50,96	50,78	52,58	50,26	50,79
CaO	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Cr_2O_3	0,02	0,00	0,08	0,24	0,57	0,00	0,04
FeO	7,05	7,15	6,86	6,61	6,18	7,60	7,63
MnO	0,04	0,11	0,15	0,06	0,07	0,08	0,11
NiO	0,43	0,50	0,28	0,31	0,31	0,41	0,44
Al_2O_3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
TiO_2	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CoO	0,08	0,07	0,10	0,00	0,07	0,04	0,00
Total	99,58	100,19	99,29	98,56	100,69	99,02	99,56
Formula units normalized to 3 cations							
Si	1,00	1,01	1,00	1,00	0,98	1,00	0,99
Mg	1,85	1,83	1,85	1,86	1,88	1,84	1,85
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,16	0,16
Ni	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fa, %	7,21	7,33	7,02	6,81	6,19	7,82	7,77

Oxide	Sample number					
	P-2	P-3	P-3	P-3	P-3	P-3
	Point number					
	O-3	O-1	O-2	O-3	O-4	O-5
SiO_2	40,43	43,22	43,05	43,19	43,00	43,47
MgO	50,87	54,53	53,86	53,60	53,79	54,43
CaO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr_2O_3	0,16	0,27	0,00	0,01	0,01	0,20
FeO	7,65	2,11	2,79	2,84	2,73	2,06
MnO	0,15	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03
NiO	0,44	0,73	0,71	0,65	0,67	0,73
Al_2O_3	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
TiO_2	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
Total	99,71	100,89	100,47	100,36	100,24	100,93
Formula units normalized to 3 cations						
Si	0,99	1,01	1,02	1,02	1,02	1,02
Mg	1,85	1,91	1,90	1,89	1,90	1,90
Cr	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	0,16	0,04	0,06	0,06	0,05	0,04
Ni	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fa, %	7,78	2,12	2,82	2,89	2,77	2,08

Note: Fa = Fe × 100/(Fe + Mg).

The iron content decreases to the rims of accessory spinel grains from 79–81 % to 75–78 %. This process is accompanied by the Cr_2O_3 content growth of both minerals. At the contact of olivine grains with spinel Cr_2O_3 reaches 0.16 %. Cr_2O_3 content increases from 36–41 % at the center of chromium spinel grain to 47–49 % at the rim. Al_2O_3 in spinel also increases towards the rim. In both minerals NiO content changes upon nearing their contact. In olivine the component content of increases from 0.41 to 0.44%, while in spinel it decreases from 0.5–0.6 % to 0.24–0.35 % from the core to the rim's grain. #Fe^{3+} decreases in spinel grains from core to rim varying from 50–54 % to 40–41 %. It is observed Fe^{3+} and Cr inverse proportionality and Mg and Al direct proportionality (Fig. 2).

A thermometer and an oxybarometer [10] were used to evaluate the parameters under which the mineral composition was changed and their chemical zoning has been formed. In chromitite (sample P-1), the temperature of the olivine-spinel equilibrium estimated using an ion-exchange geothermometer for the pressure of 1 GPa comprised 673 °C at the grain core and 579 °C at the rim. With the growth of the assumed pressure to 3 GPa, the estimated temperature increases for 22 °C, while the difference in its value between grain rims and cores remains close to 100 °C. Oxygen fugacity for the grain cores is 2.5 log. units above the FMQ buffer and for the rims FMQ + 4.2 log units.

The temperature and oxygen fugacity within the studied grains in olivine-enstatite rock remain practically unchanged. The temperature for the grain cores of olivine and spinel is 665–662 °C, for the rims – 662–651 °C. Oxygen fugacity for the rims and cores of grains is within the range of dlog fO_2(FMQ) + 5,0…+5,2 log units. Variations of the studied parameters from the core to the rim of the grain are within the error of the method that indicates to their constancy in the process of grain formation.

The central parts of olivine and spinel grains from the amphibole-enstatite-olivine rock show the temperatures of 636–648 °C and oxygen fugacity 3.7–4.7 units above the FMQ buffer. The grain rims have been formed at the temperature of 618-659 °C and the oxygen fugacity of FMQ +3.8 ... + 4.3 log units. Variations in temperature of

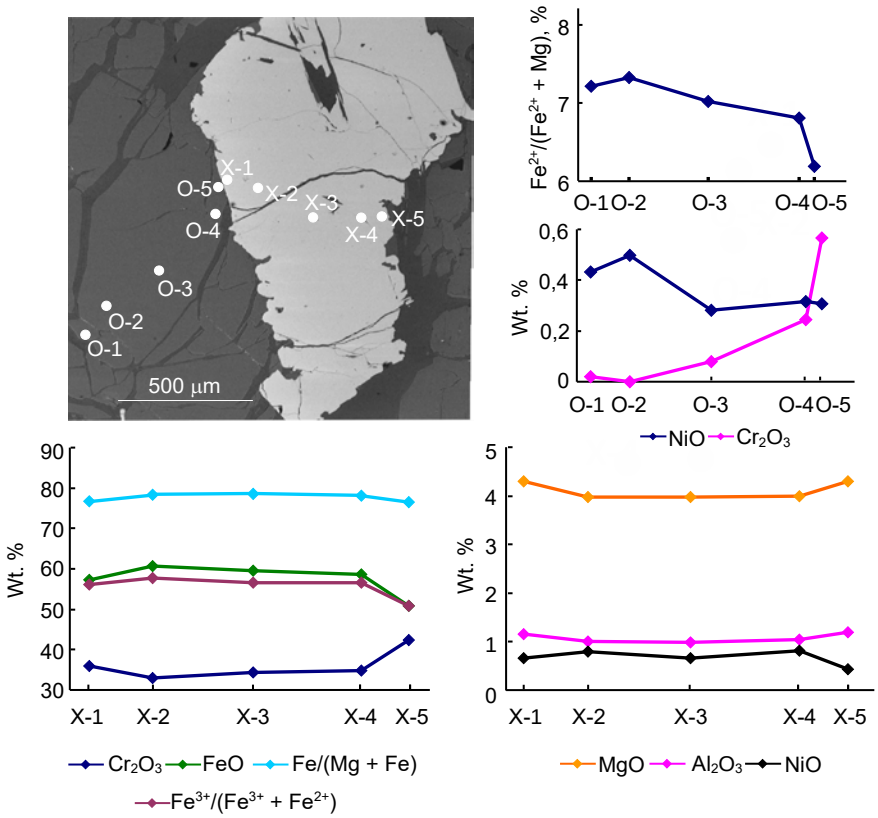


Figure 4. Accessory spinel (light gray, analysis points X-1...X-5) in contact with olivine (gray, analysis points O-1...O-5) from sample P-1. BSE image, CAMECA SX 100. The diagrams show variations in composition within the grains of minerals.

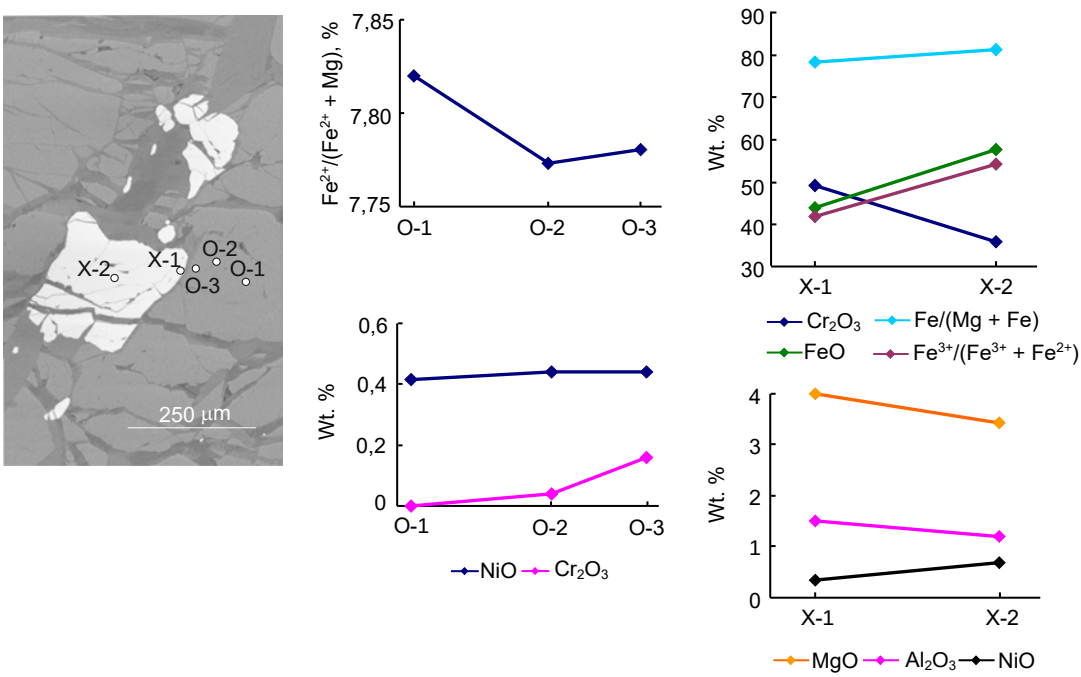


Figure 5. Accessory spinel (light gray, X-1, X-2 analysis points) in contact with olivine (gray, analysis points O-1...O-3) from P-2 sample. BSE image, CAMECA SX 100. The diagrams show variations in composition within the grains of minerals.

the olivine-spinel equilibrium are also insignificant. In the elongated grain of the accessory spinel, located inside the recrystallization zone along with amphibole and enstatite dlog fO_2(FMQ) decreases from the core (+4.7 log units) to the rim (+3.8 log units), accompanied by a decrease in temperature from 636°C up to 618 °C. In the spinel grain, which shape is close to the isometric, the oxygen fugacity rises to the grain edge (from 3.7 to 4.4 log units above the FMQ buffer) together with the decrease in temperature (from 658 °C to 649 °C).

The temperature interval within which the evolution of the olivine and spinel compositions occurred and their chemical zoning were formed according to the olivine-spinel thermometry data is about 100 °C. Temperature interval for chromitite is the highest among the studied samples. In the ore-forming spinels under the conditions of

the oxygen fugacity increasing for 2 log units it occurs the depletion of the grain rims with aluminum, that is compensated by an increase in Fe^{3+}content. Olivine grain rim composition is in equilibrium with the spinel one. Previously established direct proportionality of the olivine and spinel iron content which monotonically increases from chromites to ultramafites testifies to the existence of equilibrium in the ore-rock system [11].

The formation of spinel zoning in enstatite-olivine rock takes place under constant T-fO_2 conditions, thus, the change in these parameters cannot be the factor leading to its formation. The enrichment of the spinel grain rims with trivalent cations Al and Cr occurs simultaneously and along with that the magnesiality of the mineral grain rim increases. The direct proportionality of Cr and Mg in the profile oriented perpendicular to the grain elongation may testify to the observed zoning formed by deformation events [5]. The traces of plastic deformation established in the rock can also serve as the basis for this.

In the spinel from amphibole-enstatite-olivine rock one can observe two types of zoning: the first one (in an elongated grain) is close to that of the enstatite-olivine rock. The difference is that during the growth in the Cr and Al content from the core to the grain rim the content of Fe^{3+} reduces, that affects the decrease in the calculated value of oxygen fugacity for 1 log unit. In an isometric grain (the second one), the content of Cr and Al decreases to the grain rim, that is accompanied by the increase of the content of trivalent iron. At the same time, the growth in the Fe^{3+} content compensates the decrease in the component content. Oxygen fugacity at which the grain rim has been formed is 0.5–0.7 units higher than the one determined in the core. Formation of zoning in both cases occurs under the conditions of the temperature falling. The different ways of zoning formation can also be explained by different behavior of the components in the grains.

During studying of meta-ultramafites and chromitite from the southern block of the Rai-Iz massif Tsentralnoye deposit the authors determined two main types of chemical zoning of chromium spinel and the coexisting olivine. The first one, manifested both in chromites and rocks, appears as a result of growth in the oxygen fugacity against the background of the temperature decrease in accompanied by Mg–Fe diffusion exchange between olivine and spinel is well-known for many objects and is repeatedly discussed in literature. The second one fixes the deformation stage of meta-ultramafites development and is accompanied by the redistribution of components, both in chromic spinel and in olivine in the stress field without noticeable effect of temperature and oxygen fugacity.

The research was carried out under the support of the Presidium Program of the RAS "Exploring fundamental scientific research in the interests of the development of the Arctic zone of the Russian Federation"

REFERENCES

1. 1990, *Stroenie, ehvolyutsiya i minerageniya giperbazitovogo massiva Raj-Iz* [The structure, evolution and minerageny of the Rai-Iz hyperbasite massif]. Ed. by V. N. Puchkov, D. S. Shteinberg. Sverdlovsk, 228 p.
2. Bliss N. W., MacLean W. H. 1975, The paragenesis of zoned chromite from central Manitoba. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 39, pp. 973–990.
3. Colás V., González-Jiménez J. M., Griffin W. L., Fanlo I., Gervilla F., O'Reilly S. Y., Pearson N. J., Kerestedjian Th., Proenza J. A. 2014, Fingerprints of metamorphism in chromite: New insights from minor and trace elements. *Chemical Geology*, vol. 389, pp. 137–152.
4. Evans B. W., Frost B. R. 1975, Chrome-spinel in progressive metamorphism – a preliminary analysis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 39, pp. 959–972.
5. Ozawa K. 1989, Stress-induced Al-Cr zoning of spinel in deformed peridotites. *Nature*, vol. 338, pp. 141–144.
6. Satsukawa T., Piazolo S., González-Jiménez J. M., Colás V., Griffin W. L., O'Reilly S. Y., Gervilla F., Fanlo I., Kerestedjian Th. N. 2015, Fluid-present deformation aids chemical modification of chromite: Insights from chromites from Golyamo Kamenyane, SE Bulgaria. *Lithos*, vol. 228-229, pp. 78–89.
7. Suzuki A. M., Yasuda A., Ozawa K. 2008, Cr and Al diffusion in chromite spinel: experimental determination and its implication for diffusion creep. *Physics Chemistry Minerals*, vol. 35, pp. 433-445.
8. Lehmann J. 1983, Diffusion between olivine and spinel application to geothermometry. *Earth Planetary Science Letters*, vol. 64, pp. 123–138.
9. Ozawa K. 1984, Olivine-spinel geospeedometry: Analysis of diffusion-controlled Mg–Fe^{2+} exchange. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 48, pp. 2591–2611.
10. Ballhaus C., Berry R. F., Green D. H. 1991, Experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen barometer – implications for oxygen fugacity in the Earth's upper mantle. *Contributions Mineralogy Petrology*, vol. 107, pp. 27–40.
11. Shiryaev P. B., Vakhrusheva N. V. 2016, *Olivin-khromshpinelevoe ravnovesie v khromititakh i ul'tramafitakh massiva Raj-Iz* [Olivine-chrome spinel equilibrium in chromitites and ultramafites of the Rai-Iz massif]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 107–110.

Павел Борисович Ширяев,
pavel.shiryayev@gmail.com
Надежда Владимировна Вахрушева
nv250190@yandex.ru
Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Pavel Borisovich Shiryaev,
pavel.shiryayev@gmail.com
Nadezhda Vladimirovna Vakhrusheva
nv250190@yandex.ru
Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 549.755.23(470.5) DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-36-41

САНТАБАРБАРАИТ ИЗ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ МЕДНОРУДЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ – ПЕРВАЯ НАХОДКА НА УРАЛЕ

В. С. Пономарев, Ю. В. Ерохин, И. В. Пеков, Н. В. Чуканов

Santabarbaraite from the oxidation zone of the Mednorudyansk field is the first finding in the Urals

V. S. Ponomarev, Yu. V. Erokhin, I. V. Pekov, N. V. Chukanov

In the oxidation zone of the Mednorudyansk deposit, the authors discovered and studied aqueous ferric oxide phosphate – santabarbaraite. The discovered mineral was in one of the samples of the Mednorudyansk deposit from the collection of N. I. Kozin, collector from Nizhny Tagil. As an independent mineral species, approved by the Commission on New Minerals of the International Mineralogical Association, santabarbaraite was described in 2003 in clays of the lignite sedimentary basin in the mountainous region of Santa Barbara (Italy) and in clays underlying the Pliocene basalts in the southeast of Australia. For Russia, there are few mentions of it; it appears in the deposits of Kerch and Taman iron-ore basins, as well as in bottom sediments and near Lake Baikal. Search of information on the findings of this mineral in literature was unsuccessful, although it is likely that santabarbaraite is not a rare mineral in this region, and acts as the usual product of the oxidation of vivianite in the hypergenesis zone. Santabarbaraite from the Mednorudyansk deposit forms pseudomorphs along the vivianite crystals in cavities among the nodular and cellular limonite. The pseudomorphs of santabarbaraite completely preserved the faceting of lamellar vivianite crystals. Powder X-ray examination of samples of santabarbaraite showed complete absence of diffraction reflexes, which is typical for this mineral. The mineral is characterized by the presence of impurities of magnesium, manganese, zinc, sodium and potassium. The absence in the association of metavivianite and other intermediate mineral phases indicates that the oxidation of vivianite was most likely due to the direct replacement mechanism by santabarbarite. The authors also studied this mineral using thermal analysis, infrared and Raman spectroscopy.

Keywords: santabarbaraite; vivianite; limonite; oxidation zone; Mednorudyansk deposit; Middle Urals.

В зоне окисления Меднорудянского месторождения авторами статьи обнаружен и изучен водный фосфат окисного железа – сантабарбараит. Минерал установлен в одном из образцов Меднорудянского месторождения, собранных коллекционером из г. Нижний Тагил Н. И. Козиным. Как самостоятельный минеральный вид, утвержденный Комиссией по новым минералам Международной минералогической ассоциации, сантабарбараит был описан в 2003 г. в глинах лигнитового осадочного бассейна в горном районе Санта Барбара (Италия) и в глинах, подстилающих плиоценовые базальты в юго-восточной части Австралии. Для России упоминаний о нем мало; так, он описан в месторождениях Керченского и Таманского железорудных бассейнов, а также в донных отложениях и окрестностях озера Байкал. Сведений о находках этого минерала на Урале в литературе найти не удалось, хотя вполне вероятно, что сантабарбараит и в этом регионе не является редким минералом, а выступает обычным продуктом окисления вивианита в зоне гипергенеза. Сантабарбараит из Меднорудянского месторождения образует псевдоморфозы по кристаллам вивианита в полостях среди почковидного и ячеистого лимонита. Псевдоморфозы сантабарбараита полностью сохранили огранку пластинчатых кристаллов вивианита. Порошковое рентгенографическое исследование проб сантабарбараита показало полное отсутствие дифракционных рефлексов, что характерно для данного минерала. Минерал характеризуется присутствием примесей магния, марганца, цинка, натрия и калия. Отсутствие в ассоциации метавивианита и других промежуточных минеральных фаз указывает на то, что окисление вивианита скорее всего происходило по механизму непосредственного замещения сантабарбараитом. Минерал также изучен с помощью термического анализа, инфракрасной и рамановской спектроскопии.

Ключевые слова: сантабарбараит; вивианит; лимонит; зона окисления; Меднорудянское месторождение; Средний Урал.

Введение

Коллекция образцов из Меднорудянского месторождения, которая изучалась авторами статьи, более сорока лет собиралась коллекционером из г. Нижний Тагил Н. И. Козиным. Позднее эта коллекция была передана для исследования известным ильменским минералогам В. А. Попову и В. И. Поповой из Института минералогии УрО РАН (г. Миасс). По результатам изучения этих образцов была подготовлена сводка, посвященная минералогии Меднорудянского месторождения и опубликованная в виде специального выпуска журнала «Минералогический альманах» [1]. Недавно часть этой коллекции была передана первому автору для дальнейшего исследования. В одном из образцов, ранее определенном как вивианит, авторами статьи и установлен сантабарбараит – минерал с идеализированной формулой $Fe^{3+}_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$. В России упоминаний о нем мало; так, он описан в месторождениях Керченского и Таманского железорудных бассейнов, а также в донных отложениях и окрестностях озера Байкал. Сведений о находках этого минерала на Урале в [2 и др.] найти не удалось, хотя вполне вероятно, что сантабарбараит и в этом регионе не является редким минералом, а выступает обычным продуктом окисления вивианита в зоне гипергенеза.

Краткая история находок сантабарбараита в России

Как самостоятельный минеральный вид, утвержденный Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации, сантабарбараит был описан относительно недавно, в 2003 г. [3] в глинах лигнитового бассейна в горном районе Санта Барбара (Тоскана, Италия) и в глинах, подстилающих плиоценовые базальты в юго-восточной части Австралии (штат Виктория). Назван минерал по месту находки. Он является рентгеноаморфным водным основным фосфатом трехвалентного железа (фосфатным аналогом арсената феррисимплезита), который рассматривается как конечный член эволюционного ряда вивианит–метавивианит–сантабарбараит.

Необходимо отметить, что сантабарбараит, по сути, идентичен оксикерченитy, установленному на Керченском полуострове (Восточный Крым) еще в 1906 г. [4], о чем, кстати, упоминается и в работе [3]. Детальное изучение фосфатов железа из керченских и таманских железорудных месторождений сделано в начале XX века С. П. Поповым [5, 6], который предположил, что за счет окисления железа по вивианиту $Fe^{2+}_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ образуются фосфаты, содержащие трехвалентное железо, получившие названия α-керченит, β-керченит, оксикерченит и босфорит (заметим, что ни одно из этих названий «не прижилось» в литературе и не используется в качестве видового в современной минералогической номенклатуре). Первые два минерала кристаллические, последние – аморфные. В более поздней работе Ф. В. Чухрова и Л. П. Ермиловой [7] приведены химические составы керченских оксикерченита и босфорита, на основании изучения которых сделан вывод о том, что «…*изменение вивианита идет не путем образования новых кристаллических фаз, а путем постепенного разрушения его кристаллической решетки с образованием аморфной фазы*». В этой же работе дана эмпирическая формула керченского оксикерченита $(Fe^{2+}, Mn, Mg)_{0,46}Fe^{3+}_{2,67}(PO_4)_2(OH)_{2,93} \cdot 5{,}5H_2O$ [7], в целом соответствующая современной формуле сантабарбараита.

Рисунок 1. Сантабарбараит в полости почковидного агрегата лимонита из Меднорудянского месторождения. Фото В. С. Пономарева.

В 2005 г. при описании минералогии Керченского железорудного бассейна упоминалось, что самые лучшие в мире с музейно-коллекционной точки зрения, наиболее представительные образцы сантабарбараита были собраны в конце 1980-х гг. при добыче руды на Камыш-Бурунском железорудном месторождении [8]. Они представлены полными псевдоморфозами сантабарбараита по друзам вивианита с размером кристаллов до 6 см. Хорошие образцы сантабарбараита встречены возле села Заветное, расположенного на юго-востоке Керченского полуострова, где в скале у моря обнажаются киммерийские железные руды Кыз-Аульского месторождения. Сантабарбараит встречается только в глубоко окисленных коричневых железных рудах, где он ассоциирует с гидроксидами железа и марганца, митридатитом и гипсом [8].

Кроме Керченского железорудного бассейна, сантабарбараит в виде псевдоморфоз по вивианиту отмечен в окисленных киммерийских (плиоценовых) железных рудах Баксинской синклинали, расположенной также на Керченском полуострове [9].

В 2005 г. сантабарбараит был установлен при изучении донных отложений озера Байкал [10], где образует желто-коричневые каймы в краевых частях конкреций синего вивианита. Определение минерала основывалось на данных ИК-спектров, электронно-зондового и рентгенографического изучения. Интересно, что сантабарбараит упоминается и на Слюдянском месторождении флогопита (Прибайкалье), где слагает коричневые корочки на кристаллах апатита и собственные агрегаты (устное сообщение К. И. Клопотова). Фосфатная минерализация, включающая вивианит и продукты его окисления (метавивианит и(или) сантабарбараит), неоднократно отмечалась одним из авторов настоящей статьи (Н. В. Чукановым) в Московской области в карстовых воронках в каменноугольных известняках или доломитах на контакте с юрскими глинами в Щёлковском, Щуровском и Григоровском карьерах (в последнем – в ассоциации с митридатитом), а также в торфянике близ г. Черноголовка.

Краткий геологический очерк Меднорудянского месторождения

Меднорудянское месторождение меди и железа расположено в черте г. Нижний Тагил, в 130 км севернее Екатеринбурга и является всемирно известным минералогическим объектом, где добывались великолепные штуфы малахита, либетенита, псевдомалахита и других минералов зоны окисления. Геологическое строение контактово-карстового Меднорудянского месторождения охарактеризовано в работах [11–13 и др.]. Меднорудянское месторождение является южным продолжением восточной зоны Высокогорского месторождения железных руд. Оно залегает среди туфов, сланцев и известняков, с поверхности подвергшихся значительному выветриванию. Первичные магнетитовые руды с сульфидами, карбонатами и силикатами слагают жилообразные залежи в скарнах и зонах контактов скарнов с известняками и туфовыми сланцами. Тела рудных залежей Меднорудянского и Высокогорского месторождений разделены тектоническим нарушением. Первичные руды Меднорудянского месторождения прослежены в длину почти на 700 м и на глубину до 300–350 м при мощности 40 м в средней части [12]. Помимо железных руд на месторождении отрабатывались богатые халькопиритом первичные медные руды и богатые купритом, самородной медью, малахитом вторичные медные руды. Глубина выветривания пород и зона окисления на площади месторождения развиты неравномерно: в северной части окисление руд прошло до глубины 150 м, в средней части – до 170 м и в южной – до 300–350 м. Интенсивные вторичные изменения пород приурочены к двум зонам нарушений. В южной части месторождения тектонизированных зон больше, что позволило сформироваться более мощной коре выветривания. Границы зоны окисления имеют неправильные очертания. Здесь развиты глинистые бурые железняки, турьиты, мартиты и медистые глины, являющиеся продуктами полного окисления первичных руд и разложения окружающих пород [13]. Широко развитые вторичные изменения преобразовали не только сульфидно-магнетитовое рудное тело, но и вмещающие породы, среди которых отложилась гипергенная медная минерализация.

Полученные результаты и их обсуждение

Сантабарбараит из Меднорудянского месторождения образует псевдоморфозы по кристаллам вивианита в полостях среди почковидного и ячеистого лимонита (рис. 1). Псевдоморфозы сантабарбараита полностью сохранили огранку пластинчатых (с клиновидной верхушкой) кристаллов вивианита (рис. 2). Сантабарбараит полупрозрачен, его цвет варьирует от желтовато-коричневого до темно-коричневого. Длина кристаллов и размер сложенных ими сноповидных агрегатов достигают 2 см. Здесь же в образце, в полостях, расположенных вне зоны развития сантабарбараита, присутствуют прозрачные зеленоватые кристаллы и сноповидные сростки кристаллов слабоизмененного вивианита [достоверно диагностирован авторами по данным монокри-

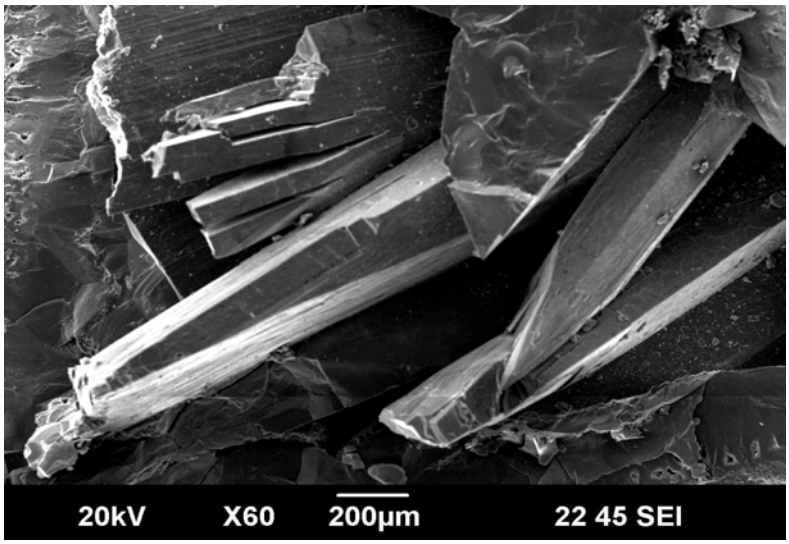


Рисунок 2. Псевдоморфозы сантабарбараита по кристаллам вивианита из Меднорудянского месторождения. СЭМ-фотография во вторичных электронах.

Химический состав меднорудянского сантабарбараита, мас. %.

Окислы	1	2	3	4	5	6
P_2O_5	29,27	29,81	29,78	29,77	29,52	29,70
Fe_2O_3	47,10	47,40	45,79	47,27	46,99	46,84
MnO	0,36	0,21	0,36	0,27	0,15	0,46
MgO	0,64	0,81	0,84	0,63	0,65	0,46
ZnO	0,64	0,74	0,46	0,47	0,38	0,57
CaO	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02
Na_2O	0,28	0,24	0,18	0,19	0,11	0,19
K_2O	0,35	0,38	0,41	0,38	0,37	0,34
H_2O*	22,30	22,30	22,30	22,30	22,30	22,30
Сумма	100,97	101,91	100,12	101,28	100,49	100,88
Эмпирические формулы, рассчитанные на сумму атомов металлов и фосфора, равную 5						
1	$(Fe_{2,81}Mg_{0,09}Zn_{0,04}Na_{0,04}K_{0,03}Mn_{0,02})_{\Sigma 3,03}(P_{1,97}O_8)(OH)_{2,89} \cdot 4,47H_2O$					
2	$(Fe_{2,80}Mg_{0,09}Zn_{0,04}Na_{0,04}K_{0,04}Mn_{0,01})_{\Sigma 3,02}(P_{1,98}O_8)(OH)_{2,82} \cdot 4,42H_2O$					
3	$(Fe_{2,76}Mg_{0,10}K_{0,04}Zn_{0,03}Na_{0,03}Mn_{0,03})_{\Sigma 2,99}(P_{2,01}O_8)(OH)_{2,64} \cdot 4,64H_2O$					
4	$(Fe_{2,81}Mg_{0,07}K_{0,04}Zn_{0,03}Na_{0,03}Mn_{0,02})_{\Sigma 3,00}(P_{2,00}O_8)(OH)_{2,74} \cdot 4,52H_2O$					
5	$(Fe_{2,83}Mg_{0,08}K_{0,04}Zn_{0,02}Na_{0,02}Mn_{0,01})_{\Sigma 3,00}(P_{2,00}O_8)(OH)_{2,77} \cdot 4,58H_2O$					
6	$(Fe_{2,82}Mg_{0,06}Zn_{0,03}Na_{0,03}K_{0,03}Mn_{0,03})_{\Sigma 3,00}(P_{2,00}O_8)(OH)_{2,76} \cdot 4,56H_2O$					

Примечание: H_2O^* – содержание воды в минерале определено по данным термического анализа. В эмпирических формулах соотношение OH и H_2O рассчитано по балансу зарядов.

стальной рентгенографии; параметры моноклинной элементарной ячейки: a = 4,742(19); b = 13,30(9); c = 10,16(6) Å; β = 105,2(5)°; V = 619(6) Å^3]. Порошковое рентгенографическое исследование двух проб сантабарбараита, отобранных из разных мест сноповидных агрегатов, показало полное отсутствие дифракционных рефлексов, что характерно для данного минерала.

В настоящее время известно, что окисление вивианита до сантабарбараита может происходить в двух режимах: без образования промежуточных фаз и через образование на промежуточной стадии метавивианита [14]. Полная схема окисления вивианита может быть записана в виде: вивианит → частично окисленный вивианит $Fe^{2+}_{3-x}\ Fe^{3+}_x(PO_4)_2(OH)_x \cdot (8-x)H_2O$ ($x < 1$) → метавивианит $Fe^{2+}\ Fe^{3+}_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 6H_2O$ (триклинный) → Fe^{3+} – аналог метавивианита (Fe^{3+}, Fe^{2+}) $Fe^{3+}_2(PO_4)_2(OH)_{2+x} \cdot (6-x)H_2O$ → сантабарбараит $Fe^{3+}_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$ [14]. Отсутствие метавивианита в изученной ассоциации говорит о том, что образование меднорудянского сантабарбараита скорее всего протекало по первому механизму.

Химический состав меднорудянского сантабарбараита изучен в ИГГ УрО РАН (электронно-зондовый микроанализатор CAMECA SX 100, аналитик А. В. Михеева) и приведен в таблице. Минерал характеризуется присутствием помимо главного катиона – железа (45,8–47,4 мас. % Fe_2O_3) примесей магния (до 0,9 мас. % MgO), марганца (до 0,5 мас. % MnO), цинка (до 0,8 мас. % ZnO), натрия (до 0,3 мас. % Na_2O) и калия (до 0,4 мас. % K_2O). Меднорудянский сантабарбараит отличается по составу от образца из Италии [3] низким содержанием марганца и наличием примеси цинка, а от австралийского [3] – практически полным отсутствием примеси кальция. Примесь цинка отмечалась только в сантабарбараите из донных отложений озера Байкал [10].

Дифференциальный термический анализ, выполненный в ИГГ УрО РАН (анализатор «Diamond TG-DTA» фирмы Perkin Elmer, аналитик В. Г. Петрищева), показал, что в минерале содержится 22,3 мас. % воды. Такое ее количество вполне согласуется с данными [3]: в сантабарбараите из Италии установлено 23,9 мас. %, а из Австралии – 23,05 мас. %. На дифференциальной кривой нагревания (рис. 3) отмечаются эндотермические эффекты при 168 °С (связан с потерей молекулярной воды), 345, 415 и 456 °С (могут быть интерпретированы как потеря воды или OH-групп). Экзотермические пики при 655 и 676 °С, возможно, связаны с образованием двух безводных фосфатов трехвалентного железа, которые могут соответствовать минералам граттаролаиту $Fe^{3+}_3(PO_4)O_3$ и родоликоиту $Fe^{3+}PO_4$ [15]. Анализ данных термогравиметрии (TG) и дифференциальной термогравиметрии (DTG) показывает потерю воды в диапазоне 100–250 °С и потерю OH-групп при 300–450 °С. Схожий характер кривой DTA имеет сантабарбараит из Италии и Австралии [3]. Отличие результатов термического анализа меднорудянского сантабарбараита от литературных данных заключается в наличии экзотермического пика при 762 °С на дифференциальной кривой, что также подтверждается пиком в области 750 °С на кривой DTG.

ИК-спектр сантабарбараита из Меднорудянского месторождения был снят авторами в Институте проблем химической физики РАН, г. Черноголовка (спектрометр Specord 75 IR). В спектре поглощения выделяются интенсивные пики в интервалах, см$^{-1}$: 460–590, 1023, 1634 и 3245–3300. ИК-спектр меднорудянского сантабарбараита имеет широкие полосы поглощения (рис. 4) и практически полностью идентичен спектру этого минерала из Камыш-Бурунского железорудного ме-

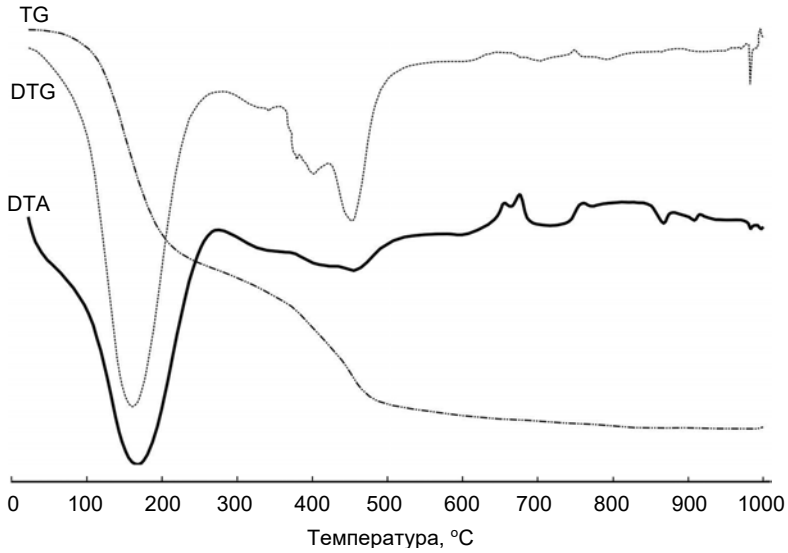


Рисунок 3. Графики дифференциального термического анализа (DTA), термогравиметрии (TG) и дифференциальной термогравиметрии (DTG) для меднорудянского сантабарбараита.

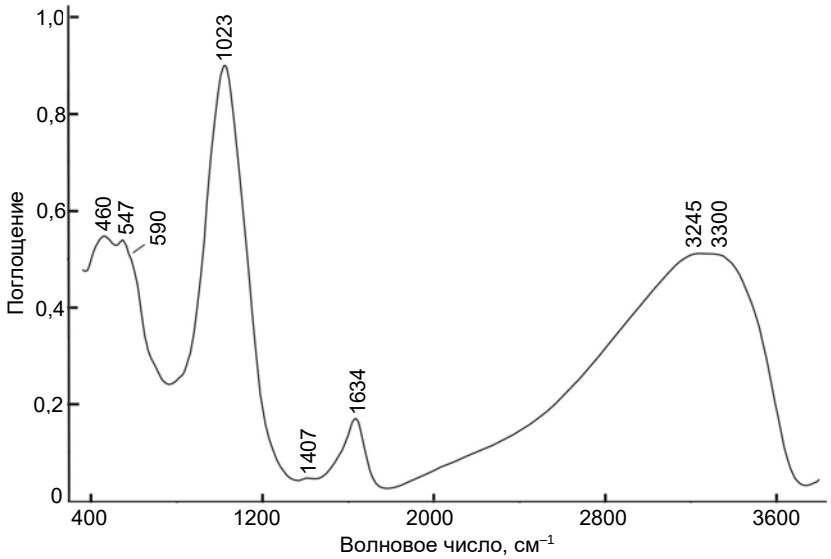


Рисунок 4. ИК-спектр меднорудянского сантабарбараита.

сторождения на Керченском полуострове [14]. Полосы поглощения широкие, что напрямую связано с рентгеноаморфным состоянием минерала, тогда как у вивианита и метавивианита они заметно более узкие и разрешенные [14]. Поглощение в области 3245–3300 см$^{-1}$ обусловлено O–H-валентными колебаниями молекул воды и OH-групп, полоса при 1634 см$^{-1}$ относится к деформационным колебаниями молекул H_2O, а сильная полоса при 1023 см$^{-1}$ – к асимметричным валентным колебаниям групп PO_4^{3-}. В области 460–590 см$^{-1}$ проявляются деформационные колебания фосфатных анионов и Fe^{3+}–O-валентные колебания. Очень слабая полоса при 1407 см$^{-1}$ может быть предположительно отнесена к следовым количествам катионов NH_4^+ или H^+ [16].

Рамановский спектр сантабарбараита получен в ИГГ УрО РАН [спектрометр LabRam HR Evolution (Horiba Scientific), аналитик Е. А. Панкрушина]. Всего получено шесть спектров минерала с разных участков кристаллов, которые показали близкий результат (рис. 5), что говорит об однородности исследуемого вещества. Спектр минерала характеризуется широким пиком высокой интенсивности в области 100–700 см$^{-1}$ (с максимумами при 264, 425, 564 и 698 см$^{-1}$) и более узким 1007 см$^{-1}$. Последняя полоса относится к асимметричным валентным колебаниям групп PO_4^{3-}. Полосы при 698 и 564 см$^{-1}$ обусловлены деформационными колебаниями групп Fe^{3+}···O–H и PO_4^{3-} соответственно, а более низкочастотные полосы относятся к решеточным модам. Менее интенсивные пики проявлены в областях 1330, 1443 и 1625 см$^{-1}$. В литературе данные рамановской спектроскопии по сантабарбараиту были впервые представлены относительно недавно [17], и наш спектр вполне сопоставим с ними. К примеру, по данным [17], в спектре сантабарбараита преобладает широкая интенсивная полоса в области 1007 см$^{-1}$, которая также является максимумом на изученном образце. Интересно, что у метавивианита из пегматита месторождения Боа Виста (Минас Жерайс, Бразилия) спектр также близок к полученному авторами, только с более узкими, хорошо разрешенными пиками и максимумами около 506 и 972 см$^{-1}$ [14].

Выводы

Таким образом, в зоне окисления Меднорудянского месторождения авторами статьи обнаружен и изучен с помощью рентгенофазового, электронно-зондового и термического анализа,- инфра-

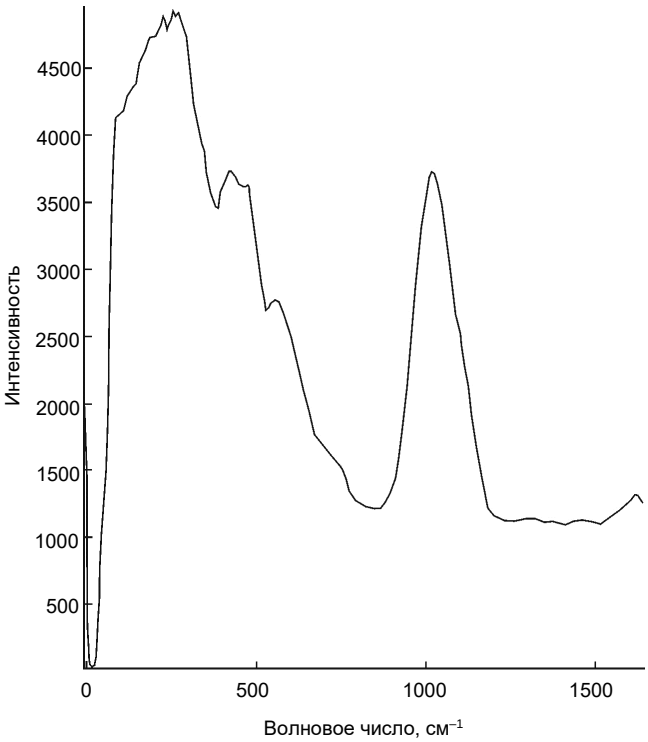


Рисунок 5. Рамановский спектр сантабарбараита. Лазер 514 нм.

красной и рамановской спектроскопии водный фосфат окисного железа – сантабарбараит. Он образует псевдоморфозы по кристаллам и сноповидным агрегатам вивианита, которые находятся в полостях лимонита. Отсутствие в этой минеральной ассоциации метавивианита и других промежуточных фаз, содержащих вместе Fe^{2+} и Fe^{3+}, указывает на то, что окисление вивианита скорее всего происходило по механизму непосредственного замещения его сантабарбараитом. Меднорудянский сантабарбараит характеризуется нетипичной для образцов этого минерала из других проявлений примесью цинка. По всей видимости, это первая находка минерала для Урала.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам Института минералогии УрО РАН (г. Миасс) В. А. Попову и В. И. Поповой, а также коллекционеру из г. Нижний Тагил Н. И. Козину за предоставленные для изучения образцы. Мы благодарим аналитиков А. В. Михееву, В. Г. Петрищеву и Е. А. Панкрушину за помощь в изучении сантабарбараита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов В. А., Попова В. И, Блинов И. А., Пономарев В. С. Минералы Меднорудянского месторождения // Минералогический Альманах, 2015. Т. 20. Вып. 3. 128 с.
2. Кобяшев Ю. С., Никандров С. Н. Минералы Урала (минеральные виды и разновидности). Екатеринбург: Изд-во КВАДРАТ, 2007. 312 с.
3. Pratesi G., Cipriani C., Giuli G., Birch W. Santabarbaraite: a new amorphous phosphate mineral // European Journal of Mineralogy. 2003. Vol. 15. P. 185–192.
4. Popoff S. P. Ueber zwei neue phosphorhaltige Mineralien von den Ufern Der Strasse von Kertsch // Centralblatt Mineral. Geol. Paläontol. 1906. № 4. 112 p.
5. Попов С. П. Минералы рудных пластов Керченского и Таманского полуостровов // Труды Геол. музея АН СССР. 1910. Т. 4. Вып. 1. С. 99–198.
6. Попов С. П. Минералогия Крыма. М.: ОНТИ, 1938. 284 с.
7. Чухров Ф. В., Ермилова Л. П. Новые данные о керченитах // Вопросы геохимии и минералогии. М.: Изд-во АН СССР. 1956. С. 158–175.
8. Chukanov N. V. Minerals of the Kerch Iron-Ore Basin in Eastern Crimea // Mineralogical Almanac. 2005. Vol. 8. 112 p.
9. Тищенко А. И. Минералы Крыма. Симферополь: Бизнес-Информ, 2015. 304 с.
10. Fagel N., Alleman L. Y., Granina L., Hatert F., Thamo-Bozso E., Cloots R., Andre L. Vivianite formation and distribution in Lake Baikal sediments // Global and Planetary Change. 2005. Vol. 46. P. 315–336.
11. Заварицкий А. Н. Геологический очерк месторождений медных руд на Урале. Медные месторождения Урала // Избр. труды. 1963. Т. 4. Ч. 2. 223 с.
12. Вертушков Г. Н., Веретенникова Т. Ю., Мазурин К. П. Месторождения малахита в окрестностях Нижнего Тагила // Минералогия и петрография Урала. Вып. 124. Свердловск: Изд-во СГИ. 1976. С. 3–21.
13. Соловьев Ю. С. К минералогии зоны окисления Меднорудянского месторождения // Тр. Горно-геолог. ин-та УФАН СССР. 1953. Вып. 20. № 2. С. 87–106.
14. Chukanov N. V., Scholz R., Aksenov S. M., Rastsvetaeva R. K., Pekov I. V., Belakovskiy D. I., Krambrock K., Paniago R. M., Righi A., Martins R. F., Belotti F. M., Bermanec V. Metavivianite, $Fe^{2+}Fe^{3+}_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 6H_2O$: new data and formula revision // Mineralogical Magazine. 2012. Vol. 76, № 3. P. 725–741.
15. Cipriani C., Mellini M., Pratesi G., Viti C. Rodolicoite and grattarolaite, two new phosphate minerals from Santa Barbara Mine, Italy // European Journal of Mineralogy. 1997. Vol. 9. P. 1101–1106.
16. Chukanov N. V., Chervonnyi A. D. Infrared Spectroscopy of Minerals and Related Compounds. Cham: Springer Verlag, 2016. 1109 p.
17. Frost R. L., Scholz R., Ruan X., Lima R. M. F. A thermogravimetric, scanning electron microscope and vibrational spectroscopic study of the phosphate mineral santabarbaraite from Santa Barbara mine, Tuscany, Italy // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2016. Vol. 124. P. 639–644.

REFERENCES

1. Popov V. A., Popova V. I, Blinov I. A., Ponomarev V. S. 2015, *Mineraly Mednorudyanskogo mestorozhdeniya* [Minerals of the Mednorudyansk deposit]. *Mineralogicheskiy Al'manakh* [Mineralogical Almanac], vol. 20, no. 3, 128 p.
2. Kobyashev Yu. S., Nikandrov S. N 2007, *Mineraly Urala (mineral'nye vidy i raznovidnosti)* [Minerals of the Urals (mineral species and varieties)], Ekaterinburg, 312 p.
3. Pratesi G., Cipriani C., Giuli G., Birch W. 2003, Santabarbaraite: a new amorphous phosphate mineral. European Journal of Mineralogy, vol. 15, pp. 185–192.
4. Popoff S. P. 1906, Ueber zwei neue phosphorhaltige Mineralien von den Ufern Der Strasse von Kertsch [About two new phosphorus minerals from the shores of the Kerch Strait]. Centralblatt Mineral. Geol. Paläontol [Centralblatt mineral. Geol. Paleont], no. 4, 112 p.
5. Popov S. P. 1910, *Mineraly rudnykh plastov Kerchenskogo i Tamanskogo poluostrovov* [Minerals of ore layers of the Kerch and Taman peninsulas]. *Trudy Geol. muzeya AN SSSR* [Trudy of Geological Museum, AS USSR], vol. 4, no. 1, pp. 99–198.
6. Popov S. P. 1938, *Mineralogiya Kryma* [Mineralogy of Crimea], Moscow, 284 p.
7. Chukhrov F. V., Ermilova L. P. 1956, *Novye dannye o kerchenitakh* [New data on Kerchenites]. *Voprosy geokhimii i mineralogii* [Problems of geochemistry and mineralogy], Moscow, pp. 158–175.
8. Chukanov N. V. 2005, Minerals of the Kerch Iron-Ore Basin in Eastern Crimea. Mineralogical Almanac. vol. 8, 112 p.
9. Tishchenko A. I. 2015, *Mineraly Kryma* [Minerals of Crimea]. Simferopol', 304 p.
10. Fagel N., Alleman L. Y., Granina L., Hatert F., Thamo-Bozso E., Cloots R., Andre L. 2005, Vivianite formation and distribution in Lake Baikal sediments. Global and Planetary Change, vol. 46, pp. 315–336.
11. Zavaritskiy A. N. 1963, *Geologicheskiy ocherk mestorozhdeniy mednykh rud na Urale. Mednye mestorozhdeniya Urala* [Geological sketch of copper ore deposits in the Urals. Copper deposits of the Urals]. *Izbr. trudy* [Selected Works], vol. 4, pt. 2, 223 p.
12. Vertushkov G. N., Veretennikova T. Yu., Mazurin K. P. 1976, *Mestorozhdeniya malakhita v okrestnostyakh Nizhnego Tagila* [Malachite deposits in the vicinity of Nizhny Tagil]. *Mineralogiya i petrografiya Urala* [Mineralogy and petrography of the Urals], vol. 124, pp. 3–21.
13. Solov'ev Yu. S. 1953, *K mineralogii zony okisleniya Mednorudyanskogo mestorozhdeniya* [On the mineralogy of the oxidation zone of the Mednorudyansk deposit]. *Tr. Gorno-geolog. in-ta UFAN SSSR* [Proceedings of the Mining and Geological Institute of the Urals Branch of the Academy of Sciences of the USSR], vol. 20, no. 2, pp. 87–106.
14. Chukanov N. V., Scholz R., Aksenov S. M., Rastsvetaeva R. K., Pekov I. V., Belakovskiy D. I., Krambrock K., Paniago R. M., Righi A., Martins R. F., Belotti F. M., Bermanec V. 2012, Metavivianite, $Fe^{2+}Fe^{3+}_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 6H_2O$: new data and formula revision. Mineralogical Magazine, vol. 76, no. 3, pp. 725–741.
15. Cipriani C., Mellini M., Pratesi G., Viti C. 1997, Rodolicoite and grattarolaite, two new phosphate minerals from Santa Barbara Mine, Italy. European Journal of Mineralogy, vol. 9, pp. 1101–1106.
16. Chukanov N. V., Chervonnyi A. D. 2016, Infrared Spectroscopy of Minerals and Related Compounds, Cham, 1109 p.
17. Frost R. L., Scholz R., Ruan X., Lima R. M. F. 2016, A thermogravimetric, scanning electron microscope and vibrational spectroscopic study of the phosphate mineral santabarbaraite from Santa Barbara mine, Tuscany, Italy. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 124, pp. 639–644.

Владимир Сергеевич Пономарев,
p123v@yandex.ru
Юрий Викторович Ерохин
erokhin-yu@yandex.ru
Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Игорь Викторович Пеков
igorpekov@mail.ru
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Россия, Москва, Ленинские горы, 1

Никита Владимирович Чуканов
chukanov@icp.ac.ru
Институт проблем химической физики РАН
Россия, Черноголовка, просп. Академика Семенова, 1

Vladimir Sergeevich Ponomarev,
p123v@yandex.ru
Yuriy Viktorovich Erokhin
erokhin-yu@yandex.ru
Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

Igor Viktorovich Pekov
igorpekov@mail.ru
Lomonosov Moscow State University
Moscow, Russia

Nikita Vladimirovich Chukanov
chukanov@icp.ac.ru
Institute of Problems of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences
Russia, Chernogolovka

УДК 550.4 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-42-45

МАГНИТНЫЕ СФЕРУЛЫ ИЗ ПОЧВ ВБЛИЗИ ШЛАКОВОГО ОТВАЛА НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

А. Б. Макаров, Б. М. Осовецкий, И. А. Антонова

Magnetic spherules from the soils near the slag dump of the Nizhny Tagil metallurgical plant

A. B. Makarov, B. M. Osovetskiy, I. A. Antonova

Magnetic spherules, which are widespread in soils, can have different origins, but spherules with cosmic origin are the most studied. At that, functioning of numerous industrial enterprises of metallurgical profile, thermal power stations, and motor transport can be their origin. According to the data of previous researchers, spherical magnetic particles in soils can serve as an indicator for quantitative assessment of erosion-accumulative phenomena. The authors studied magnetic spherules, isolated from soil samples taken near the dump of blast furnace and metallurgical slags of a large Nizhny Tagil metallurgical plant located on the left bank of the Olkhovka river, functioning since 1949. The way the dump forms is by draining slag along the slope. Consequently, adjacent territories are exposed to a significant dust load, associated with increased concentrations of a number of heavy metals: chromium, iron, manganese, vanadium, copper and zinc. The study of magnetic spherules performed for samples of soils taken at a distance of 50 and 100 m to the west of the dump showed that the content of magnetic fraction in them was 15.1 and 11.7% respectively, of the mineral part of the samples. The authors studied magnetic spherules on a scanning microscope JEOL JSM 6390LV, an at that provide their morphology and the chemical composition of magnetic spherules (18 analyzes) and aggregates on their surface (5 analyzes). Based on the presence of characteristic impurity elements, there are the following varieties: zinc, manganese, vanadium, determined by the peculiarities of metallurgical processes. Low concentrations of spherules in soils do not allow considering them as a significant source of pollution of natural environment, only a slight increase in the content of heavy metals characteristic for them is possible.

Keywords: Nizhniy Tagil; dumps; slags of ferrous metallurgy; magnetic spherules; heavy metals.

Магнитные сферулы, достаточно широко распространенные в почвах, могут иметь различное происхождение, при этом чаще исследовались сферулы космического происхождения. В то же время их происхождение определяется работой многочисленных промышленных предприятий металлургического профиля, тепловых электростанций, а также автотранспорта. Согласно данным предыдущих исследователей сферические магнитные частицы в почвах могут служить индикатором количественной оценки эрозионно-аккумулятивных явлений. Авторами исследованы магнитные сферулы, выделенные из проб почв, отобранных вблизи отвала доменных и металлургических шлаков крупного Нижнетагильского металлургического комбината, расположенного на левом берегу р. Ольховки и функционирующего с 1949 г. Отвал формируется путем сливания шлака по откосу. Как следствие, прилегающие к нему территории подвергаются значительной пылевой нагрузке, с которой связаны повышенные концентрации ряда тяжелых металлов: хрома, железа, марганца, ванадия, меди и цинка. Исследование магнитных сферул выполнено в пробах почв, отобранных на расстоянии 50 и 100 м к западу от отвала, содержание в них магнитной фракции составило соответственно 15,1 и 11,7 % от минеральной части проб. Магнитные сферулы изучены на сканирующем микроскопе JEOL JSM 6390LV, показана их морфология, приведен химический состав магнитных сферул (18 анализов) и агрегатов на их поверхности (5 анализов). На основе присутствия характерных элементов-примесей выделены следующие их разновидности: цинковые, марганцевые, ванадиевые, наличие которых определяется особенностями металлургических процессов. Невысокие концентрации сферул в почвах не позволяют рассматривать их как значительный источник загрязнения природной окружающей среды, возможно лишь незначительное повышение содержаний характерных для них тяжелых металлов.

Ключевые слова: Нижний Тагил; отвалы; шлаки черной металлургии; магнитные сферулы; тяжелые металлы.

Магнитные сферулы, согласно [1], – черные шарики космического происхождения, состоящие в основном из магнетита, иногда содержащие металлические ядра. В то же время магнитные сферулы, достаточно часто встречающиеся в почвах, могут иметь и техногенное происхождение. Ранее они были выявлены в грунтах различных промышленных зон и урбанизированных территорий [2–4]. Магнитные сферулы являются характерным компонентом зол, где образуются при раннем выплавлении низкотемпературных железистых эвтектик[5–7], наличие их в почвах связывается также с выбросами транспорта и тепловых электростанций. Наличие и количество магнитных включений, согласно [7–9], может служить критерием для количественной оценки эрозионно-аккумулятивных явлений в почвах, также возможно и использование этих данных в качестве экологического индикатора. Субмикроморфология магнитных фракций почв изучалась А. М. Загурским и др. [10], в них выделены сферические, полиэдрические и глобулярные частицы. В то же время остаются слабо изученными вопросы минерального и химического состава магнитных сферул, что не дает возможности диагностировать источник их образования и выработки соответствующих критериев отличия магнитных сферул различного происхождения. Выявление магнитных сферул в почвах вблизи шлакового отвала НТМК определяет их происхождение. Полученные данные о их составе можно считать характерными для образований, связанных с процессами черной металлургии.

Территория города Нижний Тагил на Среднем Урале относится к одной из наиболее измененных процессами техногенеза вследствие длительной добычи и переработки железных руд. Только на территории города находится шесть отработанных месторождений железных и медноколчеданных руд, где естественный ландшафт преобразован в горнотехнический [11].

Нижнетагильский металлургический комбинат (НТМК) построен в 1932–1949 гг., вошел в строй действующих предприятий в 1940 г., работает по замкнутому циклу, выпускает чугун, сталь, прокат, кокс, огнеупоры. Две доменные печи объемом 1100 м^3 были крупнейшими в СССР, а мартеновские считались самыми современными по уровню механизации технологического процесса.

В настоящее время одним из источников загрязнения природной окружающей среды здесь является шлаковый отвал НТМК, который характеризуется значительными концентрациями тяжелых металлов. Они обусловливают механическое и химическое загрязнение прилегающих территорий [11, 12].

Шлаковый отвал НТМК расположен на левом берегу р. Сухая Ольховка и функционирует с 1949 г. Формирование отвала, в северной части которого складировались мартеновские шлаки, а в южной – доменные, происходило путем сливания шлаков по откосу. Площадь отвала составляет 0,74 км^2, максимальное превышение над рельефом – 37 м. Наиболее потенциально опасными химическими элементами, оказывающими негативное влияние на природную окружающую среду, являются железо, титан,

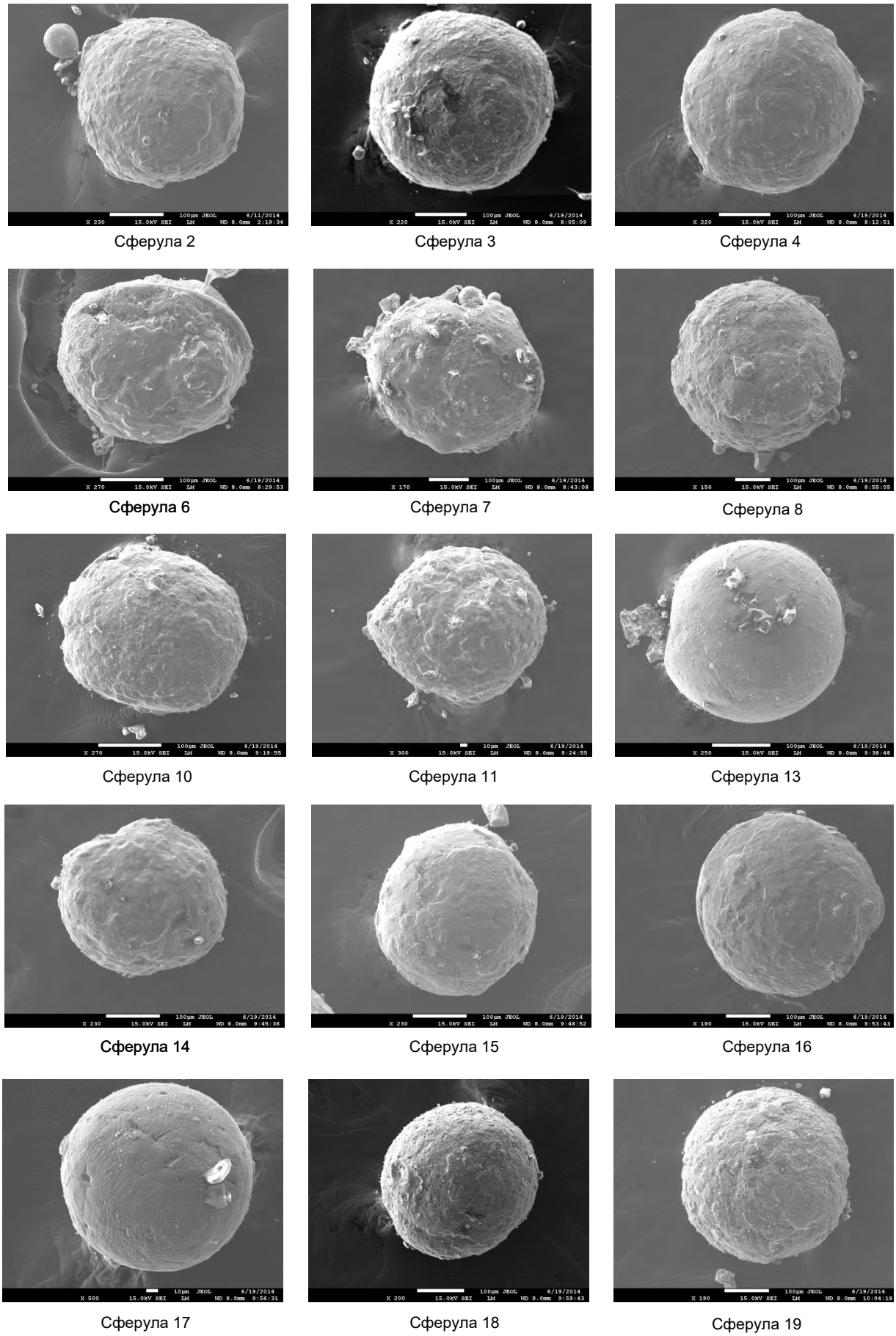


Рисунок 1. Морфология магнитных сферул.

Таблица 1. Химический состав магнитных сферул из почв вблизи отвала НТМК, мас. %.

Номера зерен	FeO*	MnO	SiO_2	TiO_2	V_2O_5	Al_2O_3	Cr_2O_3	As_2O_3	CoO	NiO	CuO	ZnO	K_2O	MgO	Cl	Σ
1	92,02	0,93	–	0,23	0,98	0,64	0,18	0	0,32	0	0,37	0,36	–	–	–	96,03
1-1	95,47	0,93	0,66	0,22	1,14	0,60	0,15	0,13	0,31	0	0,19	0,18	–	–	–	100
2	93,99	0,92	1,26	0,15	0,72	1,05	0,21	0	0,32	0,12	0,26	0,18	0,51	–	0,30	100
3	93,30	**4,47**	0,72	0	0	0,69	0,05	0,10	0,25	0	0,20	0,22	–	–	–	100
4	96,01	1,75	–	0,22	0,57	0,38	0,25	0	0,31	0	0,23	0,28	–	–	–	100
5	94,76	2,09	0,97	0	0,08	0,75	0	0	0,24	0	0,65	0,45	–	–	–	100
6	90,74	1,21	1,07	0	0,27	0,89	0	0	0,21	0	0,34	0,33	–	–	–	95,06
7	90,99	0,62	4,76	0,60	0,20	1,39	0,05	0,15	0,39	0	0,29	0,53	–	–	–	100
8	86,78	0,94	7,59	0,31	0,29	2,26	0	0	0,24	0,08	0,33	0,21	–	0,97	–	100
8-1	86,35	0,83	7,44	0,20	0,25	2,54	0	0	0,31	0,14	0,62	0,27	–	0,49	–	100
9	93,39	0,68	2,60	0,07	0,15	1,34	0	0	0,22	0,16	0,60	0,77	–	–	–	100
11	91,36	1,12	2,05	0,38	**1,77**	1,79	0,14	0,26	0,26	0,15	0,38	0,34	–	–	–	100
12	92,99	**1,73**	0,66	0,61	1,48	0,65	0,27	0,10	0,26	0,08	0,62	0,54	–	–	–	100
13	92,86	**2,19**	1,87	0,26	0,39	1,40	0	0,14	0,27	0,09	0,31	0,23	–	–	–	100
14	95,50	0,12	1,63	0	0	1,28	0	0	0	0,19	0,52	0,48	–	0,29	–	100
18	91,18	1,24	2,58	0,29	0,55	2,11	0,21	0	0,33	0,11	0,39	0,20	0,22	0,59	–	100
19	89,25	**3,45**	2,76	0,16	0,27	2,14	0	0	0,38	0	0,34	0,36	0,31	0,33	–	100
20	86,75	1,23	0,70	0,12	1,06	0,75	0,28	0	0,41	0,10	0,41	**8,20**	–	–	–	100

Примечания: зерна № 1–9 – проба на расстоянии 50 м от отвала; № 11–14, 18–20 – на расстоянии 100 м от отвала; № 7 – зерно с тонкошагреневой поверхностью, № 8, 8-1 – зерно с тонкозернистым (5–10 мкм) строением поверхности; № 13 – ядро сферулы (на сколе); № 19 – с сильнорезорбированной пористой поверхностью; FeO* – сумма FeO + Fe_2O_3.

Таблица 2. Химический состав агрегатов на поверхности магнитных сферул, %.

Номера зерен	FeO*	MnO	SiO_2	TiO_2	V_2O_5	Al_2O_3	SO_3	As_2O_3	CaO	P_2O_5	CuO	ZnO	K_2O	Na_2O	MgO	Cl	Σ
3-1	72,15	4,43	4,65	0,15	0	3,12	3,98	0,51	1,32	3,05	0,25	0,20	2,98	1,46	–	1,73	99,98
6-1	13,99	0,21	55,50	0,55	–	19,57	0,31	–	1,58	0,54	0,32	0,32	1,61	2,87	2,64	–	100
7-1	7,11	0,13	52,68	1,07	–	18,39	0,47	0,21	2,17	0,55	–	–	1,70	0,39	–	–	87,42
12-1	12,11	0,26	54,78	0,48	0,39	20,65	–	0,25	1,14	–	0,36	0,33	1,32	7,10	0,83	–	100
13-1	9,31	–	42,52	1,05	–	17,28	–	0,34	2,23	0,51	0,34	0,45	2,21	0,46	3,52	0,14	80,35

Примечания: № 3-1 – корочка на поверхности сферулы; № 6-1 – агрегатные скопления в углублении на поверхности; № 7-1, 12-1 – агрегаты в углублениях поверхности; № 13-1 – оторочка вокруг ядра; FeO* – сумма FeO + Fe_2O_3.

марганец, хром, медь и цинк. Шлаковый отвал НТМК разрабатывается как техногенное месторождение. Шлаки отвала в настоящее время перерабатываются в цехе переработки шлаков с получением товарного щебня.

На протяжении последних лет проводится экологический мониторинг шлакового отвала, включающий систематическое изучение компонентов природной окружающей среды: почвенного покрова, растительности, поверхностных и подземных вод и атмосферного воздуха [12]. По результатам мониторинговых исследований установлено, что шлаковый отвал НТМК оказывает влияние на загрязнение атмосферного воздуха по взвешенным веществам, оксиду марганца, железу, цинку, меди. Аналогичный в целом комплекс элементов проявляется также в пыли и в снеговом покрове вокруг шлакового отвала. Согласно [12], доля водорастворимой фазы для ванадия достигает 40,4 %, меди – 13,0 %, цинка – 20,0 %, что свидетельствует о высоком уровне их миграции в окружающую среду. Остальные тяжелые металлы накапливаются в основном в труднорастворимой пылевой фазе: доля хрома составляет 1,2 %, железа – 0,4 %, марганца – 0,3 %. Пылевая нагрузка на снеговой покров составляет от 0 до 69,2 кг/км^2 в сутки в юго-юго-западном направлении от отвала и до 1455,7 кг/км^2 в сутки в северо-западном направлении.

Для изучения форм нахождения металлов, поступающих в почвенный покров в труднорастворимой фазе, были отобраны пробы почв в зоне повышенной пылевой нагрузки в северо-западном направлении от отвала на расстоянии 50 и 150 м с последующей промывкой и изучением минеральной части. В первой пробе (50 м от отвала) весом 1,236 кг минеральная часть составила 186,61 г (15,1 %), во второй (150 м от отвала) соответственно 1,426 кг и 166,79 г (11,7 %). В немагнитной фракции минеральной части почв присутствуют преимущественно зерна главных породообразующих минералов: кварца, полевых шпатов, роговой обманки, граната, эпидота, а также обломков пород. Для магнитной фракции помимо магнетита выявлено небольшое количество магнитных сферул; других металлических включений не обнаружено.

Исследования сферул выполнены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM 6390LV.

Морфология магнитных сферул показана на рис. 1.

Химический состав магнитных сферул приведен в табл. 1. Среди изученных магнитных сферул можно выделить следующие разности по наличию характерных элементов-примесей:

1 – ***цинковые*** (зерно № 20) с примесью ZnO – 8,20 %, и повышенным содержанием оксидов ванадия (1,06 %), марганца (1,23 %) и кобальта (0,41 %);

2 – ***марганцевые*** (зерна № 3, 12, 13, 19) с содержанием оксида марганца 1,79–4,47 % и иногда с повышенной долей оксида ванадия (до 1,48 %);

3 – ***ванадиевые*** (зерно № 11 с содержанием оксида ванадия до 1,77 %.

Появление подобных разновидностей, очевидно, определяется технологическими условиями процессов металлургии, в качестве примесей преобладают, прежде всего, легирующие металлы. В целом в числе постоянных примесей необходимо отметить медь, цинк и кобальт.

Химический состав агрегатов на поверхности магнитных сферул приведен в табл. 2. В углублениях на поверхности маг-

нитных сферул находятся агрегаты алюмосиликатного состава с присутствием сульфатов, фосфатов и хлоридов, а также, возможно, арсенатов.

Таким образом, исследование магнитных сферул из почв вблизи шлакового отвала дало возможность выявить их разновидности и характерные особенности. Весьма невысокие их концентрации в почвах не позволяют рассматривать эти образования как источник экологической опасности. Однако химическая неустойчивость магнитных сферул обуславливает их относительно быстрое разложение и повышение в окружающей среде содержания ряда токсичных элементов (Zn, V, Cu, Ni, Co, As).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыка В., Малишевская А. Петрографический словарь: пер. с польск. М.: Недра, 1989. 590 с.
2. Макаров А. Б., Талалай А. Г. Техногенно-минеральные месторождения и их экологическая роль // Литосфера. 2012. № 1. С. 172–176.
3. Макаров А. Б. Техногенно-минеральные месторождения Урала: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2006. 327 с.
4. Селезнев А. А. Эколого-геохимическая оценка состояния урбанизированной среды на основе исследования отложений пониженных участков микрорельефа (на примере г. Екатеринбурга): дис. … канд. геол-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2015. 141 с.
5. Сокол Э. В., Максимова Н. В. Золы углей Челябинского бассейна // Уральский геологический журнал. 1999. № 6. С. 151–154.
6. Anshits A. G., Voskresenskaya E. H., Kondratenko E. V., Fomenko E. V., Sokol E. V. The Study of composition of novel high temperature catalysts for oxidative conversion of methane // Catalysis Today. 1998. Vol. 42. P. 197–203.
7. Кизильштейн Л. Я., Дубов И. В., Шпицглуз А. А., Парада С. Г. Компоненты зол и шлаков ТЭЦ. М.: Энергоатомиздат, 1995. 176 с.
8. Геннадиев А. Н., Олсон К. Р. Чернянский С. С., Джонс Р. Л. Количественная оценка эрозионно-аккумулятивных явлений в почвах с помощью техногенной магнитной метки // Почвоведение. 2002. № 1. С. 21–32.
9. Геннадиев А. Н., Чернянский С. С., Ковач Р. Г. Сферические магнитные частицы как микрокомпоненты почв и трассеры массопереноса // Почвоведение. 2004. № 5. С. 566–580.
10. Загурский А. М., Иванов А. В., Шоба С. А. Субмикроморфология магнитных фракций почв // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1124–1132.
11. Переработка техногенных образований – эффективный путь реабилитации горнопромышленных территорий / В. П. Бобров [и др.]. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2000. 71 с.
12. Захаров А. В., Гуман О. М., Макаров А. Б., Антонова И. А., Ли Т. И. Экологическое состояние окружающей среды отвалов черной металлургии (по результатам мониторинга шлакового отвала НТМК) // Изв. УГГУ. 2014. Вып. 3(35). С. 51–56.

REFERENCES

1. Ryka V., Malishevskaya A. 1989, *Petrograficheskiy slovar'* [Petrographic Dictionary], Moscow, 590 p.
2. Makarov A. B., Talalay A. G. 2012, *Tekhnogenno-mineral'nye mestorozhdeniya i ikh ekologicheskaya rol'* [Technogenic-mineral deposits and their ecological role]. Litosfera [Litosphere], no. 1, pp. 172–176.
3. Makarov A. B. 2006, *Tekhnogenno-mineral'nye mestorozhdeniya Urala: dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk* [Technogenic mineral deposits of the Urals: the dissertation of the doctor of geological and gineralogical sciences], Ekaterinburg, 327 p.
4. Seleznev A. A. 2015, *Ekologo-geokhimicheskaya otsenka sostoyaniya urbanizirovannoy sredy na osnove issledovaniya otlozheniy ponizhennykh uchastkov mikrorel'efa (na primere g. Ekaterinburga): dis. … kand. geol-mineral. nauk* [Ekological-geochemical estimation of a condition of the urbanized environment on the basis of research of adjournment of the lowered sites of a microrelief (on the example of Ekaterinburg): dissertation of the candidate of geological and mineralogical sciences], Ekaterinburg, 141 p.
5. Sokol E. V., Maksimova N. V. 1999, *Zoly ugley Chelyabinskogo basseyna* [Ash coals of the Chelyabinsk basin]. *Ural'skiy geologicheskiy zhurnal* [Uralian Geological Journal], no. 6, pp. 151–154.
6. Anshits A. G., Voskresenskaya E. H., Kondratenko E. V., Fomenko E. V., Sokol E. V. 1998, The Study of composition of novel high temperature catalysts for oxidative conversion of methane. Catalysis Today, vol. 42, pp. 197–203.
7. Kizil'shteyn L. Ya., Dubov I. V., Shpitsgluz A. A., Parada S. G. 2002, *Komponenty zol i shlakov TETs* [Components of ashes and slags of thermoelectric plants], Moscow, 176 p.
8. Gennadiev A. N., Olson K. R. Chernyanskiy S. S., Dzhons R. L. 2002, *Kolichestvennaya otsenka erozionno-akkumulyativnykh yavleniy v pochvakh s pomoshch'yu tekhnogennoy magnitnoy metki* [Quantitative assessment of erosion-accumulation phenomena in soils with the help of an anthropogenic magnetic tag]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 1, pp. 21–32.
9. Gennadiev A. N., Chernyanskiy S. S., Kovach R. G. 2004, *Sfericheskie magnitnye chastitsy kak mikrokomponenty pochv i trassery massoperenosa* [Spherical magnetic particles as microcomponents of soils and mass transfer tracers]. Pochvovedenie [Eurasian Soil Science], no. 5, pp. 566–580.
10. Zagurskiy A. M., Ivanov A. V., Shoba S. A. 2009, *Submikromorfologiya magnitnykh fraktsiy pochv [Submicromorphology of magnetic fractions of soils]. Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], no. 9, pp. 1124–1132.
11. Bobrov V. P. et al. 2000, *Pererabotka tekhnogennykh obrazovaniy – effektivnyy put' reabilitatsii gornopromyshlennykh territoriy* [Reprocessing of technogenic formations – an effective way of rehabilitation of mining territories], Ekaterinburg, 71 p.
12. Zakharov A. V., Guman O. M., Makarov A. B., Antonova I. A., Li T. I. 2014, *Ekologicheskoe sostoyanie okruzhayushchey sredy otvalov chernoy metallurgii (po rezul'tatam monitoringa shlakovogo otvala NTMK)* [Ecological condition of the environment of dumps of ferrous metallurgy (based on monitoring of the slag dump of Nizhny Tagil Metallurgy Plant)]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], vol. 3(35), pp. 51–56.

Анатолий Борисович Макаров,
gprmpi@ursmu.ru
Ирина Александровна Антонова
Dolinina_ira@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Борис Михайлович Осовецкий
opal@psu.ru
Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, Пермь, ул. Букирева, 15

Anatoliy Borisovich Makarov,
gprmpi@ursmu.ru
Irina Aleksandrovna Antonova
Dolinina_ira@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Boris Mikhailovich Osovetskiy
opal@psu.ru
Perm State National Research University
Perm', Russia

УДК 549.766.21:551.44 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-46-51

УСЛОВИЯ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ГИПСА В РЫХЛЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ НОВОАФОНСКОЙ ПЕЩЕРЫ, АБХАЗИЯ)

О. Я. Червяцова, С. С. Потапов, В. И. Ракин, С. Н. Сергеев, Р. С. Дбар, Я. А. Экба

Conditions and morphological features of gypsum crystallization in loose sediments (on the example of the Novoafon cave, Abkhazia)

O. Ya. Chervyatsova, S. S. Potapov, V. I. Rakin, S. N. Sergeev, R. S. Dbar, J. A. Ekba

The article presents the results of investigations of sulfate (gypsum) mineral formation in the southern halls of the Novoafon cave in the conditions of a loose loamy aggregate. These sediments, which are sediments of cave lakes, refer to pseudomiosilites and myosilites – essentially quartz rocks, poor hydrolysates. The southern halls of the cave are characterized by air temperatures from 12.2 to 13.4 °C. The maxima and minima lag behind the surface for 2-3 months. Observations of the relative humidity of air are fragmentary, but there are data on its significant fluctuations, increased as a result of anthropogenic transformation of the air circulation system (the appearance of artificial tunnels). The studied aggregates of gypsum are characterized by a size range from less than 1 mm and up to 3-4 cm and a wide variety of morphological types. Gypsum is represented by skeletal crystals on which parts of facets of simple forms occur: {010}, $\{\bar{1}21\}$, {110} and rarely {011}. Rounded, lateral with respect to the planes of perfect cleavage {010} of the gypsum surface, speak of a diffuse growth regime. Such a regime can be explained by the composition of the sediments: the clay layers in their composition during the moistening of the cave accumulated capillary water, which was slowly deposited into the growth substrate during the dry periods. Most researchers indicate that in the processes of secondary redeposition of gypsum in caves (irrespective of its initial source) the main role is played by the processes of alternation of moisture with evaporation. Therefore, this type of secondary gypsum mineralization can be considered as an indicator of the microclimatic regime with high-amplitude fluctuations in the relative humidity of air, which has been preserved for a long time. Its further study using isotope techniques can help in the reconstruction of the natural regime of air humidity in the cave (before the anthropogenic transformation of the microclimatic regime).

Keywords: sulfates; secondary mineral formations; gypsum; morphology of crystals; genesis of minerals.

Приводятся результаты исследований сульфатного (гипсового) минералообразования в южных залах Новоафонской пещеры в обстановке рыхлого суглинистого заполнителя. Эти отложения, представляющие собой осадки пещерных озер, относятся к псевдомиосилитам и миосилитам – существенно кварцевым породам, бедным гидролизатами. Южные залы пещеры характеризуются температурами воздуха от 12,2 до 13,4 °С. Максимумы и минимумы запаздывают относительно поверхности на 2–3 месяца. Наблюдения за относительной влажностью воздуха фрагментарны, но имеются сведения о ее значительных колебаниях, увеличившихся в результате антропогенной трансформации системы циркуляции воздуха (появления искусственных тоннелей). Изученные агрегаты гипса характеризуются размерным диапазоном от менее 1 мм до 3–4 см и широким набором морфологических типов. Гипс представлен скелетными кристаллами, на которых встречаются участки граней простых форм: {010}, $\{\bar{1}21\}$, {110}, редко {011}. Округлые, боковые по отношению к плоскостям совершенной спайности {010} поверхности гипса свидетельствуют о диффузном режиме роста. Такой режим может объясняться составом осадков: имеющиеся в их составе глинистые прослойки во время увлажнения пещеры аккумулировали капиллярную воду, которая медленно отдавалась в ростовый субстрат во время сухих периодов. Большинство исследователей указывают на то, что в процессах вторичного переотложения гипса в пещерах (независимо от его исходного источника) основную роль играют процессы чередования увлажнения с испарением. Поэтому этот тип вторичной гипсовой минерализации можно рассматривать как показатель микроклиматического режима с высокоамплитудными колебаниями относительной влажности воздуха, сохранявшегося на протяжении длительного времени. Его дальнейшее изучение с применением изотопных методов может помочь в реконструкции естественного режима влажности воздуха в пещере (до антропогенной трансформации микроклиматического режима).

Ключевые слова: сульфаты; вторичные минеральные образования; гипс; морфология кристаллов; генезис минералов.

Введение

Новоафонская (Анакопийская) пещера находится на черноморском побережье Абхазии, в городе Новый Афон. Она расположена в западной части хребта Аж-Амгва, имеющего антиклинальное строение, в 300-метровой толще толстослоистых локально доломитизированных кремнистых известняков баррема (K_1b), слагающих ядро антиклинали. Протяженность пещеры составляет 3300 м, объем 1 006 600 м^3. Естественный вход представляет собой систему вертикальных колодцев глубиной более 180 м, соединяющуюся с субгоризонтальной частью узким проходом в северо-восточной части зала Анакопия. Пещерная система была исследована в начале 1960-х гг., а с 1975 г. функционирует в качестве экскурсионного объекта.

На широкое распространение гипсовой минерализации в пещере впервые обратил внимание З. К. Тинтилозов. Согласно наиболее ранней трактовке [1], ее появление связано с наличием во вмещающих известняках гипотетических прослоек морского осадочного (эвапоритового) гипса. В 1980-х гг. В. Н. Дублянский высказал предположение об образовании гипса за счет окисления сероводорода из глубинных вод и реакции серной кислоты с карбонатными породами [2]. Процесс, называемый в современной литературе сернокислотным спелеогенезом (*sulfuric acid speleogenesis – SAS*), хорошо изучен во многих карстовых районах мира. Дальнейшее изучение морфологических, структурно-текстурных и изотопных характеристик гипса позволило найти подтверждение этой гипотезы [3]. К «первичным» гипсовым отложениям, образовавшимся непосредственно при сернокислотном замещении известняка, относятся массивные микрокристаллические коры и изометричные «карманы замещения» (*replacement pockets*), распространенные в южных залах пещерной системы.

Настоящая работа посвящена изучению современного сульфатного минералообразования Новоафонской пещеры в обстановке рыхлого суглинистого заполнителя, представляющего собой осадки пещерных озер (озерно-кольматационные отложения по З. К. Тинтилозову [1]).

Большинство исследований свидетельствуют о том, что в процессах вторичного переотложения гипса в пещерах, в частности, внутри рыхлого заполнителя (независимо от его исходного источника: морские эвапориты для пещер сульфатного карста или «гипс замещения» для SAS-пещер), основную роль играют процессы чередования летней конденсации с зимним испарением. Согласно исследованиям F. Gázquez и др. [4] на примере пещер юга Испании, наиболее благоприятные условия для переотложения гипса складываются при сезонном понижении влажности воздуха зимой до 75–85 %. Поэтому развитие вторичной гипсовой минерализации в пещерах находится в тесной связи с микроклиматическими условиями, – его иногда рассматривают как признак сухих периодов [5].

Отбор образцов и аналитические методы

Отбор образцов рыхлых отложений, содержащих агрегаты гипса, осуществлялся в мае 2016 г. на двух точках с различным гидрологическим режимом, показанных на рис. 1.

Точка № 1 расположена в верхней части восходящего юго-восточного тупикового ответвления между залами Махаджиров и Нартаа, выше уровня современного подъема паводковых вод. Гип-

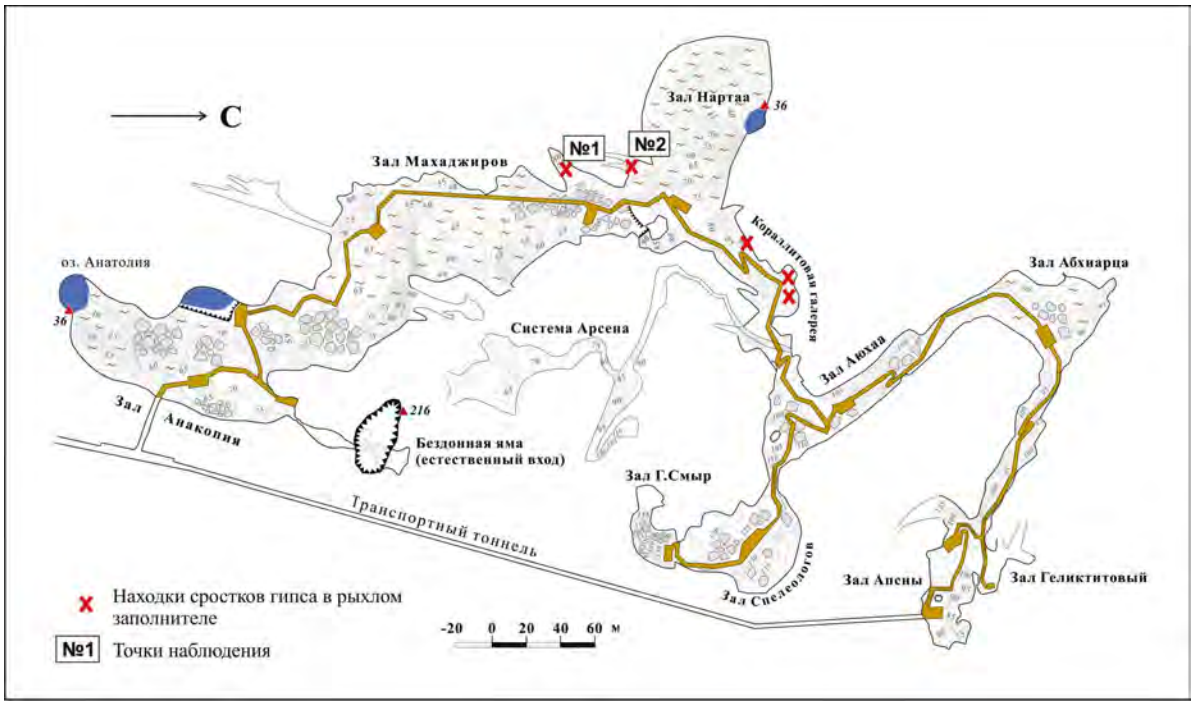


Рисунок 1. Точки отбора образцов на плане Новоафонской пещеры.

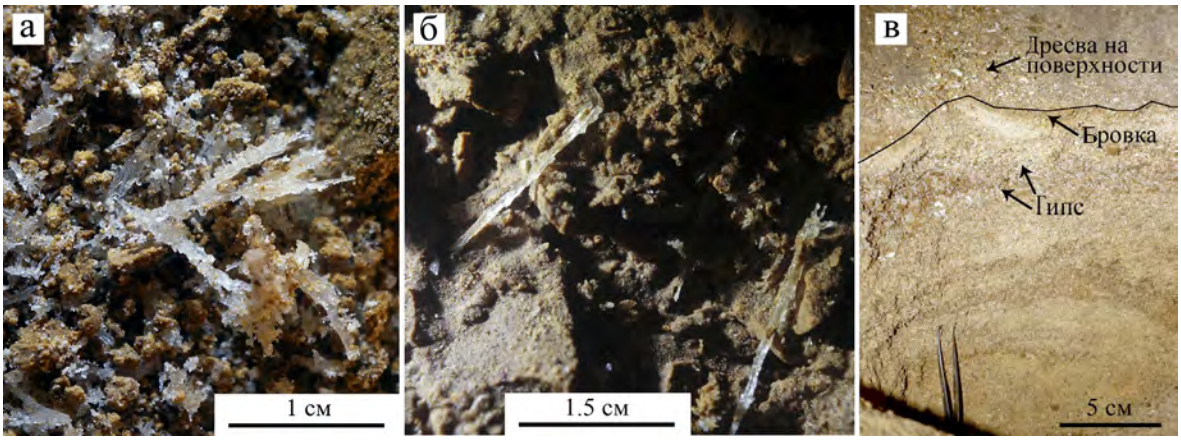


Рисунок 2. Точки отбора образцов. а – № 1, юго-восточное тупиковое ответвление между залами Махаджиров и Нартаа; б – № 2, южное ответвление зала Нартаа; в – № 2, шурф.

совые агрегаты обильны, расположены россыпью в поверхностном слое комковатого глинисто-песчаного материала (рис. 2, а).

Точка № 2 находится в южном тупиковом ответвлении зала Нартаа. До строительства водоотводящих тоннелей она периодически подвергалась затоплению при паводках, о чем свидетельствуют уровни стояния воды на стенах. Последний паводок, вызвавший подъем пещерных озер выше этой отметки (60 м над уровнем моря), был зарегистрирован в сентябре 1975 г. [1]. На поверхности встречаются частично растворенные гипсовые иглы, загрязненные озерными осадками, «пережившие» паводки (рис. 2, б), и скопления обломочного материала (дресвы) размером 1–5 мм, являющегося продуктом выветривания пород стен. Рыхлый заполнитель имеет слоистую текстуру (рис. 2, в), отражающую изменение гидродинамических условий: светлые слои, сложенные кварцевыми зернами преимущественно песчаной и алевритовой размерности, отложенными проточной водой, чередуются с темными глинистыми слоями озерных условий отложения. Наибольшее развитие гипса отмечается во втором от поверхности (преимущественно глинистом) слое до глубины около 7 см.

Исследование морфологии образцов проводилось под бинокулярным микроскопом, а также на сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega 3 SBH с энергодисперсионным спектрометром X-ACT (Oxford Instruments) в Институте проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа (аналитики С. Н. Сергеев, И. И. Мусабиров).

Микроклиматическая характеристика

В настоящее время воздухообмен пещеры происходит за счет разницы высот примерно в 190 м между естественных входом «Бездонная яма», зонами проницаемости по трещинам, а также искусственными тоннелями [6]. На рис. 3 показана сезонная динамика некоторых микроклиматических параметров на основании режимных наблюдений, проводившихся в 2006 г. Потоки воздуха, связанные с разницей в плотности наружного и пещерного воздуха, меняют скорость и направление в зависимости от температуры воздуха на поверхности: в холодное время года (XI–III) наблюдается восходящая, а в теплое время года (V–X) нисходящая циркуляция (рис. 3, а). Система циркуляции воздуха в пещере в значительной мере трансформирована строительством водоотводящего и транспортного тоннелей. Южные залы пещеры характеризуются температурами воздуха от 12,2 до 13,4 °С. Максимумы и минимумы запаздывают относительно поверхности на 2–3 месяца, что говорит об относительной инерционности системы (рис. 3, б).

Режимные наблюдения за влажностью воздуха в последние годы не проводились. По данным З. К. Тинтилозова (1983), относи-

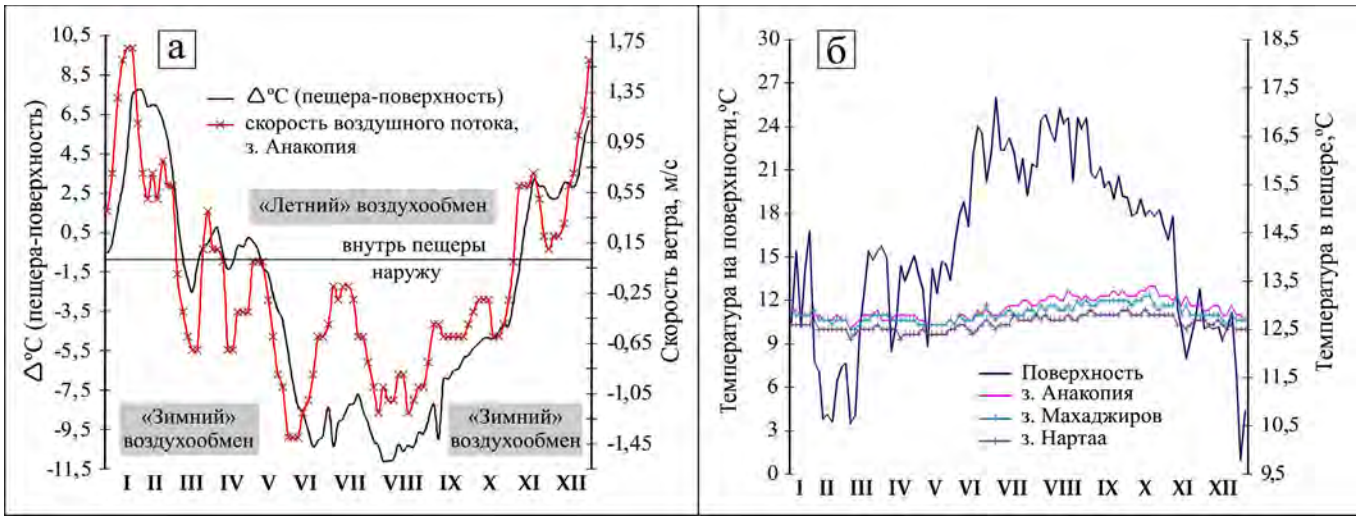


Рисунок 3. Микроклиматические условия южных залов. а – сезонное изменение скорости воздушного потока в зале Анакопия, в узком проходе («Ворота Арсена») на соединении с вертикальной частью; б – сезонный ход температур воздуха.

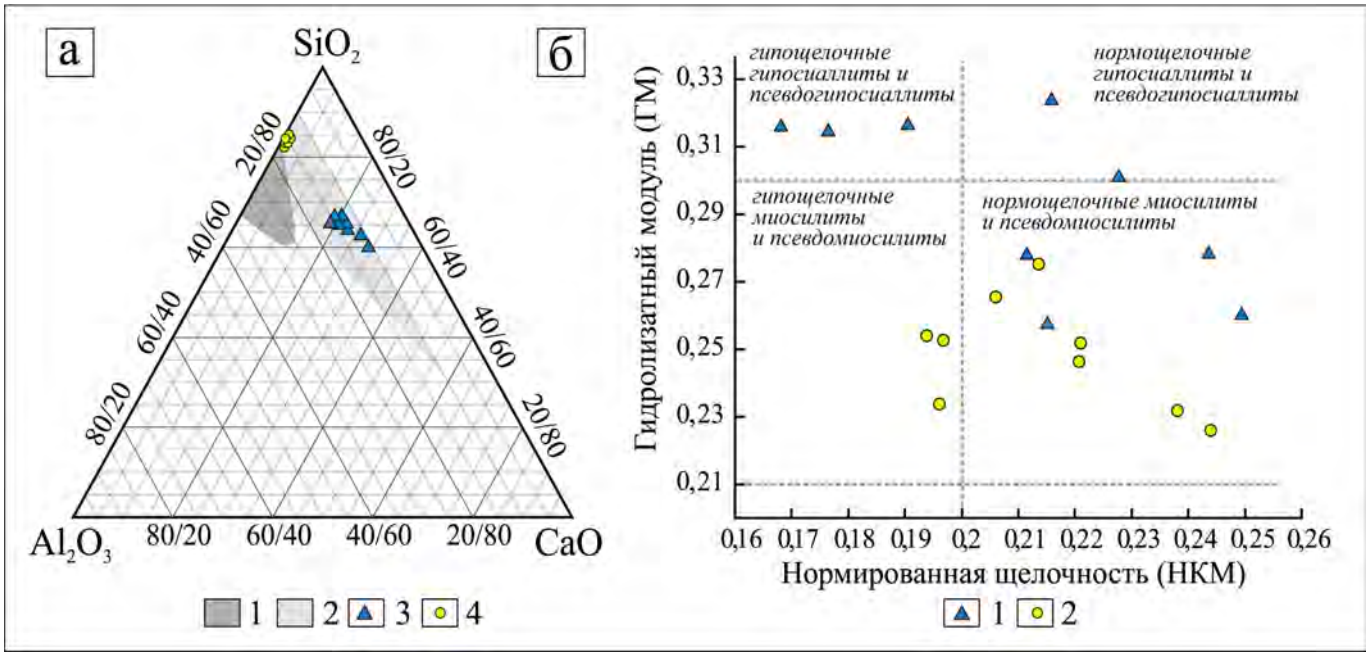


Рисунок 4. Характеристика озерно-кольматационных отложений зала Махаджиров [1]. а – диаграмма SiO_2–Al_2O_3–CaO: 1, 2 – поля составов для валовых проб и пелитовой фракции глинистых пещерных осадков [8]; 3, 4 – валовые пробы и пелитовая фракция осадков зала Махаджиров; б – ГМ–НКМ диаграмма [9] для осадков зала Махаджиров: 1, 2 – поля составов для валовых проб и пелитовой фракции.

тельная влажность воздуха в южных залах пещеры до начала эксплуатации как туристического объекта составляла 98–100 % [1]. С началом эксплуатации наблюдается уменьшение влажности на 5–6 %, связанное как с тепловой нагрузкой, так и с интенсификацией воздухообмена через искусственные тоннели [7]. Имеются данные (В. В. Мархолия, устное сообщение), что в период с 1989 по 2010 г. в водоотводящем тоннеле отсутствовал ветрозащитный шлюз, что привело к существенному понижению влажности (особенно зимой) и высыханию озерно-кольматационных отложений в южных залах с формированием такыра. В настоящее время шлюз восстановлен, однако он не герметичен, поэтому потоки воздуха через тоннель сохраняются. По данным измерений в мае 2016 г., относительная влажность воздуха в южных залах пещеры составляла 97–99 %.

Несмотря на относительную стабильность микроклиматического режима, имеются сведения о значительных колебаниях относительной влажности воздуха, способствующих чередованию увлажнения и высыхания субстратов.

Озёрно-кольматационные отложения

Этот тип отложений, являющийся обстановкой для кристаллизации рассматриваемых агрегатов гипса, выделен З. К. Тинтилозовым [1] и генетически связан с осадками постоянных и временных озер, а также паводковых водотоков южных залов пещеры.

Данные по химическому составу восьми образцов озерно-кольматационных глинистых отложений из зала Махаджиров (изучались относительно свежие осадки зоны затопления), приведенные в табличном виде в монографии З. К. Тинтилозова [1], сравнивались с составами, полученными для шести пещер Кавказа, Крыма и Урала [8].

Сульфаты в составе отложений имелись в следовых количествах или отсутствовали. На диаграмме SiO_2–Al_2O_3–CaO (рис. 4, а) видно, что состав пелитовой фракции образует компактное поле, несколько отличающееся от диапазона, приведенного в цитируемой работе [8], в сторону увеличения содержания SiO_2 и уменьшения Al_2O_3, что указывает на увеличение доли кварца в осадке. По валовому составу отмечается тренд отрицательной корреляции CaO с SiO_2 и Al_2O_3, что говорит о нахождении этих элементов в минералах, осаждавшихся в различных условиях (например, аллотигенные кварц и алюмосиликаты переотлагались из паводковых вод механическим путем, а кальцит отлагался аутигенным

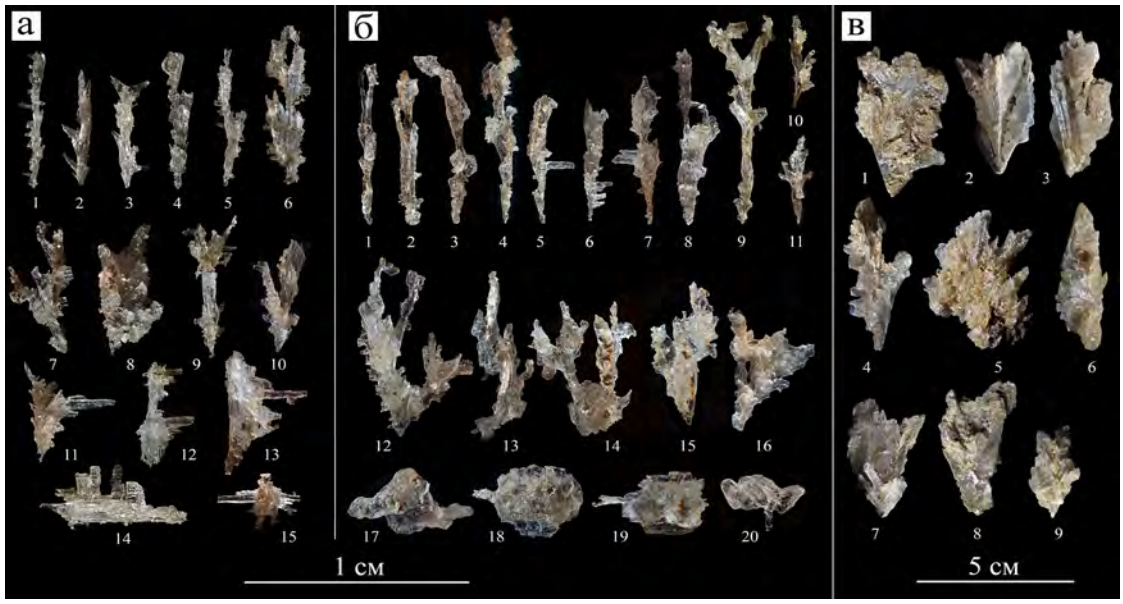


Рисунок 5. Основные морфологические типы агрегатов гипса. а – точка отбора № 1, юго-восточное тупиковое ответвление между залами Махаджиров и Нартаа; б, в – точка отбора № 2. Пояснения в тексте.

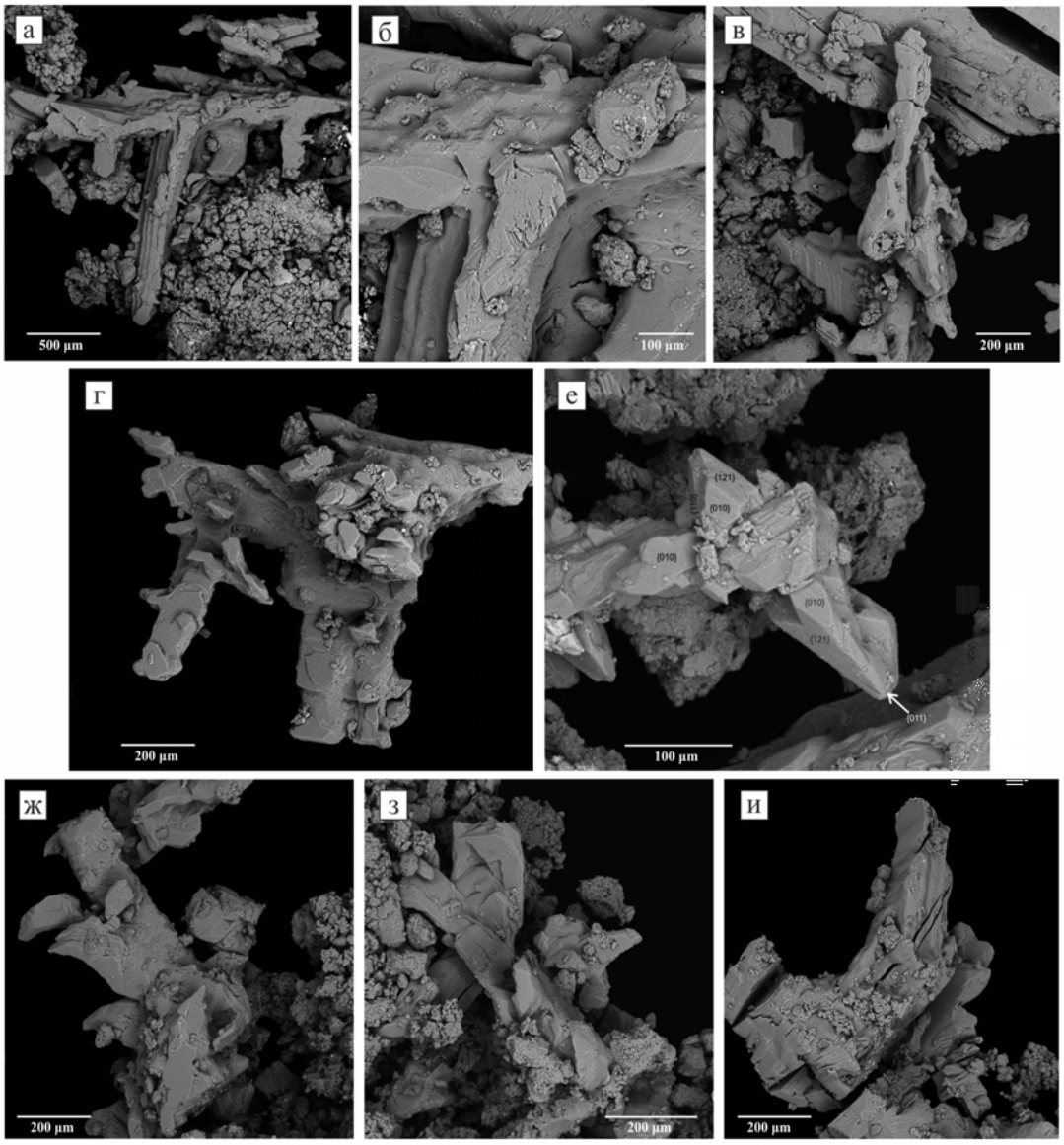


Рисунок 6. Сканирующие электронные микрофотографии гипсовых агрегатов с точки отбора № 1.

путем в условиях низкой обводненности). Также для осадков зала Махаджиров авторами статьи были вычислены некоторые литохимические модули [9]. Гидролизатный модуль (ГМ) составляет от 0,26 до 0,32 для валовых проб и 0,23–0,28 для пелитовой фракции, что позволяет в большинстве случаев отнести их к псевдомиосилитам (MgO > 3 %) и миосилитам – существенно кварцевым породам, бедным гидролизатами. Модуль нормированной щелочности (НКМ) для валовых проб составляет от 0,17 до 0,25 и от 0,19 до 0,34 для пелитовой фракции, что для миосилитов соответствует нормощелочному и (реже) гипощелочному показателю (рис. 4, б).

Морфология сростков гипса

Основные морфологические типы агрегатов гипса показаны на рис. 5. В образцах с обеих точек преобладают удлиненные игольчатые агрегаты длиной 4–7 мм, часто усложненные «отростками», примыкающими под углом 95–108° (рис. 5, а, № 1, 5, 6; рис 5, б, № 5–8) и реже под углом 130° (рис. 5, а, № 2, 3). Для образцов с точки отбора № 1 также характерны пластинчатые кристаллы неправильной формы, тоже имеющие субперпендикулярные «отростки» (рис. 5, а, № 11–15). В образцах с точки отбора № 2 отмечаются искривленные коралловидные (рис. 5, б, № 12-16) и уплощенные чечевицеобразные (рис. 5, б, № 17–20) агрегаты. Редко наблюдаются макроагрегаты сложной формы размерами 3–4 см (рис. 5, в).

Электронно-микроскопические фотографии, показывающие особенности строения агрегатов, приведены на рис. 6. Гипс представлен скелетными кристаллами, на которых встречаются участки граней простых форм: {010}, $\{\bar{1}21\}$, {110} и редко {011}. Прямых признаков двойникования кристаллов гипса не найдено, но ориентация фрагментов «скелетных» кристаллов под прямым углом друг к другу косвенно свидетельствует о распространении явления двойниковании в ходе роста «скелета».

Максимальные по площади (идеальные) плоские грани, ориентированные на наблюдателя (рис. 6, а, б), – это плоскости совершенной спайности {010} гипса. Боковые поверхности, на которых часто представлены плоские сетки $\{\bar{1}21\}$ и {110}, искривлены и плохо диагностируются. На снимке (рис. 6, в) трещиноватость крупного кристалла по плоскостям совершенной спайности {010} указывает на его ориентацию, но поверхность, ориентированную на наблюдателя, не удалось диагностировать (отсутствие рефлекса). Наиболее плоские грани здесь и далее – это всегда {010}. На фото (рис. 6, *г*) плоские грани (ориентированные на наблюдателя), это {010}. Однако боковые поверхности не идеально плоские и точно установить принадлежность их к данным простым формам нельзя. На снимке (рис. 6, е) фрагмент скелета диагностирован, – здесь наиболее вероятными гранями являются $\{\bar{1}21\}$, {011} и {110}. На других снимках (рис. 6, ж, з, и) трещины указывают на плоскости спайности {010}, но боковые поверхности нельзя точно индексировать.

Обсуждение результатов

Считается, что игольчатый облик кристаллов гипса отражает условия быстрого роста при недостатке раствора [10]. Эта форма является одной из наиболее распространенных форм вторичной кристаллизации гипса в условиях рыхлых пещерных отложений. Генезис гипсовых игл связывают с испарением капиллярных растворов. В изученной коллекции большая часть тоже представлена иглоподобными агрегатами, однако были развиты и более сложные формы. В работе [11] показано, что на габитус кристаллов гипса, растущих в рыхлых отложениях, влияет гранулометрический состав осадка, что, в свою очередь, определяет разную водопроницаемость и влагоемкость.

В целом округлые, боковые по отношению к плоскостям совершенной спайности {010} поверхности гипса говорят о диффузном режиме роста. Поэтому «скелетные» формы, найденные в осадках Новоафонской пещеры, можно интерпретировать как скелетоподобные сростки кристаллов гипса, растущие в диффузном режиме. Срастание, точнее, образование субиндивида новой генерации чаще всего происходит в параллельном положении. Двойникование трудно диагностировать из-за сглаженных поверхностей кристаллов.

Кривогранные чечевицеобразные кристаллы типичны для глинистых субстратов [12]. Изменение их формы, связанное с исчезновением одних граней и разрастанием других, объясняется особенностью диффузного роста в вязкой среде. Также некоторые авторы связывают деформацию кристаллов гипса с наличием натрия в среде.

Для агрегатов, найденных в суглинках, можно рассмотреть два возможных источника сульфатов. Во-первых, насыщение озерно-кольматационных суглинков сульфатами может быть связано с растворением во время паводков гипса, являющегося продуктом сернокислотного спелеогенеза. Во-вторых, может быть местный источник за счет развитых в этой части пещеры субаэральных гипсовых отложений (антолитов, корочек), образовавшихся за счет испарения капиллярных растворов горных пород. Эти отложения отличаются от сульфатов, образованных по SAS-механизму, в сторону более легкого изотопного состава серы, что указывает на иной источник, вероятно, за счет локального окисления зерен сульфидов в известняках [3].

Разнообразие морфологических типов гипсовых агрегатов может объясняться составом озерно-кольматационных отложений: имеющиеся в их составе глинистые прослойки во время увлажнения пещеры насыщались капиллярной влагой, которая медленно отдавалась в ростовый субстрат во время сухих периодов.

В качестве дискуссии следует отметить роль вторичных гипсовых отложений для индикации микроклиматического режима в пещере. Как отмечалось ранее, для роста подобных агрегатов обязательным условием является сезонное чередование увлажнения субстратов с активным испарением. Подобный режим может быть обеспечен в условиях активной вентиляции полости наружным воздухом. Имеется мнение, что первоначально пещера почти не имела естественной вентиляции, а современный динамический режим с сезонным реверсом потоков воздуха (рис. 2, *а*) сформировался после строительства искусственных тоннелей. Однако рост гипсовых агрегатов в отложениях зала Нартаа, перекрытых в дальнейшем озерными отложениями (рис. 2, *в*), предполагает наличие продолжительных периодов сезонных колебаний влажности и, следовательно, активного воздухообмена в пещере и до строительства тоннеля (при изолированности подземных полостей от воздушных потоков относительная влажность воздуха стремится к 100 %, что препятствует испарению, необходимому для насыщения поровых растворов). Оценки значений относительной влажности воздуха, при которой происходило испарительное насыщение субстратов, могут быть сделаны после изучения изотопного состава кристаллизационной воды в гипсе [4]. Немногочисленные данные о скорости роста игольчатых агрегатов гипса в рыхлых отложениях пещер, приводимые различными авторами, дают довольно близкие оценки: 0,1–0,211 мм/год [13]; 0,07 мм/год [14]; 0,16–0,38 мм/год [15]. Игольчатые сростки величиной 1,5 см могли вырасти примерно за 150 лет, а для крупных агрегатов требовалось значительно более продолжительное время.

Заключение

Современная кристаллизация гипса в обстановке рыхлого суглинистого заполнителя (осадки пещерных озер) широко распространена в залах Новоафонской пещеры. Изученные агрегаты характеризуются размерным диапазоном от менее 1 мм до 3–4 см и широким набором морфологических типов. Гипс представлен скелетными кристаллами, на которых встречаются участки граней простых форм: {010}, $\{\bar{1}21\}$, {110} и редко {011}. Округлые, боковые по отношению к плоскостям совершенной спайности {010} поверхности гипса говорят о диффузном режиме роста. Такой режим может объясняться составом осадков: имеющиеся в их составе глинистые прослойки во время увлажнения пещеры аккумулировали капиллярную воду, которая медленно отдавалась в ростовой субстрат во время сухих периодов.

Согласно многочисленным исследованиям, для роста подобных агрегатов в пещерах обязательным условием является сезонное чередование увлажнения субстратов с активным испарением. Поэтому этот тип вторичной гипсовой минерализации можно рассматривать, как индикатор микроклиматического режима с высокоамплитудными колебаниями относительной влажности воздуха, сохранявшегося на протяжении длительного времени [4, 5]. В дальнейшем целесообразно изучить изотопный состав кристаллизационной воды в гипсе, что даст возможность

реконструировать условия относительной влажности в пещере на момент роста агрегатов (а это представляет интерес для понимания естественного микроклиматического режима пещеры до его техногенной трансформации).

Авторы благодарны Л. Ю. Кузьминой и С. А. Капралову за участие в полевых работах, а также сотрудникам комплекса Новоафонской пещеры В. В. Мархолия и Б. А. Пандария за помощь в организации исследования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-55-40005 Абх_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тинтилозов З. К. Новоафонская пещерная система. Тбилиси: Мецниереба, 1983. 151 с.
2. Dublyansky V. N. Hydrothermal karst in Alpine folded belt of southern part of USSR // Kras. Spel. 1980. Vol. XII. P. 18–38.
3. Червяцова О. Я., Потапов С. С., Садыков С. А., Леонова Л. В., Дбар Р. С. Распространение, морфология, изотопный состав серы и генезис гипсовых отложений в Новоафонской пещере (Абхазия) // Минералогия. 2016. № 3. С. 79–94.
4. Gázquez, F., Calaforra, J. M., Evans, N. P., & Hodell, D. A. Using stable isotopes ($\delta^{17}O$, $\delta^{18}O$ and δD) of gypsum hydration water to ascertain the role of water condensation in the formation of subaerial gypsum speleothems // Chemical Geology. 2017. Vol. 452. P. 34–46.
5. Calaforra J. M., Forti P., Fernandez-Cortes A. Speleothems in gypsum caves and their paleoclimatological significance // Environmental geology. 2008. Vol. 53, №. 5. P. 1099–1105.
6. Экба Я. А., Ахсалба А. К., Ларченко И. Н., Закинян Р. Г. Некоторые особенности моделирования воздухообмена карстовых пещер // Докл. АМАН. 2011. Т. 13, № 2. С. 122–128.
7. Ланчава О. А., Цикаришвили К. Д. О необходимости мониторинга благоустроенных карстовых пещер с целью их оптимальной эксплуатации (на примере Новоафонской и Цхалтубской пещер) // Комплексное использование и охрана подземных пространств: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2014. С. 123–129.
8. Матреничев В. А., Климова Е. В. Глинистые отложения пещер // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2015. Вып. 4. С. 65–82.
9. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
10. Couturaud A. Les aiguilles de gypse du Verneau (Doubs) // Karstologia: revue de karstologie et de spéléologie physique. 1986. № 8. 2e semester. P. 13–16.
11. Al-Youssef M. Gypsum Crystals Formation and Habits, Umm Said Sabkha, Qatar // Sabkha Ecosystems: Vol. IV: Cash Crop Halophyte and Biodiversity Conservation. Springer Netherlands, 2014. С. 23–54.
12. Шафрановский И. И., Сальдау Э. П. Чечевицеобразные кристаллы гипса из Крыма // Кристаллография: тр. Федоровской науч. сессии 1951 г. М.; Л.: Углетехиздат, 1952. С. 177–188.
13. Peck S. B. A growth rate for cave gypsum needles // NSS Bulletin. 1977. Vol. 39. P. 104–105.
14. Landis C. Notes on growth rate of gypsum crystals // National Speleological Society, Nittany Grotto News. 1961. Vol. 9. P. 102.
15. Polyak V. J., Davis D. G., Provencio P. P., Asmerom Y. Proposed Age and origin of gypsum needles of Crystal Crawl, Fort Stanton Cave, New Mexico // New Mexico geological society guidebook, 65th Field conference, Geology of the Sacramento Mountains Region, 2014. P. 157–162.

REFERENCES

1. Tintilozov Z. K. 1983. *Novoafonskaya peshchernaya sistema* [Novoafon cave system], Tbilisi, 151 p.
2. Dublyansky V. N. 1980, Hydrothermal karst in Alpine folded belt of southern part of USSR. Kras. Spel., vol. 12, pp. 18–38.
3. Chervyatsova O. Ya., Potapov S. S., Sadykov S. A., Leonova L. V., Dbar R. S. 2016, *Rasprostranenie, morfologiya, izotopnyy sostav sery i genezis gipsovykh otlozheniy v Novoafonskoy peshchere (Abkhaziya)* [Distribution, morphology, isotope composition of sulfur and genesis of gypsum deposits in the Novoafon cave (Abkhazia)]. *Mineralogiya* [Mineralogy], no. 3, pp. 79–94.
4. Gázquez, F., Calaforra, J. M., Evans, N. P., & Hodell, D. A. 2017, Using stable isotopes ($\delta^{17}O$, $\delta^{18}O$ and δD) of gypsum hydration water to ascertain the role of water condensation in the formation of subaerial gypsum speleothems. Chemical Geology, vol. 452, pp. 34–46.
5. Calaforra J. M., Forti P., Fernandez-Cortes A. 2008, Speleothems in gypsum caves and their paleoclimatological significance. *Environmental geology*, vol. 53, no. 5, pp. 1099–1105.
6. Ekba Ya. A., Akhsalba A. K., Larchenko I. N., Zakinyan R. G. 2011, *Nekotorye osobennosti modelirovaniya vozdukhoobmena karstovykh peshcher* [Some features of modeling the air exchange of karst caves]. *Dokl. AMAN* [Doklady AIAS], vol. 13, no. 2, pp. 122–128.
7. Lanchava O. A., Tsikarishvili K. D. 2014, *O neobkhodimosti monitoringa blagoustroennykh karstovykh peshcher s tsel'yu ikh optimal'noy ekspluatatsii (na primere Novoafonskoy i Tskhaltubskoy peshcher)* [On the need to monitor well-maintained karst caves for the purpose of optimal exploitation (on the example of New Athos and Tskhaltubsky caves)]. *Kompleksnoe ispol'zovanie i okhrana podzemnykh prostranstv: sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Complex use and protection of underground spaces: a collection of reports of the International Scientific and Practical Conference], Perm', pp. 123–129.
8. Matrenichev V. A., Klimova E. V. 2015, *Glinistye otlozheniya peshcher* [Clay deposits of caves]. *Vestnik SPbGU. Nauki o zemle* [Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences], vol. 7, no. 4, pp. 65–82.
9. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. 2000, *Osnovy litokhimii* [Fundamentals of lithochemistry], St. Petersburg, 479 p.
10. Couturaud A. 1986, Les aiguilles de gypse du Verneau (Doubs) [Gypsum needles from Verneau (Doubs)]. Karstologia: revue de karstologie et de spéléologie physique [Karstologia: review of karstology and physical caving], no. 8, 2e semester, p. 13–16.
11. Al-Youssef M. 2014, Gypsum Crystals Formation and Habits, Umm Said Sabkha, Qatar. Sabkha Ecosystems: Vol. IV: Cash Crop Halophyte and Biodiversity Conservation, Springer Netherlands, pp. 23–54.
12. Shafranovskiy I. I., Sal'dau E. P. 1952, *Chechevitseobraznye kristally gipsa iz Kryma* [Lenticular crystals of gypsum from Crimea]. *Kristallografiya: tr. Fedorovskoy nauch. sessii 1951 g.* [Crystallography: Works of the Fedorov Scientific Session of 1951], Moscow, p. 177–188.
13. Peck S. B. 1977, A growth rate for cave gypsum needles. NSS Bulletin, vol. 39, pp. 104–105.
14. Landis C. 1961, Notes on growth rate of gypsum crystals. National Speleological Society, Nittany Grotto News, vol. 9, p. 102.
15. Polyak V. J., Davis D. G., Provencio P. P., Asmerom Y. 2014, Proposed Age and origin of gypsum needles of Crystal Crawl, Fort Stanton Cave, New Mexico. New Mexico geological society guidebook, 65th Field conference, Geology of the Sacramento Mountains Region, pp. 157–162.

Ольга Яковлевна Червяцова
kittary@ya.ru
Государственный заповедник «Шульган-Таш»
Россия, Республика Башкортостан, Бурзянский район,
дер. Иргизлы, ул. Заповедная, 14

Сергей Сергеевич Потапов,
s_almazov@74.ru
Институт минералогии УрО РАН
Россия, Челябинская область, Миасс,
Миасский тракт

Владимир Иванович Ракин
rakin@geo.komisc.ru
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
Сыктывкар, ул. Первомайская, 54

Семен Николаевич Сергеев
imsp@imsp.ru
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН
Россия, Республика Башкортостан
Уфа, ул. Степана Халтурина, 39

Роман Саидович Дбар,
romandbar@mail.ru
Январби Алиевич Экба
ekba-yan@yandex.ru
Институт экологии АНА
Республика Абхазия, Сухум, ул. Красномаяцкая, 67

Ol'ga Yakovlevna Chervyatsova
kittary@ya.ru
State National park «Shul'gan-Tash»
Irgizly village, The Republic of Bashkortostan,
Russia

Sergey Sergeevich Potapov
s_almazov@74.ru
Institute of Mineralogy of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Miass, Russia

Vladimir Ivanovich Rakin,
rakin@geo.komisc.ru
Institute of Geology of Komi Science Centre of RAS
Syktyvkar, Russia

Semen Nikolaevich Sergeev
imsp@imsp.ru
Institute for Metals Superplasticity Problems
of the Russian Academy of Sciences
Ufa, Russia

Roman Saidovich Dbar,
romandbar@mail.ru
Yanvarby Alievich Ekba
ekba-yan@yandex.ru
Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia
Sukhum, Abkhazia

УДК 543.427.34+549.612 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-52-56

DETECTION OF BERYLLIUM IN OXIDES AND SILICATES BY ELECTRON-PROBE MICROANALYSIS

V. V. Khiller

Определение бериллия в оксидах и силикатах методом рентгеноспектрального микрозондового анализа

В. В. Хиллер

Разработана методика электронно-зондового микроанализа количественного определения содержания бериллия на примере изучения природных минералов (алюмосиликатов и оксидов). Получено количественное содержание бериллия (в совокупности с другими элементами) в изумрудах Мариинского бериллиевого месторождения и зональном мариинските-хризоберилле из хромититов Баженовского офиолитового комплекса. Все анализы минералов выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100 с пятью волновыми спектрометрами (ИГГ УрО РАН). Давление в камере образцов составляло $2 \cdot 10^{-4}$ Па, в области электронной пушки $2 \cdot 10^{-6}$ Па, в волновых спектрометрах – 7 Па. Ускоряющее напряжение 10 кВ, ток поглощенных электронов на цилиндре Фарадея (сила тока) – 100–150 нА. Диаметр пучка электронов, сфокусированных на образце, – 2 мкм, угол отбора рентгеновского излучения – 40°. Спектры получены на волновых спектрометрах с кристаллами-анализаторами TAP (2*d* = 25,745 Å), LPET (2d = 8,75 Å), LiF (2*d* = 4,0267 Å) и PC3 (2*d* = 211,4 Å, специализированный кристалл для определения содержания бериллия и бора); измерения всех элементов проводились по Kα-линиям. Предварительно для определения положения аналитического пика и фона с двух сторон, с минимально возможными спектральными наложениями прописывались спектры на волновых спектрометрах. Полученные микрозондовые анализы минералов с количественным определением бериллия хорошо сходятся с имеющимися теоретическими составами бериллов и хризобериллов, что говорит о высокой эффективности разработанной методики. В результате постановки данной методики можно относительно быстро и надежно определять количественное содержание бериллия в природных силикатах и оксидах. Это необходимо для исследователей-геологов при изучении минералогии бериллиевых месторождений.

Ключевые слова: бериллий; хризоберилл; мариинскит; берилл; изумруд; электронно-зондовый микроанализ.

The author developed the technique of electron-probe microanalysis for quantitative determination of beryllium content, providing the example of studying natural minerals (aluminosilicates and oxides). This technique allowed to obtain a quantitative content of beryllium (in combination with other elements) in the emeralds of the Mariinsky beryllium deposit and in zonal mariinskite-chrysoberyl from the chromitites of the Bazhenov ophiolite complex. All analyzes of minerals were performed on a CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer with five wave spectrometers (IGG UB RAS). The pressure in the sample chamber was 2×10^{-4} Pa, in the electron gun region – 4×10^{-6} Pa, in wave spectrometers – 7 Pa. Accelerating voltage was 10 kV, the current of absorbed electrons on the Faraday cylinder (beam current) was 100–150 nA. Diameter of the electron beam focused on the sample was 2 μm, the angle of x-ray extraction was 40°. The spectra were obtained on wave spectrometers with TAP crystal analyzers (2d = 25.745 Å), LPET (2d = 8.75 Å), LiF (2d = 4.0226 Å), and PC3 (2d = 211.4 Å, a specialized crystal for determining the content of beryllium and boron); the author carried out all the elements measurements along the Kα-lines. To determine position of the analytical peak and the background from two sides with the minimum possible spectral overlap, the author preliminarily recorded spectra on wave spectrometers. The obtained microprobe analyzes of minerals with quantitative determination of beryllium converge well with the available theoretical compositions of beryl and chrysoberyl, which indicates the high efficiency of the developed technique. By using this technique, we can relatively quickly and reliably determine the quantitative content of beryllium in natural silicates and oxides, which is an acute need for geological researchers studying the mineralogy of beryllium deposits.

Keywords: beryllium; chrysoberyl; mariinskite; beryl; emerald; electron-probe microanalysis.

In recent decades, the method of electron-probe microanalysis (EPMA) has been very useful for solving a wide range of issues, including those for which scientists relatively recently considered its application problematic. These include, for example, determination of the elements of the second period of periodic system in minerals [1], related to the development of instrumental and methodological base. When determining the "light" (Be, B, C, N, O, F) elements, difficulties arise [2, 3], as the characteristic X-ray emission lines of these elements are quite wide, they have long-wave X-ray radiation, low peak-to-background ratio, superposition with lines of "heavy" elements, and dependence of the integral intensity of the analytical line on the form of occurrence of the element [4–6]. Currently, the technique of electron-probe microanalysis of content of "ultra-light" beryllium element is not sufficiently developed. This is due to a number of experimental difficulties arising during the analysis: significant influence of the state of chemical bond on the shape and position of maximum of the corresponding element line, significant extent of correction for the matrix effects, necessity of using a special crystal analyzer and inclined spectrometer with ultra-thin polypropylene window, absence of uniform standard samples for the determination of beryllium, etc. Due to the described problems in obtaining accurate analyzes of beryllium content, most publications provide combined or recalculated analyzes of Be-containing minerals. Thus, some researchers normalize the obtained results to a certain amount of oxygen and beryllium [5, 7, etc.], while other scientists determine beryllium using isotopic methods and "add" it to the available microprobe analyzes [8, 9, etc.]. This paper describes the technique of electron-probe microanalysis of beryllium content, on the example of studying natural minerals (aluminosilicates and oxides).

Emerald, a green gemstone, variety of a beryl jewelry is the mineral the author selected in 2008, during a geological excursion held at the All-Russian Scientific Conference "RMS Annual Meeting" on the dumps of the Mariinsky beryllium deposit (near Malysheva settlement, Sverdlovsk region). The author studied flakes and chips of the emerald rims from large beryl individuals composing metacrystals in phlogopite mica (Fig. 1).

All analyzes of emeralds were performed on a CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer with five wave spectrometers. Processing of the pieces of mineral consisted of preparing them in the form of

Figure 1. Metacrystals of emeralds the author selected at the Mariinsky beryllium deposit. The size of the prismatic crystal is 1 cm in length.

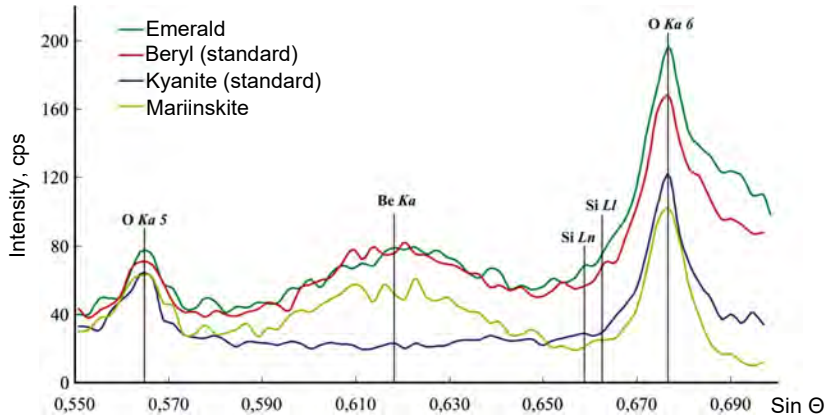


Figure 2. X-ray emission spectra in the range of Be Kα-line for the Ural emerald, mariinskite and standard samples of beryl and Al_2SiO_5. For the crystal analyzer PC3 (2d = 211.4 Å), the recording range of sin Θ is from 0.55 to 0.70, total 200 points with steps of sin Θ = 0.00075, the recording time at each point is 2 s.

Table 1. Analytical conditions for measuring characteristic lines for emerald.

Element	Standard	Element content, wt. %	Crystal analyzer	Peak position, sin Θ · 10^5	Left background position, sin Θ · 10^5	Right background position, sin Θ · 10^5
Be	Beryl	5,03	PC3	61 700	–3230	4000
Na	Jadeite	11,28	TAP	46 327	–900	900
Mg	Diopside	10,78	TAP	38 478	–900	900
Al	Beryl	9,77	TAP	32 448	–750	750
Si	Beryl	30,50	TAP	27 738	–500	500
Ca	Diopside	18,37	LPET	38 387	–850	850
Ti	TiO_2	59,95	LPET	31 418	–500	500
V	V	99,50	LPET	28 595	–300	300
Cr	Cr_2O_3	68,42	LPET	26 144	–500	500
Mn	Rhodonite	32,85	LiF	52 187	–150	250
Fe	Fe_2O_3	69,94	LiF	48 085	–500	500

Table 2. Results of electrone-probe microanalysis of beryl (emerald).

Analysis number	Oxide											Total
	SiO_2	TiO_2	V_2O_3	Cr_2O_3	Al_2O_3	MnO	FeO	MgO	CaO	BeO	Na_2O	
1	65,45	0,01	0,03	0,02	18,07	0,04	0,39	–	0,01	14,60	0,34	98,95
2	63,49	0,02	0,03	0,49	14,74	0,10	0,61	2,02	0,03	14,40	1,70	97,62
3	63,87	0,01	0,05	0,46	14,46	–	0,55	1,88	0,02	14,60	1,81	97,70
4	63,99	–	0,05	0,45	14,31	0,01	0,67	2,06	0,03	13,90	1,86	97,34
5	63,82	0,01	0,06	0,36	14,35	–	0,56	2,08	0,04	14,40	1,83	97,51
6	63,76	0,01	0,04	0,32	14,79	0,04	0,45	2,05	0,03	14,40	1,69	97,58
7	63,63	0,02	0,07	0,32	14,51	–	0,58	2,03	0,03	14,30	1,72	97,20
	Crystallochemical formulas											
1	$Be_{3,14}(Al_{1,91}Na_{0,06}Fe_{0,03})_{2,00}[Si_{5,86}O_{18}]$											
2	$Be_{3,10}(Al_{1,56}Na_{0,30}Mg_{0,27}Fe_{0,05}Cr_{0,03})_{2,21}[Si_{5,69}O_{18}]$											
3	$Be_{3,13}(Al_{1,53}Na_{0,31}Mg_{0,25}Fe_{0,04}Cr_{0,03})_{2,16}[Si_{5,71}O_{18}]$											
4	$Be_{3,01}(Al_{1,52}Na_{0,33}Mg_{0,28}Fe_{0,05}Cr_{0,03})_{2,21}[Si_{5,78}O_{18}]$											
5	$Be_{3,09}(Al_{1,52}Na_{0,32}Mg_{0,28}Fe_{0,04}Cr_{0,03})_{2,19}[Si_{5,72}O_{18}]$											
6	$Be_{3,10}(Al_{1,56}Na_{0,29}Mg_{0,28}Fe_{0,04}Cr_{0,02})_{2,19}[Si_{5,71}O_{18}]$											
7	$Be_{3,09}(Al_{1,54}Na_{0,30}Mg_{0,27}Fe_{0,04}Cr_{0,02}V_{0,01})_{2,18}[Si_{5,73}O_{18}]$											

Note: № 1 – standard sample of beryl, № 2–7 – natural emerald.

a polished section, and then spraying with a layer of carbon (a thickness of about 250 Å). The accelerating voltage was 10 kV, the beam current was 150 nA, the diameter of the electron beam was 2 μm, and the angle of x-ray extraction was 40°. The spectra were obtained on wave spectrometers with TAP crystal analyzers (2d = 25.745 Å), LPET (2d = 8.75 Å), LiF (2d = 4.0226 Å), and PC3 (2d = 211.4 Å, a specialized crystal for determining the content of beryllium and boron); the measurements of all the elements were carried out along the Kα-lines. The author determined position of the peak and the background for the both sides of the peak with minimum possible spectral overlaps, Fig. 2 shows X-ray emission spectra on a PC3 crystal analyzer in the range of the Be Kα-line for the Ural emerald and standard samples of beryl and kyanite. One can see that the oxygen lines O $K\alpha_5$ (sin Θ = 0.56425), O $K\alpha_6$ (sin Θ = 0.67679) and silicon Si *Ln* (sin Θ = 0.65805), Si *Ll* (sin Θ = 0.66253) do not interfere with the determination of beryllium.

Table 3. Correlation coefficients of the elements in the microanalysis of beryl (emerald).

Oxide	BeO	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	CaO	TiO_2	V_2O_3	Cr_2O_3	MnO	FeO	Total
BeO	1											
Na_2O	–0,44	1										
MgO	–0,44	0,99	1									
Al_2O_3	0,44	–1,00	–0,99	1								
SiO_2	0,30	–0,94	–0,97	0,94	1							
CaO	–0,55	0,85	0,88	–0,85	–0,78	1						
TiO_2	0,37	–0,01	0,07	0,00	–0,30	–0,03	1					
V_2O_3	–0,33	0,68	0,65	–0,71	–0,56	0,70	–0,12	1				
Cr_2O_3	–0,38	0,91	0,88	–0,90	–0,87	0,61	0,06	0,40	1			
MnO	0,09	–0,18	–0,09	0,21	–0,06	–0,23	0,52	–0,76	0,08	1		
FeO	–0,70	0,75	0,71	–0,75	–0,67	0,55	0,04	0,51	0,81	–0,07	1	
Total	0,57	–0,95	–0,96	0,96	0,92	–0,88	–0,04	–0,76	–0,80	0,22	–0,77	1

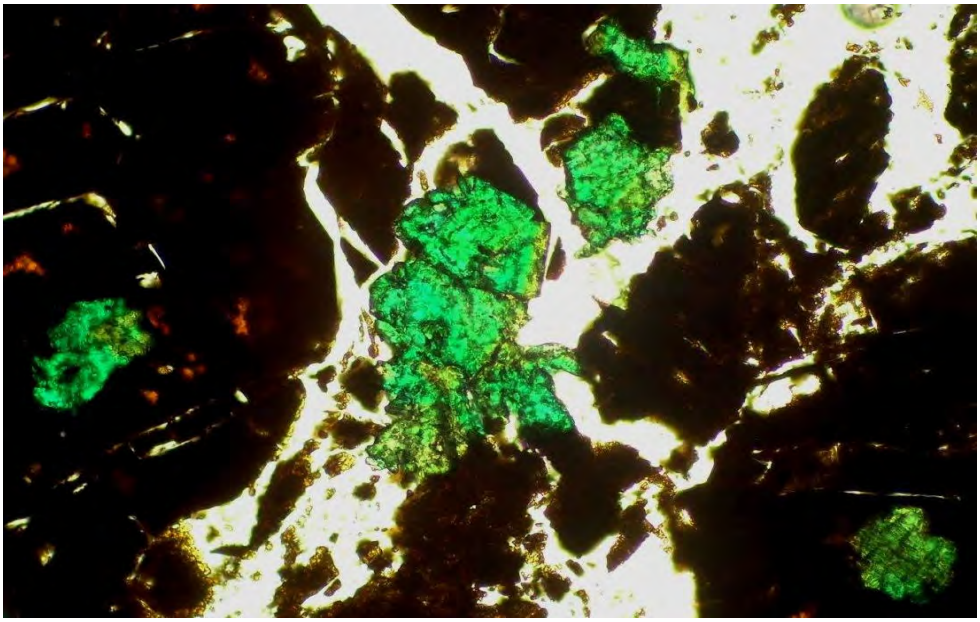


Figure 3. Mariinskite grains (green) in the matrix of mica chromite. The photo size is 2 mm by the base, polished section.

When performing the quantitative analysis, the intensity measurement time at the peak (20 s for beryllium, 10 s for the remaining elements) was twice as long as the background measurement time. The standard samples used for calibration and the position of the crystal analyzers during the recording of peak and background intensities (from both sides) of the analytical lines are in Table 1. Spectrometers counters measuring the intensity of the Na, Mg, Al, Si, Ca, Ti, and Be lines had polypropylene windows 0.2 μm thick; spectrometers counters measuring the intensity of V, Cr, Mn, Fe – a beryllium window 25 μm thick; detectors were gas-flow (mixture of Ar and CH_4), working in auto-differential mode; the corrections we calculated using the X-PHI model; the oxygen content was determined using the microprobe software, with assumption of stoichiometric composition.

The chemical composition of the emerald in the studied samples varies within narrow limits shown in Table 2. The chromium content, which gives the bright green color to the mineral, is 0.32–0.49 wt. % Cr_2O_3, there also are significant amounts of sodium impurities (Na_2O 1.69–1.86 wt. %), magnesium (MgO about 2 wt. %) and iron (FeO 0.45–0.67 wt. %); variations in the content of BeO from 13.9 to 14.6 wt.% (the detection limit of beryllium is about 1.4 wt.%, standard deviation is 1.3 wt. %, and peak to background ratio is 1.7). The obtained compositions of emeralds are completely satisfactorily recalculated to the crystallochemical formula of beryl (without taking into account the water, which, apparently, is present in the studied samples, within 2–3 wt. %). The author placed all impurity components, according to the known recommendations [7, 10], in the position of aluminum, while some of the aluminum, in turn, compensates for vacancies in the position of silicon.

The problem of the choice of standards, as for all analytical studies, remains relevant, especially with methodological work in the field of determining light elements. The author used chemical analogs with a similar composition as standards, thus minimizing correction factors. For example, many analysts engaged in the quantitative determination of beryllium in aluminosilicates have faced a serious problem of overlapping silicon and aluminum lines over the beryllium line. We, in the presence of a specialized crystal analyzer PC3, managed to avoid such a situation, i. e. as one can see from Table 3, beryllium has an extremely low correlation with these elements, what in this case means no overlapping lines.

Chrysoberyl–mariinskite. To determine beryllium in a simple natural substance (oxide), the author have chosen a series of minerals of the chrysoberyl group. Recently the author participated in the discovery of a new mineral, Mariinskite, a chrome analogue of chrysoberyl [11]. It is interesting that in the same line of chrysoberyl–mariinskite there is a very rare precious stone – alexandrite, chrome-containing chrysoberyl.

The author decided to study zonal mariinskite (with an intermediate zone of folded chrysoberyl), which forms abundant fine impregnation in hydrothermally altered micaceous chromite ores within the Bazhenovsky ophiolite complex (the surroundings of Asbest

Table 4. Analytical conditions for the measurement of characteristic lines for mariinskite.

Element	Standard	Element content wt. %	Crystal analyzer	Peak position, sin Θ · 10^5	Left background position, sin Θ · 10^5	Right background position, sin Θ · 10^5	Time of measurement on peak, s
Al	Corundum	52,92	TAP	32 455	–700	700	10
Ti	Rutile	59,95	LPET	31 421	–300	300	10
Fe	Cr_2O_3	21,89	LLiF	48 085	–500	500	10
Cr	And glass	68,42	LLiF	56 872	–500	500	10
Be	Chrysoberyl	7,00	PC3	61 629	–8500	8620	20

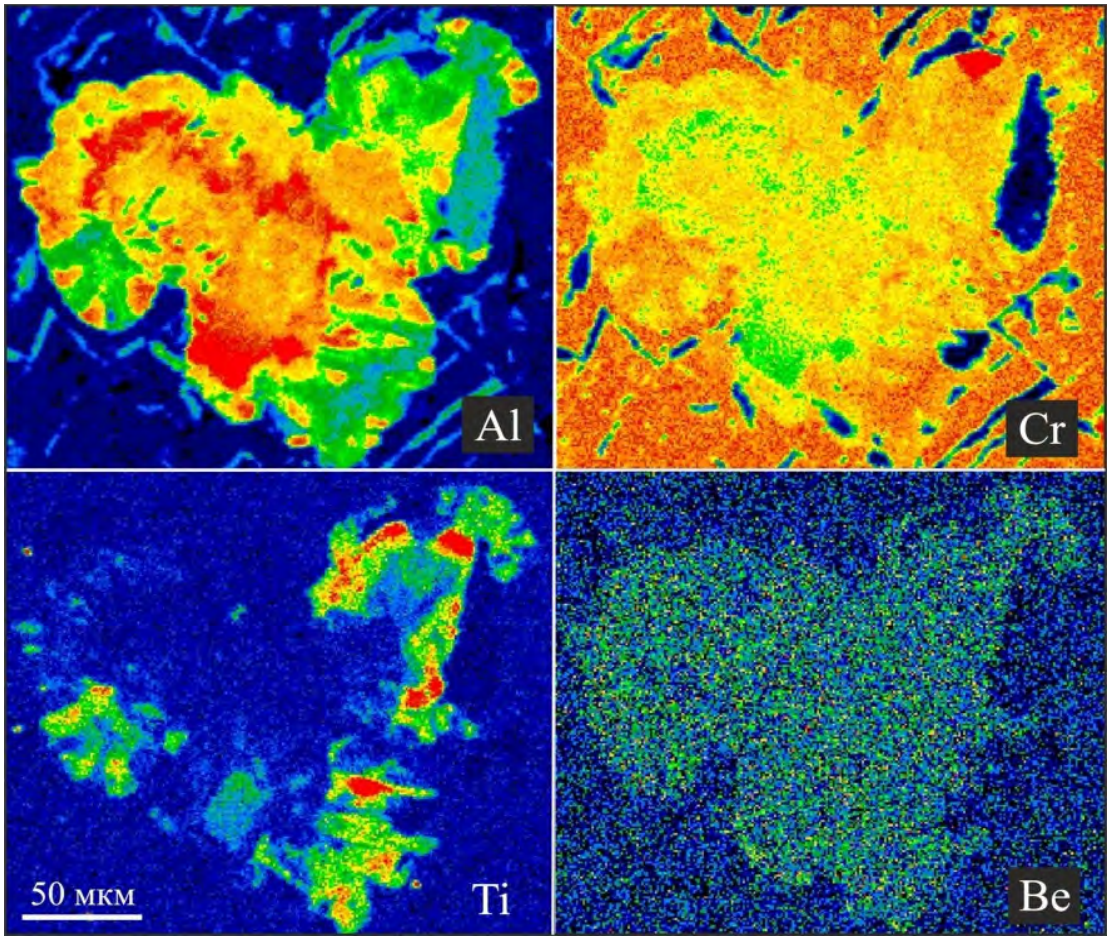


Figure 4. Maps of intensity distribution of the characteristic X-ray emission of the Al Kα, Cr Kα, Ti Kα and Be Kα lines of the mariinskite grain in the matrix of micaceous chromites.

city, Sverdlovsk region). Grain size of the minerals of the chrysoberyl group does not exceed 1 mm. They have an isometric appearance and high hardness (they protrude strongly from the chromite matrix during polishing). The minerals color is black in mass, emerald-green in clearance (Fig. 3). In addition to chromite, in association with them one can note mica (alumoseladonite, fluorophlogopite and muscovite), chromium tourmaline, fluorapatite and eskolaite [12].

The conditions for measuring the oxides of the $BeAl_2O_4$–$BeCr_2O_4$ series have been partially explained in previous papers [13, 14, etc.]. All analyzes of oxides were also performed on a CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer. The pressure in the sample chamber was 2 · 10^{-4} Pa, in the electron gun region 4 · 10^{-6} Pa, in wave spectrometers – 7 Pa. Accelerating voltage was 10 kV, current of absorbed electrons on the Faraday cylinder – 100 nA. The diameter of the beam of electrons focused on the sample was 2 μm. Preliminarily, to determine the position (sin Θ · 10^5) of the peak and the background from both sides of the analytical peak, with the minimum possible spectral overlap, the author recorded spectra on wave spectrometers with TAP, LPET, LLiF and PC3 (determination of beryllium and boron) crystal analyzers. Fig. 2 shows X-ray emission spectra on the PC3 crystal analyzer in the range of Be Kα-line for mariinskite and standard samples of beryl and kyanite. Measurements of all elements for the analysis of the mineral were along the Kα-lines, with minimal spectral overlap during determination of the positions of peak and background levels. The author sputtered standard and test samples with carbon. The sputtering thickness on the standards was "industrial", i. e. according to the passport 250 Å, the sputtering thickness on the section with the studied mineral was determined indirectly, by the color of the copper plate (a red-orange color identical to the sputtering on standards, also mounted on a copper shim). Standard samples: chrysoberyl – $BeAl_2O_4$ from Brazil, corundum – Al_2O_3 (synthetic, 99.9999 %), chromium oxide – Cr_2O_3 (synthetic, > 99.99 %), rutile – TiO_2 (synthetic, 99.999 %), And glass – synthetic glass of andradite composition. Counter was gas-flow (gas mixture Ar-CH_4), detector mode was auto-differential. One can see the conditions for measuring the lines in Table 4, with the corrections calculated according to the X-PHI model (which is better for low voltage). Based on the stoichiometry of the mineral, a microprobe software also automatically calculated oxygen level.

Chemical composition of the minerals of the chrysoberyl–mariinskite series in the studied crystals varies from aluminous

Table 5. Results of electron-probe microanalysis of mariinskite chrysoberyl.

Mineral	Oxide					Total
	BeO	Al_2O_3	TiO_2	Cr_2O_3	Fe_2O_3	
Mariinskite	17,19	29,73	0,12	52,99	0,13	100,16
	15,98	17,78	0,81	65,39	0,19	100,15
	16,05	25,79	0,12	57,22	0,41	99,60
	14,81	19,01	0,77	63,98	0,26	98,83
	17,10	28,59	0,12	54,04	0,38	100,23
Chrysoberyl	17,36	37,53	0,36	44,30	0,38	99,93
	16,55	35,51	0,30	47,20	0,19	99,76
	17,78	33,84	0,14	48,21	0,40	100,37
	17,28	33,03	0,22	48,68	0,20	99,42
Crystallochemical formulas						
Mariinskite	$Be_{1,05}(Cr_{1,06}Al_{0,89})_{1,95}O_4$					
	$Be_{1,03}(Cr_{1,39}Al_{0,56}Ti_{0,02})_{1,97}O_4$					
	$Be_{1,01}(Cr_{1,19}Al_{0,80})_{1,99}O_4$					
	$Be_{0,98}(Cr_{1,38}Al_{0,62}Ti_{0,02})_{2,02}O_4$					
	$Be_{1,05}(Cr_{1,09}Al_{0,86})_{1,95}O_4$					
Chrysoberyl	$Be_{1,03}(Al_{1,09}Cr_{0,87}Ti_{0,01})_{1,97}O_4$					
	$Be_{1,00}(Al_{1,05}Cr_{0,94}Ti_{0,01})_{2,00}O_4$					
	$Be_{1,06}(Al_{0,99}Cr_{0,95})_{1,94}O_4$					
	$Be_{1,05}(Al_{0,98}Cr_{0,97})_{1,95}O_4$					

$BeCr_2O_4$ to chromic $BeAl_2O_4$ (Table 5); in their elemental mapping (Fig. 4), the author established a distinct zoning in distribution of aluminum (Al_2O_3 17.8–37.5 wt. %), chromium (Cr_2O_3 44.3–65.4 wt. %) and iron (FeO 1.2–2.6 wt. %). The most aluminous zones in the form of chrysoberyl create intermediate regions in $BeCr_2O_4$ individuals, with variations in the BeO content from 16.4 to 22.1 wt. % (the limit of beryllium detection of is about 1 wt. %, peak to background ratio is about 2.8).

In general, the obtained microprobe analyzes of minerals with quantitative determination of beryllium coincide with the available theoretical compositions of beryls and chrysoberyls, which indicates the high efficiency of the developed technique. As a result using this technique, we can relatively quickly and reliably determine quantitative content of beryllium in natural silicates and oxides, which is an acute need for geological researchers studying the mineralogy of beryllium deposits. For example, this technique significantly facilitated the passage of our application for mariinskite in the commission for new minerals of the International Mineralogical Association.

Thereby, the author developed the technique of electron-probe microanalysis of beryllium content on example of studying natural minerals (aluminosilicates and oxides). The technique allowed to obtain a quantitative content of beryllium (in combination with other elements) in the emeralds of the Mariinsky beryllium deposit and in the zonal mariinskite – chrysoberyl from the chromitites of the Bazhenov ophiolite complex.

REFERENCES

1. Lavrent'ev Yu. G., Karmanova N. G. 2012, *Sed'maya Vserossiyskaya konferentsiya po rentgenospektral'nomu analizu* [Seventh All-Russian Conference on X-ray Spectroscopy]. *Zhurnal analiticheskoy khimii* [Journal of Analytical Chemistry], vol. 67, no. 6, pp. 669–671.
2. Aleksandrov S. M., Troneva M. A. 2011, *Elektronno-zondovyy mikroanaliz endogennykh boratov margantsa iz skarnovykh mestorozhdeniy Yaponii* [Electron probe microanalysis of endogenous manganese borates from Japanese skarn deposits]. *VII Vserossiyskaya konferentsiya po rentgenospektral'nomu analizu. Tezisy dokladov* [All-Russian Conference on X-ray Spectroscopy. Theses of reports], Novosibirsk, p. 47.
3. Raudsepp M. 1995, Recent advances in the electron-probe microanalysis of minerals for the light elements. Canadian Mineralogist, vol. 33, pp. 203–218.
4. Viryus A. A. 2010, *Lokal'nyy rentgenospektral'nyy analiz geologicheskikh ob'ektov* [Local X-ray spectral analysis of geological objects]. *Materialy VI Mezhdunarodnoy Shkoly po Naukam o Zemle imeni professora L. L. Perchuka* [Materials of the International School for Earth Sciences named after prof. Perchuk L. L.], Odessa, p. 29–31.
5. Kulikova I. M. 1995, *Rentgenospektral'nyy mikrozondovyy analiz soderzhaniya bora v razlichnykh mineralakh. Metodicheskie rekomendatsii. VIMS* [X-ray spectral microprobe analysis of boron content in various minerals. Guidelines. All-Russian Institute of Mineral Raw Materials], Moscow, 18 p.
6. Troneva M. A., Kononkova N. N., Aleksandrov S. M. 2006, *Rentgenospektral'nyy analiz boratov na primere lyudvigitov i vonsenitov* [X-ray spectral analysis of borates on the example of ludwigites and vonsenites]. *Tezisy dokladov V Vserossiyskoy konferentsii po rentgenospektral'nomu analizu* [Abstracts of the All-Russian Conference on X-ray Spectroscopy], Irkutsk, 80.
7. Groat L. A., Giuliani G., Marshall D. D., Turner D. 2008, Emerald deposits and occurrences: A review. Ore Geology Reviews, vol. 34, pp. 87–112.
8. Grice J. D., Rowe R., Poirier G. 2009, Bussyite-(Ce), a new beryllium silicate mineral species from Mont Saint-Hilaire, Quebec. Canadian Mineralogist, vol. 47, pp. 193–204.
9. Pekov I. V., Zubkova N. V., Chukanov N. V., Agakhanov A. A., Belakovskiy D. I., Horvath L., Filinchuk Ya. E., Gobechiya E. R., Pushcharovsky D. Yu., Rabadanov M. K. 2008, Niveolanite, the first natural beryllium carbonate, a new mineral species from Mont Saint-Hilaire, Quebec, Canada. Canadian Mineralogist, vol. 46, pp. 1343–1354.
10. Artioli G., Rinaldi R., Stahl K., Zanazzi P. F. 1993, Structure refinements of beryl by single-crystal neutron and X-ray diffraction. American Mineralogist, vol. 78, pp. 762–768.
11. Pautov L. A., Popov M. P., Erokhin Yu. V., Khiller V. V., Karpenko V. Yu. 2013, Mariinskite, $BeCr_2O_4$, a new mineral, chromium analog of chrysoberyl. Geology of Ore Deposits, vol. 55, no. 8, pp. 648–662.
12. Erokhin Yu. V., Khiller V. V., Zoloev K. K., Popov M. P., Grigor'ev V. V. 2014, Mariinskite from the Bazhenovskii ophiolite complex: the second finds in the World. Doklady Earth Sciences, vol. 455, part 2, pp. 408–410.
13. Khiller V. V., Erokhin Yu. V. 2011, *Mikrozondovoe opredelenie berilliya v mineralakh ryada $BeAl_2O_4$–$BeCr_2O_4$* [Microprobe determination of beryllium in minerals of the series $BeAl_2O_4$–$BeCr_2O_4$]. *VII Vserossiyskaya konferentsiya po rentgenospektral'nomu analizu. Tezisy dokladov* [All-Russian Conference on X-ray Spectroscopy. Theses of reports], Novosibirsk, p. 80.
14. Khiller V. V., Erokhin Yu. V. 2012, *Opredelenie soderzhaniya berilliya metodom rentgeno-spektral'nogo elektronno-zondovogo mikroanaliza* [Determination of beryllium content by X-ray spectral electron probe microanalysis]. *Materialy Vserossiyskoy konferentsii po analiticheskoy spektroskopii* [Materials of the All-Russian Conference on Analytical Spectroscopy], Krasnodar, pp. 175.

Вера Витальевна Хиллер
hilvervit@mail.ru
Институт геологии и геохимии
им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Vera Vital'evna Khiller
hilvervit@mail.ru
Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 504.55.054:622(470.6) DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-57-61

К ПРОБЛЕМЕ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО ЗАБАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

В. И. Голик, Ю. И. Разоренов, Н. П. Косарев

The problem of the involvement of the off-balance reserves of the metallic ores into the production process

V. I. Golik, Yu. I. Razorenov, N. P. Kosarev

The underground mining of the ore deposits by means of the intensive methods of the traditional technologies is characterized by the loss of the reserves, which are off-balance for the technologies applied. The experience, which was accumulated by the state-of-the-art enterprises before the economic reforms and the crisis indicates, that it is possible to decrease the loss of metals. This can be assumed by means of involving the off-balance reserves into the production process with the metal lixiviation during closed work. The purpose of the present-day research is the substantiation of the technical possibility and economic reasonability of the lixiviation of metals from the off-balance reserves and poorly balance ores. The correct estimation of the perspectives of those combined technology is still one of the purposes. It is a matter of fact that combining traditional technologies of the underground mining with new ones concerned with the creation of the effective lixiviation of metals from ores can be carried out with the two-stage processing. It happens when the excavation of some amount of the balance reserves creates the compensational space for crushing off-balance reserves. Involving off-balance ores into the production process solves a set of the mining production problems. For example, the fullness of mineral resources usage, the strengthening of the resource base, the reduction of load of the environment and the security of works. The involvement of the off-balance reserves into the development in the course of the revaluation of the resources and in the technological facilities of the development in the context of the growth of the scale of production reduces the production price to the competitive level. The field of application of these results is in the mining enterprises which extract solid metal-containing ores by means of the underground mining. These ores are mostly of the nonferrous, rare and precious metals, which are easily opened by chemical reagents. Combining the technologies of the development for the arrangement of conditions for the lixiviation of metals from the off-balance ores considerably increases the mineral resources of the mining enterprises. It is also a reserve for the survival of the mining enterprises under the conditions of the continuing crisis. Conversion in the lixiviation technology is especially topical for the old mines of the Urals, which have a great reserve of the off-grade raw material.

Keywords: deposit; metals; off-balance reserves; lixiviation; underground mining.

Подземная разработка рудных месторождений интенсивными методами традиционных технологий характеризуется потерями в недрах запасов, забалансовых для применяемых технологий. Опыт передовых предприятий, накопленный до реформирования экономики и разразившегося кризиса, свидетельствует о том, что снижение уровня потерь металлов возможно при вовлечении в производство забалансовых запасов технологиями с выщелачиванием металлов в подземных условиях. Целью исследований последних лет является обоснование технической возможности и экономической целесообразности выщелачивания металлов из забалансовых и бедно-балансовых руд и корректная оценка перспектив комбинирования технологий. Доказано, что комбинирование традиционных и новых технологий подземной разработки по условию создания возможности эффективного выщелачивания металлов из руд может осуществляться при двухстадийной отработке, когда выемка части балансовых запасов образует компенсационное пространство для дробления забалансовых запасов. Вовлечение в производство забалансовых руд решает комплекс проблем горного производства: полнота использования недр, упрочнение ресурсной базы, снижение нагрузки на окружающую среду и безопасность работ. Вовлечение в отработку забалансовых запасов в ходе переоценки запасов и возможностей технологий разработки при росте масштабов производства снижает себестоимость продукции до конкурентоспособного уровня. Область применения результатов – горные предприятия, добывающие подземным способом твердые металлосодержащие руды, преимущественно цветных, редких и благородных металлов, легко вскрываемых химическими реагентами. Комбинирование технологий разработки для создания условий выщелачивания металлов из забалансовых руд существенно увеличивает минерально-сырьевую базу горных предприятий и является резервом выживания горнодобывающих предприятий в условиях продолжающегося кризиса. Конверсия на технологии с выщелачиванием приобретает особую актуальность для старых рудников Урала с большими запасами некондиционного сырья.

Ключевые слова: месторождение; металлы; забалансовые запасы; выщелачивание; подземная разработка.

Введение

Основное минеральное богатство Урала – локализованные в скальных магматических породах комплексные руды.

Характерная особенность первых этапов промышленного освоения железорудных месторождений Урала – ориентация на строительство крупных шахт, а при подземной добыче меди – строительство рудников производительностью до 400 тыс. т/год. Месторождения отрабатывали с обрушением руд и вмещающих пород при высоких показателях интенсивности извлечения запасов из недр. Наибольшее распространение получила система этажного принудительного обрушения со скважинной отбойкой. Основным направлением совершенствования технологии была ориентация на поточную технологию выпуска, доставки и транспортирование руды [1, 2].

В настоящее время медные руды добывают системами разработки с закладкой выработанного пространства. При этом реализуется паллиативное направление использования в качестве закладочного материала отходов обогатительного передела.

Во все времена вопросы добычи и извлечения руд превалировали над вопросами качества и полноты использования недр. В связи с этим на действующих рудниках образовались мощные участки забалансовых запасов, часть которых по содержанию сравнима с добываемыми запасами и может быть извлечена при использовании нетрадиционных технологий добычи и переработки. Например, в отвалы направляли руды с содержанием железа ниже 60 %, так как в них был вкраплен трудноотделяемый полевой шпат.

Перспективы развития подземных добычных работ связаны с отработкой нижних горизонтов месторождения и бортовых запасов карьеров. На Урале в большей степени, чем в других регионах, наблюдаются противоречия между возрастающей потребностью в сырьевых ресурсах и техногенной нагрузкой на недра.

Концепция рационального недропользования на Урале включает оптимизацию технологий производства товарной продукции за счет использования нетрадиционных технологий.

Порядок, конструкция выработок и технологические процессы разработки рудных месторождений, увязанные во времени и пространстве, должны удовлетворять требованиям не только безопасного ведения работ, получения высоких и стабильных

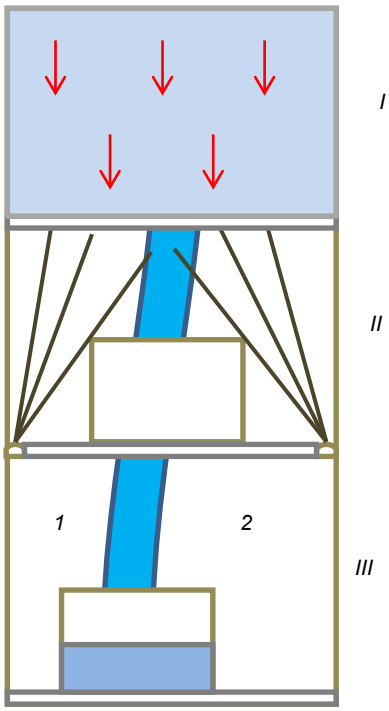


Рисунок 1. Выщелачивание металлов из разносортных руд. *1* – балансовая руда; *2* – забалансовая руда; *I* – выемка балансовой руды; *II* – отбойка балансовой и забалансовой руды; *III* – выщелачивание балансовой и забалансовой руды.

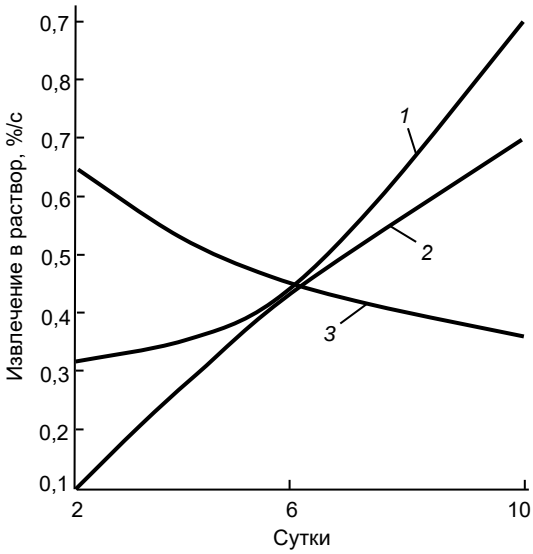


Рисунок 2. Параметры извлечения свинца серной кислотой и хлоридом натрия. *1* – скорость движения раствора; *2* – концентрация раствора; *3* – стоимость продукта.

технико-экономических показателей, но и минимизации потерь полезного ископаемого в недрах.

Традиционные системы разработки не в полной мере отвечают последнему требованию, поскольку исключают из сферы производства забалансовые запасы, составляющие большую часть запасов месторождения.

Выдача на земную поверхность для переработки всей отделенной от массива отвечающей современным кондициям горной массы и оставление в недрах не отвечающих кондициям запасов является недостатком традиционных технологий.

Радикальную альтернативу традиционным технологиям разработки представляет технология выщелачивания металлов в подземных условиях без извлечения на земную поверхность или совокупность горных выработок и порядок их проведения и эксплуатации, увязанный во времени и пространстве с переводом полезного компонента в жидкую фазу для последующего извлечения из раствора [3–6].

Принципиальное отличие этой технологии заключается в оставлении в выработанном пространстве хвостов подземного выщелачивания, участвующих в сохранении геомеханической стабильности рудовмещающих массивов и земной поверхности над ними. Основным ее преимуществом является возможность отрабатывать недоступные для традиционной технологии запасы в охранных целиках, зонах обрушения, горелых рудах и др.

Положительный опыт подземного выщелачивания металлов может способствовать расширению ареала использования метода при разработке металлических месторождений твердых руд при создании научных основ технологии. Доказательство возможности и целесообразности подземного выщелачивания металлов из забалансовых руд формирует новую проблему горного производства.

Наиболее известно выщелачивание металлов из забалансовых, а затем балансовых запасов скальных руд на отдельных участках, которое осуществлялось с средины XX в. на месторождениях Минсредмаша, а затем МАЭП СССР, например, Табошар и др. [7–9].

Забалансовые руды Быкогорского месторождения на Северном Кавказе выщелачивали более 20 лет с извлечением металла до 60 %. На месторождении Звездное в Казахстане извлечение металла из бедно-балансовых руд составило 70 %.

Балансовые руды впервые в мировой практике выщелачивали в 1980-х гг. на месторождении Восток в Казахстане с извлечением 72 % металла. Выщелачивать балансовые руды пытались на полиметаллическом месторождении Какадур-Ханикомское в Северной Осетии. С конца XX в. выщелачиванием добывают более 30 % металлов с извлечением около 65 % на урановых месторождениях Стрельцовской провинции Забайкалья.

Любое металлическое месторождение включает балансовые и забалансовые запасы, соотносящиеся примерно как 1/3 к 2/3. Перестройка производства на добычу выщелачиванием только забалансовых запасов не всегда возможна, поэтому реальное вовлечение забалансовых запасов в производство обеспечивается при комбинировании традиционной и новой технологий [10–12].

На первой стадии комбинированной разработки примерно 40 % балансовой руды от запасов секции извлекается одним из вариантов традиционной системы с созданием компенсационного пространства для отбойки оставшихся балансовых и забалансовых запасов руды (рис. 1).

Во второй стадии балансовые и забалансовые запасы отбивают вместе на открытую камеру первой стадии, что повышает содержание металлов в руде и улучшает условия выщелачивания.

Секции отрабатывают в нисходящем порядке, поэтому при отбойке разносортных запасов нижележащей секции процесс выщелачивания интенсифицируется за счет подвижки рудных кусков вышележащей секции.

Для выщелачивания пригодны рудные куски размером от 20 до 50 мм. В процессе выщелачивания раствор реагента фильтруется сквозь руду под действием гравитации, не заполняя пустоты между кусками руды, а лишь покрывая их пленкой. При этом уплотнение руды создает преграду движению раствора, а большие промежутки между кусками руды не способствуют проникновению раствора в кусок, поэтому объем компенсационного пространства определяется из условия оптимального разрыхления руды.

Для обеспечения нужной скорости процесса выщелачивания с увеличением крупности руд и уменьшением градиента концентраций между поровым раствором и объемом растворителя руду дробят с расстоянием между концами взрывных скважин и расходом ВВ максимальным в верхней части и минимальным в нижней части массива.

Важная особенность технологий с выщелачиванием состоит в том, что в продукционный раствор извлекаются все содержа-

Таблица 1. Показатели сравниваемых технологий.

Показатель	Технология	
	традиционная	комбинированная
Использование недр, %:		
разубоживание	30	0
потери	20	10
Добыча металлов горными работами, %	100	200
Выпуск концентратов, т/год:		
свинцовых	7000	10 500
цинковых	10 000	15 500
Цена концентратов, руб./т:		
свинцовых	555	555
цинковых	360	360
Стоимость, тыс. руб.:		
свинцовых концентратов	3900	5800
цинковых концентратов	3600	5600
годовой добычи металлов	7500	11 400
Производительность по горной массе, т × м³/год	170 220	340 220
Объем образуемых пустот в год, тыс. м³		
Образовано хвостов, тыс. т	800	–
Дополнительно концентратов:		
свинцовых	–	440
цинковых	–	680
Всего стоимость дополнительных продуктов, тыс. руб.	–	12 200
Результаты использования технологий, тыс. руб./год	7500	19 700
Экономия на годовой объем, тыс. руб./год	–	12 200
Экономия, %	–	160

щиеся в руде металлы в зависимости от технологических факторов. Этим они отличаются от традиционных технологий, которые извлекают только балансовую руду, а из нее только часть металлов, на которые рассчитаны перерабатывающие возможности предприятий.

Благодаря выщелачиванию руд на месте их залегания, затраты на подземный транспорт, подъем, проветривание с глубиной повышаются незначительно, хотя возрастают затраты на откачку продуктивных растворов на поверхность.

Для установления экономически целесообразных границ комбинированной разработки запасов учитывают не только себестоимость подземных горных работ, но и общее извлечение металлов, зависящее от начального содержания металлов в рудах, коэффициента сквозного извлечения металлов и эксплуатационных затрат [13–15].

Частные зависимости извлечения металлов из руд от состава и скорости подачи выщелачивающего раствора описываются экспериментальными моделями, например, зависимость извлечения свинца и цинка от содержания серной кислоты и хлорида натрия в выщелачивающем растворе (рис. 2).

Согласно годовому объему добычи, определяют дополнительный выход металла для формирования экономического эффекта (табл. 1).

Хранящиеся в окрестностях горных предприятий руды неизвлеченных металлов отдают в окружающую среду продукты природного выщелачивания, приближая химическую катастрофу для живого вещества. С освоением технологии выщелачивания радикальное сокращение объемов хранимых на земной поверхности хвостов обогащения и металлургического передела больше, чем остальные меры, уменьшает воздействие горного производства на окружающую среду [16–17].

Прибыль от вовлечения забалансовых запасов в производство за счет увеличения объемов добычи, прироста продукции и повышения отдачи капитала [18]:

$$\Pi = \sum_{1}^{n}\left[\left(C_{р}^{б}-З_{д}^{б}-З_{о}^{б}-З_{м}^{б}\right)A_{б}^{с}+\left(C_{р}^{к}-З_{д}^{к}-З_{о}^{к}-З_{м}^{к}\right)-Ш_{о}\right]A_{к},$$

где П – годовая прибыль от комбинирования технологий, руб.; $C_{р}^{б}$ – стоимость реализации металлов из балансовых руд, руб./т; $З_{д}^{б}$ – затраты на добычу балансовых руд, руб./т; $З_{о}^{б}$ – затраты на обогащение балансовых руд, руб./т; $З_{м}^{б}$ – затраты на металлургический передел балансовых руд, руб./т; $C_{р}^{к}$ – стоимость реализации металлов из комбинированных запасов, руб./т; $З_{д}^{к}$ – затраты на добычу балансовых руд, руб./т; $З_{о}^{к}$ – затраты на обогащение комбинированных запасов, руб./т; $З_{м}^{к}$ – затраты на металлургический передел комбинированных запасов, руб./т; $A_{б}^{с}$ – объем селективно добытых балансовых руд, т; $A_{к}$ – объем добычи комбинированных запасов, т; n – номенклатура извлекаемых металлов; $Ш_{о}$ – штраф за хранение загрязняющих окружающую среду отходов при селективной добыче балансовых руд.

Перспективы использования забалансовых запасов зависят от внешней и внутренней среды функционирования горного предприятия. В период высоких цен на рынке повышение конкурентоспособности рудника может быть достигнуто за счет добычи сырья невысокого качества.

Для реализации комбинированной технологии определяются параметры оруденения балансовых и забалансовых запасов, показатели совместной выемки запасов, содержание металлов в разрабатываемом массиве, величина потерь и разубоживания, показатели обогащения и прочие затраты.

Для продления жизни месторождения бортовое содержание снижается с увеличением запасов за счет забалансовых руд. Качество добычи зависит от технологий добычи и обогащения, содержания металла в руде, потерь, разубоживания и извлечения при обогащении:

$$\gamma = \frac{\varepsilon\alpha(1-R)(1-\Pi)10}{\beta},$$

где γ – выход концентрата, кг/т; ε – извлечение металла в концентрат при обогащении, доли ед.; α – содержание металла в руде, доли ед.; β – содержание металла в концентрате, доли ед.;

$$C_{к} = \frac{C_{д}+C_{о}}{\gamma},$$

где $C_{к}$ – себестоимость концентрата, руб./т; $C_{д}$ – себестоимость добычи, руб./т.

Влияние показателей технологий разработки на себестоимость концентрата поясняется на примере полиметаллического месторождения (табл. 2).

В рамках моделирования показателей комбинированной разработки сравниваются варианты, предусматривающие прирост объемов добычи за счет вовлечения в отработку забалансовых запасов. За счет роста масштабов производства возможно снижение себестоимости продукции примерно в 3 раза.

Бедные руды целесообразно обогащать совместно с богатыми, потому что извлечение металлов из усредненной по содержанию руды всегда больше, чем при их раздельном обогащении.

Таблица 2. Изменение экономических показателей в зависимости от эффективности технологий.

Металл в руде, %	Разубоживание, %	Потери, %	Извлечение, ε, %	Металл в концентрате, β, %	Выход металла, γ, кг/т	Стоимость, руб./т	Стоимость концентрата, $C_{к}$, руб./кг
3,65	30	20	85,7	56,2	32	367	11,4
3,55	26	18	84,5	55,8	32,5	358	11,0
3,34	25	15	83,8	54	33	337	10,2
3,09	22	10	78,7	48,5	35,2	312	8,8
2,88	20	10	74	46	33,3	290	8,7

Основными показателями управления качеством руды в рудопотоках являются бортовое содержание полезного компонента в руде $\alpha_б$, при котором производится оконтуривание запасов, и минимальное промышленное содержание полезного компонента α_{min}.

Зависимость между α_{min} и показателем полноты извлечения запасов месторождений описываются уравнением баланса ценностей:

$$З_б Ц_б - ПЦ_п + РЦ_р = АЦ_{р.м},$$

где $З_б$ – величина балансовых запасов месторождения; П – потери руды при отработке запасов комбинированными технологиями; Р – количество разубоживающих пород в добываемой руде; *А* – объем участвующей в производстве руды; $Ц_б$ – ценность, заключенная в балансовых запасах, руб./т; $Ц_п$ – ценность, заключенная в потерях, руб./т; $Ц_р$ – ценность, заключенная в разубоживающих породах, руб./т; $Ц_{р.м}$ – ценность, заключенная в добытой рудной массе.

Для повышения экономической эффективности отработки применяют технологии, при которых потери, разубоживание и себестоимость добычи ниже, чем при традиционных технологиях. При пересмотре бортового содержания и увеличении объемов добычи снижение содержания металлов компенсируется опережением снижения себестоимости добычи руды над снижением содержания металлов.

Опыт конверсии горнодобывающих предприятий свидетельствует о том, что минимальное промышленное содержание металлов в руде, обеспечивающее безубыточную работу, зависит от затрат на добычу и обогащение, а затраты на добычу и обогащение должны снижаться интенсивнее, чем содержание металлов в добываемых рудах.

Норма прибыли и предельные издержки производства товарной продукции связаны с ценами на рынках, поэтому при ухудшении конъюнктуры забалансовые запасы не отрабатывают, а при улучшении рыночных условий эти запасы включают в отработку.

Прогнозирование поведения горных предприятий в рыночной экономике основано на максимальном использовании ресурсов в виде забалансовых запасов. Критерием экономической целесообразности этого является минимальное бортовое содержание полезного компонента.

В результате продолжающегося кризиса перерабатывающие предприятия недостаточно загружены местным сырьем. Если на базовых рудниках увеличить производство концентратов, то за счет улучшения использования мощностей рудников, фабрик, заводов и транспортных средств может быть получен экономический эффект.

Конверсия горных предприятий на новые технологии и комплексное использование ресурсов в 2–3 раза эффективнее по сравнению со строительством новых предприятий из-за использования имеющихся производственных фондов и запасов.

При этом эффект от применения новой технологии в рамках концепции гибкого управления процессами может быть определен как сумма эффектов у производителя руд и концентратов и у их потребителя по сравнению с базовым вариантом. Результаты исследования позволяют утверждать, что вовлечение в производство забалансовых запасов руд комбинированными традиционными и новыми технологиями является резервом выживания горных предприятий в системе рыночных отношений [19–20].

Выводы

Интересам ресурсо- и природосбережения отвечает комбинированная технология подземной разработки месторождений, позволяющая извлекать часть балансовых руд для заводской переработки и увеличивать содержание забалансовых руд до приемлемого с точки зрения выщелачивания значения.

Подземное выщелачивание металлов является перспективным направлением упрочнения сырьевой базы горно-металлургической отрасли, оздоровления экономики и решения экологических и социальных проблем.

В статье представлены результаты исследований, выполненных по программе Erasmus + 574061-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP «Modernization of geological education in russian and vietnamese universities».

ЛИТЕРАТУРА

1. Косарев Н. П. Уральской кузнице горных инженеров – 90 лет // Горный журнал. 2004. № 10. С. 73–75.
2. Прокин В. А. История изучения и промышленного освоения рудных месторождений Урала // Литосфера. 2008. № 1. С. 100–119.
3. Голик В. И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. М.: ИНФРА-М, 2014. 192 с.
4. Исмаилов Т. Т., Голик В. И., Дольников Е. Б. Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых. М.: МГГУ, 2006. 331 с.
5. Голик В. И. Специальные способы разработки месторождений. М.: Инфра-М, 2014. 132 с.
6. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал. 2013. № 12. С. 29–33.
7. Пагиев К. Х., Голик В. И., Габараев О. З. Наукоемкие технологии добычи и переработки руд. Владикавказ: СКГМИ (ГТУ), 1998. 571 с.
8. Голик В. И., Брюховецкий О. С., Габараев О. З. Технологии освоения месторождений урановых руд. М.: РГГРУ, 2007. 131 с.
9. Бубнов В. К., Спирин Э.К., Голик В.И. и др. Теория и практика добычи полезных ископаемых для комбинированных способов выщелачивания. Целиноград: Жана-Арка, 1992. 545 с.
10. Голик В. И., Разоренов Ю. И. Проектирование горных предприятий. Новочеркасск: Набла, 2007. 262 с.
11. Волков Ю. В., Соколов И. В. Подземная геотехнология при комбинированной разработке рудных месторождений // ГИАБ. 2013. №1. С. 34–40.
12. Ляшенко В. И., Голик В. И. Научное и конструкторско-технологическое сопровождение развития уранового производства. Достижения и задачи // ГИАБ. 2017. № 7. С. 137–152.
13. Шелкунова Т. Г. Экономическое обоснование разработки забалансовых руд // Современные проблемы рыночного реформирования экономики: науч. тр. аспирантов, соискателей и преподавателей экономического факультета. Владикавказ, 2005. С. 45–52.
14. Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов / под ред. М. И. Фазлуллина. М.: Руда и Металлы, 2005. Т. 1. Уран. 407 с. Т. 2: Золото. 328 с.
15. Голик В. И., Комащенко В. И., Качурин Н. М. К проблеме подземной разработки рудных месторождений Центрального федерального округа // Изв. ТулГУ. Сер. «Науки о Земле». 2016. № 4. С. 127–139.
16. Ляшенко В. И., Голик В. И. Природоохранные технологии подземной разработки урановых месторождений // Горный журнал. 2006. № 2. С. 89–92.
17. Вагин В. С., Голик В. И. Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа. Владикавказ: Проект-Пресс, 2005. 192 с.
18. Golik V., Komaschenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 7, № 5. P. 401–405.
19. Golik V. I., Khasheva Z. M., Shulgatyi L. P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // The Social Sciences. 2015. Vol. 10. № 6. P. 750–754.
20. Голик В. И., Хашева З. М., Шульгатый Л. П. Экономический механизм конверсии горнодобывающей отрасли депрессивных регионов Юга России // Науч. вестник Южного института менеджмента. 2016. № 3 (15). С. 27–32.

REFERENCES

1. Kosarev N. P. 2004, *Ural'skoy kuznitse gornykh inzhenerov – 90 let* [the 90th anniversary of the mining engineers' smithy in the Urals]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 10, pp. 73–75.
2. Prokin V. A. 2008, *Istoriya izuchenya i promyshlennogo osvoyeniya rudnykh mestorozhdeniy Urala* [The History of Studying and Industrial Development of the Ore Deposits of the Urals]. *Litosfera* [Litosfera], no. 1, pp. 100–119.
3. Golik V. I. 2014, *Prirodookhrannye tekhnologii razrabotki rudnykh mestorozhdeniy* [Nature conservation technologies of the ore deposits development], Moscow, 192 p.
4. Ismailov T. T., Golik V. I., Dol'nikov Ye. B. 2006, *Spetsialnye sposoby razrabotki mestorozhdeny poleznykh iskopayemykh* [The special ways of the mineral deposits development], Moscow, 331 p.
5. Golik V. I. 2014, *Spetsial'nye sposoby razrabotki mestorozhdeniy* [The special ways of the deposits development], Moscow, 132p.
6. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. 2013, *Rashirenye syr'evoy bazy gornorudnykh predpriyatiy na osnove kompleksnogo ispol'zovaniya mineral'nykh resursov mestorozhdeniy* [The expansion of the raw materials sources in the mining enterprises on the basis of the complex usage of the mineral resources of deposits]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 12, pp. 29–33.
7. Pagiev K. Kh., Golik V.I ., Gabaraev O. Z. 1998, *Naukoyomkie tekhnologii dobychi i pererabotki rud* [The science intensive technologies of the ores mining and processing], Vladikavkaz, 571 p.
8. Golik V. I., Brukhovetskiy O. S., Gabaraev O. Z. 2007, T*ekhnologii osvoyeniya mestorozhdeniy uranovykh rud* [The technologies of the development of the uranium ores deposits], Moscow, 131 p.
9. Bubnov V. K., Spirin E. K., Golik V. I. and others. 1992, *Teoriya i praktika dobychi poleznykh iskopaemykh dlya kombinirovannykh sposobov vyshchelachivanya* [The theory and practice of the mining operations for the combined ways of lixiviation], Tselinograd, 545 p.

10. Golik V. I., Razorenov Yu. I. 2007, *Proyektirovanie gornykh predpriyatiy* [The projection of mining enterprises], Novocherkassk, 262 p.
11. Volkov Yu. V., Sokolov I. V. 2013, *Podzemnaya geotechnologiya pri kombinirovannoy razrabotke rudnykh mestorozhdeniy* [The subsurface geotechnology during the combined development of the ore deposits]. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin], no. 1, pp. 34–40.
12. Lyashenko V. I., Golik V. I. 2017, *Nauchnoye i konstruktorsko-tekhnologicheskoye soprovozhdenye razvitiya uranovogo proizvodstva. Dostizhenya i zadachi* [The scientific, engineering and design tracking of the uranium production. Achievements and goals]. *GIAB* [Mining informational and analytical bbulletin], no. 7, pp. 137–152.
13. Shelkunova T. G. 2005, *Ekonomicheskoe obosnovanye razrabotki zabalansovykh rud* [The economic explanation of the off-balance ores development]. *Sovremennye problemy rynochnogo reformirovanya ekonomiki: nauch. tr. aspirantov, soiskatelei i prepodavatelei ekonomicheskogo fakul'teta* [The modern problems of the market reform of the economy: a mental collection of scientific papers by postgraduate students, scientific applicants and professors of the Department of Economics]. Vladikavkaz, pp. 45–52.
14. 2005, *Podzemnoye i kuchnoe vyshchelachivanie urana, zolota i drugikh metallov* [The underground heap leaching of uranium, gold and other metals], *pod red. M. I. Fazlullina* [ed. by M. I. Fazlullin], Moscow, Vol. 1: Uranium, 407 p. Volume 2: Gold, 328 p.
15. Golik V. I., Komashchenko V. I., Kachurin N. M. 2016, *K probleme podzemnoy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy Tsentral'nogo federal'nogo okruga* [The problem of the underground mining of ore deposits of the Central Federal District]. *Izvestiya TulGU. Seriya "Nauki o Zemle"* [Proceedings of the TSU, "Earth Sciences" series], no. 4, pp. 127–139.
16. Lyashenko V. I., Golik V. I. 2006, *Prirodookhrannye tekhnologii podzemnoy razrabotki uranovykh mestorozhdeniy* [Nature conservation technologies of the underground mining of uranium dDeposits]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 2, pp. 89–92.
17. Wagin V. S., Golik V. I. 2005, *Problemy ispol'zovanya prirodnykh resursov Yuzhnogo federal'nogo okruga* [The problems of the use of natural resources in the Southern Federal district], Vladikavkaz, 192 p.
18. Golik V., Komaschenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7, no. 5, pp. 401–405.
19. Golik V. I., Khasheva Z. M., Shulgatyi L. P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste. *The Social Sciences*. 2015. Vol. 10, no. 6, pp. 750–754.
20. Golik V. I., Hasheva Z. M., Shul'gaty L. P. 2016, *Ekonomicheskiy mekhanizm konversii gornodobyvayushchey otrasli depressivnykh regionov Yuga Rossii* [The economical mechanism of conversion in the mining sector of the depressive regions of Southern Russia]. *Nauch. vestnik Yuzhnogo instituta menegmenta* [The scientific bulletin of the Southern institute of Management], no. 3 (15), pp. 27–32.

Владимир Иванович Голик,
v.i.golik@mail.ru
Юрий Иванович Разоренов
yiri1963@mail.ru
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)
Россия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

Николай Петрович Косарев
Уральский государственный горный университет
Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Vladimir Ivanovich Golik,
v.i.golik@mail.ru
Yuriy Ivanovich Razorenov
yiri1963@mail.ru
North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)
Vladikavkaz, Russia

Nikolay Petrovich Kosarev
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 622.278 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-62-65

ВЛИЯНИЕ НАРУШЕННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА ИХ СВОЙСТВА И СОСТОЯНИЕ

О. Г. Латышев, О. О. Казак

The influence of the geological material disturbance on its properties and condition

O. G. Latyshev, O. O. Kazak

The properties of the geological material and rock masses are to a degree defined by their fracture structure, or the disturbance degree. The natural massifs possess the property of hierarchy (M.A. Sadovsky), which consists in the structure's similarity on different levels of the hierarchy. In accordance with all that, this article deals with the problem of the regularity of the formation of the strength properties as well as deformative characteristics on the level of minute cracks, rock samples and block massifs. The minute cracks survey with the help of the luminescent method of crack detection is the basis of the theoretical treatment of the issues of destructibility of the rock from the energetic viewpoint. In the scale of mineral granules sizes, strength properties as well as deformative characteristics of the rocks are exponentially connected with the samples' damages on a microlevel. The quantity of the common porosity may serve as a measure of a fracture degree on a representative samples' level. The statistical dependencies of a given quantity with the basic mechanical characteristics of the rocks have been defined. The properties of the rock mass are defined by its sectional structure and geometrical characteristics of the partings in the scales, which are comparable to the mine working sizes. The sizes of rock blocks are estimated by the Weibull distribution. Considering the intrinsic fractures from the fractal positions allows to define the contact rigidity of their edges and to predict the modulus of the massif deformation. The strength passport of the rock mass is defined with the structural attenuation factor, which is adequately evaluated by the variation of the strength of the adjoining rocks and also by the modulus of fracture array. The regularities defined create the basis for projecting the technology of the processes of rock destruction. The forecast of the strength property and deformation characteristics of the rock mass are the basis of the calculation of stability of underground workings with the finite-element method.

Keywords: rocks and massifs; fracture structure; levels of hierarchy; strength; deformability.

Свойства горных пород и породных массивов в значительной мере определяются их трещинной структурой (степенью нарушенности). Природные массивы обладают свойством иерархичности (М. А. Садовский), заключающемся в подобии структуры на разных уровнях иерархии. В соответствии с этим в статье рассмотрены закономерности формирования прочностных и деформационных характеристик на уровне микротрещин, породных образцов и блочных массивов. Исследования микротрещин люминесцентным методом дефектоскопии являются базой теоретического рассмотрения вопросов разрушаемости горных пород с энергетических позиций. В масштабе размеров минеральных зерен прочностные и деформационные характеристики пород экспоненциально связаны с концентрацией нарушений образцов на микроуровне. На уровне представительных проб (образцов) мерой нарушенности может служить величина общей пористости. Установлены статистические зависимости данной величины с основными механическими характеристиками пород. В масштабах, сопоставимых с размерами горных выработок, свойства породного массива определяются его блочным строением и геометрическими характеристиками трещин отдельности. Размеры породных блоков оцениваются распределением Вейбулла. Рассмотрение природных трещин с фрактальных позиций позволяет определить жесткость контактов их берегов и прогнозировать модуль деформации массива. Паспорт прочности породного массива определяется коэффициентом структурного ослабления, адекватно оцениваемым вариацией прочности вмещающих пород и модулем трещиноватости массива. Установленные закономерности создают базу для проектирования технологии процессов разрушения горных пород. Прогноз прочностных и деформационных характеристик породного массива являются основой расчета устойчивости подземных выработок методом конечных элементов.

Ключевые слова: горные породы и массивы; трещинная структура; уровни иерархии; прочность; деформируемость.

Теория и практика свидетельствуют о том, что свойства и состояние горных пород в первую очередь определяются степенью их нарушенности. Применительно к задачам горного производства основным показателем нарушенности является трещиноватость пород. В соответствии с теорией академика М. А. Садовского [1, 2] горные породы и их массивы представляют собой самоподобную иерархическую структуру, образованную трещинами. Свойства и состояние пород на любом уровне иерархии i определяется величиной критерия [3]: $K = R_i/L_i$, где R_i – среднее расстояние между трещинами; L_i – средний размер трещины. Тогда для прогноза характеристик горных пород и их массивов следует определить их свойства на различных уровнях иерархии. В данной работе исследуются три уровня: микротрещины, нарушенность на уровне образца и трещинная структура массива.

Для изучения нарушенности пород на микроуровне на кафедре шахтного строительства УГГУ разработан метод люминесцентной дефектоскопии [4, 5]. На рис. 1 представлены электронные фотографии образца (туф) на разных стадиях нагружения горной породы.

В ходе эксперимента определялись характеристики трещиноватости горных пород и комплекс их свойств. Установлено, что прочностные и деформационные характеристики пород экспоненциально зависят от концентрации трещин N. В частности, прочность при сжатии определится уравнением:

$$\sigma_{сж} = \sigma_0 \exp(-d^3 N);$$

– модуль упругости:

$$E_{сж} = E_0 \exp(-2d^3 N).$$

Здесь индекс «0» обозначает свойства ненарушенной горной породы; d – средний размер минеральных зерен.

По мере нагружения горных пород наблюдаются рост трещин, их ветвление и слияние с образованием кластеров (рис. 1). На этом уровне выделить отдельные трещины с оценкой их концентрации не представляется возможным. Установлено, что в целом трещинная структура горных пород обладает фрактальными свойствами [5]. Мерой нарушенности пород может служить их кластерная размерность. Для ее определения на электронное изображение поверхности образца накладывается сетка с изменяющимся размером квадратной ячейки δ_i. Для каждого типоразмера сетки определяется количество ячеек N_i, занятых изображением объекта (кластером). Фрактальная кластерная размерность определится соотношением: $d_к = \ln N_i / \ln(1/\delta_i) + 1$. Анализ экспериментальных данных показывает, что кластерная размерность закономерно возрастает с увеличением напряжений σ в горной породе. Эта зависимость статистически надежно описывается уравнением параболы:

$$d_к = d_{к0} + k(\sigma^2 - b\sigma),$$

где $d_{к0}$ – начальная кластерная размерность ненагруженного образца; k, b – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа горной породы. Для указанного на рис. 1 образца: $d_{к0} = 2{,}48$; $k = 8 \cdot 10^{-5}$; $b = 8{,}75$.

На следующем уровне иерархии (в объеме инженерно-геологической пробы) сводной характеристики нарушенности горных пород может служить ее коэффициент пористости P. Ее величина определялась пикнометрическим методом как отношение объема пор к объему минерального скелета. В результате

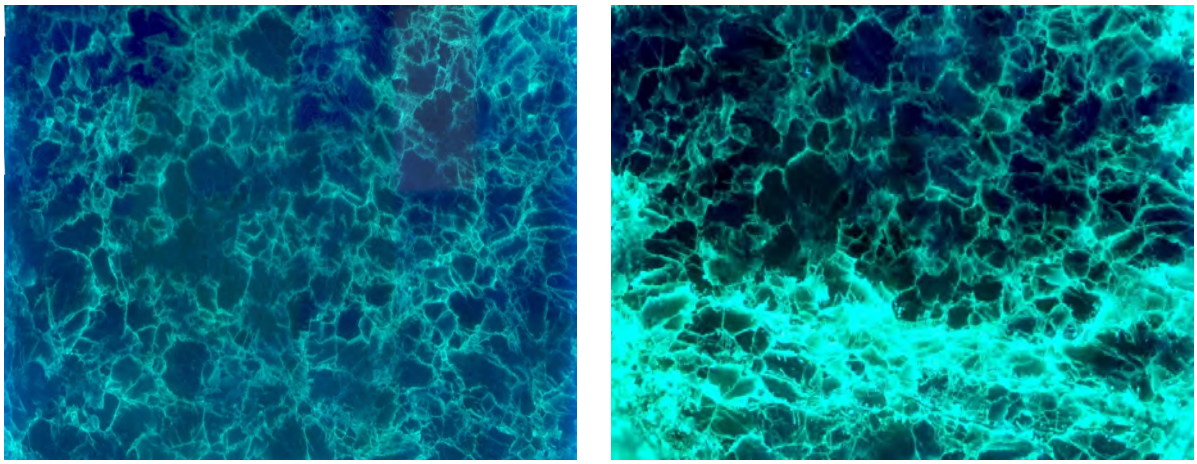


Рисунок 1. Электронные фотографии трещинной структуры горной породы на разных стадиях нагружения.

Зависимость свойств горных пород от их пористости.

Уравнения связи	Параметры уравнений связи	
	Эффузивные породы	Бокситы
$\rho = (\rho_1 \pm P^k)(1 - P^l)$	$\rho_1 = 3{,}0 \cdot 10^3$ кг/м³ $k = 0{,}43$ $\eta = 0{,}72 \pm 0{,}05$	$\rho_1 = 3{,}15 \cdot 10^3$ кг/м³ $k = 0{,}60$ $\eta = 0{,}93 \pm 0{,}03$
$E = E_0 (1 - aP)^2$	$E = 51$ ГПа; $a = 3{,}3$; $\eta = 0{,}58 \pm 0{,}07$	$E = 91$ ГПа; $a = 2{,}6$; $\eta = 0{,}71 \pm 0{,}12$
$X = X_0 (1 - a_1 P)$	$\sigma_{р(0)} = 18{,}4$ МПа; $a_1 = 7{,}0$; $r = -0{,}49 \pm 0{,}08$	$\sigma_{р(0)} = 19{,}7$ МПа; $b = 0{,}90$; $\eta = -0{,}96 \pm 0{,}02$
$X = X_0\, b^{100P}$	$\sigma_{сж(0)} = 126$ МПа; $a_1 = 7{,}0$; $r = -0{,}47 \pm 0{,}08$ $P_{к(0)} = 2{,}3$ ГПа; $a_1 = 7{,}0$; $r = -0{,}65 \pm 0{,}09$	$\sigma_{сж(0)} = 171$ ГПа; $b = 0{,}92$; $\eta = -0{,}93 \pm 0{,}03$ $P_{к(0)} = 2{,}5$ ГПа; $b = 0{,}93$; $\eta = -0{,}91 \pm 0{,}03$

Здесь ρ – объемная масса; E – модуль упругости; X – прочность горных пород при растяжении $\sigma_р$, сжатии $\sigma_{сж}$ и контактная прочность $P_к$ (r, η – коэффициент корреляции и корреляционное отношение).

комплексных исследований скальных пород Урала [6] установлена система статистических уравнений связи свойств пород с величиной их пористости. В таблице дана сводка структуры и параметров этих уравнений для эффузивных пород и бокситов Североуральских месторождений.

Полученная система уравнений позволяет прогнозировать свойства пород с разной степенью нарушенности (пористости). Однако само определение пористости – достаточно трудоемкая операция, связанная с отбором и доставкой проб в специально оснащенную лабораторию. Для оперативного прогноза можно использовать зависимость пористости от скорости упругой волны C, которую можно достаточно просто измерить в производственных условиях: $P(\%) = 14/C$, где скорость волны измеряется в км/с.

Следующий уровень иерархии – породный массив. Здесь система пересекающихся трещин формирует, как правило, его блочное строение. Поэтому первой задачей является определение размеров блоков или модуля трещиноватости массива. Образование системы трещин определяется множеством случайных независимых факторов, поэтому их следует оценивать с вероятностных позиций. Исследование данного вопроса показывает, что распределение трещин в массиве (размеров блоков) надежно описывается распределением Вейбулла:

$$F\left(L_i\right) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{bL_i}{a}\right)^m\right],$$

где L_i – размер рассматриваемого блока; a – среднее расстояние между трещинами отдельности (средний размер блока массива); b – параметр распределения (масштабный коэффициент); m – параметр распределения, характеризующий однородность массива.

В качестве примера рассмотрим толщу базальтов месторождения Юбилейное (Башкортостан), залегающих на глубине 250–500 м. По данным скважинных исследований[1], блочное строение массива определяется системами трещин с углом падения 20–45° и 70–80° к оси керна. Средний угол $\Theta = 30°$. По результатам вероятностной оценки блочного строения параметры распределения Вейбулла для данных условий: $b = 0{,}891$; $m = 2{,}31$. Тогда вероятный размер породного блока составляет $L_i = 0{,}14$ м.

Следующей задачей является прогноз свойств трещиноватого (блочного) массива. Наиболее значимыми с точки зрения горной технологии являются деформационные и прочностные характеристики массива. В соответствии с исследованиями К. В. Руппенейта [7] модуль деформации блочного массива определится соотношением:

$$E = \frac{E_0}{1 + \sum_{i=1}^{n} \eta_i \left(1 - \sin^4\Theta_i\right) \frac{L_i}{X_m} \cos\Theta},$$

где E_0 – модуль упругости вмещающих пород; Θ_i – угол наклона системы трещин, определяющий средний размер блока L_i; X_m – линейный размер рассматриваемой области массива (как правило, определяется размером выработки); η_i – сводная характеристика трещиноватости пород, $\eta_i = \delta/\xi L_i$, δ – средняя ширина зияния трещин; ξ – относительная площадь контактов берегов трещин.

Указанные параметры определяются на стадии инженерно-геологических исследований. Неоднозначной характеристикой здесь является величина относительной площади контактов трещин ξ. Отмечая это, К. В. Руппенейт предлагает в расчетах использовать некоторую среднюю величину $\xi = 4 \cdot 10^{-4}$. Однако совершенно очевидно, что эта величина будет существенно различной для разных по геометрии трещин. Кроме того, площадь контактов будет непрерывно меняться по мере деформации массива. Теоретические и экспериментальные исследования данного вопроса [8, 9] показали следующее.

При сближении берегов трещин деформируемых пород происходит смятие неровностей поверхностей соприкосновения и, как следствие, выполаживание их траекторий. Степень неровностей (изломанности) трещин однозначно оценивается их фрактальной размерностью d_f. Ее определение основано на законе Ричардсона [10], который устанавливает связь размера фрактального объекта $L(\delta_i)$ с шагом его измерения δ_i: $L(\delta_i) = \alpha\, \delta_i^{\beta}$, где $\beta = 1 - d_f$. Существо закона Ричардсона состоит в том,

[1] Гуман О. М. Инженерно-геологическая и гидрогеологическая характеристика пород Юбилейного месторождения: отчет ООО «НПЦ Уралгеолпроект»: УГГУ, 2008. 411 с.

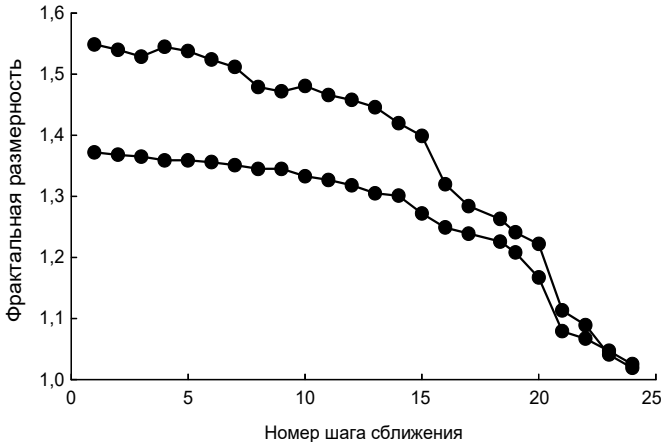


Рисунок 2. Изменение фрактальной размерности противоположных берегов трещины при их сближении и деформировании.

что чем меньше масштаб измерения (раствор циркуля), тем все больше подробностей измеряемого объекта (трещины) входит в результат и тем больше его размер. Это в полной мере относится к траектории трещин как бесконечно изломанной, нигде не дифференцируемой кривой. Величина фрактальной размерности определяется углом наклона графика уравнения Ричардсона в логарифмических координатах: $\ln[L(\delta_i)] = \delta_i \ln(1 - d_f) + \ln a$. Тогда процесс деформации трещин будет сопровождаться снижением фрактальной размерности ее берегов [9, 11]. На рис. 2 в качестве примера приведены результаты статистического моделирования деформации трещины массива Екатеринбургского метрополитена. Видно, что по мере деформации берегов разница в их фрактальной размерности уменьшается и в пределе (при полном смыкании) становится равной.

Результаты компьютерного моделирования трещин отрыва, сдвига и их комбинации позволили установить зависимость относительного контакта берегов трещин от фрактальной размерности их траектории:

$$\zeta_i = k\, d_{f0}(1 - b\, d_{fi}), \qquad (1)$$

где d_{f0} – фрактальная размерность средней линии исходной трещины; k, b – эмпирические коэффициенты, зависящие от геометрии трещины и соотношения нормальных и сдвигающих деформаций.

В частности, для указанной на рис. 2 трещины: $d_{f0} = 1{,}468$, $k = 7{,}9 \cdot 10^{-3}$, $b = 0{,}68$. Для любой произвольной трещины, учитывая линейность зависимости (1), для оценки параметров уравнения достаточно получить две точки (провести два измерения). Приведенный ранее анализ для блочного строения месторождения Юбилейное показал, что для толщи базальтов на глубине 250–500 м модуль деформации $E = 0{,}9$ ГПа.

Для проектирования технологии горных работ и прогноза устойчивости выработок определяющее значение имеет прочность трещиноватого породного массива. Комплексной характеристикой разрушаемости пород является паспорт прочности. Применительно к трещиноватым массивам установлено [11], что наиболее адекватной оценкой служит уравнение паспорта прочности, основанное на теории дифференциальной прочности Г. Г. Литвинского [12]:

$$\tau = (1-\omega)\tau_0\left[\frac{\sigma}{\sigma_0}+1\right]^{(1-\omega)}\left(\frac{\sigma}{(1-\omega)\sigma_0}+1\right)^{\omega}.$$

Здесь параметры уравнения имеют следующий смысл: $\tau_0 = \sigma_0 f$ – сцепление, которое интерпретируется автором как произведение когезии разрыва σ_0 (т. е. удельной силы взаимодействия атомов горной породы) на коэффициент трения f. Для подавляющего большинства скальных пород когезия σ_0 и предел прочности на одноосное растяжение $\sigma_р$ совпадают ($\sigma_0 = \sigma_р$). Показатель степени ω – характеристика нарушенности (поврежденности) массива. Однако трактовка автором показателя поврежденности ω как «отношение площади трещин на некоторой поверхности к общей ее площади» неубедительна. В такой постановке для реального напряженного массива, где трещины, как правило, сомкнуты, при любом ω, заметно отличающемся от нуля, массив как сплошное связное тело существовать не может. В то же время несомненно, что показатель связан со степенью трещиноватости массива (концентрацией трещин или модулем трещиноватости). В общем случае показатель ω следует рассматривать как коэффициент структурного ослабления массива $k_{стр}$, учитывающего масштабный эффект и модуль трещиноватости массива $J_{тр}$.

В исследованиях А. Н. Шашенко [13, 14] породный массив рассматривается как природная среда, нарушенная микродефектами различной природы и макродефектами в виде системы трещин, плоскостей ослабления и т. п. Для совместной оценки влияния данных факторов на прочность массива им предлагается следующая модель. Породный массив рассматривается как система плотно прилегающих друг к другу микроблоков, имеющих размеры и форму образцов, которые используются в стандартных испытаниях прочности. Те микроблоки, через которые проходит природная трещина массива, заведомо в лабораторных испытаниях не представлены и имеют нулевую прочность. Однако они содержатся в массиве и, следовательно, формируют генеральную совокупность. Тогда при организации классической выборки в статистике испытаний появятся нулевые величины. Это изменит величину дисперсии (коэффициент вариации) результатов, что и отразит влияние природной трещиноватости массива на его прочность. Вероятностный анализ данной модели позволил получить выражение коэффициента структурного ослабления массива [11]:

$$k_{стр} = \frac{a + b\left(1 - V_\sigma\right)}{c\left(0{,}2J_т + 1\right)},$$

где a, b, c – эмпирические коэффициенты; V_σ – коэффициент вариации единичных значений прочности в лабораторных испытаниях пород.

Анализ закономерностей распределения прочностных свойств горных пород для условий месторождения Юбилейное позволил получить значения данных коэффициентов: $a = 0{,}7$; $b = 0{,}8$; $c = 1{,}25$. В частности, на рис. 3 представлены паспорта прочности базальтов в образце и их толщи в массиве.

Таким образом, представленные результаты исследований позволяют оценить прочностные и деформационные характеристики горных пород на разных уровнях трещинной структуры породных массивов. На уровне микротрещин полученные результаты создают базу для теоретического анализа прочности с позиций теории хрупкого разрушения и кинетической концепции. Применительно к трещиноватым породным массивам они

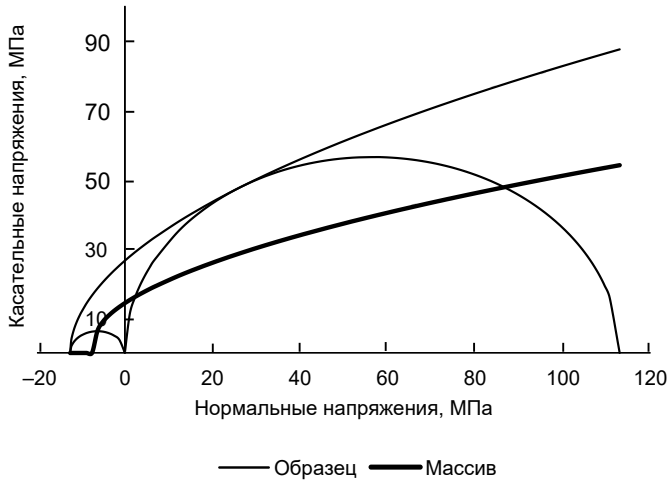


Рисунок 3. Сопоставление паспортов прочности базальта в образце и массиве.

являются основой прогноза прочности и устойчивости горных пород в выработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Садовский М. А., Голубева Т. В., Писаренко В. Ф., Шнирман М. Г. Характерные размеры горной породы и иерархические свойства сейсмичности // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. № 2. С. 3–15.
2. Садовский М. А. Избранные труды: Геофизика и физика взрыва. М.: Наука, 2004. 440 с.
3. Журков С. Н., Куксенко В. С., Петров В. А., Савельев В. Н., Султанов У. О. О прогнозировании разрушения горных пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1977. № 6. С. 11–18.
4. Латышев О. Г., Корнилков М. В. Направленное изменение фрактальных характеристик, свойств и состояния пород поверхностно-активными веществами в процессах горного производства. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. 407 с.
5. Латышев О. Г., Корнилков М. В. Исследование трещинной структуры горных пород как фрактального объекта. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 156 с.
6. Латышев О. Г. Разрушение горных пород. М.: Теплотехник, 2007. 672 с.
7. Руппенейт К. В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1975. 223 с.
8. Латышев О. Г., Прищепа Д. В. Прогноз деформационных характеристик трещиноватого породного массива // Изв. вузов. Горный журнал. 2017. № 1. С. 80–86.
9. Латышев О. Г., Прищепа Д. В., Франц В. В. Статистическое моделирование природных трещин // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 5. С. 38–45.
10. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы: пер. с нем. М.: Изд-во ИКИ, 2002. 656 с.
11. Латышев О. Г. Неоднородность трещинной структуры и прочность горных пород // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 6. С. 152–159.
12. Литвинский Г. Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. Донецк: Норд-Пресс, 2008. 207 с.
13. Шашенко А. Н., Тулуб С. Б., Сдвижкова Е. А. Некоторые задачи статистической геомеханики. Киев: Пульсари, 2002. 304 с.
14. Шашенко А. Н., Пустовойтенко В. П. Механика горных пород. Киев: Новий друк, 2003. 400 с.

REFERENCES

1. Sadovskiy M. A., Golubeva T. V., Pisarenko V. F., Shnirman M. G. 1984, *Kharakternye razmery gornoy porody i ierarkhicheskye svoystva seismichnosti* [Characteristic dimensions of rock and hierarchical properties of seismicity]. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Fizika Zemli* [USSR Academy of Sciences Bulletin. Physics of the Earth], no. 2, pp. 3–15.
2. Sadovskiy M. A. 2004, *Izbrannye trudy: geofizika i fizika vzryva* [Selected works: geophysics and physics of explosion]. Moscow, 440 p.
3. Zhurkov S. N., Kuksenko V. S., Petrov V. A., Savel'yev V. N., Sultanov U. O. 1977, *O prognozirovanii razrushenya gornykh porod* [On the prediction of rock destruction]. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR. Fizika Zemli* [USSR Academy of Sciences Bulletin. Physics of the Earth], no. 6, pp. 11–18.
4. Latyshev O. G., Kornilkov M. V. 2016, *Napravlennoye izmenenie fraktal'nykh kharakteristik, svoystv i sostoyaniya porod poverkhnostno-aktivnymi veshchesvami v protsessakh gornogo proizvodstva* [Directional change of the fractal characteristics, properties and state of rocks by means of the surfactants in the process of mining]. Ekaterinburg, 407 p.
5. Latyshev O. G., Kornilkov M. V. 2015, *Issledovanie treshchinnoy struktury gornykh porod kak fraktal'nogo ob'ekta* [The study of the fracture structure of the rocks as a fractal object]. Saarbrücken, 156 p.
6. Latyshev O. G. 2007, *Razrushenie gornykh porod* [Destruction of rocks]. Moscow, 672 p.
7. Ruppeneit K. V. 1975, *Deformiruemost' massivov treshchinnovatykh gornykh porod* [Deformability of fractured rocks]. Moscow, 223 p.
8. Latyshev O. G., Prishchepa D. V. 2017, *Prognoz deformatsionnykh kharakteristik treshchinnovatogo porodnogo massiva* [Prediction of the deformation characteristics of the fractured rock massif]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 1, pp. 80–86.
9. Latyshev O. G., Prishchepa D. V., Franz V. V. 2016, *Statisticheskoe modelirovanye prirodnykh treshchin* [Statistical modeling of natural cracks]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal]. # 5. Pp. 38-45.
10. Mandelbrot B. 2002, Fraktal'naya geometriya prirody [The Fractal Geometry of Nature]: tr. From German Moscow, 656 p.
11. Latyshev O. G. 2014, Neodnorodnost' treshchinnoy struktury i prochnost' gornykh porod [The heterogeneity of fracture structure and strength of rocks]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 6, pp. 152–159.
12. Litvinsky G. G. 2008, *Analiticheskaya teoriya prochnosti gornykh porod i massivov* [The analytical theory of the strength of rocks and massifs]. Donetsk, 207 p.
13. Shashenko A. N., Tulub S. B., Zdzvizhkova E. A. 2002, *Nekotorye zadachi statisticheskoy geomekhaniki* [Some issues of statistical geomechanics]. Kiev, 304 p.
14. Shashenko A. N., Pustovoytenko V. P. 2003, *Mekhanika gornykh porod* [Mechanics of rocks]. Kiev, 400 p.

Олег Георгиевич Латышев,
gtf.shs@ursmu.ru
Ольга Олеговна Казак,
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Oleg Georgievich Latyshev,
gtf.shs@ursmu.ru
Ol'ga Olegovna Kazak,
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 622.684.18:622.271.3 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-66-71

МЕТОДИКА НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОСАМОСВАЛАМИ В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ

Ю. И. Лель, И. В. Зырянов, Д. Х. Ильбульдин, О. В. Мусихина, И. А. Глебов

Methods of rational fuel consumption by the dump trucks in deep pits

Yu. I. Lel', I. V. Zyryanov, D. H. Il'bul'din, O. V Musikhina, I. A. Glebov

The detailed analysis of "consumption Norms of fuel and lubricants..." has been performed. It was approved by the Ministry of transport of the Russian Federation and it is an official document for the valuation and planning of fuel consumption in road transport, including open pits. It was found that the "rate..." was deficient in the specific operating conditions of mining dump trucks and a significant discrepancy with the actual fuel consumption. To the greatest extent, these shortcomings are noticeable in deep pits. In the result of experimental and analytical studies a new method of rationing the diesel fuel consumption of mining dump trucks was developed. It is based on the calculation of fuel consumption for vehicle cycle and bringing the actual path length to the conventional horizontal transportation distances using the criterion of energy. This method requires comprehensive consideration of the design parameters of mining dump trucks – mining and road traffic conditions. As a criterion for evaluating the difficulty of transporting it justifies the use of the coefficient of difficulty of the course, showing how many times the energy consumption in the movement of trucks on the highway exceed the real energy consumption while driving on a horizontal road with the crushed-stone surface of the same length. The formulae are derived to determine the given distance of transportation on the basis of the horizontal equivalent of the vertical movement of the rock mass. It was found that the linear rate of flow of diesel fuel to mileage and transportation work under other equal conditions is determined by two main factors: the distance of transportation of L and the coefficient μ of difficulty of the course. As an example, the calculation of the linear differentiated norms of fuel consumption of dump trucks CAT 785B in an "Udachny" pit AK "ALROSA" (JSC). The developed method provides high accuracy of regulation of diesel fuel consumption in almost any ranges of mining and road traffic conditions and is recommended for use in deep pits.

Keywords: dump truck; fuel consumption; given distance; horizontal equivalent of the vertical displacement; the difficulty of the route; quarry.

Выполнен детальный анализ «Норм расхода топлива и смазочных материалов…», утвержденных Минтрансом РФ и являющихся официальным документом для нормирования и планирования расхода топлива на автомобильном транспорте, в том числе карьерном. Установлено, что указанные «Нормы расхода…» характеризуются недостаточным учетом специфики условий эксплуатации карьерных автосамосвалов и значительными расхождениями с фактическими показателями расхода топлива. В наибольшей степени эти недостатки проявляются в глубоких карьерах. В результате экспериментально-аналитических исследований разработана новая методика нормирования расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами, основанная на расчете расхода топлива за транспортный цикл и приведении фактической длины трассы к условному горизонтальному расстоянию транспортирования с использованием энергетического критерия. Методика характеризуется комплексным учетом конструктивных параметров карьерных автосамосвалов горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации. В качестве критерия оценки трудности транспортирования обосновано использование коэффициента сложности трассы, показывающего, во сколько раз энергозатраты при движении автосамосвалов по реальной трассе превышают энергозатраты при движении по горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием такой же протяженности. Получены расчетные формулы для определения приведенного расстояния транспортирования на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы. Установлено, что линейная норма расхода дизельного топлива на пробег и транспортную работу при прочих равных условиях определяется двумя основными факторами: расстоянием транспортирования *L* и коэффициентом сложности трассы μ. В качестве примера приведен расчет линейной дифференцированной нормы расхода топлива автосамосвалами CAT-785B в условиях карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» (ПАО). Разработанная методика обеспечивает высокую точность нормирования расхода дизельного топлива практически в любых диапазонах изменения горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации и рекомендуется к использованию в глубоких карьерах.

Ключевые слова: автосамосвал; расход топлива; приведенное расстояние; горизонтальный эквивалент вертикального перемещения; сложность трассы; карьер.

В настоящее время официальным документом для нормирования и планирования расхода дизельного топлива на автомобильном транспорте, в том числе карьерном, являются «Нормы расхода топлива и смазочных материалов...», утвержденные распоряжением Минтранса РФ № АМ-13-р от 14.03.2008 г. [1, 2]. Нормативные значения расхода топлива $Q_н$, л, для автосамосвалов при работе с коэффициентом использования пробега 0,5 определяются по формуле

$$Q_н = 0{,}01\,NS\,(1 + 0{,}01\,D) + N_z n,$$

где N – базовая норма расхода топлива для конкретной модели автосамосвала, л/100 км; S – сменный пробег автосамосвала, км; D – поправочный коэффициент (суммарная относительная надбавка или снижение к норме), %; N_z – дополнительная норма расхода топлива на каждый рейс, л; n – количество рейсов за смену.

Опыт применения «Норм расхода...» в карьерных условиях выявил следующие недостатки.

1. Базовая норма расхода N задается постоянной величиной для конкретной модели автосамосвала. В карьерных условиях она должна быть дифференцированной в зависимости от расстояния транспортирования, высоты подъема (спуска) горной массы и других горнотехнических факторов.

2. Базовая норма расхода задается для модели автосамосвала, но не учитывает модель и технические характеристики установленного дизельного двигателя, которые оказывают существенное влияние на топливную экономичность.

3. При работе в карьерных условиях регламентируется повышение базовой нормы расхода до 20 % для автотранспортных средств без груза и до 40 % для автотранспортных средств с полной или частичной загрузкой. Однако эта регламентация касается автомобилей общего пользования за исключением специальных карьерных автосамосвалов. Автосамосвалы БелАЗ относятся к специальным карьерным автотранспортным средствам, поэтому указанное повышение к ним применяться не должно, хотя на практике это часто делается.

4. При работе автомобилей в качестве технологического транспорта, включая работу внутри предприятия, предусматривается увеличение базовой нормы расхода до 20 %. Вместе с тем это увеличение в большинстве случаев оказывается недостаточным для учета условий эксплуатации автосамосвалов в глубоких карьерах.

5. Для автосамосвалов типа БелАЗ предусматривается дополнительная норма расхода топлива на каждый рейс до 1 л. Как показывают исследования, дополнительная норма является достаточной только для автосамосвалов грузоподъемностью 30–42 т. При бóльшей грузоподъемности дополнительный расход превышает 1 л на каждый рейс.

Таким образом, указанные «Нормы расхода ...» характеризуются недостаточным учетом специфики условий эксплуатации карьерных автосамосвалов и значительными расхождениями с фактическими показателями расхода топлива.

В 1975–2008 гг. Институтом горного дела УрО РАН, УГГУ и рядом других организаций разрабатывались «Дифференцированные нормы расхода топлива...» на основе комплексных экспериментальных исследований топливной экономичности карьерных автосамосвалов [3–10]. Дифференциация норм осуществля-

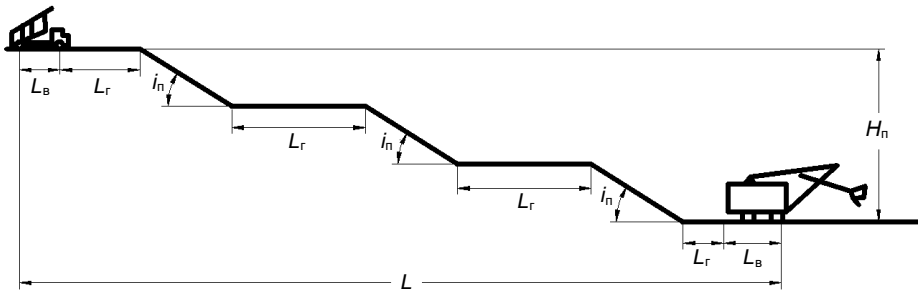


Рисунок 1. Схема к расчету расхода дизельного топлива.

лась в основном по двум факторам: расстоянию транспортирования и высоте подъема (спуска) горной массы. Применение «Дифференцированных норм...» способствовало повышению научной обоснованности и точности планирования и нормирования расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами. Однако с усложнением горнотехнических условий эксплуатации автотранспорта, внедрением на карьерах полноприводных автосамосвалов, способных работать на уклонах до 24–25 %, а также современных информационных технологий учета и контроля расхода топлива на базе GPS (Global Positioning System) и приборов FMS [11, 12] такая дифференциация оказывается недостаточной, не обеспечивающей необходимой точности нормирования и удовлетворительной сходимости нормативных показателей расхода с фактическими. В наибольшей степени эти недостатки проявляются при разработке индивидуальных маршрутных норм расхода в глубоких карьерах.

Предлагаемая методика нормирования заключается в следующем. В основу нормирования положен расход дизельного топлива автосамосвалом за транспортный цикл $Q_ц$, л:

$$Q_ц = Q_{const} + Q_{пер},$$

где Q_{const} – относительно постоянная часть расхода топлива в транспортном цикле, л; $Q_{пер}$ – переменная часть расхода топлива, зависящая от расстояния транспортирования, высоты подъема (спуска) горной массы и других горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации, л;

$$Q_{const} = Q_п + Q_о + Q_р + Q_{м.\,п} + Q_{м.\,р},$$

где $Q_п$, $Q_о$, $Q_р$, $Q_{м.\,п}$, $Q_{м.\,р}$ – расход топлива при погрузке автосамосвала, ожидании погрузки, разгрузке, маневровых операциях при установке на погрузку и разгрузку, л, соответственно;

$$Q_п + Q_о = g_х\,(t_п + t_о) / 60,$$

где $g_х$ – удельный расход топлива на холостом ходу двигателя (полный холостой ход), л/ч (определяется экспериментально); $t_п + t_о$ – суммарная продолжительность погрузки автосамосвала и ожидания погрузки, мин.

Расход топлива при разгрузке и производстве маневровых операций определяется из выражения

$$Q_i = g_i t_i / 60,$$

где Q_i – расход топлива в i-м режиме, л; g_i – удельный расход топлива в i-м режиме, л/ч; t_i – длительность i-го режима, мин;

$$g_i \approx g_н N_д k_{Ni} k_п / 1000 \text{ г},$$

где $g_н$ – удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя, г/кВт · ч; $N_д$ – номинальная мощность двигателя автосамосвала, кВт; k_{Ni} – коэффициент использования мощности двигателей в i-м режиме (табл. 1); $k_п$ – поправочный коэффициент, учитывающий изменения $g_н$ в зависимости от использования мощности двигателя ($k_п$ = 1,1…1,2); ρ – плотность дизельного топлива, кг/л.

Переменная часть расхода топлива $Q_{пер}$, л, при движении автосамосвала по горизонтальной щебеночной автодороге с коэффициентом сопротивления качению $w_о$ определяется из выражения [11]:

Таблица 1. Значения коэффициентов использования мощности двигателя k_{Ni} в различных режимах (экспериментальные данные) [11]

Характеристика режима	k_{Ni}
Маневры при установке:	
на погрузку	0,10–0,12
на разгрузку	0,38–0,40
Разгрузка	0,06–0,08

$$Q_{пер} = Q_д^г + Q_д^п = \frac{G g_н L_{пр} \omega_о \left[k_т \left(1 + k_1 k_2\right) + k_г \right]}{367 \eta_т \rho}, \quad (1)$$

где $Q_д^г$ – расход топлива при движении груженого самосвала, л; $Q_д^п$ – расход топлива при движении порожнего самосвала, л; G – грузоподъемность автосамосвала, т; $k_г$ – коэффициент использования грузоподъемности; $h_т$ – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала; $\omega_о$ – коэффициент сопротивления качению груженых автосамосвалов на автодороге со щебеночным покрытием [11]; k_1 – коэффициент, учитывающий увеличение $\omega_о$ при движении порожних автосамосвалов ($k_1 \approx$ 1,15…1,20) [13]; k_2 – коэффициент, учитывающий увеличение удельного расхода дизельного топлива при номинальной нагрузке $g_н$ при движении порожних автосамосвалов ($k_2 \approx$ 1,1) [13]; $k_т$ – коэффициент тары самосвала; $L_{пр}$ – расстояние транспортирования (длина горизонтальной трассы), км.

Формулу (1) можно применить для расчета расхода топлива по реальной трассе, если фактическую длину трассы привести к горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием.

Общую длину реальной трассы движения L, км, можно представить в виде суммы отдельных участков (рис. 1):

$$L = L_г + L_i + L_в,$$

где $L_г$ – суммарная протяженность горизонтальных участков со щебеночным покрытием, км; $L_в$ – суммарная протяженность временных горизонтальных участков без покрытия, км; L_i – суммарная протяженность наклонных участков со щебеночным покрытием, км;

$$L_i = L_п + L_с = H_п / i_п \cdot 10^3 + H_с / i_с \cdot 10^3,$$

где $L_г$ – суммарная протяженность наклонных участков с уклоном $i_п$ при движении на подъем, км; $L_с$ – суммарная протяженность наклонных участков с уклоном $i_с$ при движении на спуск, км; $H_п$, $H_с$ – высота подъема (глубина спуска) горной массы, м.

Приведенное расстояние транспортирования $L_{пр}$, км, рассчитывается по формуле (рис. 2) [13]:

$$L_{пр} = L_г + H_п Э_п \cdot 10^{-3} + H_с Э_с \cdot 10^{-3} + k_{пр} L_в, \quad (2)$$

где $Э_п$, $Э_с$ – горизонтальные эквиваленты вертикального перемещения (подъема, спуска) горной массы, показывающие, какое расстояние транспортирования по горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием эквивалентно по затратам энергии подъему (спуску) горной массы по наклонному участку на высоту (глубину) 1 м, м/м. Экспериментально-аналитические зависи-

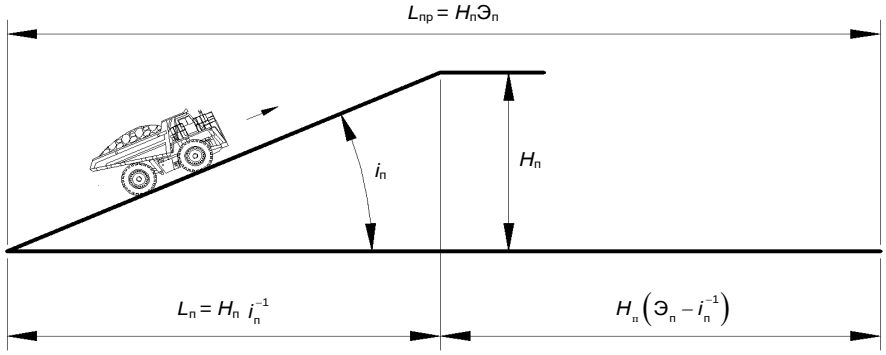


Рисунок 2. Схема к расчету приведенного расстояния транспортирования при работе автосамосвала на подъем горной массы.

мости для расчета горизонтальных эквивалентов, полученные на основании исследований УГГУ, представлены в табл. 2 [13].

При расчете приведенного расстояния возникает необходимость приведения участков автодорог к одному типу покрытия – базовому. В качестве базового рекомендуется принимать наиболее распространенное в карьерах щебеночное покрытие с коэффициентом сопротивления качению $\omega_о$ = 0,020…0,025 [14, 15]. В формуле (2) $k_{пр}$ – коэффициент приведения покрытия временных автодорог к базовому (щебеночному) покрытию.

$$k_{пр} = \omega_о^в / \omega_о,$$

где $\omega_о^в$ – коэффициент сопротивления качению на временных забойных и отвальных автодорогах.

Значения горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы и коэффициентов приведения покрытий временных автодорог для автосамосвалов Cat-785B и горнотехнических условий Удачнинского ГОКа АК «АЛРОСА» приведены в табл. 3.

Умножив расход дизельного топлива за транспортный цикл $Q_ц$, л, на величину 100/2L, где L – фактическое расстояние транспортирования в километрах, получим линейную дифференцированную норму расхода дизтоплива на пробег в л/100 км;

$$N_а = \frac{50}{L}\left\{Q_{const} + \frac{Gg_н L_{пр}\omega_о\left[k_т\left(1+k_1k_2\right)+k_г\right]}{367\eta_т\rho}\right\}. \quad (3)$$

Обозначив $\mu = L_{пр}/L$ коэффициент сложности трассы и подставив значения исходных данных (табл. 4), получим для автосамосвалов Cat-785B:

$$N_а = 231/L + 298{,}75\ \mu, \quad (4)$$

где $N_а$ – линейная дифференцированная норма расхода дизельного топлива на пробег, л/100 км; L – фактическое расстояние транспортирования, км; $L_{пр}$ – приведенное расстояние транспортирования, км; μ – коэффициент сложной трассы.

Умножив расход топлива за цикл $Q_ц$, л, на величину 1000 ρ/$k_г GL$, получим линейную дифференцированную норму расхода на транспортную работу в г/(т · км):

$$N_а \frac{1000\rho Q_{const}}{k_г GL} + \frac{2{,}725 g_н L_{пр}\omega_о\left[k_т\left(1+k_1k_2\right)+k_г\right]}{L\eta_т k_г}. \quad (5)$$

Для Cat-785B

$$N_а = 31{,}85/L + 40{,}81\ \mu. \quad (6)$$

Таблица 2. Зависимости для расчета горизонтальных эквивалентов.

Горизонтальные эквиваленты вертикального перемещения, м/м	
Подъем горной массы	Спуск горной массы
$Э_п = \dfrac{k_3\left(k_т+k_г\right)\left(\omega_о+i_п\right)}{i_п\omega_о\left[k_т\left(1+k_1k_2\right)+k_г\right]}$	$Э_с = \dfrac{k_1k_2k_4k_т\left(\omega_о+i_с\right)}{i_с\omega_о\left[k_т\left(1+k_1k_2\right)+k_г\right]}$

Примечание: k_3 – коэффициент, учитывающий расход топлива при движении порожних автосамосвалов на спуск в тормозном режиме (k_3 = 1,05…1,07); k_4 – коэффициент, учитывающий расход топлива при движении груженых автосамосвалов на спуск в тормозном режиме (k_4 = 1,2…1,3); $i_п$ ($i_с$) > $\omega_о$.

Таким образом, линейная норма расхода топлива при прочих равных условиях представляет собой функцию двух переменных – фактического расстояния транспортирования L и отношения приведенного расстояния к фактическому, т. е. сложности трассы (рис. 3). Левая часть уравнений (3)–(6) отражает постоянную составляющую расхода топлива, доля которой в общем расходе уменьшается с увеличением расстояния транспортирования. Правая часть указанных уравнений отражает переменную часть расхода топлива, которая линейно зависит от сложности трассы.

Коэффициент сложности трассы μ показывает, во сколько раз энергозатраты при движении автосамосвала по реальной трассе протяженностью L превышают энергозатраты при движении по горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием такой же протяженности.

В простейшем случае, когда трасса представлена участком подъема или спуска и коэффициент сопротивления качению ω_i на участке отличается от стандартных значений на автодороге со щебеночным покрытием $\omega_о$, коэффициент сложности трассы определится из следующих выражений:

– при работе на подъем горной массы

$$\mu = \frac{k_3\left(k_т+k_г\right)\left(\omega_i+i_п\right)}{\omega_о\left[k_т\left(1+k_1k_2\right)+k_г\right]},$$

– при работе на спуск

$$\mu = \frac{k_1k_2k_4k_т\left(\omega_i+i_с\right)}{\omega_о\left[k_т\left(1+k_1k_2\right)+k_г\right]}.$$

Таким образом, сложность трассы определяется уклоном, сопротивлением качению, зависит от коэффициента тары и коэффициента использования грузоподъемности, а также от эмпирических

Таблица 3. Значения горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения покрытий временных автодорог.

Модель и грузоподъемность автосамосвала	Значения горизонтальных эквивалентов ($i_р = i_п = i_с$ = 0,08; $\omega_о$ = 0,0225)						$k_{пр}$
	$Э_п$, м/м, при $k_г$			$Э_с$, м/м, при $k_г$			
	0,8	0,9	1,0	0,8	0,9	1,0	
Cat-785B (G = 136 т)	37,44	38,35	39,20	28,53	27,42	26,39	1,78

Таблица 4. Исходные данные для нормирования расхода топлива автосамосвалами в условиях Удачнинского ГОКа АК «АЛРОСА» (ПАО).

Показатель	Значение	Источник информации
Паспортные данные автосамосвала		
Модель автосамосвала	Cat-785B	Техническая характеристика самосвала
Грузоподъемность G, т	136	
Собственная масса $G_а$, т	98,436	
Коэффициент тары $k_т$	0,724	
Модель двигателя	Cat-8512	
Номинальная мощность двигателя $N_д$, кВт	1029	
Удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя $g_н$, г/кВт × ч	209±10 %	
Коэффициент полезного действия трансмиссии $\eta_т$	0,90	Результаты исследований [8]
Вместимость платформы, м³:		Техническая характеристика
геометрическая $V_а$	57	
с «шапкой» $V'_а$	78	
Паспортная загрузка автосамосвала $k_г G$, т	110–112; 120–123	Паспорта загрузки автосамосвалов
Коэффициент использования грузоподъемности $k_г$	0,81–0,82; 0,88–0,90	
Паспортные данные выемочно-погрузочного оборудования		
Модели выемочно-погрузочного оборудования	H-135S; ЭКГ-10; ЭКГ-15; L-1100	Техническая характеристика выемочно-погрузочного оборудования
Вместимость ковшей E, м³	9,5; 10,0; 15,0; 16,8	
Характеристика горнотехнических и дорожно-транспортных условий		
Расстояние транспортирования L, км	1,0–27,0	Проект, план горных работ
Высота подъема горной массы $H_п$, м	0–700	
Плотность в массиве перевозимых пород и руд γ, т/м³	2,03–2,90	Паспорта загрузки автосамосвалов
Тип дорожного покрытия	Щебеночное	Проект, план горных работ
Руководящий уклон автодорог $i_р$, доли ед.	0,08	
Средний коэффициент сопротивления качению груженых автосамосвалов, доли ед.:		Результаты исследований [8]
на автодорогах со щебеночным покрытием $\omega_о$	0,020–0,025	
на временных забойных и отвальных дорогах $\omega_о^в$	0,030–0,040	
Средняя протяженность временных автодорог на трассе $L_в$, км	0,10–0,15	План горных работ
Расчетные и экспериментальные данные		
Средняя продолжительность погрузки автосамосвала и ожидания погрузки $t_п + t_о$, мин	3,9–5,4 (4,6)	Нормы выработки, хронометражные наблюдения
Продолжительность, мин:		
разгрузки $t_р$	1,17	
маневров при установке на погрузку $t_{м.п}$	0,58	
маневров при установке на разгрузку $t_{м.р}$	0,92	
Удельный расход топлива на холостом ходу двигателя $g_х$, л/ч	25,4	Экспериментальные данные [8]
Средний расход топлива, л:		Расчет
при погрузке и ожидании $Q_п + Q_о$	1,95	
при разгрузке $Q_р$	0,42	
на маневровых операциях при установке:		
на погрузку $Q_{м.п}$	0,36	
на разгрузку $Q_{м.р}$	1,89	
Относительно постоянная часть расхода топлива в цикле Q_{const}, л	4,62	
Средняя плотность топлива ρ, кг/л	0,836	Планируемый показатель

коэффициентов, учитывающих увеличение сопротивления качению при движении порожних автосамосвалов, увеличение удельного расхода топлива при номинальной нагрузке двигателя при движении порожних автосамосвалов по горизонтальной дороге, расход топлива при движении автосамосвалов в тормозных режимах.

Объективной закономерностью для глубоких карьеров является увеличение сложности трассы с ростом глубины разработки. При этом максимальные значения коэффициентов сложности трассы для автосамосвалов с колесной формулой 4 × 2, работающих на руководящих уклонах $i_р \leq 10…12$ %, могут достигать 2,5–3,0. При внедрении полноприводных автосамосвалов, эксплуатирующихся на руководящих уклонах до 24–25 %, коэффициент сложности трассы увеличивается до 5–7.

Показатель сложности трассы является комплексным, объективно отражает изменение горнотехнических условий эксплуатации карьерного автотранспорта, имеет численное выражение и рекомендуется к использованию при нормировании расхода топлива. Универсальность показателя заключается в том, что с его помощью можно рассчитать расход топлива для любых моделей автосамосвалов, работающих на различных уклонах автодорог с различным типом покрытия на трассах любой сложности.

В качестве примера приведем расчет линейной дифференцированной нормы расхода топлива автосамосвалами Cat-785B в условиях карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» (ПАО) (табл. 4).

Исходные данные:

$$L = 5{,}5 \text{ км}; H_п = 180 \text{ м}; i_р = 0{,}08; L_в = 0{,}1 \text{ км}; \omega_о = 0{,}0225; k_г = 0{,}9.$$

Определяем:

$$L_i = H_п / i_р \cdot 10^3 = 180/0{,}08 \cdot 10^3 = 2{,}25 \text{ км}.$$

$$L_г = L - L_i - L_в = 5{,}5 - 2{,}25 - 0{,}1 = 3{,}15 \text{ км}.$$

Приведенное расстояние

$$L_{пр} = L_г + H_п Э_п \cdot 10^{-3} + k_{пр} L_в = 3{,}15 + 180 \cdot 38{,}35 \cdot 10^{-3} + 1{,}78 \cdot 0{,}1 = 10{,}23 \text{ км}.$$

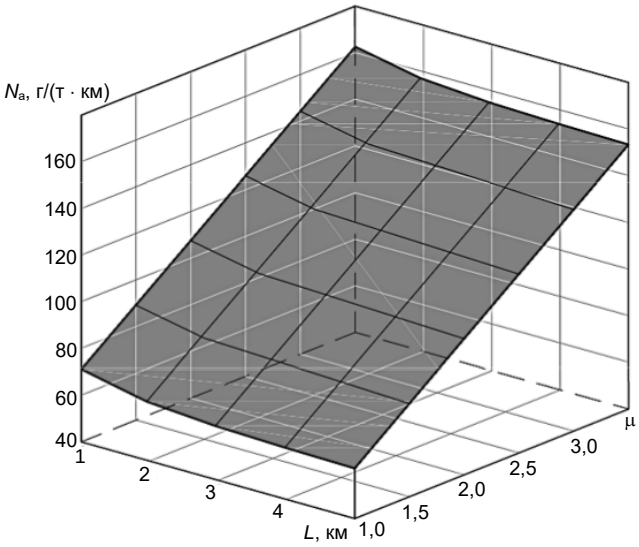


Рисунок 3. Зависимость нормы расхода топлива N_a, г/(т · км), от расстояния транспортирования L и коэффициента сложности трассы μ (автосамосвал Cat-785B, Удачнинский ГОК АК «АЛРОСА» (ПАО)).

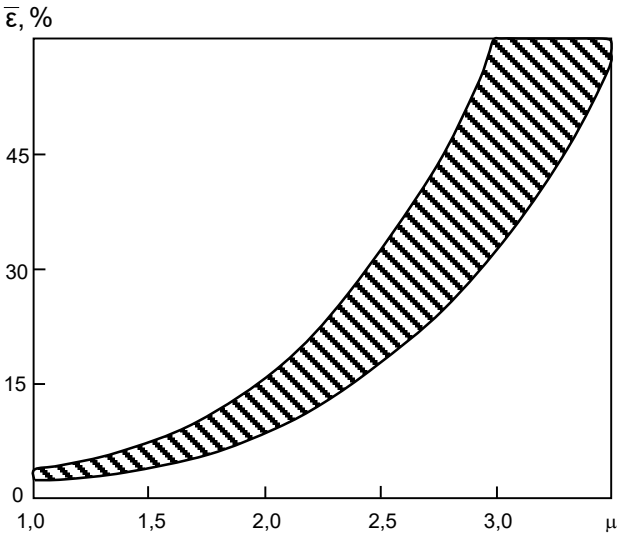


Рисунок 4. Зависимость отклонения фактического расхода топлива от нормативного $\bar{\varepsilon}$, %, от сложности трассы μ при использовании методики Министерства транспорта РФ.

Коэффициент сложности трассы

$$\mu = L_{пр}/L = 10{,}23/5{,}5 = 1{,}86.$$

Норма расхода на пробег

$$N_a = 231/L + 298{,}75\mu = 231/5{,}5 + 298{,}75 \cdot 1{,}86 = 597{,}7 \text{ л/100 км}.$$

Норма расхода на транспортную работу

$$N_a = 31{,}85/L + 40{,}81\mu = 31{,}85/5{,}5 + 40{,}81 \cdot 1{,}86 = 81{,}7 \text{ г/(т · км)}.$$

Фактический расход топлива составил 80 г/(т · км) – 575 л/100 км. Ошибка $\bar{\varepsilon}$ = 2,1…3,9 %.

Опыт эксплуатации показывает, что нормы расхода топлива, рассчитанные по методике Министерства транспорта РФ, обеспечивают допустимое отклонение фактического расхода от нормативного ($\bar{\varepsilon} \leq 5$ %) только на несложных трассах с $\mu \leq 1{,}5$, характерных для карьеров глубиной до 40–50 м (рис. 4). Предлагаемая методика обеспечивает высокую точность нормирования расхода дизельного топлива практически в любых диапазонах изменения горнотехнических условий эксплуатации, т. е. при любой сложности трасс. Коэффициент сложности трассы μ может использоваться в качестве критерия оценки условий эксплуатации карьерного автотранспорта.

Выводы

Разработана новая экспериментально-аналитическая методика нормирования расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами, основанная на расчете расхода топлива за транспортный цикл и приведении фактической длины трассы к условному горизонтальному расстоянию транспортирования с использованием энергетического критерия. Методика характеризуется комплексным учетом конструктивных параметров карьерных автосамосвалов, горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации. В качестве критерия оценки трудности транспортирования обосновано использование коэффициента сложности трассы, показывающего, во сколько раз энергозатраты при движении автосамосвалов по реальной трассе превышают энергозатраты при движении по горизонтальной автодороге со щебеночным покрытием такой же протяженности. Получены расчетные формулы для определения приведенного расстояния транспортирования на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы. Установлено, что линейная норма расхода дизельного топлива на пробег и транспортную работу при прочих равных условиях определяется двумя основными факторами – расстоянием транспортирования L и коэффициентом сложности трассы μ.

Разработанная методика обеспечивает высокую точность нормирования расхода дизельного топлива практически в любых диапазонах изменения горнотехнических и дорожно-транспортных условий эксплуатации, прошла апробацию и рекомендуется к использованию в глубоких карьерах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжения Минтранса РФ № АМ-13-р от 14.03.2008, № НА-50-р от 14.05.2014, № НА-80-р от 14.07.2015.
2. Методика нормирования расхода топлива на автомобильном транспорте. М.: НИИПиН при Госплане СССР, 1983. 63 с.
3. Дифференцированные нормы расхода горюче-смазочных материалов для большегрузных автосамосвалов БелАЗ-540А, БелАЗ-548А и КрАЗ-256Б: утв. МЧМ СССР 23.07.1976. Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1976. 73 с.
4. Методические указания по нормированию расхода дизельного топлива на карьерном автомобильном транспорте: утв. МЧМ СССР 01.01.1986. Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1986. 32 с.
5. Разработка дифференцированных норм расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами в условиях ОАО «Ураласбест»: отчет о НИР (закл.) / УГГГА; рук. Лель Ю. И. Екатеринбург. 1999. 39 с.
6. Линейные дифференцированные нормы расхода дизельного топлива для автосамосвалов БелАЗ-7548, БелАЗ-75485 и БелАЗ-75405 в условиях АООТ «Сафьяновская медь»: отчет о НИР (закл.) / УГГГА; рук. Лель Ю. И. Екатеринбург, 1997. 25 с.
7. Разработка удельных норм расхода топлива технологическим транспортом на карьере «Юбилейный»: отчет о НИР (закл.) / УГГГА; рук. Лель Ю. И. Екатеринбург, 2007. 224 с.
8. Нормы расхода топлива технологическим транспортом Удачнинского ГОКа: отчет о НИР (закл.) / УГГГА; рук. Лель Ю. И. Екатеринбург, 2008. 90 с.
9. Кулешов А. А. Определение расхода топлива карьерными автосамосвалами // Горные машины и автоматика. 2004. № 8. С. 17–21.
10. Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. СПб.: Наука, 2004. 429 с.
11. Смирнов В. П., Лель Ю. И. Теория карьерного большегрузного автотранспорта. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 355 с.
12. Ильбульдин Д. Х., Лель Ю. И., Горшков Э. В. Оценка эффективности систем контроля расхода топлива на горной и автомобильной технике // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сб. науч. тр. / ИГД УрО РАН. Екатеринбург, 2009. Вып. 5(95). С. 363–372.
13. Лель Ю. И., Салахиев Р. Г., Арефьев С. А., Сандригайло И. Н. Совершенствование нормирования расхода топлива карьерными автосамосвалами на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 2. С. 107–116.
14. Atkinson T., Walton G. Design and Layout of haul roads for surface mines // Surface Mining and Quarrying. Pap. 2-nd Int. Symp. (Bristol, 4–6 Oct. 1983). London. 1983. P. 369–381.
15. Willimson O. S. Haul road design for off-highway mining equipment // World Mining Equip. 1987. Vol. 12, № 3. P. 24–26.

REFERENCES

1. Order of the Ministry of transport of the Russian Federation # AM-13-p dated 14.03.2008, No. ON-50-R dated 14.05.2014, n-80-p on 14.07.2015.
2. 1983, *Metodika normirovanya raskhoda topliva na avtomobil'nom transporte* [Methods of rationing of fuel consumption on motor transport]. Moscow, 63 p.
3. 1976, *Differetsirovannye normy raskhoda goryuche-smazochnykh materialov dla bol'shegruznykh samosvalov BelAZ-540A, BelAZ-548A i KrAZ-256B: utv. MCHM SSSR 23.07.1976* [Differentiated consumption norms of fuel and lubricants for heavy-duty BelAZ-540A dump trucks BelAZ-548A KrAZ-256Б and: ap-

proved. MISI USSR 23.07.1976]. Sverdlovsk, 73 p.
4. 1986, *Metodicheskye ukazaniya po normirovaniyu raskhoda disel'nogo topliva na kar'yernom avtomobil'nom transporte: utv. MCHM SSSR 01.01.1986* [Methodical instructions on regulation of the expense of diesel fuel on the pit-run transport: approved MISI USSR 01.01.1986]. Sverdlovsk, 32 p.
5. 1999, *Razrabotka differentsirovannykh norm raskhoda diesel'nogo topliva kar'yernymi avtosamosvalami v usloviyakh OAO "Uralasbest": otchyot o NIR* [Development of differentiated consumption norms of diesel fuel mining dump trucks in the JSC "Uralasbest": research report (enclosed)], supervisor Lel' Yu. I. Ekaterinburg, 39 p.
6. 1997, *Lineynye differentsirovannye normy raskhoda disel'nogo topliva dlya avtosamosvalov BelAZ-75485 i BelAZ- 75405 v usloviyakh AOOT "Safyanovskaya med'": otchyot o NIR* [Linear differential consumption rates of diesel fuel for dump trucks BelAZ-7548, BelAZ-75485, BelAZ-75405, and in JSC "Safyanovskaya copper"], supervisor Lel' Yu. I. Ekaterinburg, 25p.
7. 2007, *Razrabotka udel'nykh norm raskhoda topliva tekhnologicheskim transportom na kar'yere "Yubileynyi": otchyot o NIR* [The development of specific norms of fuel consumption for technological transport at the quarry "Jubilee": a research report (enclosed)], supervisor Lel' Yu. I. Ekaterinburg, 224 p.
8. 2008, *Normy raskhoda topliva tekhnologicheskim transportom Udachninskogo GOKa: otchyot o NIR* [The norm of fuel consumption of the technological transportation Udachny MPD: research report (enclosed)], supervisor Lel' Yu. I. Ekaterinburg, 90 p.
9. Kuleshov A. A. 2004, *Opredelenye raraskhoda topliva kar'yernymi avtosamosvalami* [Determination of the fuel consumption by the mining dump trucks], no. 8, pp. 17–21.
10. Mariev P. L., Kuleshov A. A., Egorov A. N., Zyryanov I. V. 2004, *Kar'yernyi avtotransport: sostoyanie i perspektivy* [Quarry transport: status and prospects]. St. Petersburg, 429 p.
11. Smirnov V. P., Lel' Yu. I., 2002, *Teoriya kar'yernogo bol'shegruznogo avtotransporta* [The theory of the quarry heavy vehicles]. Ekaterinburg, 355 p.
12. Il'bul'din, D. H., Lel' Yu. I., Gorshkov E. V. 2009, *Otsenka effektivnosti system kontrolya raskhoda topliva na gornoy i avtomobil'noy tekhnike* [Assessment of efficiency of the systems of fuel consumption control for mining and automotive technics]. *Geotekhnologicheskie problemy kompleksnogo osvoeniya nedr: sbornik nauchnykh trudov* [Geotechnological problems of integrated subsurface development: a collection of scientific papers], vol. 5(95). Ekaterinburg, pp. 363–372.
13. Lel' Yu. I., Salakhiev R. G., Aref'yev S. A., Sandrigailo I. N. 2014, *Sovershenstvovanye normirovanya raskhoda topliva kar'yernymi avtosamosvalami na osnove horizontal'nykh equivalentov vertical'nogo peremeshchenya gornoy massy* [Improving the rationing of fuel consumption of mining dump trucks, based on the horizontal equivalent of the vertical movement of the rock mass]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2, pp. 107–116.
14. 1983, Atkinson T., Walton G. Design and layout of trunk roads for land mines. Surface mining and celeritate. Porridge. 2nd Int. Symposium (Bristol, 4–6 Oct. 1983). London, pp. 369–381.
15. 1987, Willemson O. S. The design of roads for off-road mining equipment. *World mining equipment*, vol. 12, no. 3, pp. 24–26.

Юрий Иванович Лель,
lel49@mail.ru
Ольга Владимировна Мусихина,
musihina _o@mail.ru
Игорь Андреевич Глебов
gleb_igor@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Игорь Владимирович Зырянов,
zyryanovIV@alrosa.ru
Давлят Хурматович Ильбульдин
ilbuldindkh@alrosa.ru
Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО)
Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 39

Yuriy Ivanovich Lel',
lel49@mail.ru
Ol'ga Vladimirovna Musikhina,
musihina _o@mail.ru
Igor' Andreevich Glebov
gleb_igor@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Igor' Vladimirovich Zyryanov,
zyryanovIV@alrosa.ru
Davlyat Khurmatovich Il'bul'din
ilbuldindkh@alrosa.ru
Institute "Yakutniproalmaz" AK "ALROSA" (PJSC)
Mirnyi, Sakha (Yakutia) Republic

УДК 621.867.2:69.002.68 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-72-76

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРУБЧАТЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. Я. Давыдов, Н. Г. Валиев, М. С. Филатов, Н. И. Полежаев, Г. Г. Кожушко

The use of tubular belt conveyors for the industrial waste of enterprises

S. Ya. Davydov, N. G. Valiev, M. S. Filatov, N. I. Polezhaev, G. G. Kozhushko

The methods of processing slag of electrolyzers and reverberatory furnaces slag of secondary aluminum production, obtained after extracting aluminum, as well as ash and slag of thermal power plants, hydro plants, waste of ferrous metallurgy in the construction industry are presented in this work. Tubular belt conveyor (TBC) with the use of special expensive tapes, are widely used abroad for moving industrial raw materials. It is also used in Russia (Lebedinsky ore-dressing and processing enterprise and Reftinskaya hydro power). A tape which is rolled in a tube allows to improve the sanitary conditions of labor, to ensure the full safety of cargo, to exclude the harmful effects of aggressive chemical cargoes at the metal of the conveyor, extending its service life. There is an opportunity to convey materials under the angle of 20–25°. The main drawback of TBC, which exist today, is that they are working on an especially patented tape, which is very expensive and it is not produced in Russia. The costs of its replacement are comparable to the price of the pipeline. The Russian customers have already faced this problem. The components are not produced in Russia either, and the cost of their subsequent purchases increases dramatically.

The technical parameters of TBC of the Lebedinsky ore-dressing and processing enterprise and the Reftinskaya hydro power, as well as a comparative table on the use of TBC are presented in this work. Lists of the advantages of TBC are also adduced. The characteristic of TBC Contitech are given.

The use of modern anti-static and flame retardant polymeric materials in the manufacture of the rollers will allow further progress in solving the issues of safe operation of belt conveyors. Such important parameters as reliability and maintainability were taken into account while constructing these conveyors. The tests to replace the metal clips with the rollers, which are made of anti-static polymers are carried out. This will reduce the weight of the roller to 200-800 g, which will increase its service life and will improve the working conditions in mines and processing plants. The calculation of the contact supporting cylindrical rollers and ball of equal mass and tubular tapes has been carried out. In order to study the feasibility of using balls instead of cylindrical rollers, a comparative evaluation of the contact interaction has been carried out for two cases: cylinder-cylinder and sphere-cylinder bodies of different material. The evaluation has been carried out for the case with the same material as well.

Keywords: industrial waste; tubular belt conveyor (TLC); sliding friction; a raceway; ball bearings.

Представлены способы переработки шлаков электролизеров и отражательных печей, шлаков производства вторичного алюминия, образующихся после извлечения из них алюминия, а также зол и шлаков ТЭС, ГРЭС, отходы черной металлурги в стройиндустрии. Перечислены преимущества трубчатых ленточных конвейеров. Даны технические параметры трубчатого ленточного конвейера (ТЛК) Лебединского ГОКа и Рефтинской ГРЭС, а также сравнительная таблица по использованию ТЛК. Дана характеристика ТЛК Contitech. Выполнен расчет контакта опорных цилиндрических и шаровых роликов, одинаковых по массе, и трубчатой ленты. Для исследования целесообразности использования шаров вместо цилиндрических роликов приведена сравнительная оценка контактного взаимодействия в двух случаях: *цилиндр–цилиндр* и *шар–цилиндр* для тел из разного и одинакового материала. По итогам выполненной работы можно сделать вывод, что у шарового ролика давление больше цилиндрического, следовательно, необходимо увеличить их число. Согласно данным центра экологической политики и права при Йельском университете, Россия находится на 32 месте по состоянию экологии. Использование трубчатых ленточных конвейеров в разных отраслях промышленности способствовало улучшению этого показателя, а применение энергосберегающих технологий и конструктивных решений для этих конвейеров могло бы стать хорошим подспорьем для экономики России.

Ключевые слова: техногенные отходы; трубчатый ленточный конвейер (ТЛК); трение скольжения; дорожка качения; шаровые опоры.

Развитие теплоэнергетики, увеличение добычи полезных ископаемых, повышение объемов выплавки металлов привело к значительному накоплению различных видов отходов, образующихся как в процессе производства, так и на различных стадиях их переработки. Отходы загрязняют окружающую среду и вместе с тем представляют собой ценное минеральное сырье, которое может быть использовано для производства строительных материалов.

Существует большое количество технологий переработки отходов, накопившихся на металлургических, машиностроительных, химических заводах, ТЭЦ, ГРЭС, горно-обогатительных комбинатах. Наиболее хорошо изучены и нашли применение золы и шлаки ТЭЦ, ГРЭС, отходы черной металлургии.

В последние годы проводятся исследования по использованию техногенных отходов. Такая тенденция обусловлена истощением природных ресурсов и ухудшением экологической обстановки в промышленных регионах. Техногенные отходы предприятий – это ценное сырье для получения продукции в отраслях народного хозяйства.

Одним из видов отходов, не утилизируемых в настоящее время, являются отходы производства алюминия (шлаки электролизеров и отражательных печей, шлаки производства вторичного алюминия) – ОПВА [1].

Для перемещения техногенного сырья трубчатые ленточные конвейеры (ТЛК) с применением специальной дорогостоящей ленты широко применяются за рубежом и единично в России (на Лебединском ГОКе [2] и Рефтинской ГРЭС [3]). Свернутая в трубу лента позволяет улучшить санитарные условия труда, обеспечить полную сохранность груза, исключить вредное воздействие химических агрессивных грузов на металлоконструкцию конвейера, удлиняя срок его эксплуатации. Появляется возможность транспортировать материалы под углом 20–25°.

Основным недостатком существующих до сегодняшнего дня конструкций ТЛК является то, что они работают на запатентованной специальной и очень дорогостоящей ленте, которая в РФ не производится, а затраты при ее замене сопоставимы с ценой самого конвейера, с чем уже столкнулись российские заказчики. Комплектующие в России тоже не производятся, а стоимость их при последующих закупках резко увеличивается. Фактически это продуманная стратегическая политика зарубежных производителей по созданию зависимости российских потребителей от поставок извне.

В России для транспортирования насыпных грузов конвейеры нового поколения изготавливает компания «Конвейер-груп» [4].

Ниже приведены характеристики трубчатых ленточных конвейеров Contitech [5].

Ориентировочные значения для определения размеров при проектировании:

Ширина ленты *B*, мм	От 600 до 3200*
Наружный диаметр *D*, мм	От 150 до 900*
Рекомендуемый коэффициент заполнения η, %	75
Рекомендуемая скорость транспортировки (в зависимости от наружного диаметра роликоопор) v, м/с	От 2,3 до 6,5*
Максимальный размер кусков (в зависимости от внутреннего диаметра трубчатой ленты и параметров конвейерной установки) *d*, мм	От 50 до 350*
Угол отклонения для горизонтальных и вертикальных поворотов α, град.	0–90
Максимальный угол наклона β, град.	30°
Наименьший радиус кривой для горизонтальных и вертикальных поворотов трассы транспортировки:	
для резинотканевых трубчатых лент	$R_{тк}$ = Внешний диаметр x 300

Наименьшая длина для участков сворачивания и разворачивания трубчатой конвейерной ленты:

для резинотросовых трубчатых лент	$R_{тр}$ = Внешний диаметр x 600
для резинотканевых трубчатых лент	$l_{тк}$ = Внешний диаметр x 30
для резинотросовых трубчатых лент	$l_{тр}$ = Внешний диаметр x 60

Максимальная объемная производительность $V_{max} \approx 1500^*$ м³/ч при скорости транспортировки v = 1 м/с, максимальном наружном диаметре D = 900* мм и коэффициенте заполнения η = 75 %. * Наружный диаметр свыше D = 700 мм имеет новое изделие серии Conti® MegaPipe.

Многолетний опыт эксплуатации в жестких условиях, конструктивные особенности и оригинальные технические решения определили ряд важных преимуществ по сравнению с классическими конвейерами [4]:

– уменьшенную на 30–50 % потребность в конвейерной ленте и возможность использовать дешевую ленту отечественного производства с увеличением в 1,5–2 раза срока ее службы;

– возможность транспортирования как крупнокусковых, так и пылящих мелкодисперсных материалов с сохранением их качества, исключением пыления и просыпания транспортируемых грузов;

– возможность повышения угла наклона конвейера до 35–45° при использовании гладкой отечественной ленты и до 60–70° – на шевронной ленте;

– уменьшение энергоемкости транспортирования грузов в 1,5–2 раза;

– возможность реконструкции классических ленточных конвейеров с увеличением производительности до 30 %;

– защита грузов от внешних воздействий, что улучшает экологическую обстановку в местах эксплуатации конвейеров;

– возможность горизонтальных и вертикальных изгибов трассы конвейера, что позволяет транспортировать грузы на значительные расстояния без узлов перегрузки, которые снижают надежность конвейерных линий.

Применение современных антистатических и негорючих полимерных материалов при изготовлении роликов позволит еще более продвинуться в решении вопросов безопасной эксплуатации ленточных конвейеров.

В конструкции конвейеров учтены такие важные параметры, как эксплуатационная надежность и ремонтопригодность. Проводятся испытания по замене металлических роликов на ролики, изготовленные из антистатических полимеров, что позволит уменьшить массу ролика до 200–800 г, увеличит срок его службы и улучшит условия труда в шахтах, рудниках и на обогатительных фабриках [4].

Ужесточение мер по охране окружающей среды способствует интенсивному развитию герметически закрытых способов транспортирования грузов, один из которых реализован при использовании ТЛК. В табл. 1 представлен перечень 10 ТЛК [6].

В России трубчатый ленточный конвейер эксплуатируется на Лебединском ГОКе для подачи окатышей с фабрики окомкования в цех горячебрикетированного железа [2]. В 2015 г. компания «Спецстроймонтажпром» приступила к реализации контракта по объекту «Открытая эстакада трубчатого конвейера транспортировки оксидов» в рамках строительства цеха горячебрикетированного железа № 3 (ЦГБЖ-3) на Лебединском ГОКе (Белгородская обл.) [7].

а

б

Рисунок 1. ТЛК золы Рефтинской ГРЭС. *а* – общий вид трассы 4390 м; *б* – грузовая и порожняя ветви свернутой в трубу ленты с цилиндрическими роликоопорами.

Таблица 1. Перечень 10 протяженных ТЛК.

Предприятие, страна	Длина, м	Диаметр, мм	Грузопоток, т/ч	Груз	Ввод в эксплуатацию, год	Размер частиц, мм
Chanda, India	147	240	250	Цемент	2001	< 3500
Tadipatri, India	470	315	800	Клинкер	2000	< 25
Richards Bay, South Africa	870	360	≤ 2500	Циркон Рутил Ильменит	2002	2
Vikram Cement, India	400	240	385	Цемент	2004	4000
Sterlite LDC, India	5000	400	1150	Бокситы	2005	< 80
Dalmha Cement Ltd, India	184	260	250	Гипс Цементные добавки	2005	80
CNOOC, China	2200	–	400	Кокс	2011	–
Рефтинская ГРЭС, Россия	4390	570	2200	Зола	2015	–
Лебединский ГОК, Россия	1010	300	900	Железорудные окатыши	2006	До 20
Salobo–Para, Brazil	1800	500	4600	Медный концентрат	–	–

Техническая характеристика ТЛК Лебединского ГОКа [2].

Производительность, т/ч	900
Длина конвейера, м	1010
Радиус изгиба, м	140
Диаметр трубы, мм	300
Ширина ленты, мм	1100
Скорость движения ленты, м/с	2,62

В 2015 г. на Рефтинской ГРЭС запущен экологический проект по использованию золы в стройиндустрии. При этом для транспортировки 2200 т/ч материала с температурой +90 °С при температуре окружающей среды –45 °С со скоростью 5,2 м/с использован ТЛК (рис. 1). При длине конвейера 4390 м и высоте транспортировки 30 м система имеет 5 горизонтальных и один вертикальный поворот. Минимальный радиусом кривизны равен 420 м. В системе установлена высокоскоростная резинотросовая трубчатая конвейерная лента CONTIR PIPE 2500 S-K2, 8:7, Vulcan T150 шириной 2000 мм и внешним диаметром трубчатой ленты 570 мм [5].

Промышленное применение трубчатых конвейеров показало, что обжимные ролики с затруднением вписываются в поперечное сечение этих конвейеров [8]. При любом незначительном перекосе установленных обжимных роликов относительно движущейся ленты возникают значительные силы сопротивления их вращению. Происходит это за счет создания трения между поверхностями обжимных роликов и движущейся ленты триботехнической системы, влияющего на коэффициент трения. Это, в свою очередь, отражается на потреблении энергозатрат, долговечности и безотказности конструктивных элементов конвейера.

Сила трения качения зависит не только от давления, материалов и состояния поверхности, но и от радиусов тел качения. Поэтому коэффициент трения качения имеет размерность длины. Его физический смысл – ширина участка деформации, возникающей в районе контакта катящегося тела и поверхности опоры.

Следует отметить, что сохранение трубчатой формы ленты и удержание свернутой ленты внахлест намного усложняют конструкцию конвейера, что приводит к отказам ее элементов, увеличению площади фактического контакта поверхностей трения и повышению энергозатрат.

В работе [8] было рассмотрено влияние перекоса роликов на сопротивление движению ленты. Вследствие перекоса роликов тратится больше энергии на преодоление сил трения, а учитывая то, что длина ТЛК может составлять десятки километров, то потери получаются довольно внушительными. Во избежание излишних потерь на преодоление сил трения была предложена замена роликов на шары, двигающиеся по дорожке качения вдоль движения ленты.

Согласно патенту [9], шары заключены внутри своих чашек в виде вогнутых полусфер и контактируют с ними, фиксируются уплотнительными прокладками и пластинами, которые находятся в контакте с полусферами, что в сумме вызывает значительное повышение коэффициентов трения, приводящих к интенсивному износу и нагреву поверхностей трения триботехнической системы. Отсутствие наличия зазора между сферами шаров и многочисленных контактных элементов также вызывает значительное повышение коэффициента трения. Все перечисленное создает дополнительные сопротивления вращению шаров и усложняет конструкцию данного узла. Сопротивление вращению шаров отражается на потреблении энергозатрат, долговечности и безотказности конструктивных элементов конвейера.

С учетом указанных недостатков разработан конвейер с опорами, выполненными в виде пустотелых сфер [10]. Авторами были проведены дополнительные работы по уменьшению сил трения скольжения, т. е. был разработан вариант шаровых опор только с трением качения [11]. Для уменьшения давления на пятно контакта шаров и поверхности трубчатой ленты предложено выполнить поверхность шаров из антифрикционного материала.

Разработаны и экспериментально обоснованы конструктивные параметры полузамкнутого трубчатого ленточного конвейера с кромками, обращенными вверх, что отражается на значительном снижении нагрузок от скручивающего ленту момента и позволяет до 30 % увеличить его производительность по сравнению с известным загибом этой же ленты внахлест.

Для исследования целесообразности использования шаров вместо цилиндрических роликов проведена сравнительная оценка контактного взаимодействия в двух случаях: *цилиндр–цилиндр* и *шар–цилиндр*. Свернутая в трубу лента представляет собой цилиндр так же, как и опорный ролик, а шаровая опора соответственно шар, поэтому была выполнена сравнительная оценка контактного взаимодействия в двух случаях: *цилиндр–цилиндр* и *шар–цилиндр* [12].

Расчет контакта опорных цилиндрических и шаровых роликов, одинаковых по массе, и трубчатой ленты был выполнен с использованием следующих исходных данных [2, 13]:

Радиус трубы ленты R_1, м	0,15
Радиус опорного ролика или шара R_2, м	0,054
Модуль упругости стали E_1, МПа	$2 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона для стали ϑ_1	0,3
Модуль упругости резины E_2, МПа	27
Коэффициент Пуассона для резины ϑ_2	0,5
Модуль упругости углепластика E_3, МПа	$1{,}4 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона для углепластика ϑ_3	0,3
Насыпная плотность груза ρ_1, кг/м³	2100
Плотность ленты ρ_1, кг/м³	1800
Ширина ленты B, м	1,1
Толщина ленты δ, м	0,012
Коэффициент заполнения φ, %	70
Расстояние между роликоопорами l, м	1,2

Прикладываемую нагрузку рассчитаем по следующей формуле:

$$P = \rho_1 g \pi R_1^2 l \varphi + \rho_2 g l \delta B = 1223 + 279 = 1502 \text{ Н}.$$

Расчет параметров контакта для двух цилиндров [12]

Размеры площадки контакта для тел из разных материалов:

– радиус контактной площадки a определяется формулой

$$a = m\sqrt{\frac{3\pi}{4} \cdot \frac{PE^*}{A+B}},$$

где E^* – эквивалентный модуль упругости, если материал контактирующих тел разный:

$$E^* = \frac{1-J_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-J_2^2}{\pi E_2};$$

A, B – постоянные коэффициенты, зависящие от радиусов R_1 и R_2:

$$A + B = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right);$$

$$B - A = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} + 2\frac{2\cos(2\psi)}{R_1 R_2}\right)^{1/2};$$

ψ – угол между плоскостями, содержащими радиусы R_1 и R_2; m, n – коэффициенты, которые берутся в зависимости от отношения $(B - A)/(A + B)$.

Половина ширины контактной площадки b определяется формулой

$$b = n\sqrt[3]{\frac{3\pi}{4} \cdot \frac{PE^*}{A+B}}.$$

Максимальное давление определяется формулой

$$q = \frac{3P}{2\pi ab}.$$

После подстановки конкретных значений имеем

$$a = 19{,}084 \text{ мм}; \; b = 9{,}93 \text{ мм}; \; q = 3{,}784 \text{ МПа}.$$

Размеры площадки контакта для тел из одинакового материала:

$$a = m\sqrt[3]{1{,}36\frac{P}{E(A+B)}} = 1{,}424\sqrt[3]{\frac{1502}{27\cdot 0{,}013}} = 25{,}614 \text{ мм};$$

$$b = n\sqrt[3]{1{,}36\frac{P}{E(A+B)}} = 0{,}741\sqrt[3]{\frac{1502}{27\cdot 0{,}013}} = 13{,}329 \text{ мм}.$$

Максимальное давление:

$$q = \frac{3P}{2\pi ab} = \frac{3\cdot 1502}{2\cdot 3{,}1415\cdot 25{,}902\cdot 13} = 2{,}102 \text{ МПа}.$$

Расчет параметров контакта для пары шар–цилиндр

Радиус площадки контакта для тел из разного материала (сталь и резина):

$$a = m\sqrt[3]{PE^{*}R_1} = 1{,}424\sqrt[3]{1502\cdot 0{,}008842\cdot 150} = 17{,}918 \text{ мм}.$$

Максимальное давление для тел из разного материала (сталь и резина):

$$q = m\sqrt[3]{\frac{P}{(E^{*})^2 R_1^2}} = 1{,}424\sqrt[3]{\frac{1502}{0{,}008842^2\cdot 150^2}} = 13{,}509 \text{ МПа}.$$

Радиус площадки контакта для тел из разного материала (углепластик и резина):

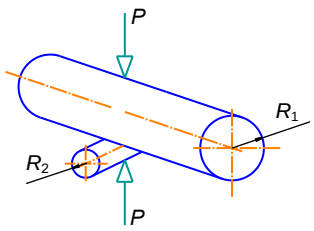
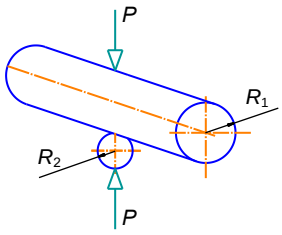
$$a = m\sqrt[3]{PE^{*}R_1} = 1{,}424\sqrt[3]{1502\cdot 0{,}008844\cdot 150} = 17{,}919 \text{ мм}.$$

Максимальное давление для тел из разного материала (углепластик и резина):

$$q = m\sqrt[3]{\frac{P}{(E^{*})^2 R_1^2}} = 1{,}424\sqrt[3]{\frac{1502}{0{,}008844^2\cdot 150^2}} = 13{,}5 \text{ МПа}.$$

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчета.

Цилиндр–цилиндр	Шар–цилиндр
	
Стальной опорный ролик и прорезиненная трубчатая лента	
Цилиндрический ролик	Шаровой ролик
a = 19,084 мм b = 9,93 мм q = 3,784 МПа	a = 17,918 мм q = 13,509 МПа
Футерованный резиной опорный ролик и прорезиненная трубчатая лента	
Цилиндрический ролик a = 25,614 мм b = 13,329 мм q = 2,102 МПа	

По результатам расчета давления опорного ролика на ленту при ее радиусах 100, 150, 200 и 250 мм на построен график зависимости давления от радиуса ленты (рис. 2).

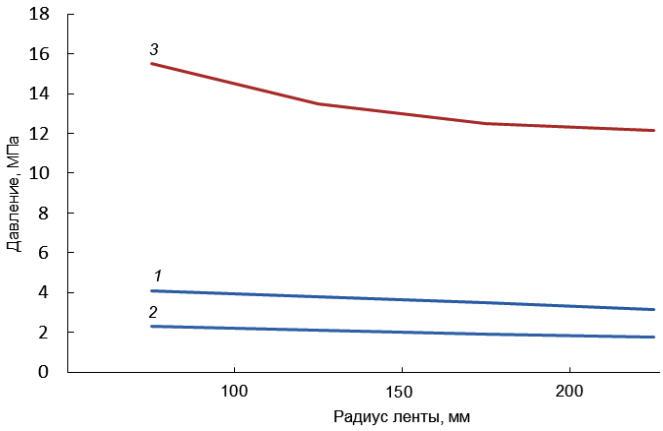


Рисунок 2. Зависимость давления, оказываемого на ленту, от радиуса ленты. Для цилиндрического ролика: *1* – разный материал; *2* – одинаковый материал; для шарового ролика: *3* – разные материалы.

Модули упругости углеволокна и стали практически не отличаются, поэтому график для углеволокна накладывается на график под цифрой *3*.

В результате выполненной работы можно сделать вывод, что у шарового ролика давление больше цилиндрического, следовательно, необходимо увеличить их число.

Таким образом, разработан конвейер с опорами, выполненными в виде пустотелых сфер. Дополнительно для уменьшения сил трения скольжения авторы разработали вариант шаровых опор только с трением качения. Для уменьшения давления на пятно контакта шаров и поверхности трубчатой ленты предложено выполнить поверхность шаров из антифрикционного материала. Разработаны и экспериментально обоснованы конструктивные параметры полузамкнутого трубчатого ленточного конвейера с кромками, обращенными вверх, что отражается на значительном снижении нагрузок от скручивающего ленту момента и позволяет до 30 % увеличить его производительность по сравнению с известным загибом этой же ленты внахлест.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козловский Е. Ю. Отходы производства вторичного алюминия – сырье для получения огнеупорных материалов. URL: http://indinn.ru/stati/2015-02-10/otkhody-proizvodstva-vtorichnogo-alyuminiya-syre-dlya-polucheniy
2. Давыдов С. Я. Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2007. 317 с.
3. ContiTech. URL: http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
4. Ивченко В. Н., Куров С. В. Беспросыпные ленточные конвейеры. URL: http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1254-besprosypnye-lentochnye-konvejery
5. ContiTech. URL: http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
6. Научные основы создания ленточных трубчатых конвейеров для горной промышленности. URL: http://pandia.ru/text/80/138/9642.php
7. Открытая эстакада трубчатого конвейера транспортировки оксидов. URL: http://ssmprom.ru/otkrytaya-estakada-trubchatogo-konvejera-transportirovki-oksidov/
8. Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Боярских Г. А., Филатов М. С. Предпосылки создания энергосберегающих конструкций трубчатых ленточных конвейеров // Новые огнеупоры. 2016. № 10. С. 22–26.
9. Трубчатый конвейер: пат. 2006256781 (A) JP. № 20050076335; заявл. 17.03.05.
10. Ленточный конвейер: пат. 2548218 Рос. Федерация. № 2013134805; заявл. 23.07.13; опубл. 20.04.15, Бюл. № 11.
11. Ленточный конвейер с шаровыми опорами: пат. 169842 Рос. Федерация. № 2016145381; заявл. 18.11.16; опубл. 04.04.17, Бюл. № 10.
12. Менькова Н. М. Применение контактной задачи теории упругости в прикладной механике. М., 2012. 14 с. URL: http://ira.menkova.ru/Contact.pdf
13. Тяговый расчет ленточных трубчатых конвейеров. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/tyagovyy-raschet-lentochnyh-trubchatyh-konveyerov

REFERENCES

1. Kozlovsky E. Yu. *Otkhody proizvodstva vtorichnogo aluminiya – syr'yo dlya poluchenya ogneupornykh materialov* [Waste from secondary aluminum production as a raw material for obtaining refractories]. URL: http://indinn.ru/stati/2015-02-10/otkhody-proizvodstva-vtorichnogo-alyuminiya-syre-dlya-polucheniy

2. Davydov S. Ya. 2007, *Energosberegayushcheye oborudovanie dlya transportirovki sypuchikh materialov: issledovanie, razrabotka, proizvodstvo* [Energy-saving equipment for transporting bulk materials: research, development, and manufacture]. Ekaterinburg, 317 p.
3. ContiTech. URL: http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
4. Ivchenko V. N., Kurov S. V. *Besprosypnye lentochnye conveyery* [Non-spilling belt conveyors]. URL: http://www.mining-media.ru/ru/article/transport/1254-besprosypnye-lentochnye-konvejery
5. ContiTech. URL: http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/brochures/wt9016_conti_pipe_ru.pdf
6. *Nauchnye osnovy sozdanya lentochnykh trubchatykh conveyerov dlya gornoy promyshlennosti* [Scientific basis of creating tape tubular conveyor for the mining industry]. URL: http://pandia.ru/text/80/138/9642.php
7. *Otkrytaya estakada trubchatogo conveyera transportirovki oksidov* [Elevated tracks of the tubular conveyor for transporting oxides]. URL: http://ssmprom.ru/otkrytaya-estakada-trubchatogo-konvejera-transportirovki-oksidov
8. Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Boyarskiy, G. A., Filatov M. S. 2016, *Predposylki sozdaniya energosberegayushchikh constructsyi trubchatykh lentochnykh conveyerov* [Background for building energy-saving structures of tubular belt conveyors]. *Novye ogneupory* [New Refractories], no. 10, pp. 22–26.
9. 2005, Tubular conveyor. Patent Japan, no. 2006256781.
10. 2015, Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Boyarskikh G. A. *Lentochnyi konveyer* [Belt conveyor]. Patent RF, no. 2548218.
11. 2017, Tauger V. M., Davydov S. Ya., Boyarskikh G. A., Filatov M. S. *Lentochnyi konveyer s sharovymi oporami* [Belt conveyor with ball bearings]. Patent RF, no. 169842.
12. Men'kova N. M. 2012, *Primenenie kontaktnoy zadachi teorii uprugosti v prikladnoy mekhanike* [Applying the Contact Issue of the Elasticity Theory in Applied Mechanics]. Moscow, 14 p. URL: http://ira.menkova.ru/Contact.pdf
13. *Tyagovyi raschyot lentochnykh trubchatykh conveyerov* [Traction Calculation of Tubular Belt Conveyors]. URL: http://cyberleninka.ru/article/n/tyagovyy-raschet-lentochnyh-trubchatyh-konveyerov

Станислав Яковлевич Давыдов,
davidovtrans@mail.ru
Нияз Гадым оглы Валиев,
gtf.gd@m.ursmu.ru
Михаил Сергеевич Филатов
medvedgornyak@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Николай Иванович Полежаев,
apyff@mail.ru
Герман Георгиевич Кожушко
ptmir@inbox.ru
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Stanislav Yakovlevich Davydov,
davidovtrans@mail.ru
Niyaz Gadym ogly Valiev,
gtf.gd@m.ursmu.ru
Mikhail Sergeevich Filatov
medvedgornyak@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Nikolay Ivanovich Polezhaev,
apyff@mail.ru
German Georgievich Kozhusko
ptmir@inbox.ru
Ural Federal University named after the First President of Russia
B. N. Yeltsin
Ekaterinburg, Russia

УДК 550.832 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-77-83

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЛЕКТОРОВ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ В ИЗВЕСТНЯКОВО-МЕРГЕЛЬНЫХ ТОЛЩАХ

В. М. Сеидов, Е. Т. Алибекова

Methods to evaluate some reservoir characterization by means of the geophysical data in the strata of limestone and marl

V. M. Seidov, E. T. Alibekova

As we know, the main goal of interpreting the materials of well logging, including the allocation of collectors and assessment of their saturation, are successfully achieved when the process of interpretation has a strong methodological support. This means, that it is justified by the necessary interpretational models and effective instructional techniques are used. They are based on structural and petrophysical models of reservoirs of the section investigated. The problem of studying the marl rocks with the help of the geophysical methods is not worked out properly. Many years of experience of studying limestone and marl rocks has made it possible to justify the optimal method of data interpretation of geophysical research wells in carbonate sections, which was represented by limestone and marl formations. A new method was developed to study marl rocks. It includes the following main studies: detection of reservoirs in the carbonate section according to the materials of geophysical studies of wells; determination of the geophysical parameters of each reservoir; assessment of the quality of well logging curves; introduction of amendments; selection of reference layers; the calculation of the relative double differencing parameters; the involvement of core data; identifying the lithological rock composition; the rationale for structural models of reservoirs; the definition of the block and of the total porosity; determination of argillaceous carbonate rocks; determination of the coefficient of water saturation of formations based on the type of the collector; setting a critical value for effective porosity, etc. This method was applied in the Eocene deposits of the Interfluve of the Kura and Iori, which is a promising object of hydrocarbons in Azerbaijan. The following conclusions have been made: this methodology successfully solves the problem of petrophysical characteristics of marl rocks; bad connection is observed between some of the reservoir parameters and permeability of the Eocene rocks in the Interfluve of the Kura and Iori; the presence of marl rocks in this region complicates the structural model; testing leads to deterioration of the filtration properties of reservoirs etc.

Keywords: marl; rocks; manifold; curves; porosity; logging; formation; method.

Как известно, основные задачи интерпретации материалов ГИС (геофизические исследования скважин), в том числе выделение коллекторов и оценка характера их насыщения, успешно решаются, когда процесс интерпретации имеет надежное методическое обеспечение, т. е. обоснованы необходимые интерпретационные модели и используются эффективные методические приемы, основанные на структурных и петрофизических моделях коллекторов исследуемого разреза. Проблема исследования мергельных пород геофизическими методами разработана слабо. Многолетний опыт изучения известняково-мергельных пород позволил обосновать оптимальную методику интерпретации данных геофизических исследований скважин карбонатных разрезов, представленных известняково-мергельными образованиями. Для исследования мергельных пород разработана новая методика. В нее входят следующие основные исследования: выделение коллекторов в карбонатном разрезе по материалам геофизических исследований скважин; определение величины геофизических параметров каждого пласта; оценка качества кривых каротажа; введение поправки; выделение опорных пластов; расчет относительных двойных разностных параметров; привлечение керновых данных; определение литологического состава пород; обоснование структурной модели коллекторов; определение блоковой и общей пористости; определение глинистости карбонатных пород; определение коэффициента водонасыщенности пластов, исходя из типа коллектора; установление критического значения эффективной пористости и т. д. Методика применена в эоценовых отложениях Междуречья Куры и Иори, являющихся перспективным объектом углеводорода в Азербайджане. Сделаны следующие основные выводы: методика успешно решает проблему изучения петрофизических характеристик мергельных пород; между некоторыми коллекторскими параметрами и проницаемостью в эоценовых породах Междуречья Куры и Иори наблюдается плохая связь; в рассматриваемом регионе присутствие мергельных пород усложняет структурную модель; опробование приводит к ухудшению фильтрационных свойств пластов-коллекторов и т. д.

Ключевые слова: мергель; породы; коллектор; кривые; пористость; каротаж; пласт; метод.

Методика этапов обработки материалов

Обработка материалов проводится по следующим этапам:

– исследуемый разрез по всему интервалу (без пропусков) разбивается на пласты по комплексу каротажных кривых;

– со всех кривых снимаются значения каротажа для каждого выделенного пласта;

– проводится предварительная оценка качества кривых каротажа, и в случае плохого качества отдельных диаграмм они далее не участвуют в обработке;

– в кажущиеся значения каротажа вводятся поправки на влияние скважинных условий измерения (диаметра скважины, удельного веса глинистого раствора и его сопротивления), ограниченной мощности пластов, зон проникновения раствора в пласт и другие факторы;

– выбираются опорные пласты для методов ГК (гамма-каротаж), НГК (нейтронный гамма-каротаж) и СП (скважинная поляризация);

– производится расчет относительных двойных разностных параметров для методов ГК и НГК;

– по комплексу кривых каротажа с привлечением керновых данных определяется литологический состав пород;

– перед определением коллекторских свойств (пористости, глинистости) известняково-мергельных пород и сопутствующих им в исследуемом районе литотипов необходимо обосновать структурные модели коллекторов, определяющих выбор методических приемов (методики) интерпретации данных ГИС;

– определение блоковой и общей пористости производится по данным методов ГИС;

– глинистость карбонатных пород эоцена определяется двумя способами;

– эффективная пористость известняково-мергельных пород определяется путем введения поправок за глинистость (нерастворимый остаток) и остаточное нефтегазонасыщение в значение выбранной общей пористости, полученной по данным НГК, ННК (нейтрон-нейтронный каротаж), ГГК-П (гамма-гамма-каротаж, плотностномер) или пар методов АК (акустический каротаж)–НГК и др.;

– с помощью качественных и полуколичественных методов интерпретации материалов ГИС выделяются коллекторы в карбонатном разрезе и оценивается характер их насыщения;

– для выделенных нефтенасыщенных объектов вводятся поправки на влияние остаточного нефтенасыщения в зоне проникновения пластов в значение пористости, определенной по данным микробокового и других методов электрического каротажа, а также акустического каротажа;

– производится оценка вторичной, кавернозной и трещинной пористости;

– по данным об общей, блоковой, кавернозной и трещинной пористостях определяется тип исследуемого коллектора;

– определяется коэффициент водонасыщенности пластов исходя из типа коллектора;

– устанавливаются критические значения эффективной пористости для нефтенасыщенных пластов-коллекторов различного типа и литологического состава;

– на заключительном этапе интерпретации используются критические значения пористости.

Таблица 1. Геофизическая характеристика эоценовых пород площадей Центрального и Западного Азербайджана.

Литология	Удельное сопротивление, Ом · м	Диаметр скважины	АК, мкс/м	ГК, мкР/ч	НГК, усл. ед.
Известняк	19–50	Номинальный	170–260	4,3–7,1	1,32–3,22
Мергель	2,9–30	Номинальный или увеличенный	170–330	4,3–10,5	1,08–2,54
Туфогенные породы	2,5–12	Номинальный или увеличенный	190–330	7,25–10,8	1,1–2,44
Глины	0,6–3,0	Увеличенный	300–520	4,6–10,9	1,08–1,89
Песчано-алевролитовые породы	1,0–40	Номинальный или увеличенный	225–340	4,0–10,5	1,1–2,6

Применение метода

Исследуемый разрез по всему интервалу (без пропусков) разбивается на пласты по комплексу каротажных кривых.

Со всех кривых снимаются значения каротажа для каждого выделенного пласта. По одной из кривых каротажа, выбранной в качестве базисной, определяются глубины подошвы и кровли пластов и их мощности. Все эти данные заносятся в специальную таблицу, там же приводятся данные о скважине. В определенные колонки таблицы заносятся также данные по литологическому описанию керна.

Проводится предварительная оценка качества кривых каротажа, и в случае плохого качества отдельных диаграмм они далее не участвуют в обработке.

В кажущиеся значения электрического каротажа вводятся поправки на влияние скважинных условий измерения ограниченной мощности пластов, зон проникновения раствора в пласт и другие факторы и определяются истинные значения геофизических параметров $\rho_{пл}$, $\Delta U_{СП}$, I_{γ}, $I_{пу}$, Δt, $\delta_{п}$ и др.

Выбирают опорные пласты для методов ГК, НГК и СП. При этом находят два или несколько однородных пластов достаточной мощности с существенно различной глинистостью и пористостью в интервале или в некоторых случаях вблизи интервала исследования. Выбор опорных пластов может производиться двумя способами:

– по максимальным или минимальным откорректированным значениям геофизических параметров, наиболее четко отражающих литологию опорных пластов; эти значения должны соответствовать параметрам, установленным статистической обработкой каротажных характеристик пород исследуемого региона; так, например, в табл. 1 приведена геофизическая характеристика эоценовых пород площадей Центрального и Западного Азербайджана, в состав которых входят известняково-мергельные отложения; сравнение пределов геофизических параметров показывает, что для различных литологических разностей имеются значительные интервалы неоднозначности, отражающие сложный литологический состав эоценовых пород;

– по данным анализа различных кросс-плотов (частотных и *Z*-плотов) для парных методов БК (боковой каротаж) – НГК, ГК–НГК, БК–АК, АК–СП и др., где на характерных участках графика определяются параметры опорных пластов.

Производится расчет относительных двойных разностных параметров для методов ГК и НГК. Здесь же рассчитывают относительную приведенную аномалию СП $\alpha_{СП}$ [1].

По комплексу кривых каротажа с привлечением керновых данных определяют литологический состав пород. При этом используют качественные признаки на каротажных кривых для различных литологических типов пород исследуемого района. Так, например, среди пород известняково-мергельной пачки эоцена Центрального и Западного Азербайджана кроме указанных выше карбонатных пород можно выделить туфогенные (туфопесчаники, туфоалевролиты и туфомергели), глинистые (аргиллиты) и значительно реже песчано-алевритовые породы. На основании обобщения результатов петрофизического изучения кернового материала эоценовых пород Центрального и Западного Азербайджана были получены следующие характеристики их коллекторских свойств (табл. 2).

Привлекая данные о коллекторских свойствах пород, полученных лабораторными или геофизическими методами, с учетом табл. 2 уточняют литологический состав отложений изучаемой площади.

Перед определением коллекторских свойств (пористости, глинистости) известняково-мергельных пород и сопутствующих им в исследуемом районе литотипов необходимо обосновать структурные модели коллекторов, определяющих выбор методических приемов (методики) интерпретации данных ГИС. С этой целью анализируют информацию о геологических особенностях исследуемого разреза на данной площади (регионе). Рассмотрим это на примере эоценовых отложений Междуречья Куры и Иори, являющихся перспективным объектом для поисков залежей нефти и газа в Азербайджане [2, 3]. Как показали палеогеографические исследования, терригенно-карбонатные фации среднего эоцена в исследуемом регионе сложены туфопесчаниками, туфоалевролитами, органогенными пелитоморфными известняками и мергелями. Эти породы на стадии диагенеза и катагенеза, кроме первичной пористости, из-за явлений растворения, цементации, перекристаллизации и стилолизации приобрели также трещиноватость и кавернозность. Так, детальные лабораторные исследования эоценовых пород Междуречья Куры и Иори показали, что коллекторские свойства их связаны с трещинами и межзерновыми пустотами, при этом наблюдается несоответствие между проницаемостью, определенной на кернах, и фактическими дебитами нефти. Общее пустотное пространство пород-коллекторов здесь представлено, во-первых, первичными матричными межзерновыми порами, во- вторых, вторичными породами, образовавшимися в результате аутигенного преобразования туфогенного материала, и, в-третьих, сетью вторичных микро- и макротрещин [4]. По-видимому, фильтрационные свойства коллекторов эоцена обеспечиваются в основном трещиноватостью, а емкостные – пористостью матрицы. Следует отметить, что разрез эоценовых отложений в пределах Междуречья Куры и Иори делится на три части: нижний, средний и верхний.

В нижнем эоцене выделяются осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканогенные литофациальные типы пород [5–7]. Например, на площади Тарсдалляр отложения нижнего эоцена вскрыты на полную мощность 30–40 м в скважинах № 5, 6, 11 и представлены глинистыми мергелями, трещиноватыми, а также плотными известняками с прослоями мелкозернистого песчаника и аргиллита.

В среднем эоцене наблюдается литофациальная изменчивость отложений, в которой прослеживается определенная закономерность. Если в восточной Грузии разрез среднего эоцена выражен преимущественно вулканогенно-осадочными образованиями, то в пределах Азербайджанской части Междуречья Куры и Иори происходит уменьшение мощности этой литофации и увеличение объема осадочных пород. Разрез верхнего эоцена выражен в песчано-глинистой литофации с прослоями

Таблица 2. Коллекторские свойства эоценовых пород по керну для площадей Центрального и Западного Азербайджана.

Литология	Пористость, %	Карбонатность, %	Глинистость, %
Известняк	1,5–10	50–87	10–30
Мергель	1,5–14	30–75	20–50
Туфогенные породы	1,5–20	0–25	11,6–29
Глина	20–30	4–36	45–89

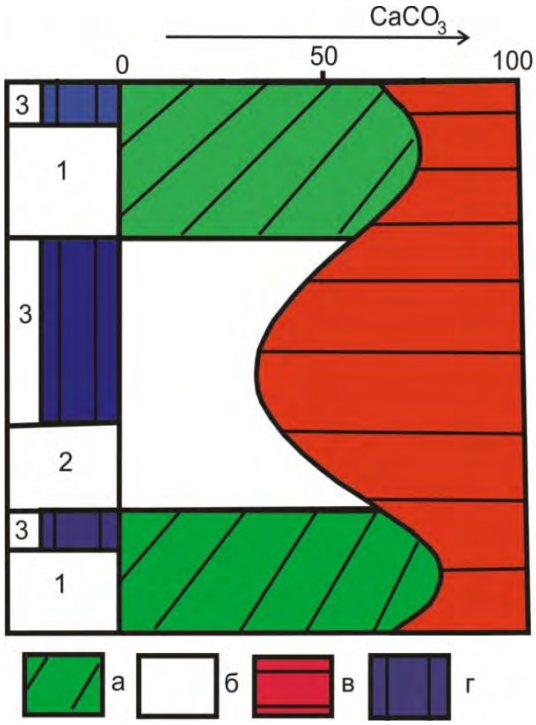


Рисунок. 1. Структурная модель коллектора, находящегося в мергельно-известковистом ритме. 1, 2 – пористость блоковая и вторичная (трещинная), соответственно, известняковая и мергельная составляющие; 3 – пористость глинистых компонентов. Литологические разности: а – известняк; б – мергель; в – глина (аргиллит); г – глинистый цемент.

вулканогенно-осадочных и карбонатных пород. Рассмотренные ранее литологические особенности эоценовых отложений позволили обосновать структурные модели мергельных и туфогенных коллекторов, с которыми связаны промышленные запасы залежей нефти и газа в исследуемом регионе. При обосновании структурных моделей коллекторов мергельных пород необходимо принимать во внимание генетическую природу известняково-мергельных циклов, которые характеризуют морскую седиментационную обстановку за пределами действия штормов. Основной литологической особенностью таких осадочных толщ, состоящих из глинистой и карбонатной частей, является их чрезвычайно изменчивый состав и нечеткие переходы от мергелей к глинистым известнякам и от аргиллитов к глинистым мергелям и мергелям.

На рис. 1 приведена графическая структурная модель коллектора, находящегося в мергельно-известковистом ритме, или, другими словами, структурная модель коллектора известняково-мергельного периода.

Следует отметить, что мощность чередующихся пропластков мергеля и известняка в таком периоде может изменяться от нескольких сантиметров до первых десятков сантиметров. Поэтому с учетом разрешающей способности большинства методов ГИС (до 0,5 м) информационный сигнал при геофизических изменениях получают от мергельно-известковистого ритма в целом, тогда как при лабораторном исследовании керна изучают отдельные части этого ритма. Важным выводом из представленной на рис. 1 структурной модели является суждение о смешанном типе глинистости известняково-мергельного коллектора, т. е. сочетании структурного и дисперсного типов глинистости. Кроме того, здесь возможно наличие вторичной пористости (трещин и реже каверн). В рассматриваемом регионе часто встречаются также туфомергельные разности пород. Наличие продуктов эксплозивной деятельности палеовулканов в составе мергельных пород усложняет структурную модель известняково-мергельного коллектора и его геофизическую характеристику, а также приводит к уменьшению пористости мергельных отложений. Кроме того, среди эоценовых отложений Междуречья Куры и Иори широкое распространение получили другие типы туфогенных пород: туфоалевролиты, туфопесчаники, туффиты и др.

Структурная модель туфопесчаника предложена Г. Я. Шиловым [4]. Характерной особенностью этой модели является представление о том, что туфогенный материал здесь выступает для метода ГК в качестве глинистости структурного типа.

Определение блоковой и общей пористости производится по данным методов ГИС. Блоковую пористость $K_{п.\ бл}$ определяют по данным электрического каротажа, используя значение $\rho_п$ или $\rho_{п.\ п}$ (удельные сопротивления промытой зоны пласта) сначала без учета остаточной нефтенасыщенности. При этом применяют петрофизическую зависимость типа $P_п = f(K_п)^5$, в которой структурный коэффициент в зависимости от литологии пород имеет следующие значения: для известняков – 0,2; для мергелей – 1,7; для туфогенных пород – 1,7; для песчано-алевролитовых пород – 1,8; для глин – 2,0. По данным НГК определяют общую пористость пластов. Для этой цели предлагается использовать петрофизические зависимости типа «керн-геофизика» $\Delta I_{пγ} f(K_п)$. При этом, в случае отличия характеристик опорных пластов в исследуемой скважине от значений опорных пластов, использованных в основных петрофизических зависимостях для определения пористости, необходимо построение новой шкалы в соответствии со значениями пористости опорных пластов исследуемой скважины. Для карбонатных пород эоцена (глинистых известняков, мергелей) общая пористость по НГК при изучении площадей Междуречья Куры и Иори определяется с помощью петрофизической зависимости $\Delta I_{пγ} f(K_п)$, которая аппроксимируется формулой [1, 8]:

$$K_{п\,НГК} = \exp\left(\frac{1,825 - \Delta I_{пγ}}{0,513}\right). \quad (1)$$

Для карбонатных пород эоцена площадей Евлах-Агджабединского прогиба пористость по НГК определяется из выражения:

$$K_{п\,НГК} = \exp\left(\frac{1,58 - \Delta I_{пγ}}{0,416}\right). \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) представляют собой аналитические петрофизические модели для оценки общей пористости по НГК. Аналогичные модели для туфогенных пород площадей указанных регионов приведены в [9]. Кроме ЭК (электрический каротаж) и НГК общая пористость определяется по плотностному каротажу (ГГК-П) и АК.

В заключение сравнивают значения общей пористости пластов, полученные по данным рассмотренных методов ГИС, и выбирают наиболее вероятное значение $K_{п.\ общ}$.

Глинистость карбонатных пород эоцена определяется двумя способами. Для отложений преимущественно известнякового состава, где можно пренебречь влиянием структурной глинистости, оценку коэффициента объемной глинистости производят по зависимости (петрофизической модели) типа $K_{гл} = f(\Delta I_γ)$, которая аппроксимируется следующей формулой [1]:

$$K_{гл} = 0,86\Delta I_γ.$$

При этом если значения опорных пластов по данной скважине отличаются от таковых, использованных при обосновании эталонной, то необходима перестройка шкалы $\Delta I_γ$ согласно известному подходу [8].

Для известняково-мергельных и мергельных пород эоцена, как следует из рассмотренной структурной модели коллектора этих пород (рис. 1), оценка их объемной глинистости $K_{гл}$ с помощью метода ГК практически неразрешима в связи с невозможностью разделения вкладов гамма-активностей глинистого цемента и структурной глинистости в общий сигнал интегрального (стандартного) гамма-каротажа. На первом этапе для мергельной пачки эоцена была построена палетка в координатах $K_{п.\ керн}$, Δt, где были использованы также значения массовой глинистости пород по керну $C_{гл}$, полученной с помощью гранулометрического анализа образцов. В результате был получен литологический треугольник для отложений известняково-мергельного состава,

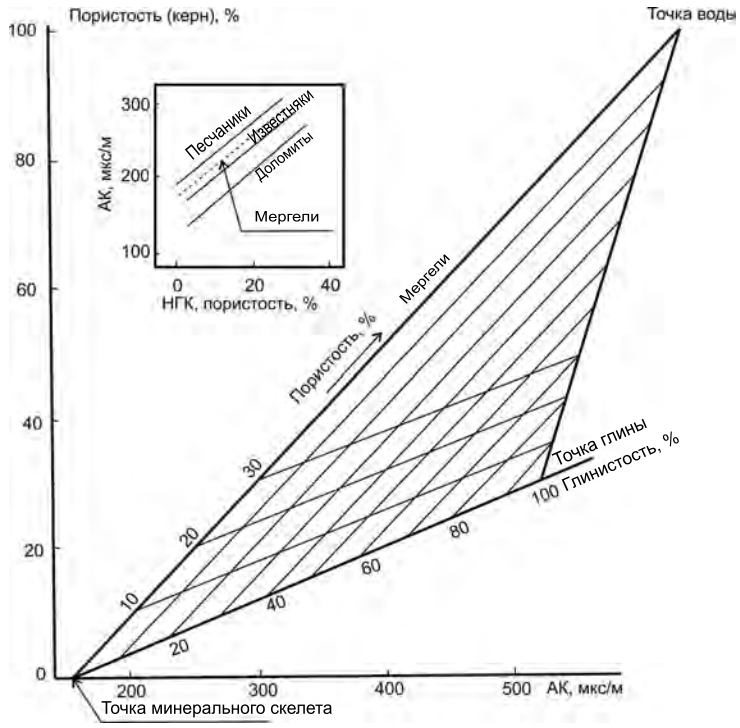


Рисунок 2. Палетка зависимости типа $K_{п.\ керн} = f(\Delta t)$ с учетом $C_{гл}^{керн}$ для оценки литологии, глинистости и пористости пород мергельной пачки эоцена.

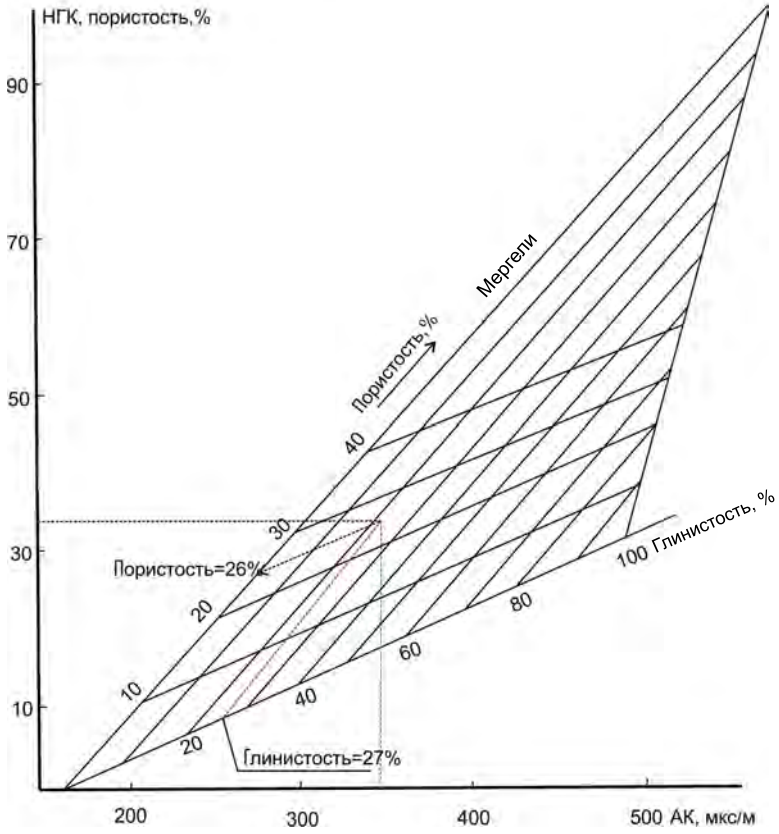


Рисунок 3. Палетка зависимости типа $K_{п\ НГК} = f(\Delta t)$ с учетом $K_{гл}$ для оценки литологии, глинистости и пористости пород мергельной пачки эоцена.

вершины которого имеют следующие координаты: 1 – точка минерального скелета ($K_п$ = 0; Δt = 155 мкс/м); 2 – точка воды ($K_п$ = 100 %; Δt = 630 мкс/м); 3 – точка глины ($K_п$ = 30 %; Δt = 520 мкс/м), рис. 2.

Эти параметры были получены как по результатам петрофизического исследования керна (литология, пористость), так и по данным ГИС Δt. На рассматриваемой палетке нанесены линии равных значений массовой глинистости и пористости по керну. На поле левого верхнего участка $K_{п.\ керн} = f(\Delta t)$ для сравнения показана стандартная комплексная палетка для методов АК–НГК, где пунктиром отмечена литологическая линия для мергелей. Как видно из рис. 2, она проходит выше литологической линии для известняков.

Имея такую палетку, основанную на петрофизических зависимостях типа «керн-геофизика», необходимо перейти к построению палетки, выражающей зависимость $K_{п.\ керн} = f(\Delta t)$.

Зависимость типа «геофизика-геофизика» $K_{п.\ керн} = f(\Delta t)$ непосредственно используется при количественной интерпретации данных каротажа для оценки литологии, пористости и глинистости пород мергельной пачки эоцена (рис. 3). Для этого необходимо получить ответы на два следующих вопроса. Во-первых, можно ли приравнять шкалу $K_{п.\ керн}$ керна рассматриваемой комплексной палетки к шкале $K_{п\ НГК}$? Второй вопрос состоит в следующем: изменятся ли координаты вершин литологического треугольника при переходе от палетки зависимости $K_{п.\ керн} = f(\Delta t)$ к палетке $K_{п\ НГК} = f(\Delta t)$? Отвечая на первый вопрос, можно дать удовлетворительный ответ, так как пористость образцов, установленная по керну, для поровых и порово-трещинных пород эоцена практически будет совпадать с таковой, определенной по данным НГК. Пористость по керну была использована для привлечения данных о массовой глинистости $C_{гл}$, что производится на одном и том же образце породы. Отвечая на второй вопрос, отметим, что координаты двух вершин треугольника (точки «воды» и «минерального скелета») останутся без изменения. Однако местоположение точки «глины» изменится в связи со следующими обстоятельствами. Дело в том, что параметры точки глины на палетке $K_{п.\ керн} = f(\Delta t)$ были взяты по результатам обобщения характеристик пластов глин, залегающих среди известняково-мергельных пластов. В то же время для правильной оценки мергельных пород параметры точки «глины» должны отражать петрофизические свойства не вмещающих глин, а глинистого цемента. Поэтому в данном случае изменится значение $\Delta t_{гл}$, так как большая степень уплотнения глинистого материала цемента, находящегося в поровом пространстве известняково-мергельных пород, по сравнению с близлежащими пластами глин, имеющих аномально высокие поровые давления, приводит к уменьшению величины интервального времени пробега волны $\Delta t_{гл}$.

Эффективную пористость известняково-мергельных пород определяют путем введения поправок на глинистость (нерастворимый остаток) и остаточное нефтегазонасыщение в значении выбранной общей пористости, полученной по данным НГК, ННК, ГГК-П или пар методов АК–НГК и др. Поправку на глинистость производят по формуле [10]:

$$K^{испр}_{п.\ общ} = K_{п.\ общ} - \omega_{св} K_{гл}, \qquad (3)$$

где $\omega_{св}$ – водосодержание связанной воды в глинистом цементе (пористость цемента). Для карбонатных пород эоцена установлено, что $\omega_{св} = 0{,}1$; $K_{гл}$ – объемная глинистость породы.

С помощью качественных и полуколичественных методов интерпретации материалов ГИС выделяют коллекторы в карбонатном разрезе и оценивают характер их насыщения. Следует отметить, что для оценки характера насыщения отложений эоцена, а также уточнения структурного коэффициента m и удельного сопротивления пластовой воды $\rho_в$ широко используют графики зависимостей $\rho_п = f(\Delta t)$, $\rho_п = f(K_{п\ НГК})$, $\rho_п = f(\delta_п)$ и др. В то же время для эоценовых пород исследуемого региона было установлено, что большая часть качественных признаков межзернового коллектора на каротажных диаграммах комплекса ГИС отсутствует. При этом для большинства исследуемых образцов керна характерно почти полное отсутствие проницаемости, что никак не согласуется с результатами опробования, подтвердившими значительную производительность скважин. В связи с этим отметим, что выделение коллекторов в разрезе эоцена возможно только по результатам количественной интерпретации материалов ГИС, т. е. с использованием граничных значений эффективной и вторичной пористости пластов.

Для выделенных нефтенасыщенных объектов вводятся поправки на влияние остаточного нефтенасыщения в зоне проникновения пластов в значения пористости, определение по данным микробокового и других методов электрического каротажа, а также акустического каротажа. Исправленное значение пористости по ЭК в первом приближении будет подсчитываться следующим образом:

$$K'_п = 1{,}3 K_п.$$

Для АК [11]

$$\left(K^{испр}_{п\ АК}\right)' = 0{,}9 K^{испр}_{п\ АК}.$$

Для нейтронных методов эта поправка имеет реальное значение только в случае остаточного газонасыщения.

Производят оценку вторичной, кавернозной и трещинной пористости по формулам; если блоковая пористость менее 5 %, то

$$\begin{cases} K_{п.\ втор} = K^{испр}_{п.\ общ} - K'_{п.\ р}; \\ K_{п.\ кав} = K^{испр}_{п.\ общ} - \left(K^{испр}_{п\ АК}\right)'; \\ K_{п.\ тр} = \left(K^{испр}_{п\ АК}\right)' - K'_{п.\ р}. \end{cases}$$

При пористости матрицы пород более 5 % справедливо условие

$$\begin{cases} K_{п.\ втор} = \frac{K^{испр}_{п.\ общ} - K'_{п.\ р}}{1 - K'_{п.\ р}}; \\ K_{п.\ кав} = K^{испр}_{п.\ общ} - \left(K^{испр}_{п\ АК}\right)'; \\ K_{п.\ тр} = \left(K^{испр}_{п\ АК}\right)' - K'_{п.\ р}\left(\frac{1 - K^{испр}_{п.\ общ}}{1 - K'_{п.\ р}}\right). \end{cases}$$

По полученным данным об общей, блоковой, кавернозной и трещинной пористостях определяют тип исследуемого коллектора. Например, если установлено $K^{испр}_{п.\ общ} \approx \left(K^{испр}_{п\ АК}\right)' \approx K'_п$, то это поровый коллектор. При наличии кавернозной или трещинной пористости возможно наличие смешанных типов коллекторов, т. е. кавернозно-трещинных, порово-трещинных и т. д.

Определяют коэффициент водонасыщенности $K_в$ пластов исходя из типа коллектора. Так, для поровых и смешанных типов коллекторов с преобладанием межзерновых эффективных пор используется выражение (3). Для трещинных и трещинно-кавернозных коллекторов в качестве значения $K_в$ можно принять величину $K_в = 0{,}1–0{,}3$.

При наличии замеров МБК (микробоковой каротаж) или МК (микрокаротаж) для поровых и порово-трещинных типов коллекторов определяется коэффициент водонасыщенности промытой зоны пластов:

$$K_в = \sqrt[n]{\frac{\left(K^{испр}_{п.\ общ}\right)^{-m} \rho_ф}{\rho_{п.\ п}}},$$

где $\rho_ф$, $\rho_{п.\ п}$ – удельные сопротивления фильтрата бурового раствора и промытой зоны пласта (по МК или МБК).

Как и для формулы (3), здесь принимается, что $m = n$.

Устанавливают критические значения эффективной пористости $K_п$ для нефтенасыщенных пластов-коллекторов различного типа и литологического состава. То есть для пластов, находящихся выше ВНК (водо-нефтяной контакт), строят графики зависимости $K_{в.\ о} = f\left(K^{испр}_{п.\ общ}\right)$, принимая в этом случае $K_{в.\ о} = K_в$ (остаточные водонасыщения).

Здесь важно определить граничное значение $K^*_в$, отделяющее водоносные коллекторы от продуктивных. Для этого были построены эмпирические распределения значений $K_в$ по ГИС для объектов, давших при опробовании нефть, и для водоносных объектов. Сравнение этих распределений показало, что граничное значение $K^*_в$ составляет 0,5 для отложений эоцена.

При отсутствии в интервале исследования нефтенасыщенных пород для водоносных коллекторов в качестве критических значений эффективной пористости берутся средние критические значения пористости по керну, полученные в результате статической обработки величин пористости по испытанным объектам, давших при опробовании приток флюида, и «сухих».

Так, например, для коллекторов мергельного состава площадей Евлах-Агджабединского прогиба установлено, что критическое значение пористости $K_п^* = 8\,\%$, для туфогенных пород – 14 % [3, 12]. С целью установления граничного значения пористости для известняково-мергельных коллекторов площадей Междуречья Куры и Иори были построены кривые распределения значений пористости по керну и НГК (с поправкой на глинистость $K_{п\,НГК}^{испр}$) для пластов-коллекторов и неколлекторов, подтвержденных данными опробования. При этом критическое значение $K_п^к$ по керну составило 11 %, а по НГК – 10,5 %. Эти данные в основном согласуются с критическим значением $K_п^* = 12\,\%$, полученным по зависимости $K_{в.\,о} = f(K_п)$. Для коллекторов трещинного типа можно использовать критическое значение трещинной пористости $K_{п.п.тр}^* = 0,5\,\%$.

Вычисляются соотношения $K_в/K_{в.\,п.\,п}$ для всех пластов (кроме глин) в интервале исследования и устанавливаются их критические значения $(K_в/K_{в.\,п.\,п})^*$ для карбонатных коллекторов. С этой целью проводится статистическая обработка (строятся кривые распределения) значений $K_в/K_{в.\,п.\,п}$ для испытуемых пластов, давших при опробовании приток флюида и «сухих». Как показали исследования, для поровых коллекторов эоцена критические значения $K_в/K_{в.\,п.\,п}$ колеблются в пределах 0,6–0,7.

На заключительном этапе интерпретации с учетом критических значений пористости $K_п^*$, $K_{п.\,втор}^*$ и $(K_в/K_{в.\,п.\,п})^*$ дается окончательная оценка коллекторских свойств пород, т. е. выделяются проницаемые пласты с подвижным флюидом, а также пласты с остаточной нефтью (битумом) и связанной водой – неколлекторы.

Для нефтеносных коллекторов подсчитываются значения коэффициента нефтенасыщенности $K_п$ по формуле $K_п = 1 - K_в$. Вместе с тем на площадях рассматриваемого региона, несмотря на относительно высокую геологическую эффективность разработанной технологии интерпретации данных ГИС, имеются случаи несовпадения данных опробования объектов эоцена после окончания бурения и геофизиических оценок продуктивности известняково-мергельных коллекторов, тогда как при их испытании в процессе бурения сразу после вскрытия с помощью испытателей пластов на трубах (ИПТ) получают промышленные притоки углеводородов. По мнению Г. Я. Шилова [4], это объясняется неэффективностью режимов опробования, не учитывающих особенности порово-трещинных коллекторов и природу взаимодействия трещинного массива среднего эоцена с вышезалегающими пластичными (глинистыми) отложениями.

Так, например, при испытании мергельных отложений среднего эоцена в скважине № 2 площади Большой Палантекан с помощью ИПТ сразу после вскрытия интервала 5112–5118 м был получен приток нефти дебитом 8 т/сут. Однако уже через 1,5 месяца при испытании этого же объекта также с помощью ИПТ был получен только незначительный приток раствора с пленкой нефти, а при опробовании интервала 5112–5294 м после окончания бурения – нефть дебитом 1 т/сут. По результатам интерпретации данных ГИС продуктивные объекты выделяются в верхней части среднего эоцена.

Проведенными исследованиями оптимальных режимов испытания порово-трещинных и трещинных коллекторов на площадях Среднекуринской впадины, куда входит рассматриваемый регион, было установлено, что для получения промышленных притоков нефти испытание этих типов необходимо проводить с пониженной депрессией (менее 15 мПа) при соблюдении технологического условия $P_{депр}/P_{репр} \geq 0,5$. В то же время в случае проявления так называемого «арочного» эффекта, под действием которого кольцевые сжимающие напряжения в коллекторе значительно снижаются вследствие деформации ствола скважины в вышележащих отложениях, большие притоки пластовых флюидов из порово-трещинных (трещинных) коллекторов можно получить и при испытаниях с большими депрессиями (до 30 мПа).

Анализ режимов испытания объектов эоцена на площадях Междуречья Куры и Иори показал, что опробование здесь проводят при максимальных депрессиях, что приводит к ухудшению фильтрационных свойств призабойной части пластов-коллекторов. С этим явлением встречаются при испытании эоцена через несколько недель после их вскрытия бурением. В первоначальный же период после их вскрытия проявляется «арочный» эффект, что позволяет получить промышленные притоки нефти и при больших депрессиях на пласт. Наличие «арочного» эффекта можно обнаружить путем обработки результатов временных исследований методом кавернометрии. Так, при исследовании этим методом в скважине № 2 площади было установлено увеличение кавернообразования в кровле среднего эоцена, представленного чередованием глинистых и известково-мергельных пород от 330 до 400 мм при номинальном диаметре скважины 151 мм. Аналогичные явления наблюдаются при испытании отложений эоцена и в других скважинах этого региона.

Таким образом, для определения геологической эффективности методов интерпретации данных ГИС сложнопостроенных коллекторов эоцена, а также для повышения эффективности применения ИПТ, необходимо анализировать и регулировать технологические параметры режимов испытания (величину депрессии) и возможность проявления «арочного» эффекта над трещиноватым массивом.

Выводы

Разработанные интерпретационные методы успешно решают проблему изучения петрофизических характеристик мергельных пород с использованием геофизических данных.

Выделены этапы интерпретации и разработаны соответствующие зависимости для расчета величины петрофизических параметров мергельных пород.

Детальные исследования эоценовых пород Междуречья Куры и Иори показали, что между некоторыми коллекторскими параметрами и проницаемостью наблюдается плохая связь (определенная на кернах). Это подтверждается полученными фактическими дебитами нефти.

Доказано, что в рассматриваемом регионе присутствие мергельных пород усложняет структурную модель и его геофизическую характеристику, а также приводит к уменьшению пористости.

Разработанный интерпретационный метод позволяет успешно выделить коллекторы и дать оценку их насыщенности в карбонатном разрезе.

Несмотря на геологическую эффективность разработанной технологии при подсчете значения коэффициента нефтенасыщенности региона, бывают случаи несовпадения данных опробования объектов эоцена.

Анализ объектов эоцена на площадях Междуречья Куры и Иори показал, что опробование приводит к ухудшению фильтрационных свойств пластов-коллекторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сеидов В. М. Определение пористости песчаников с глинисто-карбонатным цементом по данным радиометрических и акустических исследований скважин // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2002. № 11. С. 1–4.
2. Гадиров В. Г. Прогнозирование вулканогенных образований мезозоя Среднекуринской депрессии и их нефтегазоносности по комплексным геофизическим данным: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Баку,1991. 22 с.
3. Кочарли Ш. С. Проблемные вопросы нефтегазовой геологии Азербайджана. Баку, 2015. 278 с.
4. Шилов Г. Я., Худавердиева Л. А. Повышение эффективности изучения известково-мергельных пород методами ГИС на площадях Азербайджана // Определение параметров коллекторов и залежей нефти и газа по материалам ГИС: тез. докл. семинара. Тверь: АИС, 1992. С. 62–65.
5. Мамедов П. З., Керимова К. А., Мамедова Л. П. Изучение фациального состава отложений ранне-плиоценового возраста (продуктивной толщи) Южно-Каспийской впадины по данным каротажа // Geophysics news in Azerbaijan. 2015. № 3/4. С. 3–7.
6. Мамедов П. З. О причинах быстрого прогибания земной коры в Южно-Каспийской впадине // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2008. № 1. С. 8–19.
7. Мамедов П. З. Сейсмостратиграфические (возрастные) подразделения осадочного чехла ЮКМВ // Стратиграфия и седиментология нефтегазоносных бассейнов. 2007. № 1. С. 102–118.
8. Искендеров М. М. Комплексная интерпретация результатов ГИС // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2014. № 3. С. 23–26.
9. Рахманов Р. Р. Закономерности формирования и размещения нефти и газа в мезокайнозойских отложениях Евлах-Агджабединского прогиба. Баку: Такрар, 2007. 191 с.
10. Гасанов А. Б., Сеидов В. М., Меликов Х. Ф. Оценка распределения коллекторов в пространстве по комплексу геофизических и петрофизических данных. Тверь: НТВ «Каротажник», 2008. Вып. 7(172). С. 50–57.

11 Сеидов В. М., Салманов К. В. Решение геологических задач при помощи акустического каротажа // Геолог Азербайджана. 2001. № 6. С. 142–148.
12. Шихалиев Ю. А., Кочарли Ш. С., Ахмедов А. М. и др. Новые данные о нефтегазоносности Сулейман-Ахтарминской антиклинали // Geophysics news in Azerbaijan. 2010. № 4. С. 38–41.

REFERENCES

1. Seidov V. M. 2002, *Opredelenie poristosti peschannikov s glinisto-karbonatnym tsementom po dannym radiometricheskikh i akusticheskikh issledovany skvazhin* [Determination of porosity of sandstones with clay-carbonate cement according to the radiometric and acoustic research of wells]. *Azerbaijanskoe neftyanoe khozyaystvo* [Oil Economy in Azerbaijan], no. 11, pp. 1–4.
2. Gadirov V. G. 1991, *Prognozirovanie vulkanogennykh obrazovaniy mezozoya Srednekurinskoy depressii i ikh neftegazonosnosti po kompleksnym geofizicheskim dannym* [Forecasting volcanic Mesozoic formations of the Middle-Kura depression and their petroleum potential by their integrated geophysical data]. Baku, 22 p.
3. Kocharli S. S. 2015, *Problemnye voprosy neftegazovoy geologii Azerbaijana* [Problematic issues of oil and gas geology of Azerbaijan]. Baku, 278 p.
4. Shilov G. Ya., Hudaberdieva L. A. 1992, *Povyshenie effectivenosti izucheniya izvestkovo-mergel'nykh porod metodami GIS na ploshchadyakh Azerbaijana* [Improving the efficiency of studying the calcareous-marl rocks with the methods of well survey in the areas of Azerbaijan]. *Opredelenie parametrov kollektorov i zalezhei nefti i gaza po materialam GIS: tez.dokl. seminara* [Defining the reservoir and collectors' parameters as well as those of oil and gas deposits based on the well survey data: a seminar report summary]. Tver', pp. 62–65.
5. Mamedov P. Z., Kerimova K. A., Mamedova L. P. 2015, *Izuchenye facial'nogo sostava otlozheniy ranne-pliocenovogo vozrasta (produktivnoy tolshchi) Yuzhno-Caspiyskoy vpadiny po dannym karotazha* [The study of the facial composition of sediments of Early Pliocene age (productive layer) in the South Caspian Basin according to survey data]. *Geophysics news in Azerbaijan*, no. 3/4, pp. 3–7.
6. Mamedov P. Z. 2008, *O prichinakh bystrogo progibanya zemnoy kory v Yuzhno-Caspiyskoy vpadine* [About the reasons for the rapid subsidence of the Earth's crust in the South Caspian basin]. *Azerbaijanskoye neftyanoe khozyaystvo* [Oil Economy in Azerbaijan], no. 1, pp. 8–19.
7. Mamedov P. Z. 2007, *Seismostratigraficheskie (vozrastnye) podrazdelenya osadochnogo chekhla UCMW* [Seismostratigraphic (age-specific) units of the sedimentary cover of UCMW]. *Stratigrafiya i sedimentologiya neftegazonosnykh basseinov* [Stratigraphy and sedimentology of the oil-and-gas bearing basins], no. 1, pp. 102–118.
8. Iskenderov M. M. 2014, *Kompleksnaya interpretatsiya rezul'tatov GIS* [A complex Interpretation of the results of well survey]. *Nauchnye trudy NIPI Neftegaz GNCAR* [Works of the NIPI Neftegas SOCAR], no. 3, pp. 23–26.
9. Rakhmanov R. R. 2007, *Zakonomernosti formirovaniya i razmeshcheniya nefti i gaza v mezokainozoyskikh otlozhenyakh Yevklakh-Agjabedinskogo progiba* [Regularities of the formation and distribution of oil and gas in Mesozoic-Cenozoic Sediments of the Yevlakh-Agjabedi Sag]. Baku, 191 p.
10. Hassanov A. B., Seidov V. M., Melikov Kh. F. 2008, *Otsenka raspredeleniya kollectorov v prostranstve po kompleksu geofizicheskikh i petrofizicheskikh dannykh* [The estimation of distributing collectors in the area according to the complex of geophysical and petrophysical data]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik "Karotazhnik"* [STB Karotazhnik], vol. 7(172), pp. 50–57.
11. Seidov V. M., Salmanov K.V. 2001, *Reshenie geologicheskikh zadach pri pomoshchi akusticheskogo karotazha* [Solving geological problems using acoustic logging]. *Geolog Azerbaijana* [Geologist of Azerbaijan], no. 6, pp. 142–148.
12. Shikhaliev Yu. A., Kocharli Sh. S., Akhmedov A. M. and others. 2010, *Novye dannye o neftegazonosnosti Suleiman-Akhtarminskoy antiklinali* [New data on the oil-and-gas content of the Suleiman-Akhtarminsk Anticline]. *Geophysics news in Azerbaijan*, no. 4, pp. 38–41.

Вагиф Миргамза оглы Сеидов,
1961SV@mail.ru
Егяна Тофик кызы Алибекова
egyana_mamedova@mail.ru
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
Азербайджан, Баку, просп. Азадлыг, 20

Vagif Mirgamza ogly Seidov,
1961sv@mail.ru
Egyana Tofik kyzy Alibekova
egyana_mamedova@mail.ru
Azerbaijan State University of Oil and Industry
Baku, Azerbaijan

УДК 622.274 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-84-89

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПУТЕМ ДОБАВЛЕНИЯ ИХ В СОСТАВ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Е. П. Волков, А. Ю. Стовманенко, А. Н. Анушенков

The improvement of the technology and equipment for the utilization of solid industrial wastes by means of adding them to the cast of hardening filling mixtures

E. P. Volkov, A. Yu. Stovmanenko, A. N. Anushenkov

The article provides an assessment of mining operations in underground mines which apply backfill systems, as well as the volume of enrichment waste accumulated during the exploitation of ore deposits. The use of high-quality cement and expensive inert fillers by many mining companies significantly increases the cost of backfill, while the technologies for increasing the activity of the binder are only partially used. The adoption of low-quality binders (cement and milled granulated slags), the investigation of new economically advantageous technologies for producing filling mixtures, as well as the use of binders and fillers, which can be used as tails of enrichment waste, will promote the spreading of backfill systems. In the practice of mining, it is an urgent task, which should be solved. This solution will significantly expand the raw material base of many mining enterprises; it will also increase their efficiency and address environmental protection issues. The conditions and regularities of increasing the reaction properties of many dump products, changing their rheological properties in time, as well as ways to create, and maintain the activity of the filling mixture during its preparation and pipeline transportation, remain insufficiently studied.

We also consider the concept of improving the systems of pipeline transportation of cast hardening of filling mixtures to ensure reliable and uninterrupted delivery of the obtained backfilling mixtures with the reduced water content. It is associated with the use of the special hydrodynamic actuators mounted on a backfilling pipeline. As the activating devices the original patented designs of activators providing high efficiency of restoration of rheological properties of stowage mixes at their transportation on the underground stowage pipeline are offered and described.

Based on the theoretical justification of the proposed design solutions, we can conclude that the proposed trigger device will provide effective homogenization and activation of the material hardening mixtures on the basis of the tailings while reducing metal consumption, energy consumption and processing time.

Keywords: mining activity; mining technology; backfilling mixture; backfilling works; pipeline transport.

В статье приведена оценка горных работ на подземных рудниках, применяющих системы разработки с закладкой, а также объема отходов обогащения, накапливающихся в процессе эксплуатации рудных месторождений. Применение многими горными предприятиями высокомарочных цементов и дорогостоящих инертных заполнителей значительно повышает стоимость закладки, при этом только частично используются технологии повышения активности вяжущего. Переход на низкомарочные вяжущие (цемент и молотые гранулированные шлаки), изыскание новых экономически выгодных технологий производства закладочных смесей, а также использование вяжущих и заполнителей, в качестве которых можно применять хвосты обогатительных фабрик, будет способствовать распространению систем с закладкой в практике горных работ и является актуальной задачей, решение которой позволит значительно расширить сырьевую базу многих горных предприятий, повысить эффективность их работы и решить вопросы охраны окружающей среды. Недостаточно изученными остаются условия и закономерности повышения реакционных свойств многих отвальных продуктов, изменение их реологических свойств во времени, способы создания и поддержания активности закладочной смеси при ее приготовлении и трубопроводном транспортировании. Рассмотрено также направление совершенствования систем трубопроводного транспортирования литых твердеющих закладочных смесей для обеспечения надежной и бесперебойной доставки полученных закладочных смесей с пониженным водосодержанием, которое связано с применением специальных гидродинамических активаторов, устанавливаемых на закладочном трубопроводе. На основании проведенного теоретического обоснования предлагаемых конструктивных решений можно сделать вывод, что предлагаемые активирующие устройства обеспечат эффективную гомогенизацию и активацию материалов твердеющей смеси на основе хвостов обогащения при сокращении металлоемкости, энергозатрат и времени обработки.

Ключевые слова: горные работы, горная технология, закладочные смеси; закладочные работы; трубопроводный транспорт.

Технологические аспекты утилизации твердых промышленных отходов

Системы разработки с закладкой выработанного пространства широко используются при отработке залежей сложной формы с ценными рудами, а также при залегании рудных тел под охраняемыми природными, производственными и социальными объектами [1]. Сравнительно высокая себестоимость добычи минерального сырья с закладкой компенсируется незначительным разубоживанием, более полным извлечением добываемого полезного ископаемого, возможностью его селективной выемки с оставлением в недрах части породных включений.

С ростом себестоимости извлекаемых полезных компонентов, повышением законодательных требований к охране земной поверхности, растущей необходимостью утилизации отходов горно-металлургической и энергетической промышленности, увеличением глубины горных работ область применения технологий добычи руд с закладкой будет постоянно расширяться.

Закладочные смеси различаются не только типом вяжущего, но и типом заполнителя [2]. При производстве закладочных смесей используются заполнители, применение которых в строительной промышленности зачастую не допускается. В качестве заполнителя закладочных смесей на сегодняшний день могут использоваться как природные материалы, так и отходы производства.

В настоящее время объем отходов обогащения, накапливающихся в процессе эксплуатации рудных месторождений, достиг сотен миллионов кубических метров. Это сопровождается изъятием из сфер сельскохозяйственного, лесного и других фондов значительных площадей ценных земель для размещения хвостохранилищ. Хвостохранилище наносит существенный вред окружающей среде. В первую очередь, это связано с загрязнением поверхностных и грунтовых вод, а также воздушной среды и почвы. Присутствует риск тяжелых последствий в случае разрушения дамбы хвостохранилища, о чем свидетельствует информация, опубликованная Комитетом Международной Комиссии по крупным хвостовым дамбам, о произошедших за последние 45 лет 220 инцидентах, 135 из них были авариями, в результате которых было выброшено 41,9 млн м^3 жидких отходов, распространившихся на значительные расстояния, что вызвало обширные разрушения и человеческие потери.

В настоящее время достигнуты значительные успехи в развитии техники и совершенствовании технологии ведения закладочных работ. Анализ закладочных комплексов на рудниках [3–6] показал, что принципиально их конструктивное оформление и технология приготовления закладочных смесей направлены на производство литых твердеющих смесей (ЛТС), имеющих большую эффективность по сравнению с другими способами закладки горных выработок.

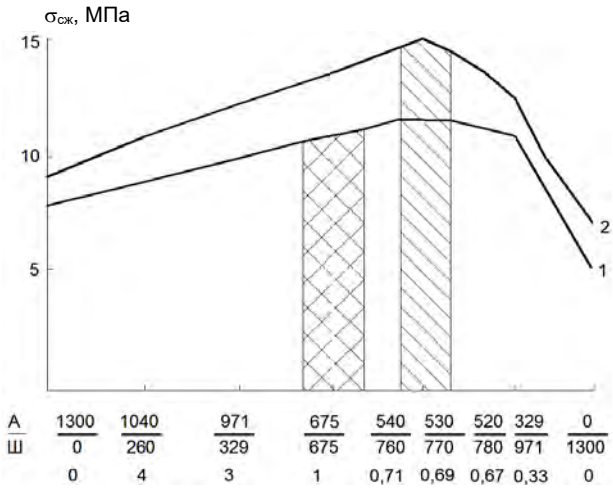


Рисунок 1. Характер влияния активации и соотношения ангидрита и шлака в шихте АШЦ состава при входе в мельницу на прочность. 1 – смеси, приготовленные по традиционной технологии; 2 – активированные смеси (А/Ш – соотношение содержания ангидрита и шлака в 1 м³ смеси, кг/кг).

Технологические схемы производства ЛТС отличаются не существенно, что способствует расширению области использования систем разработки с закладкой твердеющими смесями и обеспечивает возможность вовлечения в производство закладки дешевого вяжущего и заполнителя на основе отвальных продуктов горного производства, шлаков и шламов металлургических и машиностроительных заводов, хвостов обогащения, золы уноса и шлаков теплоэнергетики.

В связи с этим снижение себестоимости закладочных работ с помощью использования отвальных продуктов различных производств в качестве вяжущих и заполнителей является актуальным направлением. Разработка технологии приготовления закладки на основе песков и шламовой фракции хвостов обогащения позволяет не только снизить издержки производства горных предприятий, но и повысить экологическую безопасность добывающих минеральное сырье регионов [3–6].

Опыт работы закладочных комплексов рудников России и зарубежья [7, 8] показывает, что наиболее перспективным является подача хвостов от обогатительных фабрик до рудников гидротранспортом с дальнейшим перемешиванием компонентов закладки в гидросреде. Для приготовления литых твердеющих смесей (ЛТС) из отвальных продуктов в шаровых мельницах подбирается шихта из нескольких типов производственных отходов, взаимно дополняющих друг друга по химическому составу (наличию CaO, Al_2O_3, MgO, F_2O_3). Активность смесей из этих материалов регулируют пороговая величина тонкости измельчения и весовое соотношение компонентов в готовой закладке. Внедрение составов ЛТС с пониженным содержанием цемента проводилось на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель». Прочность определялась в возрасте составов 7, 28 и 90 сут с использованием пресс-машины УМЭ-10 ТМ. Фазовые превращения определялись на рентгеновском дифрактометре «ДРОН-3».

Испытания активированной смеси на основе гранулированного шлака Ш и ангидрита А проводились при постоянном расходе цемента Ц, равном 150 кг/м³. Дифференциальный термический анализ проводили на дериватографе Q-2000. Результаты рентгеноструктурного анализа составов позволили выявить характер влияния активации и соотношения при этом исходных компонентов закладки на прочность при существующей гранулометрии и доизмельчении компонентов (рис. 1).

Активированные составы имеют новые разросшиеся фазы структурных новообразований, окислов щелочноземельных металлов, а также алюминия и железа, представленные двух- и трехкальциевыми гидросиликатами, гидросульфоалюминатами, гидроферритами, гидроалюминатами, которые обеспечивают формирование прочностных свойств ЛТС. В зависимости от соотношения ангидрита и шлака происходит перераспределение основных фаз структурных образований гидратированных смесей. При соотношении А : Ш 0,60–0,70 преобладающим становится присутствие гидросульфоалюминатов кальция типа $3CaOAl_2O_3CaSO_4 \cdot 12H_2O$. Несколько в подчиненном количестве находится фаза гидратированного гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, следующим по значимости является гидросиликат типа тоберморита $Ca_3(Si_6O_{13}H_2) \cdot 4H_2O$, фаза гидроферритов $4CaOFe_2O_3 \cdot 6H_2O$ и гидроалюмосиликаты $Ca_6(AlSiO_4)_{12} \cdot 3H_2O$.

При соотношении А : Ш от 0,71 и выше постепенно главенствующую роль приобретает безводный ангидрит $CaSO_4$. В подчиненное состояние переходит образование гидросульфоалюминатов кальция $3CaOAl_2O_3CaSO_4 \cdot 12H_2O$ и эттрингита $Ca_6A_{l2}(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$. Далее выделяется фаза гидратированного гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. При увеличении ангидрита в смеси разрыв между главенствующими фазами растет и уменьшается количество гидроферритов $4CaOFe_2O_3 \cdot 6H_2O$ и гидросиликатов $Ca_3(Si_6O_{13}H_2) \cdot 4H_2O$. В случае, когда отношение А : Ш становится меньше 0,60–0,70, наибольшее значение приобретают гидросульфоалюминаты кальция $CaOAl_2O_3CaSO_4 \cdot 12H_2O$, гидроферриты $4CaOFe_2O_3 \cdot 6H_2O$ и гидросиликаты $Ca_3(Si_6O_{13}H_2) \cdot 4H_2O$, фазы ангидрита безводного $CaSO_4$ и гидратированного гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ имеют подчиненное значение.

Таким образом, ангидритошлакоцементные составы твердеют за счет кристаллизации в них гипса, а также новообразований в процессе взаимодействия шлака с цементом и ангидритом. Одна из главенствующих фаз гипса и максимум новообразований гидросульфоалюмосиликатов, гидроферритов, гидрогранатов приходится на соотношение А : Ш в шихте на входе в мельницу в пределах 0,6–0,7. Результаты испытаний образцов на сжатие и рентгенофазовый анализ показали, что увеличение содержания ангидрита относительно шлака в активируемом продукте приводит к уменьшению составляющей гипса и алюмосиликата кальция с образованием эттрингита в затвердевшей смеси, что обуславливает тенденцию к падению ее прочности. При уменьшении в смеси содержания ангидрита относительно шлака от 0,6 и менее активность последнего падает, прочность смеси резко снижается.

На рудниках Норильского региона в технологии приготовления закладочной смеси АШЦЩ с добавлением щебня Щ состав и расход компонентов варьировался в широком диапазоне. Смеси готовились при широких диапазонах изменения расхода компонентов: ангидрит 260–530 кг/м³; гранулированный шлак 330–540 кг/м³; щебень 300–700 кг/м³; вода 500–550 л/м³. Соотношение ангидрита и шлака поддерживалось постоянным. При этом объем приготовляемой АШЦЩ закладки в целом достиг 1463 тыс. м³, что составило 53 % от общего объема производства закладки.

Для изучения влияния активации на соотношения компонентов в приготовляемой шихте производства АШЦЩ, снижения ее себестоимости были проведены комплексные исследования, результаты которых представлены на рис. 2.

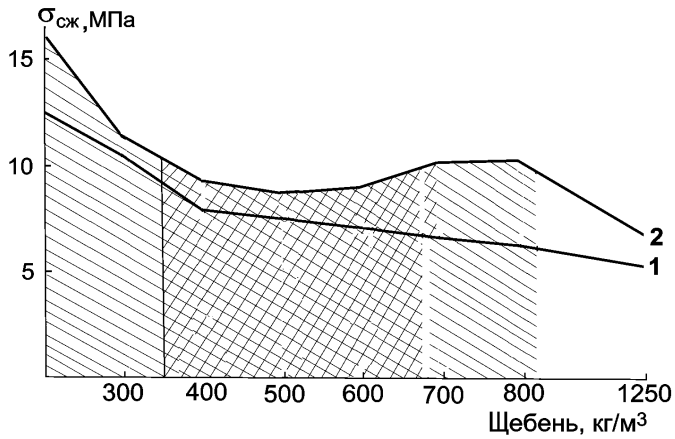


Рисунок 2. Набор прочности АШЦЩ состава в зависимости от расхода щебня в 180-суточном возрасте при соотношении А : Ш, равном 0,70. 1 – смеси, приготовленные по традиционной технологии; 2 – активированные смеси.

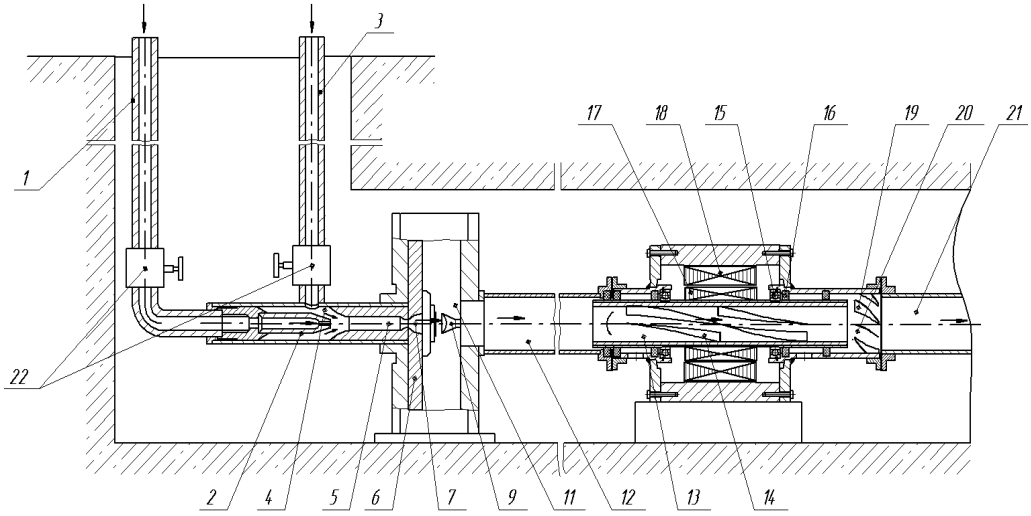


Рисунок 3. Смеситель-активатор закладочной смеси.

В случае, когда расход щебня возрастает с 400 до 550 кг/м^3, увеличивается содержание инертного ангидрита, что обуславливает снижение кристаллизационных центров силикатов и алюмосиликатов кальция с гипсом и снижение прочности при твердении. При дальнейшем увеличении доли щебня в шихте прочность ЛТС незначительно возрастает, соотношение главных кристаллизационных центров силикатов, алюмосиликатов кальция с гидратированным гипсом несколько повышается и стабилизируется. Аналогично проводились исследования мельничного измельчения и перемешивания компонентов ЛТС на шахте «Коксовая». Таким образом, существует необходимость обоснованного подбора рецептуры ЛТС в зависимости от конкретных условий применения закладочных смесей.

Вопросы совершенствования систем трубопроводного транспортирования литых твердеющих смесей с пониженным водосодержанием

Наиболее распространенными технологиями производства ЛТС являются варианты совместного помола и перемешивания всех компонентов смеси с цементом в шаровой мельнице или совместного помола шихты при перемешивании с цементным раствором непосредственно в вертикальном ставе трубопровода [9]. В некоторых случаях заполнитель и вяжущее подают в шахту по отдельным вертикальным ставам, и в таком случае важным является вопрос качественного перемешивания компонентов закладочных смесей перед закладкой в выработки. При раздельной подаче компонентов закладочных смесей в ствол рудника для увеличения однородности и транспортабельности закладочных смесей может использоваться предлагаемый авторами смесительно-активирующий комплекс, представленный на рис. 3 [10].

Комплекс содержит вертикальные подводящие трубопроводы *1* и *3*, предназначенные для раздельной подачи гидратированного наполнителя и вяжущего вещества к смесительным соплам *2*, в эжекционные камеры *4*, в канал *5* для подвода ЛТС к дисковому кавитатору *6* с профилированными концентричными отверстиями *7*. Электродвигатель вращает диск *6* с частотой, необходимой для создания ультразвуковых пульсаций потока закладочной смеси в камере *11*. Гомогенизированная смесь далее подается в горизонтальный трубопровод *12*. Эжекционное устройство позволяет повысить эффективность смешивания компонентов ЛТС, а пульсации скорости и давления в кавитационной камере способствуют гидродинамическому воздействию на смесь, сопровождающемуся ее перемешиванием и активацией.

Длительное дальнейшее движение ЛТС по горизонтальному трубопроводу *12*, как у типичной жидкости с внутренней пространственной структурой, начнется лишь тогда, когда напряжение сдвига τ превысит определенное критическое значение τ_0, необходимое для разрушения внутренней структуры [11]. Структурную сетку можно представить в виде множества цепочек из частиц, связанных общми узловыми частицами (рис. 4).

Рисунок 4. Схема тиксотропных изменений.

Основным способом разрушения внутренней структуры тиксотропных вязко-пластичных смесей (наряду с химическим) является внешнее механическое воздействие на смесь (реологическая активация смеси), т. е. образование в смеси существенных гидродинамических сил, превышающих энергию внутренней структурной связи W_c, вследствие чего происходит разрушение структурной сетки и повышение текучести и однородности состава смеси. После снятия активирующего воздействия структура тиксотропной смеси восстанавливается с течением времени. Такие смеси после прекращения перемешивания постепенно становятся структурированной системой с осадком.

Реологические свойства закладочной смеси для обеспечения надежности и бесперебойности работы закладочного комплекса должны отвечать установленным требованиям технологической инструкции: иметь растекаемость по методу Суттарда не менее 10–12 см, предельное напряжение сдвига не более 180 Па, коэффициент расслаивания не более 1,3.

Для повышения дальности подачи закладочной смеси в конце самотечного участка транспортирования обычно осуществляют подачу сжатого воздуха в став бетоновода через пневмоклапаны. При этом на доставку 1 м^3 смеси на 1 км расходуется 100–130 м^3 сжатого воздуха, что требует больших энергозатрат. Для механической активации ЛТС в работе [12] описаны перемешивающе-активирующие устройства циклического действия с рабочим органом в виде рамочной мешалки. Недостатками таких устройств являются существенные габариты и масса, что затрудняет их использование в подземных условиях.

Для восстановления реологических свойств ЛТС в предлагаемой установке (рис. 3) на определенном расстоянии по трубопроводу $L_г$ установлено активирующее устройство (рис. 3, поз. 13–20). Работа гидродинамического активатора основана на генерировании механических возмущений в смеси с образованием полей переменных скоростей и давлений, создаваемых энергией внешнего привода. Конструкция такого активатора подробно показана на рис. 5 [13].

Активатор содержит вихревую камеру *1*, установленную на подшипниках качения *2* внутри трубчатой проточной камеры *3*. Привод вихревой камеры также выполнен в виде электрообмоток статора *4* и вихревой камеры. Внутри вихревой камеры

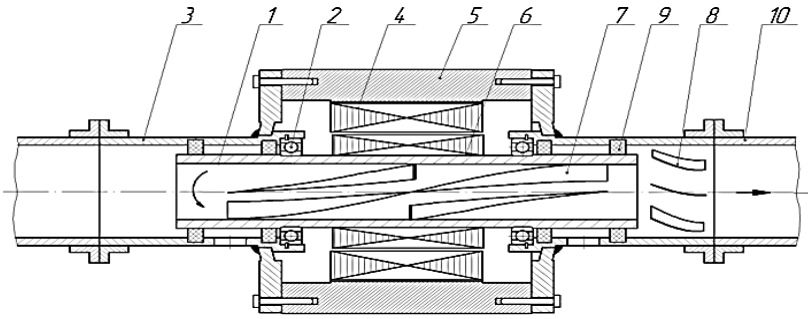


Рисунок 5. Активатор закладочной смеси.

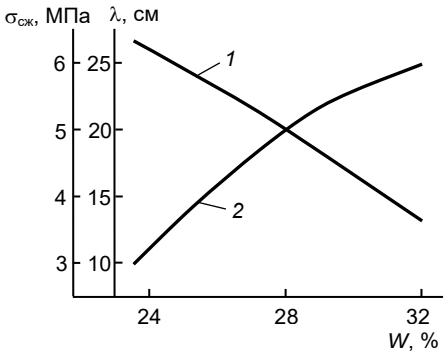


Рисунок 6. Влияние водосодержания *W* на реологические и прочностные характеристики закладочных смесей. *1* – изменение прочности закладочного массива $\sigma_{сж}$; *2* – изменение текучести смеси λ.

установлены винтовые лопатки *7*, создающие при вращении вихревой камеры комплексное механическое воздействие на транспортируемую жидкую среду, при этом происходит интенсивное перемешивание потока смеси, сопровождающееся ее активацией. Взаимодействие потока смеси с винтовыми лопатками *8* обеспечивает развитие в смеси дополнительных гидродинамических сил и приращение напора и скорости смеси в сторону движения потока по трубопроводу *10*.

При движении ЛТС через данное устройство смесь механически активируется лопатками, приобретая при этом однородность и повышенную текучесть. Пульсации давления и скорости потока смеси при движении ЛТС в неподвижных межлопаточных каналах обеспечивают дополнительное разрушение гидратных пленок на частицах цемента ЛТС, увеличивая впоследствии скорость твердения закладочного массива.

Преимуществом такой конструкции активатора при установке на закладочном трубопроводе является непрерывность его действия, легкость и компактность, что очень существенно в стесненных условиях подземных выработок.

Прочностные и реологические свойства закладочных смесей могут существенно меняться в зависимости от компонентного состава, способа их производства и транспортирования, водосодержания ЛТС и других факторов, что в основном определяет последующую прочность закладочного массива, скорость его твердения и транспортабельность ЛТС. Как показано на рис. 6, прочность создаваемого закладочного массива $\sigma_{сж}$ при установленной продолжительности твердения существенно увеличивается с понижением водосодержания ЛТС *W*. Однако при понижении водосодержания *W* одновременно ухудшаются и реологические свойства ЛТС, следовательно, и надежность работы трубопроводной транспортной системы, что создает существенные трудности с обеспечением бесперебойной доставки закладочного материала в подземное выработанное пространство. Таким образом, влагосодержание ЛТС одновременно является критерием ее текучести и прочности формируемого впоследствии закладочного массива.

Таким образом, условием надежного транспортирования ЛТС с пониженным водосодержанием является своевременное разрушение ее тиксотропной структуры с целью снижения вязкости и предельного напряжения сдвига в смеси.

Принципиальными преимуществами закладки ЛТС с пониженным водосодержанием являются улучшенное качество искусственного массива, невысокая стоимость материалов, повышение интенсивности ведения закладочных работ, сокращение времени на закладку до 20 %.

Гидродинамические активаторы непрерывного действия способствуют расширению возможностей применения ЛТС с пониженным водосодержанием и как технологическое оборудование могут иметь конструкции различных видов. Конструкции активаторов могут отличаться как устройством рабочей части, так типом и компоновкой привода. Активаторы могут, например, изготавливаться по принципу действия центробежных насосов, что обеспечивает более существенный прирост напора при одинаковой частоте вращения вихревой камеры. Разработанный активатор данной конструкции представлен на рис. 7 [14].

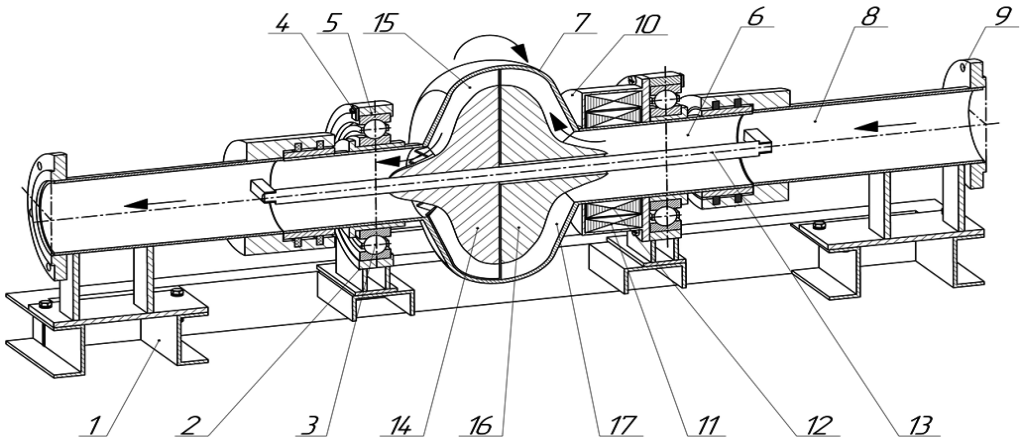


Рисунок 7. Активатор закладочных смесей центробежного типа с электроприводом.

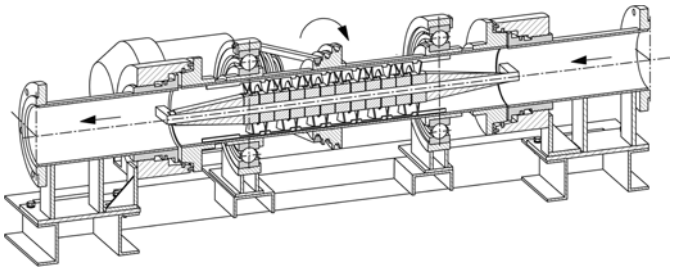


Рисунок 8. Многоступенчатый осевой активатор закладочных смесей с электромеханическим приводом.

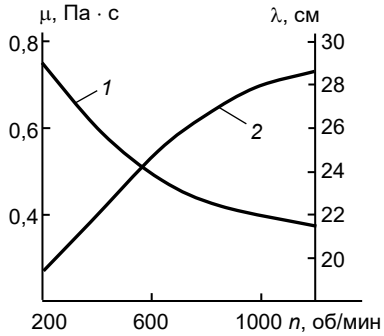


Рисунок 9. Реологические показатели активированной закладочной смеси. *1* – зависимость структурной вязкости μ от числа оборотов активатора; *2* – зависимость растекаемости смеси по Суттарду λ от числа оборотов активатора.

Активатор содержит раму *1*, опоры подшипниковых узлов *2*, подшипники *3*, фиксаторы подшипников *4*, опорные втулки *5*, вихревую камеру *6*, выполненную с диаметральным уширением эллиптического продольного сечения *7*, неподвижную проточную камеру *8*, фланцы *9* для соединения с трубопроводом. Электромагнитный привод *10* включает обмотки статора *11* и обмотки ротора *12*. Внутри трубчатой вихревой камеры неподвижно установлена ось *13*, на которой закреплена неподвижная втулка *14* с лопатками *15*, установленными параллельно оси вихревой камеры *6*. Подвижная втулка *16* с лопатками *17*, также установленными параллельно оси вихревой камеры *6*, свободно посажена на ось *13*, а лопатки *17* соединены с вихревой камерой.

Многоступенчатый осевой активатор с ременным приводом вихревой камеры [15] (рис. 8) имеет в конструкции типовой электродвигатель, что делает данный активатор менее дорогостоящим и более технологичным в производстве. Рабочие лопатки активатора установлены на вращающихся и неподвижных втулках, чередующихся между собой.

Результаты исследований опытных образцов гидродинамических активаторов показывают, что после прохождения через активатор закладочная смесь, состоящая из хвостов обогащения, цемента и воды (ХЦ), представляет собой хорошо гомогенизированную гидросмесь с повышенной текучестью и реакционными свойствами, причем возможно эффективное быстрое управление реологическими свойствами и давлением потока закладочной смеси путем изменения рабочей частоты вращения вихревой камеры активатора *n*. Механическая активация потока закладочной смеси обеспечивает снижение структурной вязкости μ (рис. 9) и повышение растекаемости смеси λ по Суттарду.

В зависимости от составов смеси, технических условий применения и режимов эксплуатации гидродинамических активаторов напорного действия разработаны различные их конструкции и способы применения.

Выводы

Активация материалов ЛТС является одним из способов расширения возможностей утилизации хвостов обогащения и других отвальных продуктов с проявлением вяжущих свойств их мелкодисперсных фракций путем приготовления из них литых твердеющих закладочных смесей, что может стать эффективным фактором снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Предлагаемые активирующие устройства обеспечивают возможность непрерывной и надежной подачи литых твердеющих смесей, обладающих тиксотропными свойствами, по трубам на значительные расстояния даже при снижении их влагосодержания до 24–26 % с сохранением необходимых реологических и прочностных свойств.

Таким образом, способ модернизации закладочных комплексов путем приготовления и транспортирования ЛТС с применением активирующего оборудования является актуальным направлением развития технологии закладки, что обеспечит снижение общих издержек на разработку полезных ископаемых, а также позволит повысить безопасность ведения горных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Е. П., Анушенков А. Н., Гузанов П. С., Лытнева А. Э. Закладочные смеси на основе отходов обогащения руд в системах подземной разработки месторождений Норильского промышленного района // Горный журнал. 2015. № 6. С. 85–87.
2. Анушенков А. Н. Разработка комплексов приготовления и транспорта твердеющих смесей для закладки горных выработок. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2006. 170 с.
3. Развитие технологии трубопроводного транспорта закладочных смесей на большие расстояния на руднике «Октябрьский» / А. П. Тапсиев [и др.] // ФТПРПИ. 2009. № 3. С. 81–91.
4. Ляшенко В. И., Франчук В. П. Повышение эффективности активации компонентов твердеющей закладочной смеси в установках вибрационного трубопроводного транспорта // Изв. вузов. Горный журнал. 2017. № 4. С. 92–100.
5. Голик В. И., Полухин О. Н., Петин А. Н., Комащенко В. И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА // Горный журнал. 2013. № 4. С. 91–94.
6. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н., Корнеев Ю. В. Передвижные закладочные комплексы в системах разработки рудных месторождений с закладкой выработанных пространств // Горный журнал. 2013. № 2. С. 101–104.
7. Исмаилов Т. Т., Логачев А. В., Голик В. И., Лузин Б. С. Пути повышения активности вяжущих из отходов производства при изготовлении твердеющих смесей // ГИАБ. 2009. № 12. С. 180–190.
8. Ермолович Е. А. Бесцементная закладочная смесь на основе техногенных отходов // Научные ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». 2010. № 11. С. 156–158.
9. Bondarenko V., Kovalevska I., Dychkovskiy R. New Techniques and Technologies in Mining. Leiden: CRC Press, 2010. 300 p.
10. Смесительно-активирующее устройство: пат. 159536 Рос. Федерация. Опубл. в Б. И. 2016. № 9.
11. Schramm G. A. Practical approach to rheology and rheometry Gebrueder HAAKE GmbH. 2003. 312 p.
12. Крупник Л. А., Соколов Г. В. Закладочные смеси высокой плотности, их свойства и перспективы применения // ГИАБ. 2005. № 11. С. 237–240.
13. Активатор жидких сред (варианты): пат. 126369 Рос. Федерация. Опубл. в Б. И. 2013. № 9.
14. Смесительно-активирующее устройство для жидких сред: пат. 2550609 Рос. Федерация. № 2014112175/03; заявл. 28.03.14; опубл. 10.05.15, Бюл. № 13.
15. Активатор жидких сред: пат. 157377 Рос. Федерация. Опубл. в Б. И. 2015. № 33.

REFERENCES

1. Volkov E. P., Anushenkov A. N., Guzanov P. S., Lytneva A. E. 2015, *Zakladochnye smesi na osnove otkhodov obogashchenya rud v sistemakh podzemnoy razrabotki mestorozhdeniy Noril'skogo promyshlennogo rayona* [Backfilling mixtures based on waste beneficiation of ores in the systems of underground mining in the Norilsk industrial district]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 6, pp. 85–87.
2. Anushenkov A. N. 2006, *Razrabotka compleksov prigotovlenya i transporta tverdeyushchikh smesey dlya zakladki gornykh vyrabotok* [Developing the technologies of preparation and transporting of hardening mixtures for laying the mines]. Krasnoyarsk, 170 p.
3. Tapsiyev A. P. and others. 2009, Razvitie tekhnologii truboprovodnogo transporta zakladochnykh smesey na bol'shie rasstoyaniya na rudnike "Oktyabr'skiy" [Development of the technology of long-distance pipeline transport of stowing mixtures in the "Oktyabrsky" mine]. *Fiz. tekh. problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh* [Physical and technical problems of mining], no. 3, pp. 81–91.
4. Lyashenko V. I., Franchuk V. P. 2017, *Povyshenie effektivnosti aktivatsii componentov tverdeyushchey zakladochnoy smesi v ustanovkakh vibratsionnogo truboprovodnogo transporta* [Improving the efficiency of the activation of the components of the hardening filling mixture in the installations of vibrational pipeline transportation]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 4, pp. 92–100.
5. Golik V. I., Polukhin O. N., Petin A. N., Komashchenko V. I. 2013, *Ekologicheskie problemy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy KMA* [Ecological problems of development of ore deposits of Kursk magnetic anomaly]. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], no. 4, pp. 91–94.
6. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N., Korneev Yu. V. 2013,

Peredvizhnye zakladocnye compleksy v sistemakh razrabotki rudnykh mestorozhdeniy s zakladkoy vyrabotannykh prostranstv [Mobile stowing complexes in the systems of development of ore deposits with backfilling of the worked-out spaces]. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], no. 2, pp. 101–104.
7. Ismailov T. T., Logachev V. A., Golik V. I., Luzin B. S. 2009, *Puti povysheniya aktivnosti vyazhushchikh iz otkhodov proizvodstva pri izgotovlenii tverdeyushchikh smesey* [Ways of enhancing the activity of the astringents made of the production waste while manufacturing hardening mixtures]. *Gornyi informatsionno-analyticheskiy bulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 12, pp. 180–190.
8. Ermolovich E. A. 2010, *Bestsementnaya zakladochnaya smes' na osnove tekhnogennykh otkhodov* [Uncemented backfilling mixture based on industrial waste]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya estestvennye nauki* [Bulletin of Belgorod state University. Natural Sciences], no.11, pp. 156–158.
9. Bondarenko V., Kovalevska I., Dychkovskiy R. 2010. New Techniques and Technologies in Mining. CRC Press. 300 p.
10. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Smesitel'no-aktiviruyushchee ustroystvo* [Mixing and activating device]. Patent RF, no. 159536, 2016.
11. Schramm G. A. 2003, Practical approach to rheology and rheometry Gebrueder HAAKE GmbH. 312 p.
12. Krupnik L. A., Sokolov G. V. 2005, *Zakladochnye smesi vysokoy plotnosti, ikh svoystva i perspektivy primeneniya* [High-density backing mixtures, their properties and prospects]. *Gornyi informatsionno-analyticheskiy bulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 11, pp. 237–240.
13. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Aktivator zhidkikh sred* (varianty) [The activator liquid medium (versions)]. Patent RF no. 126369, 2013.
14. Volkov E. P., Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Smesitel'no-aktiviruyushchee ustroystvo dlya zhidkikh sred* [Mixing and activating device for liquid media]. Patent RF no. 2550609, 2015.
15. Stovmanenko A. Yu., Anushenkov A. N. *Aktivator zhidkikh sred* [The activating agent of liquid media]. Patent RF no.157377, 2015.

Евгений Павлович Волков,
volkoff2@yandex.ru
Андрей Юрьевич Стовманенко,
s600122@yandex.ru
Александр Николаевич Анушенков
sfu-prm@ya.ru
Сибирский федеральный университет
Россия, Красноярск, просп. Свободный, 79

Evgeniy Pavlovich Volkov,
volkoff2@yandex.ru
Andrey Yur'evich Stovmanenko,
s600122@yandex.ru
Aleksandr Nikolaevich Anushenkov
sfu-prm@ya.ru
Siberian Federal University
Krasnoyarsk, Russia

УДК 625.11, 625.7 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-90-94

ПУСТЫЕ ПОРОДЫ И ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ – ОСНОВА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

М. Л. Хазин, П. И. Тарасов, О. В. Голубев, В. Т. Дмитриев

Using tailings and waste products of mining and processing plants for the construction of highways

M. L. Khazin, P. I. Tarasov, O. V. Golubev, V. T. Dmitriev

The Republic of Sakha (Yakutia) is one of the richest regions of Russia. However, the hardness of the climate in this region amends its full development. The Republic of Sakha (Yakutia) has a poorly developed network of highways and railroads. The active development of the fields of the region has been in progress since the middle of last century. However, more than 16 thousand potential deposits remain understudied. Thus, it is necessary to build highways with due regard for modern techniques and technologies of construction for the development of industry as well as socio-economic spheres in this region. This article deals with the issues of potential use of tailings of the diamond mining industry for the construction of highways. Moreover, the amounts of dumps available would be enough to construct more than 20 thousand km of double-track highways, for the industrial and civil purposes. The advantage of the use of the refuse heaps is their proximity to the potential route. First of all, it is necessary to build a transport road, which would connect the Trans-Siberian railway with the Northern sea route. Construction technology should be adapted to the climatic characteristics of the region, therefore providing a uniform resource usage all year round. For the accelerated construction of subgrade, the two lines of railway should be placed on the same roadbed. After the construction of the subgrade of the entire section one of the ways could be dismantled and the movement of vehicles could be organized in its stead, after the preparation of the pavement. This will result in the construction of the roads with combined traffic for road transport as well as railroad transport. The construction of highways in this region must be associated with the transport strategy of Russia until 2030 and 2050.

Keywords: the deposit;, waste rock; the dump; the Northern sea route; the Yakut transport corridor; roadbed; labor expenditures.

Республика Саха (Якутия) является одним из богатейших регионов России. Но суровость климата в данном регионе вносит свои коррективы в его полноценное развитие. В республике Саха (Якутия) слабо развита сеть автомобильных и железных дорог. С середины XX в. началось активное освоение месторождений данного региона. При этом еще более 16 тысяч потенциальных месторождений остаются слабоизученными. Таким образом, для развития промышленности и социально-экономической сферы в регионе необходимо строить транспортные магистрали с учетом развития современной техники и технологий строительства. В статье рассмотрены вопросы возможности использования отвалов алмазодобывающей промышленности для строительства транспортных магистралей. Причем объемов данных отвалов хватило бы на строительство более 20 тыс. км двухпутных магистралей промышленного и гражданского назначения. Достоинством использования отвалов пустых пород является их близкое расположение с возможным прохождением трассы. В первую очередь необходимо строить транспортную магистраль, соединяющую Транссибирскую магистраль с Северным морским путем. Технология строительства должна учитывать климатические особенности региона, обеспечивая равномерное использование ресурсов круглый год. Для ускоренного возведения земляного полотна должны быть уложены две нитки железнодорожного пути на одном земляном полотне. После возведения земляного полотна на всем участке один путь может быть разобран и на его месте организовано движение автотранспорта с предварительной подготовкой дорожной одежды. Таким образом, получим земляное полотно с совмещенным движением авто- и железнодорожного транспорта. Строительство транспортных магистралей в данном регионе должно быть связано с транспортной стратегией России до 2030 и 2050 гг.

Ключевые слова: месторождение; пустые породы; отвал; Северный морской путь; Якутский транспортный коридор; земляное полотно; трудозатраты.

Введение

Якутия является уникальной территорией по разнообразию, количеству и качеству полезных ископаемых. Здесь официально зарегистрировано 1823 месторождения 58 видов минерального сырья. Наиболее важными являются месторождения алмазов (82 % запасов России), сурьмы (82 %), урана (61 %). Также на долю республики приходится 47 % разведанных запасов угля, 35 % природного газа и нефти Восточной Сибири и Дальнего Востока. При этом более 16 тысяч потенциальных месторождений остаются слабоизученными. Кроме того, в Якутии встречаются следующие месторождения полезных ископаемых (количество месторождений/процент запасов от общероссийских): золото (834/20); серебро (33/–); железные руды (14/–); олово (50/80); вольфрам (24/89); редкоземельные металлы (1/17.75); неметаллические полезные ископаемые (1038/–); пресная вода (29/–) и др.[1]

Первый алмаз на территории Якутии был найден в 1949 г. на галечнике р. Вилюй близ села Крестях Сунтарского района геологической экспедицией Г. Х. Файнштейна. Потом в 1954 г. Л. А. Попугаева нашла первое коренное кимберлитовое месторождение и назвала его «Зарница». С тех пор в Западно-Якутском алмазоносном бассейне геологи выявили и разведали свыше 800 кимберлитовых трубок, из них промышленное значение имеют 150, а используется 11 самых богатых, находящихся близко от дорог, например Мир, Удачная, Айхал, Интернациональная, Эбелях и др.[2]

Таким образом, для дальнейшего развития промышленности в регионе необходимо строить транспортные магистрали, в том числе с учетом расширения минерально-сырьевой базы в регионе [1–3]. А для строительства транспортных магистралей в первую очередь нужен материал. Преимущество строительства любой транспортной магистрали заключается в том, чтобы строительный материал находился относительно рядом. Также важным является и правильно организованная технология строительства данных магистралей с учетом таких особенностей, как возможность поддержания заданных темпов строительства; климат региона; прохождение трассы с учетом развития отдельных районов [4–7].

Состояние проблемы

В настоящее время в Западной Якутии расположены отвалы пустых пород алмазодобывающей промышленности. Добыча алмазосодержащей руды в данном регионе началась уже с середины XX в. За это время накоплены существенные объемы (более 1 млрд м^3) пустой породы из карьеров алмазодобывающей промышленности. В основном данный объем сосредоточен у городов Мирный, Удачный и поселка городского типа Айхал. С учетом расширения существующих и развития новых месторождений на поверхность будет поднято еще около 1 млрд м^3 пустой породы.

Согласно п. 4.5 [8], допускается для возведения насыпей использовать материалы породных отвалов, пригодные для сооружения земляного полотна. По табл. 4.1 [8], скальные грунты используются без ограничения для возведения насыпей, а скальные грунты из слабовыветривающихся, выветривающихся, легковыветривающихся пород (алевролитов, аргиллитов, мергелей,

[1] Месторождения Якутии. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Месторождения Якутии
[2] Полезные ископаемые республики Саха. URL: http://www.protown.ru/russia/obl/articles/3408.html

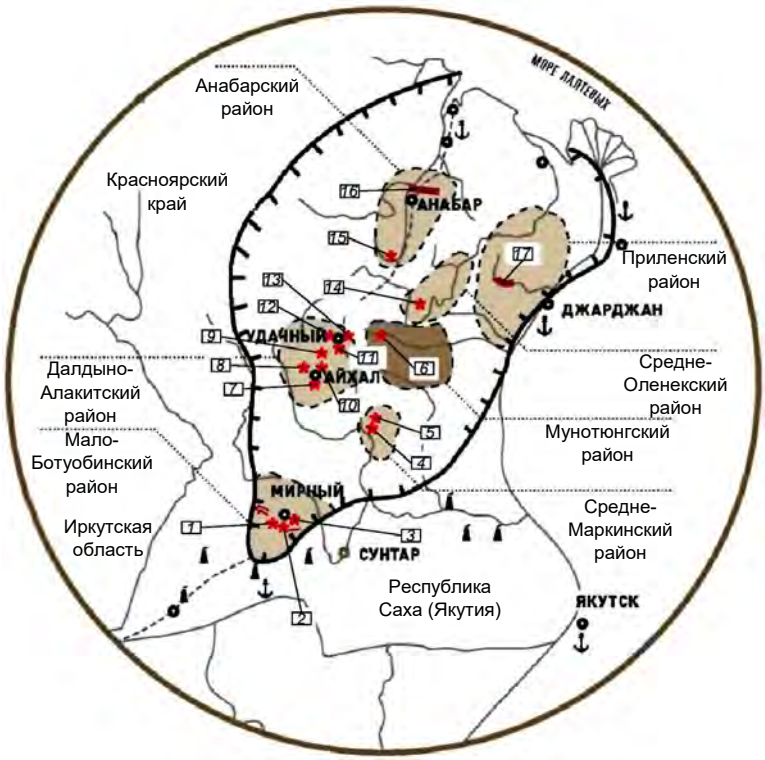


Рисунок 1. Расположение месторождений алмазов в Республике Саха (Якутия). Кимберлитовые трубки. *1* – Интернациональная (34 млн м^3); *2* – Заря (–/40 млн м^3); *3* – Мир (140 млн м^3); *4* – Ботуобинская (138/170 млн м^3); *5* – Нюрбинская (120/170 млн м^3); *6* – Магнитная (–/80 млн м^3); *7* – Айхал (48,5 млн м^3); *8* – Юбилейная (305 млн м^3); *9* – Сытыканская (55 млн м^3); *10* – Комсомольская (70 млн м^3); *11* – показатели уточняются; *12* – Удачная (360 млн м^3); *13* – Зарница (10/100 млн м^3); *14* – Заполярная (–/90 млн м^3); *15* – Майская (–/84 млн м^3); *16*, *17* – показатели уточняются. В числителе приведены объемы пустой породы, находящиеся в отвалах. В знаменателе – объемы, образуемые после разработки перспективных месторождений алмазов.

глинистых сланцев и др.), песчаные и глинистые грунты могут быть использованы при соблюдении технологии уплотнения отсыпаемых насыпей (соблюдение заданной толщиной уплотняемого слоя, числа проходов уплотняющих машин и механизмов).

По данным [9], более 90 % породы в отвалах алмазодобывающей промышленности относятся именно к скальным грунтам и пескам. Следовательно, данная порода может быть использована в качестве материала для строительства транспортных магистралей. Порода в данных отвалах достаточно долгое время слеживалась, а структура отвала представляет разнокусковый массив [10]. Поэтому необходимы разработка и создание специализированного комплекса по разборке отвалов. Также должна быть проведена подготовка соответствующих специалистов.

С учетом перспективы использования пустых пород в качестве материала для строительства транспортных магистралей сама трасса должна пройти вблизи отвалов пустых пород. На рис. 1 показаны существующие и перспективные месторождения алмазов в Республике Саха (Якутия). Вблизи данных месторождений находятся и сами отвалы пустой породы. Данные отвалы принадлежат АК «АЛРОСА».

Авторы постоянно работают над перспективными направлениями транспортных магистралей на территории Западной Якутии [11, 12]. В первую очередь, речь идет о строительстве Якутского транспортного коридора, который должен соединить порты Северного морского пути Юрюнг-Хая, Тикси и Хатанга с Казахстаном, Кыргызстаном, Монголией, Индией, и Китаем. А загрузка Северного морского пути на ближайшие десятилетия особенно актуальна [13, 14].

Для устойчивого развития социально-экономической сферы любого региона его предприятия должны иметь выход на рынки сбыта, расположенные не только внутри региона, но и за его пределами. Без соответствующего развития транспортной сети это недостижимо [15].

Строительство транспортных магистралей должно учитывать перспективные объемы грузов, которые будут по ним транспортироваться. Как показывают расчеты, объемы земляных масс при строительстве двухпутных и однопутных магистралей отличаются до 40 % и зависят от рабочей отметки земляного полотна. Причем чем больше рабочая отметка, тем меньше эта разница. Объемы строительного материала, необходимого при возведении земляного полотна с различными рабочими отметками, а также протяженность транспортных магистралей, которые могли быть построены при использовании пустой породы из отвалов АК «АЛРОСА»[3], приведены ниже.

Зависимость объемов *V* и протяженности *L* земляного полотна от высоты насыпи *H* (рабочей отметки)

H, м ……	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_1, м^3……....	5	13	24	38	55	75	98	124	153	186
V_2, м^3 …….	7	17	30	46	66	88	113	141	172	206
L_3, км …….	198 020	76 336	41 408	26 178	18 100	13 280	10 168	8039	6517	5391
L_4, км …….	140 845	58 140	33 003	21 552	15 267	11 416	8873	7102	5817	4854

Примечания: 1 – объем земляного полотна однопутной железной дороги протяженностью 1 м; 2 – объем земляного полотна двухпутной железной дороги протяженностью 1 м; 3 – протяженность земляного полотна однопутной железной дороги, определенная из расчета использования 1 млрд м^3 пустой породы из отвалов АК «АЛРОСА»; 4 – протяженность земляного полотна двухпутной железной дороги, определенная из расчета использования 1 млрд м^3 пустой породы из отвалов АК «АЛРОСА».

[3] Инвестиционные проекты АК АЛРОСА. URL: http://www.alrosa.ru/wp-content/uploads/2016/08/Буклет-4-проекта_RUS.pdf

Таблица 1. Протяженность автомобильных и железных дорог стран мира.

Страна	Площадь территории, тыс. км^2	Численность населения, тыс. чел.	Протяженность, км		Удельное покрытие, км/км^2		Удельное покрытие км/тыс. чел.	
			Авто[4]	Ж/д[5]	Авто	Ж/д	Авто	Ж/д
США	9519,4	324 880	6 586 610	293 564	0,69	0,031	20,27	0,90
Индия	3287,6	1 300 949	4 865 000	64 215	1,48	0,020	3,74	0,05
КНР	9599	1 381 783	4 460 000	191 270	0,46	0,020	3,23	0,14
Бразилия	8514,9	205 739	1 751 868	29 817	0,21	0,004	8,52	0,14
Россия	17 125,2	146 797	1 396 000	87 157	0,08/0,08*	0,005/0,006*	9,51/9,66*	0,59/0,74*
Япония	377,8	126 960	1 215 000	27 268	3,22	0,072	9,57	0,21
Канада	9984,7	35 145	1 042 300	46 552	0,10	0,005	29,66	1,32
Франция	547	64 513,2	1 028 446	29 901	1,88	0,055	15,94	0,46
Австралия	7686,9	25 195	823 217	38 445	0,11	0,005	32,67	1,53
Испания	504,8	46 423,1	681 298	15 064	1,35	0,030	14,68	0,32
Германия	357	82 164	644 480	46 551	1,81	0,130	7,84	0,57
Республика Саха (Якутия)	3083,5	959,9	12 209/33 761*	525/22 077*	0,004/0,01*	0,0002/0,007*	12,72/35,17*	0,55/23,0*

*С учетом строительства дополнительных 21 552 км транспортных магистралей.

Таблица 2. Виды работ при возведении земляного полотна транспортных магистралей в зависимости от времени года.

Особенности возведения земляного полотна в зависимости от состояния основания			
Промерзший грунт (время года 1)	Процесс оттаивания (время года 2)	Оттаявший грунт (время года 3)	Процесс промерзания (время года 4)
Работы: а, б, в, ж, и	Работы: г, д, е, ж, и	Работы: г, д, е, ж	Работы: а, б

Перечень основных работ: а) устройство зимника для перевозки пустой породы автотранспортом; б) подготовка основания земляного полотна; в) возведение земляного полотна; г) формирование отвала пустых пород для стройки будущего года; д) укладка и балластировка рельсошпальной решетки; е) укладка железнодорожного съезда в месте формирования отвала пустой породы; ж) уборка оставшегося грунта и рекультивация земель; и) устройство площадок для промежуточных станций.

Из зависимости видно, что 1 млрд м^3 пустой породы хватит на строительство двухпутных транспортных магистралей общей протяженностью 21 552 км со средней высотой насыпи 4 м. Для сравнения: протяженность коридора от Олёкминска до Юрюнг-Хая составляет 1958 км.

Первый миллиард кубометров пустой породы, которая уже лежит в отвалах на поверхности, можно использовать для строительства в первую очередь промышленных автомобильных и железных дорог. А по мере социально-экономического развития региона можно использовать второй миллиард кубометров породы для строительства магистралей гражданского назначения.

Строительство такого объема магистралей позволило бы поднять на новый уровень развития не только саму Якутию, но и повысить удельные показатели покрытия дорожной сетью территории России.

Показатели покрытия дорожной сетью территорий некоторых развитых и стремительно развивающихся стран мира приведены в табл. 1.

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что у России имеется потенциал роста по показателям удельного покрытия дорожной сетью как по отношению к площади территории, так и на одну тысячу населения. Особенно важным является показатель отношения протяженности транспортных магистралей к одной тысяче человек. Ведь дороги нужны именно человеку.

Отдельно следует остановиться на особенностях технологии строительства транспортных магистралей в данном регионе. Большая часть территории расположена в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. Существуют определенные ограничения по протяженности строительного сезона. Поэтому технология строительства транспортных магистралей должна быть разработана с учетом обеспечения равномерности трудозатрат в течение всего года, что благоприятно будет сказываться на социально-экономическом развитии региона.

Выбор варианта трассы должен выполняться с учетом данной схемы. При этом данная схема накладывается на вариант трассы транспортной магистрали. Затем должна быть проведена геологоразведка территорий, попавших в зону рентабельности перевозки пустой породы. В случае обнаружения месторождений полезных ископаемых оценить возможность использования отходов горно-обогатительного производства для возведения транспортных магистралей.

Перечень основных работ, которые должны выполняться при строительстве транспортных магистралей, приведен в табл. 2. Данные работы разделены с учетом времени года.

Из табл. 2 следует, что одни и те же работы могут быть выполнены в разное время года. Учет трудозатрат каждого вида работ в разное время года позволит получить график движения рабочей силы и наиболее рационально распределить ресурсы в течение года.

Далее раскроем порядок возведения земляного полотна транспортных магистралей по схеме, представленной на рис. 2.

Участок номер 1 (от основного месторождения с существующими отвалами пустых пород до точки 1):

1. Строительство земляного полотна в зимний период с перевозкой грунта автотранспортом по зимнику (расположен рядом со строящейся трассой). При этом протяженность строительства может быть разной в зависимости от объемов возводимого земляного полотна на данном участке. Ведущей работой является формирование земляного полотна.

Участок номер 2 (от точки 1 до точки 2):

1. Часть грунта везется из основного месторождение с существующими отвалами пустых пород, а часть из сформированного в конце строительства земляного полотна отвала *V*п1 (точка 1).

2. Грунт из отвалов, сформированных в нестроительный сезон, перевозится автотранспортом, который заблаговременно (в процессе промерзания грунтов основания) завозится железнодорожным транспортом в точку 1.

3. Отвал *V*п2 формируется путем перевозки пустой породы железнодорожным транспортом в нестроительный сезон (время года 2, 3, 4).

[4] Список стран по длине сети автомобильных дорог. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список стран по длине сети автомобильных дорог
[5] Список стран по длине сети железных дорог. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список стран по длине сети железных дорог

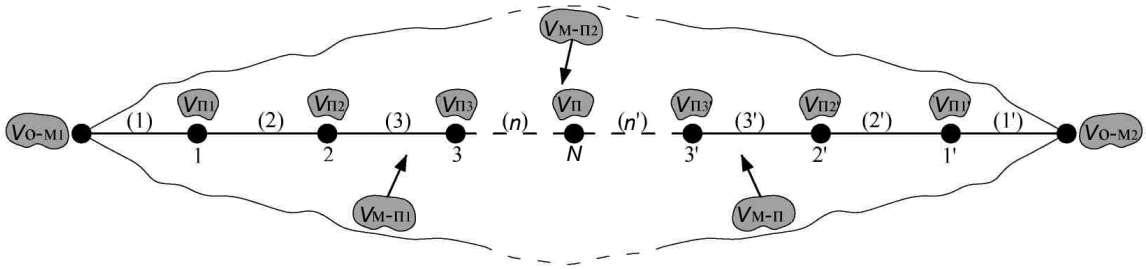


Рисунок 2. Развернутая схема строительства транспортной магистрали с учетом использования объемов пустых пород из отвалов основных и перспективных месторождений. *V*о-м1 – основное месторождение с существующими отвалами пустых пород; *V*м-п1 – перспективное месторождение с формированием отвалов пустых пород (1 – номер месторождения); 1, 2,…, *N* – номер точки завершения возведения земляного полотна в строительный сезон при завозе объемов строительного материала с отвалов существующего основного месторождения 1, 1', 2', …, *N* – номер точки завершения возведения земляного полотна в строительный сезон при завозе объемов строительного материала с отвалов существующего основного месторождения 2; (1), (2),…, (*n*) – номер участка возведения земляного полотна в строительный сезон при завозе объемов строительного материала с отвалов существующего основного месторождения 1; (1'), (2'),…, (*n*') – номер участка возведения земляного полотна в строительный сезон при завозе объемов строительного материала с отвалов существующего основного месторождения 2; *V*п1, *V*п2, …, V*пn* – промежуточный отвал, формируемый в нестроительный сезон путем завоза пустой породы железнодорожным транспортом с отвалов существующего основного месторождения 1; *V*п1', *V*п2' – промежуточный отвал, формируемый в нестроительный сезон путем завоза пустой породы железнодорожным транспортом с отвалов существующего основного месторождения 2; *V*м-п1,…., *V*м-п*n* – промежуточное месторождение, расположенное в зоне рентабельности перевозки пустой породы для возведения транспортной магистрали.

Участок номер 3 (от точки 2 до точки 3):

1. Часть грунта везется из основного месторождения с существующими отвалами пустых пород, а часть из сформированного в конце строительства земляного полотна отвала *V*п2 (точка 2). При наличии в зоне рентабельности (более выгодные условия доставки пустой породы для возведения хребтовой магистрали) месторождений полезных ископаемых необходимо оценить возможность использования отходов горно-обогатительного производства для возведения транспортных магистралей.

2. Грунт из отвалов, сформированных в нестроительный сезон, перевозится автотранспортом, который заблаговременно (в процессе промерзания грунтов основания) завозится железнодорожным транспортом в точку 2.

3. Отвал *V*п3 формируется путем перевозки пустой породы железнодорожным транспортом в нестроительный сезон (время года 2, 3, 4).

Для ускоренного возведения земляного полотна должны быть уложены две нитки железнодорожного пути на одном земляном полотне. После возведения земляного полотна на всем участке один путь может быть разобран и на его месте организовано движение автотранспорта с предварительной подготовкой дорожной одежды. Таким образом, получим земляное полотно с совмещенным движением авто- и железнодорожного транспорта.

Имея в виду энергетический потенциал Якутии (72,4 ГВт), можно использовать его как основной источник энергии для движения транспортных средств.

Сегодня нет методик, которые могли бы учесть будущее развитие региона с учетом строительства новых транспортных магистралей, а тем более стратегическую составляющую, которую обеспечивает любая магистраль. Так сколько же может стоить безопасность? И нужно ли здесь говорить о стоимости?

Есть лишь примерные методики, которые могут склонить в ту или иную сторону при принятии решения. Но для принятия решения нужно в первую очередь обращать внимание на время (в данном случае сроки строительства). Быстро дорогу не построить, поэтому надо начинать сейчас. Строительство транспортных магистралей в данном регионе должно быть связано с транспортной стратегией России до 2030 и 2050 гг.

Очевидно, что строительство именно железнодорожной магистрали, соединяющей уже существующие транспортные коридоры, позволит вдохнуть новую жизнь в регион. Например, в районах прохождения Транссибирской и Байкало-Амурской магистрали было построено несколько крупных городов.

Заключение

Для ускоренного развития транспортных магистралей на территории Якутии в первую очередь необходимо:

1. Разработать специальные технические условия на проектирование транспортных магистралей с использованием отходов производства горно-обогатительных комбинатов.

2. Выбрать принципиальный вариант прохождения трассы с учетом расположения существующих и перспективных отвалов пустых пород.

3. Разработать и подготовить специализированный комплекс по разборке отвалов и соответствующих специалистов для выполнения данных работ.

4. Определить стоимость пустой породы для дальнейшего ее использования при возведении земляного полотна транспортных магистралей.

5. Рассмотреть возможные источники финансирования с учетом заинтересованности всех уровней власти Российской Федерации и инвесторов, в том числе зарубежных.

6. С целью минимизации использования вахтового метода работы и увеличения численности постоянно проживающего населения в регионе предусмотреть в технологии строительства транспортных магистралей равномерное использование трудовых ресурсов в течение года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курнева М. В. Перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазных месторождений Республики Саха (Якутия) // Горная промышленность. 2014. № 3 (115). С. 58–64.
2. Якушев А. Ж., Дамдиндорж Б. Оценка влияния проекта строительства российско-американской магистрали через Берингов пролив на развитие транспортной системы центральной Азии и внешней торговли Монголии // Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 3, № 2. С. 96–104.
3. Степанова Н. А. Особенности развития транспортной инфраструктуры в Республике Саха (Якутия) // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 47. С. 26–30.
4. Гасилов В. В., Замчалова С. С., Шибаева М. А. и др. Определение стоимости проектно-изыскательских работ на строительство автодорог и сооружений на них // Наука и техника в дорожной отрасли. 2004. № 2 (29). С. 12–13.
5. Казикаев Д. М. Эффективные пути решения проблем разработки алмазных месторождений Якутии // ГИАБ. 2015. № 6. С. 45–48.
6. Тарасов П. И. Проблемы магистрального транспортирования руды от удаленных кимберлитовых месторождений // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 5. С. 25–32.
7. Меркулов А. С., Терехова О. Г. Экономика инноваций в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2015. Т. 2. С. 145–156.
8. Свод правил по проектированию и строительству: СП 32-104-98. Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм. М.: Госстрой России, 1999.
9. Коноваленко В. Я. Справочник физико-механических свойств горных пород алмазных месторождений Якутии. Новосибирск: СО РАН, 2012. 276 с.
10. Захаров В. Н., Зырянов И. В., Хазин М. Л. и др. Перспективные транспортные системы для развития арктических и северных территорий РФ // Горная промышленность. 2016. № 4. С. 52–54.
11. Миронова С. И. Отвалы карьеров алмазных месторождений Якутии как объекты рекультивации и их рекультивационный потенциал // Проблемы региональной экологии. 2014. № 1. С. 178–181.
12. Тарасов П. И., Зырянов И. В., Хазин М. Л. Якутский транспортный коридор // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке: тез. IX междунар. науч.-техн. конф. Новосибирск. Изд-во СГУПС, 2016. С. 127–129.
13. Колесников Н. Г. Методика оценки транспортной связности территории на примере сети всесезонных автодорог Республики Саха (Якутия) // Экономика Востока России. 2017. № 1 (7). С. 102–106.

14. Мыреев А. Н. Создание единой транспортной сети Якутии // Транспортное строительство. 2008. № 8. С. 3–4.
15. Ефремов Э. И. Транспортная инфраструктура Якутии: проблемы и перспективы // Экономический анализ: теория и практика. 2013. № 5 (308). С. 50–56.

REFERENCES

1. Kurneva M. V. 2014, *Perspektivy razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy almaznykh mestorozhdeniy Respubliki Sakha (Yakutia)* [The prospects of the development of mineral resources of diamond deposits in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry], no. 3 (115), pp. 58–64.
2. Yakushev A. J., Damdindorzh B. 2017, *Otsenka vliyaniya proekta stroitel'stva rossiysko-amerikanskoy magistrali cherez Beringov proliv na razvitie transportnoy systemy Tsentral'noy Asii i vneshney torgovli Mongolii* [Assessment of the impact of the project of construction of the Russian-American highway through the Strait of Bering on the development of the transport system of Central Asia and on the Mongolia's foreign trade]. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya* [Economy and management: problems and solutions], vol. 3, no. 2, pp. 96–104.
3. Stepanova N. A. 2013, *Osobennosti razvitiya transportnoy infrastruktury v Respublike Sakha (Yakutia)* [Development peculiarities of the transport infrastructure in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Natsional'nye interesy: prioritety i bezopasnost'* [National interests: priorities and security], no. 47, pp. 26 – 30.
4. Gasilov V. V., Zamchalova S. S., Shibaeva M. A., and others. 2004, *Opredelenie stoimosti proektno-izyskatel'skikh rabot na stroitel'stvo avtodorog i sooruzheniy na nikh* [Determining the cost of design and survey works for the construction of roads and structures on them]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli* [Science and technology in the road sector], no. 2 (29), pp. 12–13.
5. Kazikaev D. M. 2015, *Effectivnye puti resheniya problem razrabotki almaznykh mestorozhdeny Yakutii* [Effective solutions to the problems of development of diamond deposits in Yakutia]. *Gornyi informatsionno-analyticheskiy bulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 6, pp. 45–48.
6. Tarasov P. I. 2014, *Problemy magistral'nogo transportirovaniya rudy ot udalyonnykh kimberlitovykh mestorozhdeniy* [Problems of trunk transportation of ore from remote kimberlite deposits]. *Gornoe oborudovanie i electromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 5, pp. 25–32.
7. Merkulov A. S., Terekhova O. G. 2015, *Ekonomika innovatsiy v stroitel'stve i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog* [The economics of innovation in the construction and maintenance of roads]. *Transportnaya infrastructura Sibirskogo regiona* [Transport infrastructure of the Siberian region], vol. 2, pp. 145–156.
8. 1999, *Proektirovanie zelyanogo polotna zheleznykh dorog kolei 1520 mm* [Designing of an earth track of gauge railways of 1520 mm]. *Svod pravil po proektirovaniyu i stroitel'stvu SP 32104-98* [Russian Code of rules for design and construction no. SP 32-104-98]. Moscow.
9. Konovalenko V. Ya. 2012, *Spravochnik fiziko-vekhanicheskikh svoystv porod almaznykh mestorozhdeniy Yakutii* [Handbook of physical and mechanical properties of rocks of diamond deposits of Yakutia]. Novosibirsk, 276 p.
10. Zakharov V. N., Zyryanov I. V., Khazin M. L. and others. 2016, *Perspektivnye transportnye systemy dlya razvitiya Arkticheskikh i Severnykh territoriy RF* [Advanced transport system for the development of the Arctic and Northern territories of Russia]. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry], no. 4, pp. 52–54.
11. Mironova S. I. 2014, *Otvaly car'erov almaznykh mestorozhdeniy Yakutii kak ob'ecty rekul'tivatsii i ikh recultivatsionnyi potentsial* [Dump pits of diamond deposits in Yakutia as objects of remediation and their reclamation potential]. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology], no. 1, pp. 178–181.
12. Tarasov P. I., Zyryanov I. V., Khazin M. L. 2016, *Yakutskyi transportnyi koridor* [Yakut transport corridor]. *Sb.: Nauchnye problemy realizatsii transportnykh proektov v Sibiri i na Dal'nem Vostoke. IX Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya conferentsiya "Politransportnye systemy". Tezisy conferentsii* [Collected theses: Scientific problems of implementation of transport projects in Siberia and the Far East. 9th international scientific and technical conference "Polytransport systems". Abstracts of the conferences], Novosibirsk, pp. 127–129.
13. Kolesnikov N. G. 2017, *Metodika otsenki transportnoy svyaznosti territorii na primere seti vsesezonnykh avtodorog Respubliki Sakha (Yakutia)* [Methods of the evaluation of transport connectivity areas by an example network of all-season roads of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Ekonomika Vostoka Rossii* [Economics of Russian East], no. 1 (7), pp. 102–106.
14. Myreev A. N. 2008, *Sozdanie edinoy transportnoy seti Yakutii* [Building a unified transport network of Yakutia]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction], no. 8, pp. 3–4.
15. Efremov E. I. 2013, *Transportnaya infrastruktura Yakutii: problemy i perspektivy* [Transport infrastructure of Yakutia: problems and prospects]. *Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika* [Economic analysis: theory and practice], no. 5 (308), pp. 50–56.

Марк Леонтьевич Хазин,
khasin@ursmu.ru
Владимир Трофимович Дмитриев
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Петр Иванович Тарасов
tp6005@mail.ru
ООО «Перспектива-М»
Россия, Екатеринбург, ул. Высоцкого, 44, оф. 58

Олег Ведимирович Голубев
golubev_ov@mail.ru
Уральский государственный университет путей сообщения
Россия, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Mark Leont'evich Khazin,
khasin@ursmu.ru
Vladimir Trofimovich Dmitriev
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Petr Ivanovich Tarasov
tp6005@mail.ru
JSC "Perspektiva-M"
Ekaterinburg, Russia

Oleg Vedimirovich Golubev
golubev_ov@mail.ru
Ural State University of Railway Transport
Ekaterinburg, Russia

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК:332.142.4:574:553.9(470.1) DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-95-99

ВОЗМОЖНОСТИ ОСВОЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ С УЧЕТОМ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

И. Г. Бурцева, И. Н. Бурцев, Т. В. Тихонова

Opportunities for development of non-traditional hydrocarbon resources in the Timan-North Ural region, taking into account ecosystem services

I. G. Burtseva, I. N. Burtsev, T. V. Tikhonova

The authors formulate the definition of non-traditional resources from geological-genetic, technological and economic viewpoints. The authors present a detailed assessment of the resource potential of non-traditional hydrocarbon raw material in the Timan-Severouralsk region, including hydrocarbons in the deposits of the domanic type, methane of coal seams, liquid and gaseous hydrocarbons potentially extracted from black, brown coal and combustible shales. The authors also show the main directions of industrial use of coal and oil shales. The assessment of the resource potential of hydrocarbon raw materials in the deposits of the domanic type varies widely; the recoverable resources may amount to about 1 billion tons. Bituminous coals with a high volatile yield have the highest degree of conversion to liquid hydrocarbons, and brown and black coals of with a low degree of metamorphism usually serve for the production of combustible gas and primary resin. The paper describes the option of developing oil shale deposits as a possible investment project. The determined components and overall values of the economic effect from the implementation of the projects under consideration allow us to estimate that the payback period of investments does not exceed seven years. There is also a social effect: the creation of an additional 550 jobs in the operation of the quarry and about 700 jobs – in the enrichment and processing of oil shales. The estimated annual volume of output is 25–30 billion rubles, and the volume of tax revenues – up to 100 billion rubles. The authors evaluated ecosystem services in the territories of potential industrial development of coal and oil shale deposits; identified the beneficiaries of the benefits from the use of environmental services and the possibility of calculating payments.

Keywords: Timan-Severouralsk region; resources; hydrocarbon raw materials; non-traditional sources; brown coals; oil shales; economic evaluation; ecosystem services.

Сформулировано определение нетрадиционных ресурсов с геолого-генетической, технологической и экономической позиций. Представлена достаточно детальная оценка ресурсного потенциала нетрадиционного углеводородного сырья Тимано-Североуральского региона, включающего углеводороды в отложениях доманикового типа, метан угольных пластов, жидкие и газообразные углеводороды, потенциально извлекаемые из каменных, бурых углей и горючих сланцев, отражены основные направления промышленного использования углей и горючих сланцев. Установлено, что оценка ресурсного потенциала углеводородного сырья в отложениях доманикового типа варьирует в значительных пределах, величина извлекаемых ресурсов может составить около 1 млрд т, наибольшая степень конверсии в жидкие углеводороды у битуминозных углей с высоким выходом летучих веществ, а для получения горючего газа и первичной смолы обычно используются бурые и каменные угли низкой степени метаморфизма. В качестве возможного инвестиционного проекта рассмотрен вариант освоения месторождений горючих сланцев. Определены составляющие и общие величины экономического эффекта от реализации рассматриваемых проектов. Срок окупаемости инвестиций не превышает семи лет. Имеет место и социальный эффект: создание дополнительно 550 рабочих мест при эксплуатации карьера и около 700 рабочих мест – при обогащении и переработке горючих сланцев. Годовой объем произведенной продукции оценивается в 25–30 млрд руб., а объем налоговых поступлений – до 100 млрд руб. Выполнена стоимостная оценка экосистемных услуг на территориях потенциального промышленного освоения месторождений угля и горючих сланцев, выявлены получатели выгод от использования экоуслуг и возможность исчисления платежей.

Ключевые слова: Тимано-Североуральский регион; ресурсы; углеводородное сырье; нетрадиционные источники; бурые угли; горючие сланцы; экономическая оценка; экосистемные услуги.

Топливно-энергетический комплекс играет ведущую роль в экономике России, составляя 30 % в валовом внутреннем продукте страны, 70 % экспорта, генерируя половину налоговых поступлений. Россия занимает лидирующие позиции в мировой добыче нефти и газа, уступая Саудовской Аравии (нефть) и США (газ). Вместе с тем российский нефтегазовый комплекс сегодня сталкивается с такими проблемами, как сокращение перспективных ресурсов и активных запасов, снижение финансирования геологоразведочных работ, неудовлетворительное качество новых объектов, рост трудноизвлекаемых запасов. Освоение ресурсов шельфа требует огромных капиталовложений, в том числе инфраструктурных, к тому же осложнено ограничениями на применение новых технологий и оборудования вследствие санкций. К тому же добыча углеводородов на российском шельфе – удел исключительно крупнейших компаний. На этом фоне закономерен интерес недропользователей как к извлечению остаточных, трудноизвлекаемых запасов, так и к изучению и освоению нетрадиционных источников углеводородного сырья.

В литературе представлены различные классификации нетрадиционных источников углеводородного сырья, но в целом надо отметить, что понятийная база как флюидов, так и коллекторов нетрадиционных углеводородов еще не разработана [1]. Неоднозначные толкования вызывают ошибки даже у экспертов – в оценках ресурсного потенциала, экономической эффективности добычи, принятии стратегических решений по развитию отраслей топливно-энергетического комплекса. Довольно подробно эти вопросы рассматриваются в работах С. Г. Неручева, В. П. Якуцени, А. Э. Конторовича, Т. К. Баженовой, О. М. Прищепы, О. Ю. Аверьяновой, Д. Морариу, Л. Д. Цветкова и многих других исследователей.

К нетрадиционным ресурсам углеводородного сырья относят как трудноизвлекаемые на достигнутом сегодня уровне технологического развития ресурсы нефти и газа, так и ресурсы углеводородов, отличающиеся от традиционных по свойствам, генезису, форме нахождения во вмещающих отложениях.

Проблема освоения нетрадиционных источников углеводородного сырья может и должна рассматриваться с разных позиций – геологических, технологических, экономических. С геолого-генетических позиций различные типы нетрадиционных нефтегазовых скоплений выделяют, исходя из состава вмещаю-

щих и нефтегазогенерирующих пород, их коллекторских свойств, состава и физического состояния углеводородов. С технологической точки зрения нетрадиционные ресурсы – это ресурсы углеводородов, извлечение которых невозможно традиционными методами, за счет бурения вертикальных скважин и скважин с горизонтальным окончанием и применением стандартных методов интенсификации добычи. В набор специальных технологий добычи включают: бурение многоствольных и веерных горизонтальных скважин; многостадийные (многозоновые) гидроразрывы пластов; трехмерное сейсмическое моделирование толщ и пространственное позиционирование стволов скважин; методы стимулирования отбора нефти; закачку жидкости гидроразрыва в сверхбольших объемах; подземное сжигание; пиролитическую переработку в недрах и в специальных аппаратах на поверхности и другие. С другой стороны, если метод добычи перестает быть уникальным и «нетрадиционные» ресурсы начинают массово рентабельно осваиваться при помощи тех или иных новых технических средств и технологий, наблюдается переход «нетрадиционных» источников ресурсов в освоенные промышленностью – традиционные. В широком экономическом смысле нетрадиционные ресурсы углеводородов – это практически всегда более дорогие по себестоимости разработки ресурсы.

По отношению к углеводородному сырью разделяют «подвижные» и «неподвижные» части ресурсов и запасов в недрах [2]. Для первого вида углеводородного сырья имеются современные эффективные технологии освоения, обеспечивающие себестоимость добычи ниже текущего мирового уровня цен на углеводородное сырье. Для освоения второго вида углеводородов требуется применение дополнительных технических средств и приемов добычи и переработки. Экономическая эффективность процесса добычи такого сырья (или, как частный случай, получения сырья пиролизом, подземным крекингом и т. д.) во многом зависит от мирового уровня цен, а рыночные ниши для некоторых получаемых продуктов могут быть довольно узкими.

Тимано-Североуральский регион, наряду с промышленной нефтегазоносностью Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПП), характеризуется большим разнообразием нетрадиционных источников углеводородов, часть из них уже осваивается или подготавливаются к освоению, другая часть только изучается и оценивается. К первоочередным источникам углеводородного сырья, осваиваемым и готовым для освоения, относятся (по [2], с добавлениями авторов): попутные газы нефтяных месторождений; высокомолекулярные битуминозные компоненты и конденсаты газовых месторождений; тяжелые и высоковязкие нефти; природные битумы; нефти и газы в трещинных коллекторах рифейского структурного этажа; газы и нефти в низкопроницаемых коллекторах; метан угольных пластов. В средне- и долгосрочной перспективе планируется добыча нефти и газов из глубоких горизонтов осадочного чехла (свыше 4,5–5 км); извлечение остаточных запасов нефти и газа из отработанных залежей и из месторождений с глубокой депрессией пластового давления; добыча газов и нефти сланцевых формаций; разработка месторождений горючих сланцев и бурых углей; добыча высокомолекулярного сырья из отработанных газовых и газоконденсатных месторождений. К группе проблемных и гипотетических источников углеводородов относятся газогидраты донных отложений шельфа и подмерзлотных толщ континентальной части; газогидраты в свободных газовых скоплениях; водорастворенные газы.

Примечательной особенностью региона является сбалансированное соотношение ресурсов углеводородов в основных видах нетрадиционных источников, варьирующее в интервале от 14 % (метан угольных пластов) до 40 % (природные битумы) при доле тяжелых нефтей и углеводородов в низкопроницаемых коллекторах 20–26 % [3]. Это расширяет инновационную составляющую проектов освоения ресусов, повышает их общую экономическую эффективность, снижает чувствительность к колебаниям цен на мировых рынках. Среди перспективных для промышленного освоения нетрадиционных ресурсов углеводородов Тимано-Североуральского региона выделяются следующие:

Углеводороды в отложениях доманикового типа

В Тимано-Печорской провинции отложения доманикового типа являются низкопроницаемыми нефтегазоматеринскими породами и содержат нефть и газ в традиционных коллекторах (трещинных, поровых, кавернозных). Сегодня они рассматриваются также как возможные нетрадиционные источники углеводородов (сланцевого газа, сланцевой и керогеновой нефти). Генерационный потенциал зависит от типа органического вещества, его содержания в породе, мощности и площади распространения нефтегазоматеринских пород. В образовании органического вещества доманика сапропелевого и гумусо-сапропелевого типа наибольшее участие принимали водорослевая органика и зоопланктон. По содержанию органического вещества в отложениях доманиковой формации ТПП обычно различают доманикиты ($C_{орг}$ = 5–25 %) и доманикоиды ($C_{орг}$ = 0,5–5 %). Площадь распространения таких отложений только в ТПП превышает 200 тыс. км^2. Мощность наиболее обогащенных органическим веществом пород составляет 20–40 м [4, 5]. В отложениях доманикового типа выявлено более 10 месторождений, а залежи углеводородов в доманикитах, притоки нефти и(или) газа из них установлены более чем в 100 скважинах. В то же время изученность этих отложений, вскрытых несколькими тысячами скважин, остается слабой. Оценки ресурсного потенциала углеводородного сырья в отложениях доманикового типа варьируют в значительных пределах. При минимальных значениях подсчетных параметров (площадь 100 тыс. км^2, толщина 10 м, содержание извлекаемой нефти 1 кг/м^3) величина извлекаемых ресурсов может составить около 1 млрд т [6]. Объем ресурсов углеводородов, оцененный во ВНИГРИ по методу аналогий, составляет 3,4 млрд т (по состоянию на 01.01.2009 г.). В то же время по балансовой модели ресурсный потенциал оценивается величиной от 5 до 16 млрд т . Т. К. Баженова оценивает остаточное количество нефти в доманиковой формации ТПП в 58,6 млрд т [7]. По технически извлекаемым ресурсам оценки варьируют от 898 млн т (ВНИГНИ, 2011 г.) до 8,3 млрд т нефти и 4,6 трлн м^3 газа (О. М. Прищепа, ВНИГРИ, 2014 г.). По уточненной оценке О. М. Прищепы (ВНИГРИ, 2016 г.), технически извлекаемые ресурсы углеводородов доманиковой формации ТПП составляют 5,3 млрд т нефти и 4,8 трлн м^3 газа [7].

Так как кероген доманика Тимано-Печорского бассейна генерировал нефти уже на ранних стадиях, по сравнению с главными фазами нефтегенерации, они характеризуются повышенной плотностью, сернистостью, высоким содержанием смол, парафинов. Это вызывает необходимость применения дополнительных технологических операций (термопаровой прогрев пласта, химическая обработка) при будущей добыче углеводородов из отложений доманикового типа.

Метан угольных месторождений и бассейнов

Метаноносность большинства угольных пластов каменноугольных бассейнов России составляет от 10 до 45 м^3 на 1 т угля. Общие ресурсы метана в основных угленосных бассейнах России составляют от 45–52 трлн м^3 (оценки ВНИГРИуголь, ВНИГРИ) до 83,7 трлн м^3 (оценка ОАО «Газпром»), их извлекаемая часть – около 50 %. Прогнозные ресурсы Печорского бассейна составляют 1942 трлн м^3. Ресурсы Воркутинского углепромышленного района – около 600 млрд м^3, ресурсы Хальмерьюского углепромышленного района – свыше 240 млрд м^3, ресурсы Коротаихинского угленосного района – более 160 млрд м^3. Наиболее крупными ресурсами характеризуются Воркутское и Усинское месторождения – около 280 и 250 млрд м^3 соответственно. На Воргашорском месторождении ресурсы метана составляют около 70 млрд м^3. В настоящее время в Воркутинском районе шахтными дегазационными установками извлекается 200–300 млн м^3 метана в год, а из этого объема используется около 120–150 млн м^3/год для получения тепла на газовых калориферных установках и для сушки угля на пришахтных обогатительных фабриках. Хотя масштабность ресурсов метана угольных пластов позволяет организовать добычу газа в объеме 1,0–1,5 млрд м^3/год [8].

На шахте «Северная» до аварии 2016 г. был реализован наиболее важный проект, предусматривающий увеличение утили-

зации дегазационного метана вдвое (до 36,5 тыс. т/год) и сокращение выбросов в атмосферу на 0,456 млн т CO_2-эквивалента. Ресурсный потенциал метана угольных пластов в Печорском бассейне и имеющийся опыт по утилизации шахтного метана позволяют организовать добычу угольного метана в объеме до 1,0 млрд м^3/год и более. Для самостоятельной добычи метана пригодны неразрабатываемые месторождения Коротаихинской впадины (Талотинское, Янгарейское, Хейягинское, Силовское). Но реализация таких проектов тесно связана с градоэкономическим преобразованием города Воркуты и развитием прилегающей арктической зоны.

Угольные ресурсы для получения жидких и газообразных углеводородов

Среди всего метаморфического ряда углей наибольшая степень конверсии в жидкие углеводороды достигается у битуминозных углей с высоким выходом летучих веществ. По основным генетическим показателям (степень метаморфизма, микрокомпонентный состав, восстановленность углей) для получения синтетического жидкого топлива методами гидрогенизации наиболее подходят угли Сейдинского (пласты f_4, f_{2+3}, g_5), Воргашорского и Усинского (i_9, i_8, i_5) месторождений. Выделено более 40 пластоучастков, угли которых укладываются в предельные нормативы. Запасы таких углей составляют более 1.8 млрд т, в том числе по категориям А + В + C_1 – более 1,2 млрд т.

По технологии термического растворения с использованием органических растворителей перспективна переработка углей марок Ж (Усинское, Воргашорское, Янгарейское месторождения), ГЖО (Воркутское), длиннопламенных углей (угли марки Д – Интинское, Д, ДГ – Сейдинское, ДГ – Воргашорское месторождения), бурых углей марки Б-Д (Неченское, Шарью-Заостренское, Верхнероговское месторождения).

По технологии полукоксования с целью получения горючего газа, первичной смолы обычно используются бурые и каменные угли низкой степени метаморфизма (марок Б, Б-Д, Д, ДГ, Г). Пригодность углей оценивается по комплексу показателей или по основному параметру – выходу целевого продукта (полукокс, смола полукоксования, газ). Наиболее высоким выходом полукокса (более 90 %) характеризуются угли Верхнесыръягинского месторождения (марки Т, ТС, ОС). Наиболее высоким выходом смол полукоксования (от 10 до 15 %) отличаются угли марок ГЖО и Ж (Воркутское, Воргашорское и Паембойское месторождения).

Оптимальным сырьем для полукоксования признаны угли Сейдинского месторождения (выход полукокса 80–84 %, выход смол 8–12 %, содержание фенолов в смолах – до 27 %). Общие запасы каменных углей, пригодных для полукоксования, на 94 пластоучастках (Сейдинское, Воркутское, Воргашорское, Паембойское, Усинское месторождения) оцениваются величиной более 6,5 млрд т, в том числе по категориям А + В + C_1 – более 2,5 млрд т.

В последние годы получены положительные результаты по бурым углям (марки Б, Б-Д), приуроченным к внешнему борту Косью-Роговской впадины. Выход полукокса – более 80 %, смолы полукоксования – 6 % и выше. Смола полукоксования характеризуется низким содержанием серы (менее 0,5 %), что позволяет уложиться в допуски, установленные для морских судовых топлив Техническим регламентом «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» (Постановление Правительства Российской Федерации от 27.02.2008 г. № 118) и Конвенцией МАРПОЛ (приложение VI). Ресурсный потенциал бурых и длиннопламенных каменных углей, пригодных для переработки методами полукоксования, превышает в регионе 25 млрд т. По существующим оценкам приемлемые для инвестиций показатели экономической эффективности получения синтетического жидкого топлива из угля достигаются при цене нефти в диапазоне 55–70 долл./баррель.

Для получения горючего газа смешанного типа (CO_2 + N_2 + H_2) используются угли с высоким выходом летучих веществ марок Б, Д, ДГ, Г; для получения высококалорийного водяного газа (CO + N_2) – угли с низким выходом летучих марок Т и А. Перспективными месторождениями для этих целей являются Сейдинское, Неченское, Верхнесыръягинское. Запасы каменных углей, пригодных для газификации, составляют около 0,5 млрд т, но ресурсный потенциал бурых углей велик. Газ полукоксования, полученный при переработке бурых углей, показал высокое содержание метана (22–27 %), водорода (9–10 %), этена (1,5–3,2 %), этана (2,8–3,2%). В нем практически отсутствуют сернистые соединения, азот, кислород. Опытно-промышленных исследований углей Печорского бассейна по получению синтез-газа не проводилось.

Горючие сланцы

В Республике Коми и Ненецком автономном округе выявлены значительные ресурсы горючих сланцев (свыше 50 млрд т), приуроченных к отложениям верхней юры. Выделены два крупных бассейна, в которых обособляются сланценосные районы с различным ресурсным потенциалом, – Тимано-Печорский бассейн с Ижемским и Большеземельским районами и Вычегодский бассейн с Сысольским и Яренгским районами. В пересчете на потенциально извлекаемое из сланцев жидкое сырье (смолу полукоксования, называемую также сланцевым маслом или керогеновой нефтью) мировые ресурсы составляют свыше 600 млрд т. Ресурсный потенциал сланцевой нефти только в юрских горючих сланцах Тимано-Печорского бассейна составляет, по расчетам авторов, 0,5–1 % мировых запасов. Это высокое значение, определяющее крупномасштабный уровень решаемых задач по освоению данных ресурсов.

При проведении геологического изучения месторождений и технологических исследований горючих сланцев, выполненных в ИГ Коми НЦ УрО РАН (в период с 2007 по 2016 г.), были получены данные, позволившие обосновать перспективы освоения месторождений горючих сланцев в новых экономических условиях и с учетом современных мировых достижений в области их переработки. Наиболее детально изучались месторождения Чим-Лоптюгское (Удорский район) и Айювинское (Сосногорский район).

Оба месторождения находятся в исключительно благоприятных географо-экономических условиях, располагаясь в зоне ближнего влияния проектируемых железнодорожных магистралей «Белкомур» (Чим-Лоптюгское месторождение, участок Вендинга–Карпогоры) и «Баренцкомур» (Айювинское месторождение, участок Сосногорск–Индига). Проектами предполагается проведение комплекса работ по геологическому доизучению, организации добычи и переработки горючих сланцев на установках с твердым теплоносителем УТТ-3000, с получением жидких углеводородов и электрической энергии. Добыча горючих сланцев будет осуществляться открытым способом, что является дополнительным экономическим преимуществом.

Суммарный экономический эффект от реализации рассматриваемых проектов будет складываться из следующих составляющих:

– прибыль от продажи сланцевого масла (керогеновой нефти), оцениваемой по минимальной цене мазута марки М-100;

– прибыль от продажи электроэнергии на свободном рынке;

– прибыль от продажи сланцевой золы, используемой как сырье в производстве портландцемента и гипсовых вяжущих, а также в дорожном строительстве и в сельском хозяйстве;

– прибыль от продажи топливного газа.

Срок окупаемости инвестиций не превышает семи лет. Результаты финансово-экономического анализа показали, что реализация проекта переработки сланцев окажет позитивный эффект на социальную сферу региона – позволит создать дополнительные рабочие места, в частности на каждом месторождении – 550 рабочих мест при эксплуатации карьера и около 700 рабочих мест – при обогащении и переработке горючих сланцев. Годовой объем произведенной продукции оценивается в 25–30 млрд руб., а общий объем налоговых поступлений может составить до 100 млрд руб.

Сланцевые заводы Эстонии показали устойчивую работу и при цене нефти ниже 40 долл./баррель. В период с 2009 по 2015 г. только компанией группой VKG (Эстония) были введены в эксплутацию три установки по переработке горючих сланцев

Экономическая оценка экосистемных услуг (млн руб./год)

Район исследования	Регулирующие услуги	Обеспечивающие услуги	Культурные услуги	Ценность экосистем
Воркутинский	141,2	177,0	0,3	318,5
Интинский	3977,9	176,5	0,3	4154,7
Усинский	2940,6	209,9	0,5	3151,0
Ухтинский	2125,1	409,7	3,5	2538,3
Сосногорский	2943,3	255,1	2,1	3200,5
Удорский	26 301,7	124,2	1,4	26 427,3

«Petroter-I, II, III» (аналог УТТ-3000), мощность каждой установки по перерабатываемому сланцу – 1 млн т/год, объем производства сланцевого масла на одной установке 135 тыс. т/год.

Экологические последствия

При разработке месторождений полезных ископаемых происходит воздействие не только на природные компоненты, а на экосистемы в целом. В связи с этим целью исследования стало комплексное представление характеристики лесных и водных экосистем территорий перспективного освоения данных ресурсов. На территориях потенциального освоения ресурсов было проведено ранжирование наиболее важных экосистемных услуг по степени их значимости. Основными критериями ранжирования являлись следующие критерии: ценность услуги для экономики региона или страны; ценность услуги для поддержания экосистем; ценность для местного населения; культурная и(или) эстетическая ценность.

В проведенной экспертной оценке выявлены наиболее важные для экосистем региона и исследуемых районов услуги. Ими являются следующие:

– *регулирующие* (регулирование климата; водорегулирование; водоочистка почв; предотвращение эрозии почвы; ассимиляция загрязнения воздуха; поддержка биоразнообразия);

– *обеспечивающие* (недревесные ресурсы леса – заготовка ягод, грибов; ресурсы любительской охоты; ресурсы водных объектов – рыбные ресурсы, питьевая вода, добыча торфа; выпас оленей; обитание перелетных птиц);

– *культурные* (рекреация).

Наиболее распространенной в мире для проведения экономической оценки является концепция общей экономической ценности, возникшая в 1990-е гг. Основная идея этой концепции заключается в учете ресурсных, регулирующих и культурных функций природного капитала. Для практически малозаселенной территории, которой являются районы исследования (исключая площади населенных пунктов, занимающие менее 1 % всей площади), наиболее значимыми становятся регулирующие услуги, имеющие глобальное значение. Отличительной особенностью проведения экономической оценки является выявление получателей выгод от использования экоуслуг.

Сводные данные по структуре экоуслуг представлены в таблице.

В настоящее время сформировались направления практического применения оценок экосистемных услуг в области установления платежей, страховых взносов и формирования рынков. При назначении таких платежей основной принцип заключается не в погашении своего негативного воздействия («загрязнитель платит»), а в стимулировании улучшения окружающей среды потенциальным загрязнителем («пользователь платит»). Согласно определению ЕЭК ООН (2007), платежи за экоуслуги означают «договорную сделку между покупателем и продавцом в отношении той или иной экосистемной услуги или практики землепользования/управления, способной обеспечивать такую услугу» [9]. Как правило, такие платежи применяются для сохранения биоразнообразия и качества водных и лесных экосистем [10]. На локальном уровне оценка средообразующих (объединение регулирующих и поддерживающих услуг) функций экосистем предполагает определение ущерба от их деградации и объема ресурсов для их восполнения или предотвращения с применением компенсационного механизма в виде «страхования риска». В частности, исследователями ЦЭМИ были предложены схемы реализации замены существующих «платежей за негативное воздействие» «страховыми платежами», величина которых не вносилась бы в казну бюджетов, а собиралась на самих предприятиях. Исчисление таких платежей предлагалось определять исходя из ценности экосистем, на которые воздействует предприятие в процессе своей хозяйственной деятельности [11]. С учетом длительного периода эксплуатации месторождений полезных ископаемых использование данных схем может быть реализовано на доминирующих лесом территориях при условии долговременной аренды. Включение предотвращенного ущерба (например, от освоения отходов в качестве сырья для других производств) в оценку коммерческой эффективности инвестиционных проектов дает более адекватную оценку освоения ресурса.

Освоение нетрадиционных ресурсов углеводородов будет способствовать появлению инновационного кластера в регионе – созданию крупномасштабных энерготехнологических комплексов с большим количеством смежных производств. Вовлечение в промышленную эксплуатацию месторождений нефти из отложений доманикового типа, бурых углей, горючих сланцев, метана угольных пластов, отходов потребления и переработки позволит расширить возможности промышленного роста и обеспечит создание новых сырьевых баз энергетического сырья.

Статья подготовлена при частичной финансовой поддержке программы фундаментальных научных исследований УрО РАН, проект № 15-14-7-16 «Комплексная оценка новых и нетрадиционных источников углеводородных ресурсов Тимано-Североуральского региона», проекта № 15-11-5-29 «Стратегические виды минерального сырья Тимано-Североуральского региона, инновационные технологии их переработки, новые направления использования и получение новых материалов».

ЛИТЕРАТУРА

1. Прищепа О. М., Аверьянова О. Ю. Понятийная база и терминология углеводородов сланцевых толщ и низкопроницаемых коллекторов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 6. С. 4–14.
2. Прищепа О. М., Аверьянова О. Ю., Ильинский А. А. и др. Нефть и газ низкопроницаемых сланцевых толщ – резерв сырьевой базы углеводородов России. СПб: ВНИГРИ, 2014. 323 с.
3. Якуцени В. П., Петрова Ю. Э., Суханов А. А. Нетрадиционные ресурсы углеводородов – резерв для восполнения сырьевой базы нефти и газа России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2009. Т. 4. С. 1–20.
4. Клименко С. С., Анищенко Л. А. Особенности нафтидогенеза в Тимано-Печорском нефтегазоносном бассейне // Изв. Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 2. С. 61–69.
5. Кирюхина Т. А., Фадеева Н. П., Ступакова А. А., Полудеткина Е. Н., Сауткин Р. С. Доманиковые отложения Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов // Геология нефти и газа. 2013. № 3. С. 76–87.
6. Аверьянова О. Ю., Морариу Д. Вариативность оценок углеводородного потенциала нефтегазоносных систем // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2016. Т. 11, № 3. С. 1–22. DOI: https://doi.org/l0.17353/2070-5379/32_2016.
7. Вагин А. В. Оценка перспектив нефтегазоносности доманиковых отложений верхнего девона Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России до 2030 г. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. С. 173–177.
8. Сторонский Н. М., Хрюкин В. Т., Митронов Д. В., Швачко Е. В. Нетрадиционные ресурсы метана угленосных толщ // Российский химический журнал. 2008. Т. LII, № 6. С. 63–72.
9. Ценность лесов. Плата за экосистемные услуги в условиях «зеленой» экономики. Женева: ООН, 2014. 94 с.
10.Katoomba Group: Events. URL: http: www.katoombagroup.org/ (accessed 12 March 2015).
11. Моткин Г. А. Экономическая оценка средообразующих функций экосистем // Экономика и математические методы. 2010. Т. 46, № 1. С. 3–11.

REFERENCES

1. Prishchepa O. M., Aver'yanova O. Yu. 2014, *Ponyatiynaya baza i terminologiya uglevodorodov slantsevykh tolshch i nizkopronitsaemykh kollektorov* [Conceptual base and terminology of hydrocarbons of shale strata and low-permeability reservoirs]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Geology, geophysics, and development of oil and gas fields], no. 6, pp. 4–14.
2. Prishchepa O. M., Aver'yanova O. Yu., Il'inskiy A. A. et al. 2014, *Neft' i gaz nizkopronitsaemykh slantsevykh tolshch – rezerv syr'evoy bazy uglevodorodov Rossii* [Oil and gas of low-permeability shale strata – reserve of hydrocarbon resource base of Russia], St. Petersburg, 323 p.
3. Yakutseni V. P., Petrova Yu. E., Sukhanov A. A. 2009, *Netraditsionnye resursy uglevodorodov – rezerv dlya vospolneniya syr'evoy bazy nefti i gaza Rossii* [Unconventional hydrocarbon resources – a reserve for replenishing the resource base of Russia's oil and gas]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika* [Petro-

leum Geology – Theoretical and Applied Studies], vol. 4, pp. 1–20.
4. Klimenko S. S., Anishchenko L. A. 2010, *Osobennosti naftidogeneza v Timano-Pechorskom neftegazonosnom basseyne* [Features of naphthyogenesis in the Timan-Pechora oil and gas basin]. *Izv. Komi NTs UrO RAN* [Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences], no. 2, pp. 61–69.
5. Kiryukhina T. A., Fadeeva N. P., Stupakova A. A., Poludetkina E. N., Sautkin R. S. 2013, *Domanikovye otlozheniya Timano-Pechorskogo i Volgo-Ural'skogo basseynov* [Domanic deposits of the Timan-Pechora and Volga-Ural basins]. *Geologiya nefti i gaza* [Oil and gas geology], no. 3, pp. 76–87.
6. Aver'yanova O. Yu., Morariu D. 2016, *Variativnost' otsenok uglevodorodnogo potentsiala neftegazonosnykh sistem* [Variability of estimates of the hydrocarbon potential of oil and gas bearing systems]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika* [Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies], vol. 11, no. 3, pp. 1–22. DOI: https://doi.org/l0.17353/2070-5379/32_2016.
7. Vagin A. V. 2011, *Otsenka perspektiv neftegazonosnosti domanikovykh otlozheniy verkhnego devona Timano-Pechorskoy neftegazonosnoy provintsii* [Assessment of oil and gas potential prospects of the Upper Devonian wood deposits in the Timan-Pechora oil and gas province]. *Problemy resursnogo obespecheniya gazodobyvayushchikh rayonov Rossii do 2030 g.* [Problems of resource provision of gas producing regions of Russia until 2030], Moscow, pp. 173–177.
8. Storonskiy N. M., Khryukin V. T., Mitronov D. V., Shvachko E. V. 2008, *Netraditsionnye resursy metana uglenosnykh tolshch* [Unconventional resources of coal bed methane]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian Chemical Journal], vol. 52, no. 6, pp. 63–72.
9. 2014, *Tsennost' lesov. Plata za ekosistemnye uslugi v usloviyakh «zelenoy» ekonomiki* [The value of forests. Payment for ecosystem services in a "green" economy], Zheneva, 94 p.
10. Katoomba Group: Events. Available at: http: www.katoombagroup.org
11. Motkin G. A. 2010, *Ekonomicheskaya otsenka sredoobrazuyushchikh funktsiy ekosistem* [Economic evaluation of ecosystem-forming functions]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and Mathematical methods], vol. 46, no. 1, pp. 3–11.

Ирина Григорьевна Бурцева,
burtseva@iespn.komisc.ru
Татьяна Вячеславовна Тихонова
tikhonova@iespn.komisc.ru
Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН
Россия, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 26

Игорь Николаевич Бурцев
burtsev@geo.komisc.ru
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
Россия, Сыктывкар, ул. Первомайская, 54

Irina Grigor'evna Burtseva,
burtseva@iespn.komisc.ru
Tat'yana Vyacheslavovna Tikhonova
tikhonova@iespn.komisc.ru
Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН
Syktyvkar, Russia

Igor' Nikolaevich Burtsev
burtsev@geo.komisc.ru
Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
Syktyvkar, Russia

УДК 338.2 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-100-107

ПРЕДПОСЫЛКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИИ УРАЛА В УСЛОВИЯХ ИНДУСТРИИ 4.0

О. А. Романова, Д. В. Сиротин

Prerequisites and opportunities for repositioning of the Urals metallurgy within the Industry 4.0

O. A. Romanova, D. V. Sirotin

The authors present the modern trends in the development of metallurgy, and classify the technological structure of metallurgical industry. The article contains specific features of the development of metallurgy in the conditions of industry formation. A special role in this process plays the pace of digitalization and robotization of the industry, the development of additive technologies, Internet of things. The authors substantiate the possibility of developing the metallurgy of the Middle Urals as a science-intensive, high-tech complex that meets the requirements of Industry 4.0. This possibility interrelates with its repositioning, one of the main tasks of which is the formation of new sales markets focused on high-tech consumer industries, as well as the preservation of traditional consumption sectors under conditions of increasing competition in the construction materials market. The authors underline the importance of international cooperation in the field of environmentally safe industrial development, with applying the best available technologies and innovative development in general. The authors propose a methodological approach for assessing the repositioning of the regional metallurgical complex. This approach is the consecutive implementation of the following stages: assessment of dynamics and the forecast of development of consumer steel products sector and its structure based on identified priority areas of technological development of metallurgy in the region; construction of a factor model describing the changes in parameters of the RMC repositioning process, and approximation of the characteristics of their nonlinear elements; building a mathematical model on the basis of neural network algorithms for assessing the process of repositioning the RMC, taking into account projected values of the RMK parameters in the process of repositioning and changing the structure of consumer markets for metal products; formation of a variable decision support system that provides scenario designing of possible model conditions. This approach makes it possible to form a well-founded strategy for the development of metallurgy in the region.

Keywords: industrial region; metallurgy; Industry 4.0; repositioning; the best available technologies; modeling; technological image; forecasting.

Приведены современные тенденции развития металлургии, классифицирована технологическая структура производств металлургической отрасли. Уточнены особенности развития металлургии в условиях формирования Индустрии 4.0. Особую роль в этом процессе играют темпы цифровизации и роботизации отрасли, развитие аддитивных технологий, Интернет вещей. Обоснована возможность развития металлургии Среднего Урала как наукоемкого, высокотехнологичного комплекса, отвечающего требованиям Индустрии 4.0. Такая возможность связана с его перепозиционированием, одной из основных задач которого является формирование новых рынков сбыта, ориентированных на высокотехнологичные отрасли потребления, а также сохранение традиционных секторов потребления при возрастающей конкуренции на рынке конструкционных материалов. Подчеркнута важность международного сотрудничества в области экологически безопасного промышленного развития, основанного на применении наилучших доступных технологий и инновационном развитии в целом. Предложен методологический подход к оценке перепозиционирования регионального металлургического комплекса, основанный на последовательной реализации следующих этапов: оценка динамики и прогноз развития потребительского сектора металлопродукции и его структуры на базе выявленных приоритетных направлений технологического развития металлургии региона; построение факторной модели, описывающей изменение параметров процесса перепозиционирования РМК, и аппроксимация характеристик их нелинейных элементов; построение на базе нейросетевых алгоритмов математической модели оценки процесса перепозиционирования РМК, учитывающей прогнозные значения параметров РМК в процессе перепозиционирования и изменения структуры потребительских рынков металлопродукции; формирование вариативной системы поддержки принятия решений, обеспечивающей сценарное проектирование возможных модельных условий. Такой подход позволяет формировать обоснованную стратегию развития металлургии региона.

Ключевые слова: промышленный регион; металлургия; Индустрия 4.0; перепозиционирование; наилучшие доступные технологии; моделирование; технологический образ; прогнозирование.

Металлургическая промышленность в условиях развития Индустрии 4.0 сохраняет роль «несущей» отрасли, обеспечивающей необходимую поддержку производствам, образующим ядро нового технологического уклада (ТУ). Начиная с 1970 г. и по настоящее время можно выделить ряд этапов развития мировой и отечественной металлургии, каждый из которых отличается характерными чертами и приоритетами в соответствии с тенденциями экономического развития. Так, приоритетами развития металлургии в 1970–1980 гг. была индустриализация и структурная перестройка. Развитие металлургии на этом этапе сопровождалось экстенсивным ростом производства, наращиванием производственных мощностей, ориентированных, преимущественно на продукцию широкого сортамента. Второй этап 1980–2000 гг. ориентирован на ресурсосбережение и экологизацию производства. В этот период в мире наблюдалось снижение темпов производства чугуна и стали; сокращение доли металлургии в структуре ВВП ряда стран; рост стоимости ресурсов. Относительно отечественной металлургии характерной особенностью этого периода являлось образование вертикально-интегрированных производственных структур. Важной чертой является формирование и развитие внешнеэкономических отношений России со странами дальнего зарубежья. К основным приоритетам 2000–2010 гг. (третий этап) относится диверсификация сортамента и повышение качества металлопродукции, рост доли продукции высокого передела. Характерные для этого этапа черты основаны на интенсивном росте производства, сохранении тенденции транснационализации и консолидации в организации производств металлопродукции [1]. Четвертый этап развития металлургии 2010–2020 гг. отличается актуализацией качества трудовых ресурсов и формированием интеллектуального капитала в отрасли. Наблюдаемые сегодня черты этого этапа развития учитывают трудности, связанные с ограниченностью природных ресурсов, неустойчивой мировой конъюнктурой, охлаждением отношений с мировыми партнерами.

В результате анализа развития отечественной металлургии систематизированы тенденции развития отрасли:

– создание качественной продукции, имеющей характеристики высшего мирового уровня;

– развитие научно-технического потенциала с усиленным вниманием к проблеме энерго- и ресурсосбережения;

– повышение экологичности производства;

– рост значимости компетентности трудовых ресурсов;

– локальное приближение производителей металлопродукции к конечным потребителям;

– использование передовых технологий, почти полная автоматизация производственных процессов;

– актуализация обеспеченности производства металлами для технологий VI ТУ.

Важной особенностью развития металлургии в условиях Индустрии 4.0 является значительный рост доли высокотехнологичной металлопродукции. На сегодняшний день к основным потребителям металлургической продукции высоких стадий передела относятся автомобильная, авиационная и космическая отрасли промышленности, ракетостроение. По мнению экспертов, перспективными рынками высокотехнологичной продук-

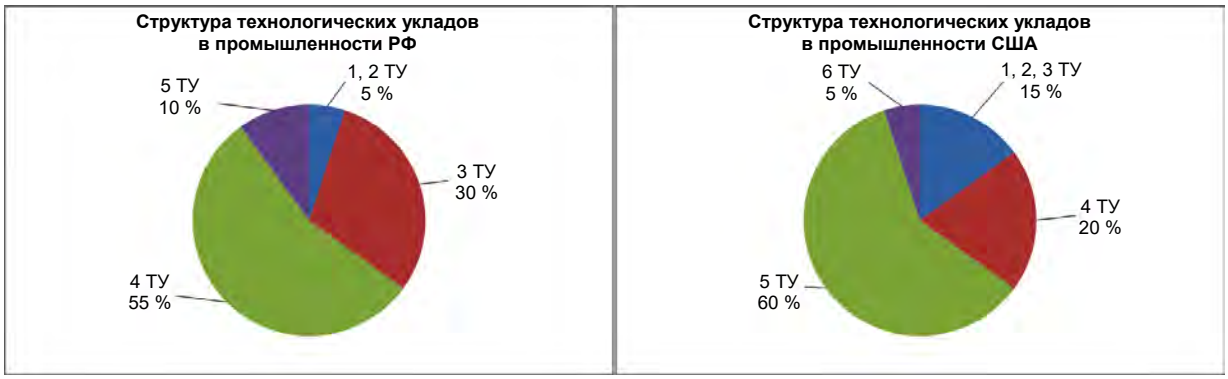


Рисунок 1. Структура технологических укладов (ТУ) в промышленности РФ и США.

ции, зависимыми от металлургической отрасли, для РФ могут стать наноматериалы, легкая гражданская авиация. В расширении своей специализации в связи с развитием высокотехнологичных отраслей заинтересованы практически все производители, задействованные на разных стадиях обработки материалов. В частности, можно выделить машиностроительный комплекс, в качестве одной из основных задач которого на ближайшее будущее рассматривается создание нового станочного парка для обработки деталей с наноразмерной точностью. Таким образом, к определяющим тенденциям развития металлургии можно отнести повышение мирового спроса на металлопродукцию высокого передела со стороны высокотехнологичных отраслей промышленности.

Можно говорить об установлении в мире на сегодняшний день отдельных трендов научно-технологического развития, формирующих базис Индустрии 4.0 [2–6]. Ряд соответствующих стратегических инициатив реализуются сегодня в Германии, США, Китае, Южной Корее и других странах. Качество технологической структуры промышленности любой страны характеризуется структурой сформировавшихся технологических укладов. Если в промышленности США доминирует V ТУ и активно формируются элементы VI ТУ, то в промышленности России функционируют технологии более низких укладов (рис. 1) [7].

Аналогично может быть классифицирована и технологическая структура производств металлургической отрасли. Так, на каждом новом этапе развития металлургического производства основному металлургическому процессу – производству стали – соответствует определенный технологический уклад: мартеновский передел соответствует III ТУ, конвертер – IV ТУ, а электродуговой – V ТУ. Ожидается, что в структуре VI ТУ значительная часть стали будет выплавляться на мини-заводах методом прямого восстановления железа. Также изменения в соответствии с временными интервалами смены технологических укладов касаются и других важнейших процессов обработки металлов и сплавов: обработка давлением с контролируемым режимом термообработки (холодный, горячий); воздействие на структуру и ядро кристаллической решетки сплава в жидком состоянии (развитие оборудования и процессов внепечной обработки); материалы обработки стали и сплавов (простые и сложные ферросплавы, обрабатывающие сталь шлаки, разнообразие режимов обработки стали вне печи) и др.

Современные темпы изменений мировой рыночной конъюнктуры, неопределенность геополитических преобразований и вместе с тем формирование вектора развития отечественной экономики на базе принципов Индустрии 4.0 приводят к тому, что успешное развитие металлургического комплекса Среднего Урала может быть основано на формировании новых рынков сбыта, ориентированных на высокотехнологичные отрасли потребления, а также сохранении традиционных секторов потребления при возрастающей конкуренции на рынке конструкционных материалов. Развитие комплекса должно опираться на четкое представление рыночных перспектив и реализацию конкурентных преимуществ. В связи с этим можно говорить об изменении роли металлургии в структуре промышленности. Дальнейшее развитие металлургии Урала в условиях вектора Индустрии 4.0 предопределяет необходимость перепозиционирования регионального металлургического комплекса (РМК) и превращения его в мощную научно-технолого-производственную базу, отвечающую современным требованиям мировых стандартов.

Предложенный ранее подход к формированию регионального промышленного комплекса [8] позволил ввести понятие перепозиционирования металлургического комплекса региона. Под перепозиционированием РМК понимается **поэтапный процесс взаимообусловленных технологических, экономических, социально-институциональных, экологических и организационных преобразований на инновационной основе, позволяющих на базе достижения критериев наилучших доступных технологий и реализации принципов «зеленой экономики» сформировать новый технологический образ металлургического комплекса как сетевого сообщества конкурентоспособных, структурно сбалансированных производств, обеспечивающих индивидуализированные потребности высокотехнологичного сектора в наукоемких товарах и услугах, а также возрастающие качественные потребности традиционных отраслей экономики.**

Такое перепозиционирование РМК предполагает уточнение его специализации в условиях развития отечественной экономики в рамках Индустрии 4.0 и должно опираться на четкое представление рыночных перспектив и реализацию конкурентных преимуществ. В связи с этим при условии решения проблем перепозиционирования металлургического комплекса на Среднем Урале может быть создана мощная научно-технологическая база, обеспечивающая потребности новых высокотехнологичных и модернизированных традиционных секторов промышленности, отвечающих современным требованиям мировых стандартов энерго- и ресурсосбережения, экологичности производства, производительности труда и обеспеченных высококвалифицированными трудовыми ресурсами. Такой процесс сопровождается изменением имиджа отрасли не только на рынке конструкционных материалов, но и в структуре экономики в целом.

К критериям, отличающим перепозиционирование от иных типов процесса видоизменения отрасли, таким как технологическое перевооружение, реструктуризация, модернизация, инновационное развитие и др., можно отнести диверсификацию производства, идеологию восприятия отрасли с позиции экологичности и качества производственной деятельности, реорганизацию экономических институтов в рамках синергетической доктрины «образа будущего». Перепозиционирование в данном контексте предполагает кардинальное изменение представлений общества относительно безопасности и качества внутриотраслевой деятельности, социально-экономической привлекательности и конкурентоспособности в целом. Изменение имиджа, т. е. представления о деятельности отрасли, само по себе не несет никаких поступательных движений, оказывающих влияние извне. При этом осуществление процесса перепозиционирования сопровождается посредством реализации определенных направ-

лений развития отрасли. К таким направлениям можно отнести инновационное развитие и цифровизацию.

Все они предполагают выполнение определенных действий, учитывающих особенности современного развития отрасли, осуществляемых, как правило, в тандеме сотрудничества государственной власти и представителей бизнеса. В рамках задачи перепозиционирования РМК такое сотрудничество неизбежно. Необходимость же такого перепозиционирования подчеркивается наличием необходимых предпосылок, позволяющих пройти путь к становлению нового технологического образа металлургии Урала:

– возможность удовлетворения нарастающего спроса высокотехнологичных отраслей на металлопродукцию высокого передела;

– сохранение в регионе темпов развития потребительской базы металлургического комплекса;

– наличие природных ресурсов с требуемыми характеристиками (в том числе комплексный характер металлургического сырья);

– повышение качества трудовых ресурсов (внедрена система непрерывного образования на основе создание корпоративных университетов);

– существенный опыт внедрения технологических решений, соответствующих требованиям «зеленой экономики».

На территории РФ качество материалов регламентируется правилами Международной организации по стандартизации (ИСО), государственными стандартами (ГОСТ) и техническими условиями (ТУ). Все они имеют добровольный характер в отличие от технических регламентов, которые устанавливают обязательные требования к продукции, оборудованию и т. д. Разработка государственных стандартов сопровождается согласованием с потребляющими отраслями, требования которых специфичны, а иногда и противоречивы, в то время как технические условия создаются для конкретного потребителя. Между тем стандарты по качеству стали в РФ постоянно ужесточаются. Так, например, сильно повышаются требования к показателям пластичности и прочности. Требования к качеству стали растут ежегодно, сопровождаясь необходимостью сокращения материальных и энергетических затрат и снижением вредных выбросов. Также важно отметить, что если раньше при разработке новых марок стали требования предъявлялись преимущественно к одному из свойств, то в настоящее время, и особенно в будущем, ставятся задачи повышения целого комплекса свойств, причем не всегда сочетаемых между собой, например: прочность, пластичность и штампуемость; прочность и коррозионная стойкость [9, 10].

В современных условиях в РФ, и в частности в Свердловской области, наблюдается развитие производства высокотехнологичной металлопродукции (табл. 1).

Как видно из табл. 1, в основных промышленно развитых регионах РФ наблюдается положительная тенденция развития высокотехнологичных и наукоемких производств. Нарастающие

Таблица 1. Динамика изменения доли продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВВП страны и ВРП основных промышленно развитых регионов*.

РФ и субъекты федерации	Годы				
	2011	2012	2013	2014	2015
Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом внутреннем продукте, %					
Российская Федерация	19,1	19,4	19,4	19,6	20,4
Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей в валовом региональном продукте субъекта Российской Федерации, %					
Центральный федеральный округ	20,8	21,2	20,5	21,1	23,2
Уральский федеральный округ	12,4	12,3	12,7	12,8	13
В том числе:					
Свердловская область	22,3	22,2	24,4	23,3	24,5
Челябинская область	21,1	21,5	21,4	20,5	20

*По данным Росстата.

Таблица 2. Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами организаций Свердловской области по обрабатывающим видам деятельности и строительства, млн руб.

Вид экономической деятельности	Годы		
	2014	2015	2016
Обрабатывающие производства, всего	**1 218 147,9**	**1 385 005,3**	**1 433 476,1**
В том числе:			
Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	762 717,0	866 629,8	808 489,4
Высокотехнологичные отрасли потребления металлопродукции			
Производство электронных компонентов, аппаратуры для радио, телевидения и связи	6960,7	7840,7	4417,3
Производство медицинских изделий; средств измерений, контроля, управления и испытаний; оптических приборов, фото- и кинооборудования; часов	34 076,3	26 219,0	29 169,2
Производство судов, летательных и космических аппаратов и прочих транспортных средств	40 712,4	54 138,1	66 266,5
Среднетехнологичные высокого уровня отрасли потребления металлопродукции			
Производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	56 834,1	55 188,6	59 237,3
Традиционные отрасли потребления металлопродукции			
Производство электрических машин и электрооборудования	14 983,9	20 982,6	25 480,1
Производство машин и оборудования (без производства оружияпи боеприпасов)	40 421,0	36 604,9	38 344,7
Производство транспортных средств и оборудования	41 886,7	55 756,4	68 186,6
Производство автомобилей, прицепов и полуприцепов	1174,2	1618,3	1920,1
Строительство, всего	**61 374,8**	**55 196,1**	**53 104,8**
В том числе:			
Строительство зданий и сооружений	47797,9	42244,7	42557,4

Источник: по данным Свердловскстата, Статистический сборник «Производство и отгрузка товаров и услуг в Свердловской области по видам экономической деятельности» за 2014–2016 гг.

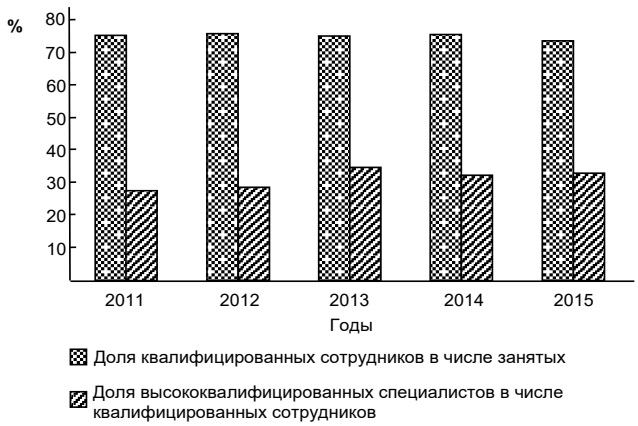


Рисунок 2. Доля квалифицированных сотрудников в численности занятых в металлургии по Свердловской области и доля высококвалифицированных специалистов из их числа.

темпы развития высокотехнологичных отраслей в Свердловской области характерны для обрабатывающих видов деятельности, в частности производства электрооборудования, электронного и оптического оборудования; производства летательных аппаратов, включая космические; производства медицинских изделий, включая хирургическое оборудование, и ортопедических приспособлений. При этом в традиционном секторе потребления металлопродукции за последние пять лет уровень производства в целом изменился незначительно (табл. 2).

По данным за 2016 г., индекс изменения объема отгруженных товаров, выполненных работ и услуг по обрабатывающим видам деятельности к предыдущему году составил 103,5 %. При этом производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования выросло на 107,3 %, а производство судов, летательных и космических аппаратов и прочих транспортных средств – на 122,4 %. Объемы отгруженной продукции металлургических производств за этот период сократились почти на 7 %, что не отразилось на производстве готовых металлических изделий.

Одним из наиболее высокотехнологичных сегментов в черной металлургии является трубная подотрасль. Данный сектор характеризуется положительной динамикой развития; самой высокой инновационной активностью; высокой квалификацией трудового потенциала; хорошо развитой структурой НИОКР в мире; современной системой менеджмента, учитывающей значимость внедрения социальных стандартов, а также системы международной финансовой отчетности; постоянно расширяющимися рынками сбыта. Наличие в составе уральской металлургии этой подотрасли будет способствовать изменению облика металлургии региона.

Развитие металлургии в условиях Индустрии 4.0 требует обеспечения отрасли высококвалифицированными кадрами (рис. 2). В целях обеспечения конкурентоспособности трудовых ресурсов необходим комплексный подход к достижению должного уровня образования, предполагающий развитие новых методов и технологий учебного процесса, внедрение новых форм обучения, отвечающих международным стандартам. Среди таких форм организации образовательного процесса необходимо выделить сотрудничество вузов с промышленными предприятиями по форме реализации заказа на целенаправленную подготовку специалистов при вовлечении в учебный процесс будущих работодателей и получении учащимися практических знаний. Также большое значение имеет обучение на базе непрерывного образования. Повышение квалификации на основе непрерывного образования необходимо как на уровне топ-менеджмента, так и для кадров, занятых в производстве и в осуществлении НИОКР.

В рамках решения данной проблемы в регионе внедрена система непрерывного образования на основе создание корпоративных университетов. На ряде крупных металлургических заводов Среднего Урала проблеме подготовки кадров уделяется большое внимание. Так, на Нижнетагильском металлургическом комбинате переобучение персонала проводится как в его структурных подразделениях, так и в учебных центрах РФ, в том числе «Евраз-Урал». Открыт учебный центр на Первоуральском новотрубном заводе, налажено сотрудничество с федеральным университетом по подготовке специалистов, нехватка которых наблюдается на производстве. Подготовка кадров на предприятиях Урала проводится в соответствии с международными стандартами и позволяет повысить эффективность вложений. Также начата разработка профессиональных стандартов, призванных заменить устаревшие тарифно-квалификационные справочники.

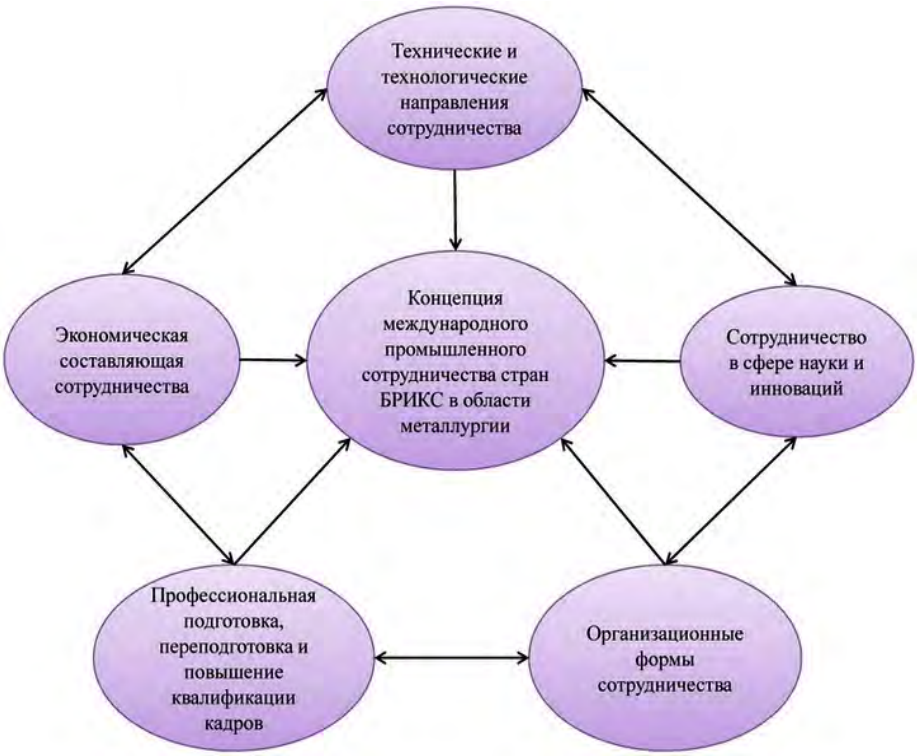


Рисунок 3. Структурная схема концепции международного промышленного сотрудничества стран БРИКС в области металлургии [11].

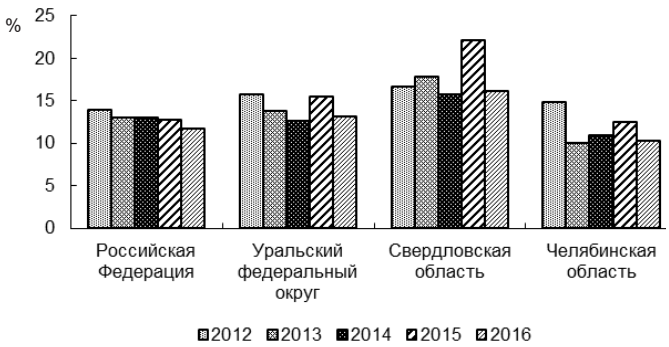


Рисунок 4. Удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации в металлургии.

В современных условиях особую актуальность имеют проблемы экологически безопасного развития отраслей тяжелой промышленности индустриальных регионов. На 15-й сессии генеральной конференция ЮНИДО была подписана Лимская декларация «На пути к всеобъемлющему и экологически устойчивому промышленному развитию». В ней реализуются принципы, провозглашенные на Всемирной конференции ООН по устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро в июне 2012 г. В этих документах акцентируется внимание на необходимости укрепления международного сотрудничества в области экологически безопасного промышленного развития.

Особая роль в достижении такого результата принадлежит металлургии, в структуре которой сосредоточены основные источники загрязнения. В связи с этим страны БРИКС разработали «Концепцию международного промышленного сотрудничества стран БРИКС в области металлургии», на базе которой выстроена единая технологическая платформа (рис. 3). В настоящее время взаимовыгодное международное сотрудничество в вопросах развития промышленности, в том числе металлургии, не может не учитывать проблемы внедрения принципов зеленой экономики. Эффективная экологическая политика, предполагающая внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, а также увеличение инвестиций в инновационное развитие отрасли, будет способствовать улучшению экологической обстановки в регионе и, как следствие, улучшению качества жизни.

В структуре металлургического комплекса РФ уральская металлургия играет существенную роль. Металлургия является одной из отраслей специализации Среднего Урала, обеспечивая социально-экономическое развитие региона. При этом предприятия горно-металлургического комплекса являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды в Свердловской области. В структуре обрабатывающих производств Среднего Урала по объему образования отходов около 90 % составляют отходы производства черных и цветных металлов (отходы обогащения и шлаки металлургических производств).

Оценка инновационной активности металлургических предприятий Свердловской области показала снижение доли организаций, осуществлявших технологические инновации в 2016 г., составив тем не менее более 16 %, что существенно выше, чем в Челябинской области (10,3 %) и в целом по России (11,7 %)* (рис. 4). При этом доля инновационной продукции металлургического комплекса Свердловской области в 2016 г. выросла до 9,1 % (при 4,2 % в 2014 г. и 8 % в 2015 г.). В свою очередь, внедрение на предприятиях отрасли технологических инноваций оказывает значительное влияние на повышение экологической безопасности металлургического производства.

Опыт европейских и других зарубежных стран показал актуальность применения в промышленности наилучших доступных технологий (НДТ), определенных на основе обмена информацией между государствами-членами ЕС, заинтересованными представителями промышленности и неправительственными организациями. Более того, по требованию Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) переход отечественных предприятий на НДТ будет обязательным с 2019 г. Директивы по НДТ в промышленности по переработке черных металлов содержатся в справочнике НДТ, адаптированном к условиям РФ и содержащем ряд основных технологий, направленных на сокращение вредного воздействия предприятий отрасли на окружающую среду (табл. 3).

К основным экологическим приоритетам развития металлургии на Среднем Урале следует отнести достижение баланса между уровнем производства и сохранением благоприятного состояния окружающей среды [12]. При этом основные приоритет-

Таблица 3. Основные технологии, рассматриваемые при определении НДТ.

Направление	Список НДТ технологий в заданном направлении
1. Система управления охраной окружающей средой (EMS)	1.1. Технологии, учитываемые стандартизированной системой управления окружающей средой. Система экологического менеджмента и аудита (EMAS) 1.2. Технологии разработанные по заказу, не учитываемые стандартизированной системой управления окружающей средой
2. Регулирование потребления энергии	2.1. Технологии для повышения эффективности использования энергии 2.2. Технологии для оптимизации использования технологических газов 2.3. Технологии для повышения эффективности утилизации тепла 2.4. Насосы и вентиляторы с частотно-регулируемым приводом
3. Снижение выбросов NOx на электростанциях, отапливаемых технологическими газами	3.1. Снижение выбросов NOx с помощью основных мер 3.2. Снижение выбросов NOx с помощью вспомогательных мер
4. Управление материалами	4.1. Технологии для улучшения использования лома 4.2. Технологии для снижения рассеянных выбросов от хранения и обращения с материалами 4.3. Технологии для регулирования сбросов в водные объекты от хранения, обращения и смешивания материалов 4.4. Специализированные установки для рециклинга отходов с высоким содержанием железа
5. Мониторинг на предприятиях черной металлургии	5.1. Непрерывный мониторинг параметров и выбросов в воздух 5.2. Примеры непрерывного мониторинга выбросов после систем обеспыливания 5.3. Мониторинг технологических газов 5.4. Периодический мониторинг выбросов после систем обеспыливания 5.5. Мониторинг PCDD/F 5.6. Мониторинг рассеянных и неорганизованных выбросов 5.7. Мониторинг сброса сточных вод
6. Снижение уровней шума	Обычные строительные и эксплуатационные приемы, предназначенные для предотвращения или минимизации шумовых выбросов на территориях, окружающих завод

*Федеральная служба государственной статистики. URL: www.gks.ru

ные направления деятельности металлургических предприятий, направленные на сохранение гармоничного развития отрасли, должны включать:

– снижение показателей загрязнения окружающей среды;

– своевременную ликвидацию производственных отходов, особенно высоких уровней опасности;

– реализацию инновационной системы повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров для предприятий горно-металлургического комплекса на уровне международных стандартов;

– усиление мировых кооперационных связей с целью развития энерго- и ресурсосберегающих технологий производства и обработки сталей и сплавов, а также внедрения на предприятиях современного высокотехнологичного оборудования. Важную роль в решении этой задачи играет эффективное использование наилучших доступных технологий.

Дальнейшее развитие металлургического комплекса на Среднем Урале должно быть построено на основе принципов Индустрии 4.0, эффективность проведения которой в значительной мере зависит от активности предприятий в разработке и продвижении прогрессивных технологий производства новых металлических материалов и обработки традиционных сталей и сплавов, построенных на принципах энерго- и ресурсосбережения, а также снижения нагрузки на окружающую природную среду. Особую роль в этом процессе играют темпы цифровизации и роботизации отрасли, развитие аддитивных технологий на базе отечественных металлических порошков, возможность применения интеллектуальных датчиков, Интернета вещей.

Неопределенность условий и факторов, обуславливающих перепозиционирование РМК в условиях формирования Индустрии 4.0, актуализирует необходимость развития методологического аппарата прогнозирования. Проблема предвидения будущего требует активного развития исследований, в том числе на базе альтернативных методологических подходов. Перспективным представляется использование междисциплинарного подхода как основы методологии прогнозирования. Успешное развитие такого подхода связано не только с учетом взаимозависимости социально-экономических процессов, но и с развитием диалога специалистов различных дисциплин, что особенно необходимо в процессе выработки образа желаемого будущего экономики региона [13]. Таким образом, на базе синергетических принципов разработан методологический подход к оценке перепозиционирования РМК. Предложенный подход учитывает применение технологии искусственных нейронных сетей, проектирующих изменения существенных параметров комплекса от будущей «предпочтительной реальности» к настоящему в условиях меняющейся рыночной конъюнктуры (табл. 4).

Одной из особенностей предложенного подхода является дополнение традиционных методов выявления приоритетных направлений технологического развития методами библиометрии и патентного анализа. Это позволило обозначить области знаний, формирующих научный базис металлургии, в структуре VI ТУ и оценить вклад отечественной и региональной науки в их развитие. Полученные результаты формируют ориентиры для выявления научно-технологического потенциала региона с позиции учета требований наилучших доступных технологий к металлопродукции, в том числе на базе патентного анализа. При этом уточняется динамика выдачи патентов РФ по перспективным направлениям технологического развития металлургии региона, что позволяет учесть реальные технологические возможности предприятий комплекса.

Далее на базе систематизации данных стратегических материалов развития отрасли и экономики региона в целом, согласованных с выделенными перспективными направлениями технологического развития металлургии региона, определяется изменение структуры внутреннего рынка высокотехнологичной металлопродукции РМК на период до 2050 г. Результаты позволяют построить вектор развития металлургических производств, на-

Таблица 4. Методы решения задач, используемые для оценки перепозиционирования РМК.

Этап	Цель	Методы	Результаты
I	Выявление приоритетных направлений технологического развития металлургического комплекса региона	Методы наукометрии, в том числе библиометрия, патентный анализ Методы экономико-статистического анализа, в том числе кластерный анализ (построение технологической карты взаимодействия нанонауки и металлургии)	Выявлен и систематизирован перечень приоритетных для Свердловской области направлений технологического развития металлургии
	Оценка динамики и прогноз развития внутреннего потребительского сектора металлопродукции и его структуры	Методы системного, структурно-логического, сравнительного анализа; аналитические методы анализа	Сформировано представление относительно ожидаемых изменений структуры потребительского рынка металлопродукции РМК на период до 2050 г.
II	Построение факторной модели, описывающей изменение параметров технологического облика РМК	Метод главных компонент; вращение факторной матрицы по методу «варимакс»	Установлен перечень основных индикаторов, характеризующих процесс перепозиционирования РМК Разработан комплекс нелинейных, экономико-математических моделей, которые могут быть использованы в целях прогнозирования изменений параметров технологического образа РМК
III	Обоснование и систематизация прогнозных значений факторов, определяющих параметры нового технологического образа РМК и этапов его перепозиционирования, а также условий их формирования	Методы системного, структурно-логического, сравнительного анализа; аналитические методы анализа	Сформирована таблица прогнозных значений оцениваемых факторов
	Построение математической модели распознавания технологического образа РМК на базе нейросетевых алгоритмов	Методы нейросетевого моделирования; методы графического анализа	Разработана нейросетевая модель, используемая в целях распознавания технологических образов и этапов перепозиционирования РМК
IV	Обоснование управленческих решений по перепозиционированию РМК	Методы сценарного прогнозирования	Разработаны сценарии перепозиционирования РМК. Получена возможность отбора оптимального сценария, удовлетворяющего модельным условиям

правление которого связано с изменениями внутреннего рынка высокотехнологичной металлопродукции РМК.

Для определения параметров, характеризующих технологический образ РМК, формируется оптимальный перечень показателей, оказывающих существенное влияние на развитие металлургии, который составит информационную базу для проведения факторного анализа. Для оценки параметров процесса перепозиционирования РМК разработаны методические основы, учитывающие построение на основе метода главных компонент факторных моделей, которые позволяют сформировать «описательный механизм» перепозиционирования РМК. Далее в целях оценки возможностей перепозиционирования РМК и принятия соответствующих стратегических решений необходимо дополнить разработанные методические основы механизмом распознавания изменений параметров перепозиционирования РМК в условиях меняющейся рыночной конъюнктуры. С этой целью сформирован алгоритм построения математической модели распознавания образов и этапов перепозиционирования РМК, разработанной на базе нейросетевой модели классификации [14]. Предложенная модель преобразует совокупность количественных оценок в качественный сигнал через слой скрытых нейронов сети, представляющих собой систему интеллектуальных датчиков. Таким образом, заложенная в нейросетевой модели система искусственного интеллекта дает свою оценку наблюдаемым изменениям технологического образа металлургии через призму загруженных прогнозных данных относительно сопровождающих процесс перепозиционирования РМК изменений.

Новый технологический образ металлургии региона отражает сложный ментальный образ восприятия металлургии обществом, характеризуемый прогрессивностью ее технологической структуры, высоким уровнем эффективности, наукоемкости, экологичности и организации производства, постоянно развивающимися ключевыми компетенциями персонала и развитым внутренним рынком высокотехнологичной металлопродукции. В условиях Среднего Урала можно говорить о теоретической возможности формирования такого образа металлургии. Сроки его достижения зависят от интенсивности принимаемых мер, отдачи от заложенных инвестиций и правильной координации действий законодательных структур. Для оценки реальных возможностей перепозиционирования РМК может быть применен сценарный подход, позволяющий сформировать прогнозные сценарии перепозиционирования металлургического комплекса Среднего Урала, учитывающие реализацию выявленных приоритетных направлений технологического развития региональной металлургии. Особенностью разработанного сценарного подхода является учет наиболее значимых факторов, влияющих на перепозиционирование металлургии региона, а также структуры потребительского рынка.

Заключение

Одной из определяющих сфер стратегического анализа и концептуально-стратегического планирования должна стать технология проектирования будущего, что и подчеркнуто в Национальной технологической инициативе. В ней отмечена необходимость планирования работы от будущего, так называемой «предпочтительной реальности», к настоящему. В отдельных публикациях также подчеркивается необходимость не только формирования согласованных долгосрочных целей развития отечественной экономики, но и формирования ее «образа будущего» [15]. В рамках проблемы перепозиционирования РМК с учетом такой технологии необходимо проектировать определяющие критерии того образа будущего металлургии региона, который представляется наиболее желаемым. Результаты такого образа должны соответствовать мировым трендам технологического развития отрасли и учитывать особенности национального и регионального развития.

Таким образом, дальнейшее эффективное развитие отечественной металлургии в условиях развития Индустрии 4.0 возможно только при кардинальных изменениях, предполагающих инновационное развитие отрасли. Изменение восприятия металлургии как грязной отрасли, ее переориентация на выпуск высокотехнологичной, экологичной продукции, отвечающей мировым стандартам качества, а также рост квалифицированного состава трудовых ресурсов позволит металлургии Среднего Урала приблизиться к желаемому образу будущего. Перепозиционирование РМК является первым шагом в решении задачи создания качественно новой технологической базы индустрии, имеющей стратегическое значение в условиях развития Индустрии 4.0.

Статья подготовлена в соответствии с планом НИР ИЭ УрО РАН «Разработка и обоснование теоретической концепции мультисубъектной промышленной политики на основе резонансных эффектов в условиях новой индустриализации» № 0404-2015-0014 в ИСГЗ ФАНО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адно Ю. Сталь: вперед, в будущее // Металлы Евразии. 2013. № 2. С. 10–19.
2. Klaus Schwab. The Fourth Industrial Revolution // Foreign Affairs от 12.12.2015. URL: https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution
3. Feiguine G., Solovjova J. ICT investment and internationalization of the Russian economy // International economics and economic policy. 2014. Vol. 11. P. 231–250.
4. Manyika J., Chui M., Buguin J., Dobbs R., Bisson P., Marrs A. Disruptive Technologies: Advances that will Transform Life, Business, and the Global Economy. McKinsey Global Institute, 2013. 164 p. URL: https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies
5. Towards knowledge driven reindusrialisation: European Competitiveness Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013. 196 p.
6. Handbook on the Knowledge Economy / ed. by D. Rooney, G. Hearn, T. Kastelle. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2012. 256 p.
7. Коблов Е. Н. Курсом в 6-й технологический уклад. URL: http://www.nanonewsnet.ru/articles/2010/kursom-v-6-oi-tekhnologicheskii-uklad
8. Романова О. А., Сиротин Д. В. Новый технологический облик базовых отраслей промышленных регионов РФ // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2015. № 5. С. 27–43.
9. Углов В. А., Зайцев А. И., Родионова И. Г. Основные направления развития металлургической технологии для обеспечения современных требований по уровню и стабильности технологических и служебных свойств стали // Черная металлургия. 2012. № 3. С. 85–94.
10. Буданов И. А., Устинов В. С. Инновационно-инвестиционные процессы развития металлургического производства в России // Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН: науч. труды. 2015. № 13. С. 324–347.
11. Чукин М. В., Тулупов О. Н., Кульков И. В. Перспективы международного промышленного сотрудничества стран БРИКС в металлургическом кластере // ЮНИДО в России. 2014. № 13. С. 9–13.
12. Татаркин А. И., Игнатьева М. Н. Геоэкосоциоэкономическая модель системного освоения природных ресурсов // Проблемы теории и практики управления. 2015. № 9. С. 8–16.
13. Романова О. А., Сиротин Д. В. Образ желаемого будущего экономики индустриального региона: тенденции развития и методология оценки // Экономика региона. 2017. № 3. С. 746–763.
14. Esposito A., Marinaro M., Oricchio D., Scarpetta S. Approximation of Continuous and Discontinuous Mappings by a Growing Neural RBF-based Algorithm // Neural Networks. 2000. Vol. 13, № 6. P. 651–665.
15. Структурно-инвестиционная политика в целях устойчивого роста и модернизации экономики / под ред. акад. В. В. Ивантера // Экономист. 2017. № 3. С. 3–23.

REFERENCES

1. Adno Yu. 2013, *Stal': vpered, v budushchee* [Steel: forward, into the future]. *Metally Evrazii* [Eurasian Metals], no. 2, pp. 10–19.
2. Klaus Schwab. 2015, The Fourth Industrial Revolution. Foreign Affairs. Available at: https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution
3. Feiguine G., Solovjova J. 2014, ICT investment and internationalization of the Russian economy. International economics and economic policy, vol. 11, pp. 231–250.
4. Manyika J., Chui M., Buguin J., Dobbs R., Bisson P., Marrs A. 2013, Disruptive Technologies: Advances that will Transform Life, Business, and the Global Economy. McKinsey Global Institute. 164 p. URL: https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies
5. 2013, Towards knowledge driven reindusrialisation: European Competitiveness Report, Luxembourg, 196 p.
6. Rooney D., Hearn G., Kastelle T. 2012, Handbook on the Knowledge Economy, Cheltenham, 256 p.
7. Koblov E. N. *Kursom v 6-y tekhnologicheskiy uklad* [A course in the 6th technological order]. Available at: http://www.nanonewsnet.ru/articles/2010/kursom-v-6-oi-tekhnologicheskii-uklad
8. Romanova O. A., Sirotin D. V. 2015, *Novyy tekhnologicheskiy oblik bazovykh otrasley promyshlennykh regionov RF* [The new technological appearance of the basic industries of the industrial regions of the Russian Federation]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* [Economic and social changes: facts, trends, forecast], no. 5, pp. 27–43.

9. Uglov V. A., Zaytsev A. I., Rodionova I. G. 2012, *Osnovnye napravleniya razvitiya metallurgicheskoy tekhnologii dlya obespecheniya sovremennykh trebovaniy po urovnyu i stabil'nosti tekhnologicheskikh i sluzhebnykh svoystv stali* [The main directions of the development of metallurgical technology for ensuring modern requirements for the level and stability of technological and service properties of steel]. *Chernaya metallurgiya* [Ferrous Metallurgy], no. 3, pp. 85–94.
10. Budanov I. A., Ustinov V. S. 2015, *Innovatsionno-investitsionnye protsessy razvitiya metallurgicheskogo proizvodstva v Rossii* [Innovation-investment processes of development of metallurgical production in Russia]. *Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN: nauch. trudy* [Institute for Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences: science works], no. 13, pp. 324–347.
11. Chukin M. V., Tulupov O. N., Kul'kov I. V. 2014, *Perspektivy mezhdunarodnogo promyshlennogo sotrudnichestva stran BRIKS v metallurgicheskom klastere* [Prospects for international industrial cooperation of the BRICS countries in the metallurgical cluster]. *YuNIDO v Rossii* [UNIDO in Russia], no. 13, pp. 9–13.
12. Tatarkin A. I., Ignat'eva M. N. 2015, *Geoekosotsioekonomicheskaya model' sistemnogo osvoeniya prirodnykh resursov* [Geoecosociological model of system development of natural resources]. *Problemy teorii i praktiki upravleniya* [Theoretical and Practical Aspects of Management], no. 9, pp. 8–16.
13. Romanova O. A., Sirotin D. V. 2017, *Obraz zhelaemogo budushchego ekonomiki industrial'nogo regiona: tendentsii razvitiya i metodologiya otsenki* [Image of the desired future of the economy of industrial region: development trends and evaluation methodology]. *Ekonomika regiona* [Economy of region], no. 3, pp. 746–763.
14. Esposito A., Marinaro M., Oricchio D., Scarpetta S. 2000, Approximation of Continuous and Discontinuous Mappings by a Growing Neural RBF-based Algorithm. Neural Networks, vol. 13, no. 6, pp. 651–665.
15. 2017, *Strukturno-investitsionnaya politika v tselyakh ustoychivogo rosta i modernizatsii ekonomiki: pod red. akad. V. V. Ivantera* [Structural and Investment Policy for Sustainable Growth and Modernization of the Economy], ed. by academician V. V. Ivanter. *Ekonomist* [Economist], no. 3, pp. 3–23.

Ольга Александровна Романова,
econ@uran.ru
Дмитрий Владимирович Сиротин
sirotind.umk@mail.ru
Институт экономики УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Московская, 29

Ol'ga Aleksandrovna Romanova,
econ@uran.ru
Dmitriy Vladimirovich Sirotin
sirotind.umk@mail.ru
Institute of Economics of the Ural Branch of RAS
Ekaterinburg, Russia

УДК 330.15+553.493 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-108-114

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РОССИЙСКОГО И МИРОВОГО РЫНКА ГАЛЛИЯ

Ф. Д. Ларичкин, А. Е. Череповицын, В. Д. Новосельцева, Л. И. Гончарова

State and prospects of Russian and world gallium market

F. D. Larichkin, A. E. Cherepovitsyn, V. D. Novosel'tseva, L. I. Goncharova

The authors consider the state of Russian and world mineral and raw materials base of gallium, the main spheres of application in various branches and industries of the national economy. The article presents the generalization and analysis of trends in world and Russian production, consumption of rare metal and its compounds, the world trade and global market of gallium and products based on it, consuming it in new science-intensive innovative industries, including the production of military equipment. The unique chemical properties of gallium remained unclaimed for a long time. Only after the discovery of the semiconductor properties of gallium compounds has the situation radically changed: the rate of growth in production and consumption of metallic gallium at the end of the twentieth and beginning of the 21st century amounted to an average of more than 8% per year. The largest area of consumption of gallium is the production of semiconductor materials – gallium arsenide (GaAs) and gallium nitride (GaN). The areas of application of gallium not related to the semiconductor industry are very small. Industry structure of consumption of GaAs and GaN: in integrated circuits is 66%; optoelectronic devices (light-emitting diodes, laser diodes, photodetectors and solar batteries) – 20%; the remaining 14% – scientific research, special alloys, etc. Optoelectronic devices are used in aerospace industry, consumer goods, industrial and medical equipment and telecommunications. Integral circuits are used in the military industry, high-power computers and electronic communications. The most significant growing sectors of the market are LEDs, electronics based on gallium nitride and solar cells. Solar energy has become the fastest growing branch of the world economy. The volumes of gallium production in Russia do not correspond to its raw material, scientific and technological potential as the country and require the development activation based on state support.

Keywords: gallium; Russian and world resources; production; consumption; prices; markets; main trends; Russian opportunities and prospects.

Рассмотрены состояние российской и мировой минерально-сырьевой базы галлия, основные сферы применения в различных отраслях и производствах народного хозяйства. Выполнены обобщение и анализ тенденций мирового и российского производства, потребления редкого металла и его соединений, мировой торговли и глобального рынка галлия и продукции на его основе, потребляемых в новых наукоемких инновационных производствах, включая производство военной техники. Уникальные химические свойства галлия долгое время оставались невостребованными. Только после обнаружения полупроводниковых свойств соединений галлия ситуация в корне изменилась: темпы прироста добычи и потребления металлического галлия в конце XX и начале XXI в. составляли в среднем более 8 % в год. Крупнейшей областью потребления галлия является производство полупроводниковых материалов – арсенида галлия (GaAs) и нитрида галлия (GaN). Области применения галлия, не связанные с полупроводниковой промышленностью, очень небольшие. Отраслевая структура потребления GaAs и GaN: в интегральных схемах – 66 %; оптоэлектронных устройствах (светодиодах, лазерных диодах, фотодетекторах и солнечных батареях) – 20 %; остальные 14 % – в научно-исследовательских работах, специальных сплавах и др. Оптоэлектронные устройства используются в аэрокосмической промышленности, потребительских товарах, промышленном и медицинском оборудовании и телекоммуникациях. Интегральные схемы применяются в военной промышленности, высокомощных компьютерах и электронной связи. Наиболее значимыми растущими секторами рынка являются светодиоды, электроника на основе нитрида галлия и солнечные элементы. Солнечная энергетика стала самой быстрорастущей отраслью мировой экономики. Объемы производства галлия в России не соответствуют ее сырьевому, научно-технологическому потенциалу страны и требуют активизации развития на основе государственной поддержки.

Ключевые слова: галлий; российские и мировые ресурсы; производство; потребление; цены; рынки; основные тенденции; российские возможности и перспективы.

Введение

Галлий (Ga) – сравнительно мягкий и пластичный металл, образует сплавы со многими металлами в широком диапазоне температур (30–600 °C), отличается низкой температурой плавления (29,8 °C) широким температурным интервалом нахождения в жидком состоянии и способностью к расширению при затвердевании. При обычной температуре галлий устойчив к окислению, при нагревании энергично соединяется с кислородом, серой и йодом, легко растворяется в соляной и серной кислотах, но медленно в азотной и хлорной кислотах. Соли галлия (GaAs, GaAsP) в отличие от солей алюминия больше подвержены гидролизу. Уникальные химические свойства галлия долгое время оставались невостребованными. Только после обнаружения полупроводниковых свойств соединений галлия ситуация в корне изменилась: темпы прироста добычи и потребления металлического галлия за 1990–2008 гг. составляли в среднем 8,2 % в год, а в абсолютном выражении за это время увеличились с 6,5 до 270 т (без России и СНГ).

Ресурсы

Кларк галлия – 19 г/т с широким диапазоном содержаний: от 2 г/т в ультраосновных до 18 г/т в средних горных породах. Средне содержание Ga в апатито-нефелиновых рудах 15 г/т, в нефелиновом концентрате – 35 г/т. Основным источником галлия и его соединений являются бокситы, а также нефелиновые концентраты и полиметаллические руды, в которых галлий является попутным компонентом. В качестве потенциального источника галлия рассматриваются угли, медистые сланцы, фосфориты, литиевые руды. Основные мировые резервы галлия связывают с месторождениями бокситов, запасы которых настолько велики, что не будут истощены в течение многих десятилетий. Однако большая часть галлия, содержащегося в боксите, остается недоступной вследствие недостатка производственных мощностей, объем которых диктуется экономическими причинами. Реальные запасы галлия трудно поддаются оценке. По мнению специалистов U.S. Geological Surveys, мировые ресурсы галлия, связанные с месторождениям бокситов, составляют 1 млн т. Значительными запасами галлия обладают Китай, США, Россия, Украина, Казахстан.

Свыше 90 % мирового выпуска Ga обеспечивается за счет переработки бокситов и частично нефелинов (10 %). Мировые ресурсы Ga не оцениваются, поскольку для его производства используется менее 1/10 части перерабатываемых бокситов, обеспеченность запасами которых является долгосрочной. По оценке Горного бюро США, прогнозные ресурсы Ga в ведущих сырьевых странах мира превышают 0,5 млн т, из них извлекаемые – 385 тыс. т. Такая оценка является, безусловно, заниженной, поскольку в ней не учтены запасы России (125 тыс. т) и Китая (100 тыс. т). Ведущими сырьевыми странами являются США, Австралия, Гвинея, Бразилия, Ямайка и Индия; а также Камерун, Гвиана, Индонезия, Гана и Греция. Основная часть запасов галлия, изоморфно замещающего алюминий в кристаллической структуре глиноземных минералов, связана с бокситами (более 90 %), а также с нефелинами, алунитами и полиметаллическими рудами [1–3]. По обновленным сведениям [4], общемировые ресурсы галлия, сосредоточенные в бокситах, превышают 1 млн т при содержании галлия до 50 г/т; по оптимистичным данным, они оцениваются от 1 до 3 млн т. Содержания оксида галлия в бокситах зарубежных месторождений варьируют в интервале 30–80 г/т руды. Кроме того, часть запасов галлия с содержанием до 50 г/т приурочена к цинковым рудам (США, Канада, Австралия). В целом подтвержденные общемировые запасы галлия

Таблица 1. Распределение запасов галлия по промышленным типам руд в РФ[1].

Геолого-промышленные типы руд (количество месторождений)	Содержание галлия в руде, г/т	Доля в запасах ABC_1, %	Месторождения
Апатито-нефелиновые (7)	23,6	61	Группа Хибинских месторождений (разрабатываются 6)
Бокситовые (14)	52,8	33	Иксинское, Тихвинское и др. (разрабатываются 9)
Уртитовые (1)	19,1	4	Баянкольское месторождение (резервное)
Медноколчеданные (14)	9,4	1,5	Подольское, Юбилейное, Урупское и др. (разрабатываются 5)
Полиметаллические (7)	17,5	0,5	Корбалихинское, Золотушинское и др. (разрабатываются 2)
Всего в России (43)	27,9	100	Разрабатываемые (21), резервные (22)

превышают современный уровень его производства (270 т/год) на три порядка (в 3–5 тысяч раз), бокситов – в 300 раз (!), поэтому обеспеченность запасами не должна вызывать опасений в их исчерпаемости в обозримой перспективе. Однако следует иметь в виду, что возможности получения галлия из бокситового сырья ограничены мощностями основного глиноземного производства. В настоящее же время из бокситов извлекается до 20 % галлия, содержащегося в исходном сырье. При полном же использовании можно получить не менее 1400 т.

Собственные минералы галлия (галлит, майгрюн, корневалит и зенгеит) в природе редки и не имеют практического значения; они обнаружены только в полиметаллическом месторождении (Намибия) и в медно-кобальтовом месторождении (Заир). В качестве изоморфной примеси галлий входит в состав многих минералов, в которых его содержание незначительно (десятые-сотые доли процента): германит, ставролит, ярозит, корунд, сподумен, натролит, гакманит, диаспор, сподумен, алунит, дистен и др. По количеству запасов Ga Россия занимает лидирующее положение в мире. Однако структура отечественной МСБ принципиально иная: большая их часть связана с нефелином Хибинских апатитовых месторождений и бокситами Республики Коми, Архангельской, Свердловской, Челябинской областей и Красноярского края (30 %), с уртитами Баянкольского месторождения Республики Тыва (4 %); менее 2 % запасов приходится на низкосортные по содержанию галлия полиметаллические руды Ставрополья, Башкирии и Читинской области (табл. 1).

По состоянию на начало 2010 г. утвержденные ГКЗ РФ по промышленным категориям балансовые запасы Ga_2O_3 в России составили 118,3 тыс. т, из них 75,1 тыс. т в разрабатываемых месторождениях. В объеме ежегодной добычи 25–28 млн т хибинских апатито-нефелиновых руд из недр извлекается 350–400 т Ga_2O_3, а в годовом выпуске нефелинового концентрата (1,5 млн т) содержится 50–55 т. В структуре запасов и производстве галлия в странах СНГ доля России является преобладающей (соответственно 98,8 и 85,1 %) [5].

Производство

Основное количество галлия производится при переработке бокситов как побочный (попутный) продукт, меньшая часть его извлекается из цинковых руд. Ведущими продуцентами первичного галлия являются Китай, Германия, Япония, Казахстан и Украина. Данные по производству первичного галлия на большинстве предприятий засекречены, поэтому ежегодные объемы его производства трудно поддаются оценке. По оценкам Геологической службы США, производство первичного и рафинированного галлия, включая переработку скрапа, представлено в табл. 2. Основными производителями рафинированного галлия были Китай, Япония и США. Кроме того, галлий извлекали из нового скрапа в Германии, Японии, Великобритании и США.

Согласно данным маркетинговой фирмы Strategy Analytics, в 2009 г. рынок GaAs сократился на 23 % по сравнению 2008 г. Причем снижение начало происходить в конце 2008 г. [6]. С 2008 по 2011 г. наблюдалась повышательная динамика первичного производства (кроме 2009 г.) от 111 т галлия до 292 т с последующим снижением на 10–20 т. Более 60 % общемировых поставок галлия приходится на Китай, который является основным производителем данного металла [7].

Китайские мощности по производству первичного галлия (в качестве побочного продукта оксида алюминия), по оценкам, возросли с одной трети до 80 % от общемирового объема в период между 2009 и 2013 г. (рис. 1) [8]. Примерно 220 т из этого объема было произведено в Китае, где накапливаются запасы. Значительные количества галлия производятся также в России, Венгрии и Словакии. В США первичный металл не производится.

Производство галлия, т*.

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Первичное производство	880	80	111	79	182	292	273	280
Рафинировочное производство	103	103	135	118	161	378	354	Н/д

*Данные US Geological Survey [5]; н/д – нет данных.

Производителей галлия в мире немного. Лидером принято считать компанию GEO Gallium (дочерняя компания американской фирмы GEO Speciality Chemicals (GEOSC)), чьи мощности по извлечению галлия из алюминатных растворов в производстве глинозема расположены на предприятиях в Германии и Франции (выпуск 50 т металла в год) и в Австралии (проектное производство – 50 т в год). Японская фирма Dowa Mining является единственным в мире производителем первичного галлия из цинковых концентратов. Ее мощности оцениваются на уровне 20 т/год. В целом Dowa Mining контролирует 40 % японского рынка и 27 % мирового. На Украине Николаевский глиноземный завод (владелец – российская компания «РУСАЛ») по методу Байера перерабатывает бокситы, импортируемые из-за рубежа. На этом заводе выпуск галлия в 2006 г. составлял 12 т. Вторичное производство, особенно в Японии, является важной частью мирового предложения [9].

В России источниками галлия служат продукты глиноземного производства: бокситы (60–65 %) и нефелины (35 %); в ограниченном объеме используются отходы свинцово-цинкового производства. Себестоимость получения галлия из полиметаллических руд в 6–8 раз выше себестоимости металла из бокситов и нефелина. Производство технического галлия освоено на заводах: алюминиевых – Волховском, Уральском, Надвоицком и Кандалакшском; глиноземных – Бокситогорском и Пикалёвском и на Челябинском цинковом заводе [10]. Холдинг «РУСАЛ» способен выпускать до 21,5 т галлия в год благодаря мощностям Николаевского (15 т), Ачинского (1,5 т) и Бокситогорского (5 т) глиноземных комбинатов. Компания «СУАЛ» может производить около 11 т металла, располагая мощностями Пикалевского глиноземного (9 т) и Уральского алюминиевого (2 т) заводов [11].

Институтом «ВАМИ» выполнены вариантные расчеты извлечения галлия из бокситов и из нефелина Хибин, других альтернативных видов алюминиевого сырья – кианита Кейв (Мурманская обл.), уртита Кия-Шалтырского месторождения (Кемеровская обл.), сыннырита (Бурятия), а также алунита и каолина. Установлена перспективность использования высококалиевых

[1] Государственный баланс запасов РФ. Рассеянные элементы. М., 2010.

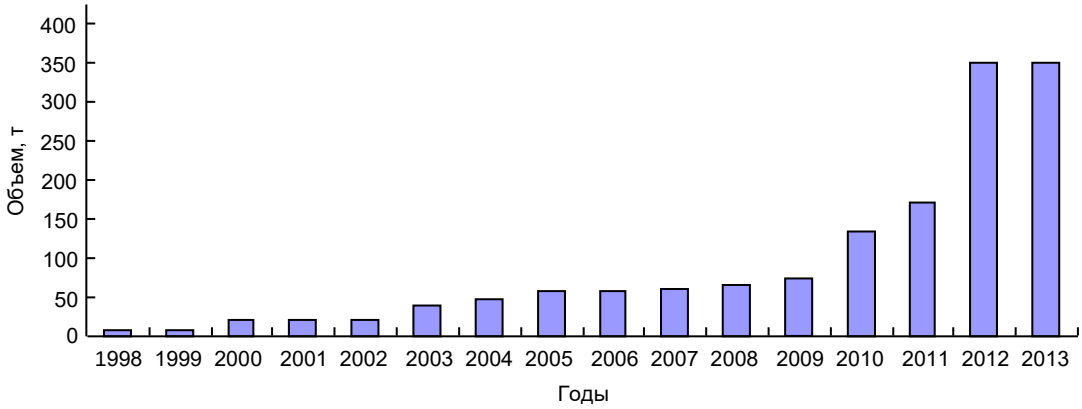


Рисунок 1. Динамика роста мощностей производства первичного галлия в Китае (по данным USGS).

сынныритов, но вовлечение их в освоение по традиционной технологии спекания нецелесообразно по сравнению с нефелиновым концентратом. В целом на планете после бума 2001 г. накоплены большие, но избыточные мощности по производству галлия. Безусловно, рынки мобильников и оптико-волоконной связи растут, вслед за ними растет и рынок галлия. Общие мировые мощности для извлечения галлия составляют, по оценке USGS, свыше 480 т/год (2012). Мировые мощности для рециклинга составляют 198 т/год [5].

Потребление

Арсенид галлия GaAs – перспективный материал для полупроводниковой электроники [8]. Нитрид галлия обладает превосходными химическими и механическими свойствами, типичными для всех нитридных соединений, и используется в создании полупроводниковых лазеров и светодиодов. Изотоп галлий-71 является важнейшим материалом для регистрации нейтрино. Поскольку содержание ^{71}Ga составляет около 39,9 % в природной смеси изотопов, выделение чистого изотопа и использование его в качестве детектора нейтрино способно повысить чувствительность регистрации в 2,5 раза. Галлий – превосходный смазочный материал. На основе галлия и никеля, галлия и скандия созданы практически очень важные металлические клеи. Металлическим галлием также заполняют кварцевые термометры (вместо ртути) для измерения высоких температур [11]. Это связано с тем, что галлий имеет значительно более высокую температуру кипения по сравнению с ртутью. Оксид галлия входит в состав ряда стратегически важных лазерных материалов группы гранатов – ГСГГ, ИАГ, ИСГГ и др.

Галлий используется в производстве высокоскоростных компьютеров, сотовых телефонов, солнечных батарей, оборудования спутниковой связи. Приборы на основе арсенида галлия (GaAs) обладают высокой радиационной стойкостью в широком диапазоне температур (до +1000 °С), а по быстродействию на порядок превосходят альтернативные электронные устройства. В оптической электронике Ga используется для изготовления лазеров для цифровых электрофонов, запоминающих устройств, в волоконной и инфракрасной оптике, в приборах СВЧ-техники (микроволновые диоды, быстродействующие транзисторы, индикаторы магнитофонов), в производстве высокоэффективных солнечных батарей.

В последнее время GaAs находит все большее применение в приборах нового поколения средств электронного противодействия, систем связи и радиолокаторов. Интегральные схемы на основе GaAs не имеют заменителей в оборонной промышленности для производства боеприпасов точного наведения, полевых транзисторов, светодиодов. Галлий используется также в качестве теплоносителя в ядерных реакторах, в металлургии легких сплавов для изготовления терморегуляторов, припоев «холодной пайки».

Потребление галлия ведущими странами (Япония, Германия, Франция, США, Канада, Китай) увеличивается исключительно высокими темпами. По оценке Горного бюро США, суммарные заводские мощности по выпуску галлия в условиях быстрорастущего спроса могут быть доведены до 400 т. В ряде стран галлий широко внедряется в гражданское и промышленное строительство. Увеличение спроса на галлий и впредь будет продолжаться, хотя и замедленными темпами, так как возможно использование альтернативных заменителей, например высокочистого кремния.

Крупнейшей областью потребления галлия (до 98 %) является производство полупроводниковых материалов – арсенида галлия (GaAs) и нитрида галлия (GaN). Области применения галлия, не связанные с полупроводниковой промышленностью, очень небольшие [1]. Из общего объема потребления галлия в мире немногим больше половины приходится на первичный (высокочистый) галлий, остальное – на вторичный, извлекаемый из скрапа [9]. Динамика мирового потребления галлия представлена ниже.

Отраслевая структура потребления GaAs и GaN: в интегральных схемах – 66 %; оптоэлектронных устройствах (светодиодах, лазерных диодах, фотодетекторах и солнечных батареях) – 20 %; остальные 14 % – в научно-исследовательских работах, специальных сплавах и др. [11]. Оптоэлектронные устройства используются в аэрокосмической промышленности, потребительских товарах, промышленном и медицинском оборудовании и телекоммуникациях. Интегральные схемы применяются в военной промышленности, высокомощных компьютерах и электронной связи [1]. Основными потребителями рафинированного галлия являются США и Япония [11]. Увеличение потребления галлия обусловлено растущим спросом на смартфоны и многополосные, многорежимные телефонные трубки, а также в результате увеличения использования LEDs в освещении и экранах дисплея. В Китае приблизительно половина идентифицированного потребления находится в NdFeB магнитных материалах – образец, не повторенный в другом месте в мире, но у которого есть потенциал для роста в Японии [13, 14].

Динамика мирового потребления галлия, т*.

Год …….	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Мировое потребление …	150	150	190,2	176,8	280,0	218,0	220,0	250–300	300	Н/д

*Сводные данные [13]; н/д – нет данных.

В период между 2010 и 2013 гг. китайские мощности по производству первичного галлия утроились в ожидании растущего спроса на металл в светодиодах (GaN) для подсветки в жидко-

Таблица 2. Производители галлия в СНГ [8].

Предприятие	Страна	Сырье для производства	Качество (чистота) галлия	Мощность, т/т	Примечание
ОАО «Пикалевский глинозем», Ленинградская обл.	Россия	Нефелиновый концентрат	99,9999	9–12	–
ООО «Галлий», г. Каменск-Уральский, Свердловская обл.	Россия	Бокситы	99,99	4	Прекращено производство Ga в 2012 г.
ОАО «Новосибирский оловянный комбинат»	Россия	Вторичное сырье	99,9999	0,5	Рециклинг
ОАО «Николаевский глиноземный завод» (УК «РУСАЛ»)	Украина	Бокситы (импортные)	99,9 99,99	14–15	–
АО «Алюминий Казахстана» (ENRC)	Казахстан	Бокситы	99,9999	20–22	–

кристаллических дисплеях (LCD), используемых в планшетных компьютерах, мобильных телефонах и телевизорах. В результате при значительном росте использования металла в этом секторе поставки галлия сильно превысили спрос. Глобальный переход от ламп накаливания и люминесцентных ламп к светодиодам в сфере общего освещения в период до 2020 г., как ожидается, вернет некоторый баланс рынку галлия, но поставки, вероятно, будут более соответствовать потреблению [15]. Мировой спрос для галлия в 2013–2014 гг., по оценкам, увеличился на 50 % по сравнению с 2009 г. Увеличение произошло и от восстановления существующих рынков в Японии, США и Европе после спада в 2008 и 2009 гг. и от развития новых областей применения как в этих регионах, так и в Китае. Приблизительно 90 % галлия потребляется в полупроводниках (SC) или полуизоляторах (SI) [15]. Основные производители галлия в СНГ (Россия и Казахстан) представлены в табл. 2. Российские потребители галлия – заводы «Аметист», «Оптрон» и «Элма-Малахит» (г. Зеленоград).

Потребности России в галлии в 2015 г. оцениваются в 8–10 т в год. В настоящее время современные устройства и приборы (компьютеры, мобильные телефоны, теле- и радиотехника и др.) в Россию импортируются, а отсутствие проблем с энергообеспечением не стимулирует объективное развитие новых технологий.

Крупнейшим рынком для галлия является Япония, но ее доля на мировом рынке, по оценкам, снизилась с 80 % в середине 2000-х гг. до 50 % в 2013 г. Япония, вероятно, останется доминирующим игроком на мировом рынке галлия в течение ближайших нескольких лет, но существенный рост оптоэлектроники и электронной промышленности в Китае вместе с сильным внутренним спросом на галлий показывает, что китайский рынок, в конечном итоге, станет крупнейшим. Япония останется основной страной потребления галлия, но ее доля рынка упадет с 47 % в 2014 г. до 41 % в 2020 г., в то время как доля Китая, как прогнозируется, увеличится с 19 до 35 %, главным образом, за счет роста использования в освещении. Мировой рынок галлия, по прогнозам, увеличится на 40 % (примерно до 422 т в год) к 2020 г., при этом доля использования металла в освещении вырастет с 18 до 33 % от общего спроса. Использование галлия для управления электронной мощностью останется крупнейшим рынком, но его доля будет снижаться с 50 до 43 % от общего объема [16].

Цены

Волатильность рынка галлия высока, главным образом, из-за его небольшого объема и чередования дефицита и избыточного предложения [1]. Ниже приведена динамика среднегодовых цен на галлий.

После падения цен в 2008–2009 гг., в значительной мере обусловленного мировым финансовым кризисом, уровень цен на

Динамика среднегодовых цен на галлий, долл./кг [1].

Год ……..	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Цена ……	600	600–700	300–350	350	Н/д	688	556	270	310	190 (макс. 255)

галлий восстановился в 2011 г. Производители светодиодов нового поколения в свое время инвестировали значительные средства в новые производственные линии в расчете на то, что рост сектора самых современных осветительных устройств даст долгосрочную поддержку повышению цен. Но ослабление экономических условий в Азии, особенно в Японии, привело к задержке некоторых таких проектов, хотя в Китае по-прежнему входят в эксплуатацию новые производства [17]. В 2012 г. цены на галлий на мировом рынке немного опустились – в среднем до 556 долл./кг, однако остались на достаточно высоком уровне. В период 2013–2014 гг. цены колеблются в диапазоне 270–310 долл./кг с тенденцией к понижению [11, 18]. В 2015–2016 гг. цены на галлий снижались (январь 2015 г. – 255 долл./кг; январь 2016 г. – 139 долл./кг) из-за превышения предложения галлия над спросом. Динамика цен на галлий за 2015 г. и за первое полугодие 2016 г. представлена на рис. 2, 3.

За период 23.02.16–12.06.16 разница между максимальной и минимальной ценой на галлий на мировом рынке, по данным Infogeo.ru, составила 5 долл., или 3,8 %.

Прогнозы на рынке арсенида галлия

Основная часть произведенного Ga используется для синтеза соединений GaN и A3B5 – арсенида и фосфида галлия. Из GaAs изготавливаются интегральные схемы (ИС) для оптоволоконной связи и сотовой телефонии, а из GaN – светодиоды (СД). Всюду в этих секторах используется металл высокой чистоты (рис. 4).

Основным потребителем галлия долгое время является Япония, но в последние годы заметно возрастает и доля Китая (рис. 5) [8, 20]. Количество продаж мобильных телефонов, смартфонов, iPhone и iPod растет. В каждом мобильном телефоне 2-го поколения имеются 2 усилителя на основе арсенида галлия, а в аппарате 3-го поколения их 5, и, соответственно, растет производство пластин GaAs (рис. 6) [8]. Наиболее значимыми растущими секторами рынка являются светодиоды, электроника на основе нитрида галлия (GaN) и солнечные элементы [8, 19, 20]. По сравнению с традиционным телевизором с жидкокристаллическим экраном телевизор, имеющий экран на основе светодиодов, потребляет на 40 % меньше электроэнергии, что имеет существенное значение для современной экономики [6].

Общий рынок СД в 2013 г. превысил 21 млрд долл., а к 2020 г. он может достичь 46,05 млрд долл. [8, 19].

Бурно развивается электроника на нитриде галлия. Транзисторы на нитриде галлия могут обеспечивать мощности примерно в 100 раз выше, чем на GaAs, и при этом они сохраняют работоспособность при температурах 400–500 °С. Светодиоды и электроника на нитриде галлия – не единственные сферы применения галлия, и в дальнейшем они будут расширяться. Солнечные элементы (СЭ) на основе соединений GaAs используются для бортового питания телекоммуникационных космических аппаратов [8]. Только период с 2004 по 2008 г. среднегодовая площадь солнечных батарей коммерческих операторов связи

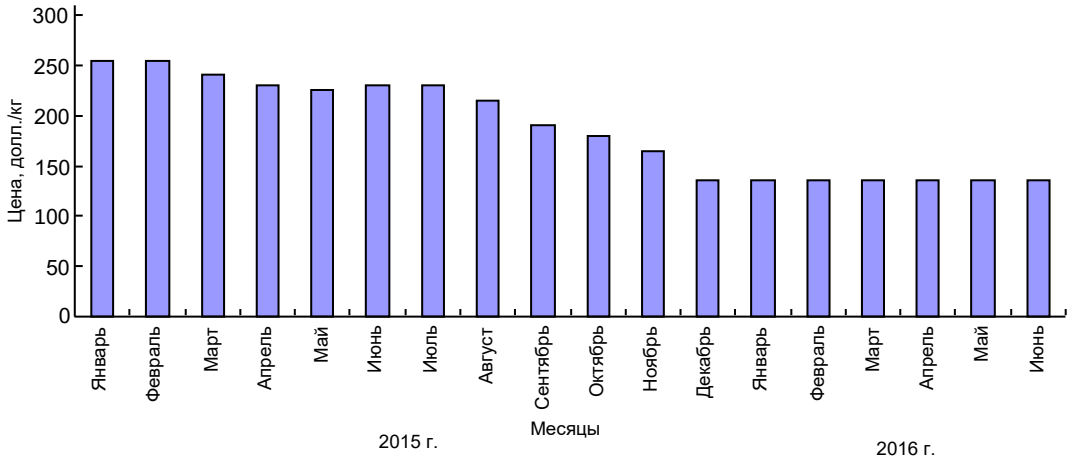


Рисунок 2. Динамика изменения цен на галлий на мировом рынке в 2015–2016 гг.

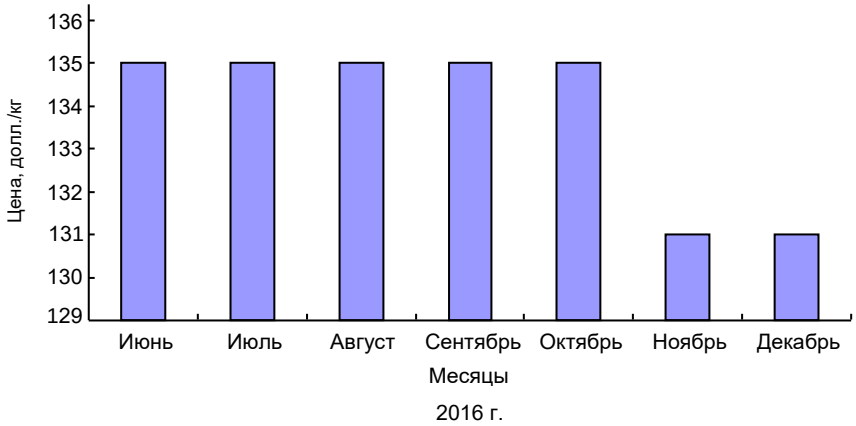


Рисунок 3. Динамика изменения цен на галлий на мировом рынке в 2016 г.

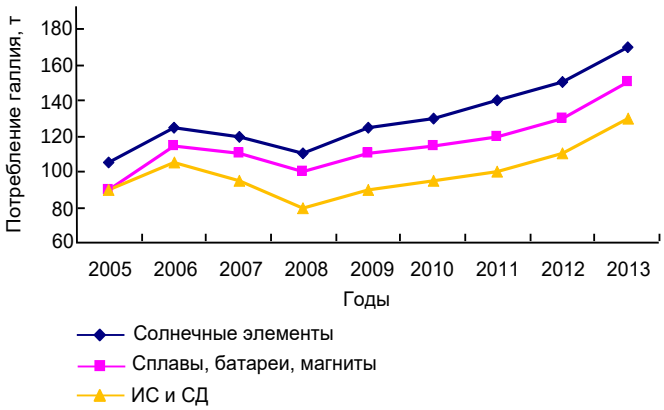


Рисунок 4. Динамика потребления галлия по областям применения в 2005–2013 гг. [8, 19].

(без учета России) увеличилась более чем в 2 раза (с 655 до 1400 м^2). Эта тенденция сохранится и в среднесрочной перспективе. В частности, до 2015 г. годовой спрос на СЭ на основе GaAs на мировом рынке вырастет до ~2400 м^2. В России такие СЭ производят ОАО «НПП Квант» (г. Москва) и ОАО «Сатурн» (г. Краснодар). С 2011 г. в НПП «Квант» работает технологическая линия изготовления по собственной технологии многослойных СЭ на основе InGaP/InGaAs/Ge.

Существует также рынок наземной солнечной энергетики на основе GaAs. В связи с загрязнением окружающей среды, истощением доступных и дешевых углеводородных энергоносителей в долгосрочной перспективе (до 2100 г.) предполагается, что энергия солнца потеснит традиционные источники – газ, нефть, уголь. Солнечные элементы не имеют движущихся частей, пригодны для создания установок любой мощности, способны обеспечить потребителя электричеством практически в любом месте на Земле, не вызывая эмиссию вредных газов в атмосферу. Поэтому солнечная энергетика стала самой быстрорастущей отраслью мировой экономики. В 2012 г. общая мощность установленных солнечных панелей превысила 100 ГВт, а в 2013 г., по предварительным данным, увеличилась еще на 40 ГВт [8, 18, 21]. Эффективность применения СЭ на GaAs выглядит очень высокой. Так, по оценкам «Sharp», их установка к 2030 г. на 5 % площадей таких штатов, как Невада, Аризона, Нью-Мексико, позволит вырабатывать 42 % всего внутреннего потребления США.

Таким образом, рынки галлия, равно как и рынки алюминия и цинка, развиваются циклично, о чем свидетельствуют происходящие изменения за период 2006–2016 гг. Характер же циклов определялся своеобразным «наложением» закономерностей, присущих рынкам базовых металлов, на закономерности развития рынка конкретного редкого элемента. Основными факторами являются соотношение *спрос–предложение*, развитие отраслей науки и техники, потребляющих данные материалы, игра различных участников на рынках металлов [8]. Однако европейский спрос на галлий и состояние бизнеса являются устойчиво-приемлемыми, и все перечисленное вызовет рост потребности в галлии в средне- и долгосрочной перспективе.

Особенности современной торгово-промышленной стратегии Китая [8]

Обсуждения заслуживает техническая и экономическая стратегии Китая, который, несмотря на существующий избыток предложения, значительно увеличивает производственные мощности по галлию. Представляется, что это частный случай проявления общей торгово-экономической политики Правительства КНР, которое в период 12-й пятилетки (2011–2015)

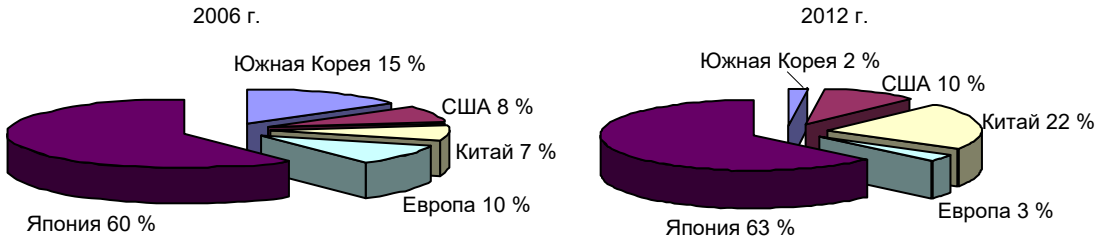


Рисунок 5. Изменения географического потребления галлия в 2006 г. (230 т Ga) и 2012 г. (417 т Ga). Источник – «AXT Corp.».

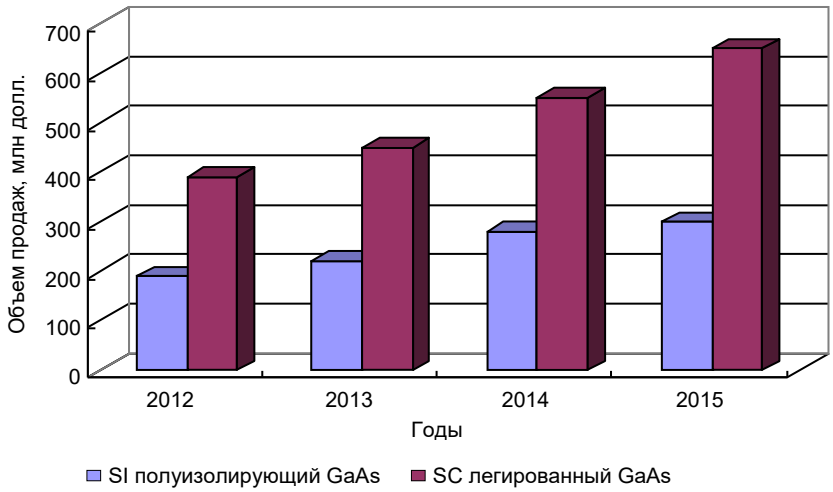


Рисунок 6. Динамика роста рынка GaAs в 2012–2015 гг., млн долл.

инвестирует до 1,5 трлн долл. в развитие отраслей экономики, связанных с высокими технологиями, – альтернативную энергетику, производство высокотехнологичного оборудования, энергосберегающие и экологичные технологии. Правительство Китая ставит задачей превращение страны из производителя дешевых массовых товаров в производителя высокотехнологической инновационной продукции.

Можно выделить три стадии в стратегической торговой политике КНР. Первой является поддержка внутреннего производства сырьевых материалов через благоприятную политическую и экономическую обстановку. Вторая стадия – как только страна занимает основную долю глобального мирового производства того или иного сырья, Министерство торговли Китая начинает ограничивать его экспорт, уменьшая возврат НДС на экспорте, увеличивая вывозные пошлины и вводя экспортные квоты. Наконец, на третьем этапе число экспортных квот начнет снижаться и станет расти налоговое давление на экспорт сырья. Это поддержит китайских производителей конечной продукции, а других производителей во всем мире вынудит перемещать производство в Китай, чтобы гарантировать устойчивые поставку и сбыт. Представляется, что все происходящее в индустрии галлия в КНР в последние годы следует рассматривать как подготовку к переходу к третьему этапу.

Выводы

В средне- и долгосрочной перспективе весьма вероятен рост потребности в галлии, вызванный появлением новых секторов применения и изменением роли Китая в мировой экономике. Из-за растущего спроса на галлий, вероятно, можно предположить увеличивающуюся мировую зависимость от китайского производства галлия и в следующие 5 лет. Для удовлетворения повышенного спроса на этот металл, возможно, возникнет необходимость в разработке новых, более эффективных технологий и совершенствовании традиционных методов извлечения галлия из растворов [8]. По оценкам специалистов, перспективным является использование в этих целях сорбционных процессов на базе импрегнированных сорбентов. Они представляют собой расширение экстракционных технологий путем введения селективного экстрагента в матрицу синтетического ионита. Это расширит технологические возможности для извлечения галлия из растворов при сверхмалых его концентрациях.

Производство и потребление галлия и в целом редких металлов в России не соответствует ее сырьевому и научно-техническому потенциалу и требует решительного изменения на государственном уровне управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mining Journal, 2007, December, 21/28. Mineral Commodity Summaries, 2008, January. URL: http://www.adv-engineering.ru/novosti/novrinka/Ga1.html
2. Вершковская О. В., Зуева Т. И., Прокопчук В. П. Минеральное сырье. Галлий: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 17 с.
3. USGS. Mineral Commodity Summaries, 2008. URL: http://www.minerals.usgs.gov/
4. Редкие металлы на мировом рынке / отв. ред. Т. Ю. Усова. М.: ИМГРЭ, 2008. Кн. 1. 195 с.; кн. 2. 162 с.
5. Мировой рынок галлия // Статистика мировых товарных рынков. URL: http://www.cmmarket.ru/stat.php?commod=ga&table=gapusgs
6. Рынок галлия почти мертв, но имеет великолепные перспективы? / Металлургический бюллетень. 2010. 30 июня. URL: http://www.metalbulletin.ru/news/color/10043029/
7. Будущее рынка галлия. 2008. URL: http://www.metalltrade.ru/news/data_html/aaaaaaafw.html
8. Наумов А. В. О современном состоянии мирового рынка галлия // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2014. № 2. С. 59–64. URL: http://cvmet.misis.ru/jour/manager/files/articles/64/submission/copyedit/64-137-1-CE.pdf
9. Walawalker R. Gallium still looks to a glowing future // Metal Bulletin Montly. 1999. Vol. 51. P. 48–49.
10. Букин В. И., Лысакова Е. И., Резник А. М. О возможности извлечения некоторых редких металлов при комплексной переработке алюминиевого сырья // Национальная металлургия. 2003. № 1. С. 61–65.
11. Ершова Я. Ю. Физико-химические основы экстракции галлия и алюминия из щелочно-карбонатных растворов азотсодержащими экстрагентами фенольного типа: дис. …канд. хим. наук. М., 2015. 132 с.
12. Kang M. S., Lee C.-H., Park J. B., Yoo H., Yi G.-C. Gallium nitride nanostructures for light-emitting diode applications // Nano Energy. 2012. Vol. 1. P. 391–400.
13. Мировой рынок галлия. URL: http://www.cmmarket.ru/markets/gaworld.htm
14. Ситуация на японском рынке галлия. URL: http://www.metaltorg.ru/analytics/publication/index.php?id=2930
15. Производство галлия преобладает в Китае. URL: https://yandex.ru/images/search?img_ur
16. Потребление галлия в основном в Японии, но Китай догоняет. URL: https://yandex.ru/images/search?img_ur
17. Цены на галлий снижаются из-за потенциального избытка металла? URL: http://www.fin.org.ua/news/903422
18. Обзор рынка солнечных фотоэлементов на некремниевой основе и мате-

риалов для их производства в мире. М.: Исслед. группа «Инфомайн», 2011. 121 с.
19. Harrower M. Consumer Markets and Minor Metals. URL: http://www.indium.com/metals/gallium/
20. Обзор рынка галлия в России, СНГ и мире (презентация). М.: Исслед. группа «Инфомайн», 2012. 40 с.
21. Наумов А. В. Обзор мирового рынка галлия (экономика галлия) // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2005. № 3. С. 14–21.

REFERENCES

1. 2007, Mining Journal. 2008, Mineral Commodity Summaries, Available at: http://www.adv-engineering.ru/novosti/novrinka/Ga1.html
2. Vershkovskaya O. V., Zueva T. I., Prokopchuk V. P. 1998, *Mineral'noe syr'e. Galliy: spravochnik* [Mineral raw materials. Gallium: A Handbook], Moscow, 17 p.
3. 2008, USGS. Mineral Commodity Summaries, Availabe at: http://www.minerals.usgs.gov/
4. Usova T. Yu. 2008, *Redkie metally na mirovom rynke* [Rare metals in the world market], Moscow, vol. 1, 195 p.; vol. 2, 162 p.
5. *Statistika mirovykh tovarnykh rynkov* [Statistics of world commodity markets], Available at: http://www.cmmarket.ru/stat.php?commod=ga&table=gapusgs
6. 2010, *Rynok galliya pochti mertv, no imeet velikolepnye perspektivy?* / Metallurgicheskiy bulleten' [The gallium market is almost dead, but has great prospects? / Metallurgical bulletin], Available at: http://www.metalbulletin.ru/news/color/10043029/
7. 2008, *Budushchee rynka galliya* [The future of gallium market]. Available at: http://www.metalltrade.ru/news/data_html/aaaaaaafw.html
8. Naumov A. V. 2014, *O sovremennom sostoyanii mirovogo rynka galliya* [On the current state of the global gallium market]. *Izv. vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of Higher Schools Nonferrous Metallurgy], no. 2, pp. 59–64.
9. Walawalker R. Gallium still looks to a glowing future // Metal Bulletin Montly. 1999. Vol. 51. P. 48–49.
10. Bukin V. I., Lysakova E. I., Reznik A. M. 2003, *O vozmozhnosti izvlecheniya nekotorykh redkikh metallov pri kompleksnoy pererabotke alyuminievogo syr'ya* [On the possibility of extracting some rare metals during complex processing of aluminum raw materials]. *Natsional'naya metallurgiya* [National Metallurgy], no. 1, pp. 61–65.
11. Ershova Ya. Yu. 2015, *Fiziko-khimicheskie osnovy ekstraktsii galliya i aluminiya iz shchelochno-karbonatnykh rastvorov azotsoderzhashchimi ekstragentami fenol'nogo tipa* [Physical and chemical bases of extraction of gallium and aluminum from alkaline-carbonate solutions by nitrogen-containing phenolic type extractants]. *Dis. ... kand. ekon. nauk* [Dissertation for the degree of candidate of economic sciences]. Moscow, 132 p.
12. Kang M. S., Lee C.-H., Park J. B., Yoo H., Yi G.-C. 2012, Gallium nitride nanostructures for light-emitting diode applications. *Nano Energy*, vol. 1, pp. 391–400.
13. Mirovoy rynok galliya [World market of gallium], Available at: http://www.cmmarket.ru/markets/gaworld.htm
14. 2007, *Situatsiya na yaponskom rynke galliya* [The situation in the Japanese gallium market], Available at: http://www.metaltorg.ru/analytics/publication/index.php?id=2930.
15. *Proizvodstvo galliya preobladaet v Kitae* [Gallium production prevails in China], Available at: https://yandex.ru/images/search?img_ur
16. *Potreblenie galliya v osnovnom v Yaponii, no Kitay dogonyaet* [Gallium consumption is mainly in Japan, but China is catching up], Available at: https://yandex.ru/images/search?img_ur
17. 2011, *Tseny na galliy snizhayutsya iz-za potentsial'nogo izbytka metalla?* [The prices for gallium are reduced because of the potential excess of metal?], Available at: http://www.fin.org.ua/news/903422.
18. 2011, *Obzor rynka solnechnykh fotoelementov na nekremnievoy osnove i materialov dlya ikh proizvodstva v mire* [Overview of the market for solar photocells on non-siliceous basis and materials for their production in the world], Moscow, 121 p.
19. Harrower M. Consumer Markets and Minor Metals, Available at: http://www.indium.com/metals/gallium/
20. 2012, *Obzor rynka galliya v Rossii, SNG i mire (prezentatsiya)* [Review of the Gallium Market in Russia, the CIS and the World (presentation)]. Moscow, 40 p.
21. Naumov A. V. 2005, Obzor mirovogo rynka galliya (ekonomika galliya) [Review of the world market of gallium (the economy of gallium)]. *Izv. vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of Higher Schools Nonferrous Metallurgy], no. 3, pp. 14–21.

Федор Дмитриевич Ларичкин,
lfd@iep.kolasc.net.ru
Алексей Евгеньевич Череповицын,
alekseicherepov@inbox.ru
Валентина Дмитриевна Новосельцева,
novoceltzeva@iep.kolasc.net.ru
Лариса Ивановна Гончарова
goncharova@iep.kolasc.net.ru
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина КНЦ РАН
Россия, Мурманская обл., Апатиты, ул. Ферсмана, 24-а

Fedor Dmitrievich Larichkin,
lfd@iep.kolasc.net.ru
Aleksey Evgen'evich Cherepovitsyn,
alekseicherepov@inbox.ru
Valentina Dmitrievna Novosel'tseva,
novoceltzeva@iep.kolasc.net.ru
Larisa Ivanovna Goncharova
goncharova@iep.kolasc.net.ru
G. P. Luzin Institute of Economic Problems of Kola Scientific Centre of RAS
Apatity, Murmansk region, Russia

УДК 658.512.3 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-115-117

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТ-АУТСОРСИНГА

И. В. Ершова, Т. А. Минеева, Я. Г. Бездежская

Organizational-economic model of project-outsourcing

I. V. Ershova, T. A. Mineeva, Ya. G. Bezdezhskaya

The article considers the classification of existing types of outsourcing at industrial enterprises. The authors conclude that the existing classifications do not consider the specific sphere of outsourcing - work on the creation and implementation of scientific and technical products. The recently used scientific and technical outsourcing covers only the initial stages of the life cycle. In general, such developments formally are R&D contracts. A comparative analysis of economic consequences on the example of creation and implementation of the PLM-system has shown that in the organization of works under the scheme of contractual works for the creation of R&D, the customer incurs additional implicit costs associated with the increase in period of work and corresponding adjustments. The authors propose to use an outsourcing project for the organization of such works as a way to organize design works for the creation and implementation of scientific and technical products, based on the strategic partnership of customer and outsourcer. The article considers an example of the organizational and economic scheme for creating and implementing the PLM system at one of the engineering enterprises in Ekaterinburg using local contracts - and provides the results of estimated cost and time expenditures of the project-outsourcing scheme. The authors formulated differences between the organization of works under R&D contracts and project outsourcing, caused due to the nature of the relationship between outsourcer and customer: the strategic nature of the relationship, which implies the collaborative development of the concept of a long-term project: and the transfer of risks and additional payment for risks to the outsourcer, calculated on the basis of possible unproductive expenses for own personnel, loss of profits and changes in exchange rates. Prior to making a decision on outsourcing, preliminary work is necessary to make an informed choice.

Keywords: project outsourcing; contracts; R&D; implicit costs; strategic partnership.

В статье рассмотрена классификация существующих видов аутсорсинга на промышленных предприятиях. Сделан вывод, что существующие классификации не рассматривают специфическую сферу передачи на аутсорсинг – работы по созданию и внедрению научно-технической продукции. Используемый в последнее время научно-технический аутсорсинг охватывает только начальные стадии жизненного цикла. Наиболее часто такие разработки оформляются как договоры выполнения НИОКР. Сравнительный анализ экономических последствий на примере создания и внедрения PLM-системы показал, что при организации работ по схеме договорных работ на создание НИОКР заказчик несет дополнительные скрытые издержки, связанные с увеличением сроков работ и соответствующими корректировками. Авторы предлагают использовать для организации таких работ проект-аутсорсинг как способ организации проектных работ по созданию и внедрению научно-технической продукции, базирующийся на стратегических партнерских отношениях заказчика и аутсорсера. В статье рассмотрен пример организационно-экономической схемы создания и внедрения PLM – системы на одном из машиностроительных предприятий г. Екатеринбурга при использовании локальных договоров – и приведены результаты оценки стоимостных и временных затрат по схеме проект-аутсорсинга. Сформулированы отличия организации работ по договорам НИОКР и проект-аутсорсингу, обусловленные сущностью отношений аутсорсера с заказчиком: стратегический характер отношений, что подразумевает совместную разработку концепции долгосрочного проекта и передача рисков и дополнительной платы за риск аутсорсеру, рассчитанной исходя из возможных непроизводительных расходов на собственный персонал, упущенной выгоды и изменений валютных курсов. До принятия решения об аутсорсинге необходима предварительная работа, позволяющая сделать обоснованный выбор.

Ключевые слова: проект-аутсорсинг; договоры; НИОКР; скрытые издержки; стратегическое партнерство.

Одним из наиболее эффективных механизмов, повышающих конкурентоспособность промышленных предприятий, в научной литературе считается аутсорсинг. Данный вывод подтверждается и практикой его применения. В последние десятилетия мировой рынок аутсорсинговых услуг растет быстрыми темпами. Такая тенденция наблюдается и в России, особенно в сфере транспортной логистики и бухгалтерских услуг и IT-технологий [1]. Функциональные области использования аутсорсинга коррелируют с его «классическим» определением согласно данным Института аутсорсинга (США) – Outsourcing Institute: аутсорсинг – это организационное решение по передаче стороннему подрядчику некоторых бизнес-функций или отдельных бизнес-процессов организации [2].

Большинство российских ученых рассматривают аутсорсинг как передачу непрофильных бизнес-функций промышленных предприятий. То есть суть аутсорсинга для предприятия: сосредоточиться на основном виде деятельности, а сопутствующие функции передать надежному партнеру. Однако появляющиеся в последнее время определения субконтрактинга, аутстаффинга, аутстаффинга, которые рассматриваются как разновидности аутсорсинга, позволяют утверждать, что современное понятие аутсорсинга отличается от классического и содержит определенные составляющие, нуждающиеся в уточненной классификации.

Систематизируем существующие классификации видов аутсорсинга (рис. 1).

На основании составленной классификации можно сделать следующие выводы.

1. Следует различать аутсорсинг как передачу процессов сторонним исполнителям (управленческий аспект) и аутсорсинг как использование активов стороннего исполнителя (экономический аспект). К первой группе можно отнести определение, данное в [3–5]. Ко второй группе научных взглядов относится точка зрения, изложенная в [6–8].

2. Сочетание признаков «предметная область» и «передаваемые функции менеджмента» позволяет выводить на аутсорсинг большинство локальных бизнес-процессов, как основных, так и вспомогательных.

3. Помимо процессного подхода в управлении предприятием все большую значимость приобретает проектный подход, что не нашло отражения в существующих классификациях.

Важной сферой использования проектного подхода является создание и внедрение научно-технических новшеств. По данным Госкомстата РФ, внутренние затраты на научные исследования и разработки выросли с 32,8 млрд руб. в 2010 г. до 74,7 млрд руб. в 2015 г., при этом ежегодно снижается число организаций, внедряющих новые или усовершенствованные технологии, которые изменяют, либо значительно улучшают существующие технологические уклады и повышают эффективность производства. Так, в 2012 г. удельный вес таких организаций был на уровне 9,1 %, а к 2015 г. снизился до 8,3 % [9].

Как справедливо отмечается в [10], «у большинства российских промышленных предприятий недостает необходимого научного потенциала и возможностей проектировать новые изделия, проводить их испытания, осуществлять полный цикл организации подготовки производства новой продукции, а также освоения новой техники и технологии». Для решения этой проблемы авторы [10–12] предлагают применять научно-исследовательский или научно-технический аутсорсинг.

Анализ определений, перечисленных автором, позволяет отметить, что научно-технический аутсорсинг, как и другие виды аутсорсинга, изучается ими только как передача части бизнес-функций, входящих в жизненный цикл изделия или технологии. Но накопленный опыт работы промышленных предприятий

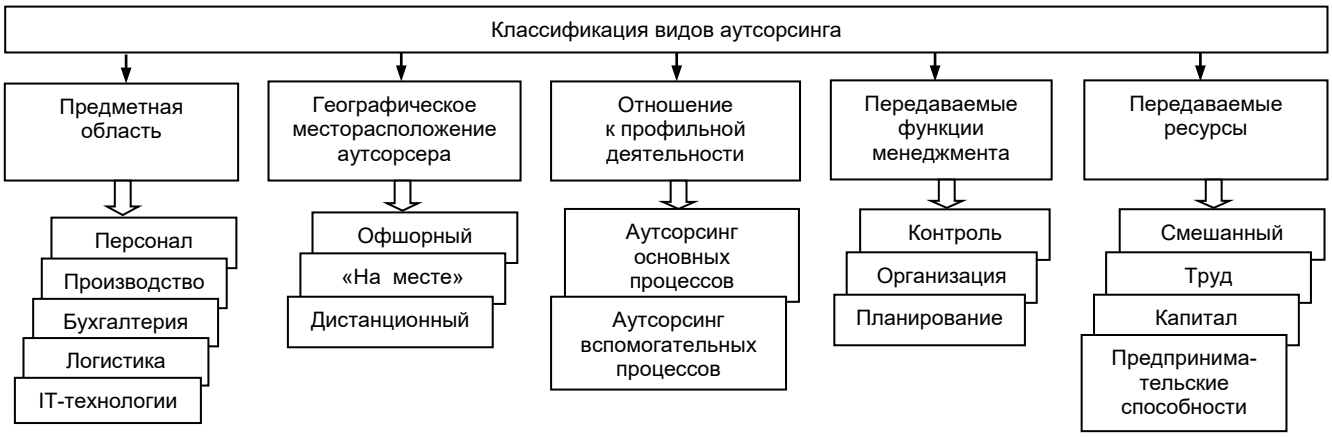


Рисунок 1. Классификация видов аутсорсинга.

Таблица 1. Оценка стоимостных и временных затрат работ по схеме простых договорных отношений.

Дата	Событие	Цена по факту, долл.	Курс доллара	Потери из-за изменения курса доллара, тыс. руб.
1 июня 2008 г.	Закуп КОМПАС	39 146	23,7473	0
11 декабря 2008 г.	Закуп ЛОЦМАН	9172	27,9409	38,463
9 октября 2009 г.	Обучение персонала	6677	30,0621	42,163
10 сентября 2010 г.	Пакет Обновления К + Л	10 981	30,8801	78,327
10 сентября 2010 г.	Консалтинг	21 859	30,8801	155,914
11 октября 2011 г.	Дополнительные работы по внедрению	20 619	32,0096	170,359
28 ноября 2011 г.	Доработка системы	27 993	31,4117	214,548
июнь-июль 2014 г.	Договор	20 436	34,8887	227,690
10 декабря 2014 г.	Расширенная техподдержка комплекса АСКОН	8 008	32,7782	72,323
31 декабря 2014 г.	Переход на новую версию комплекса «Аскон»	12 674	56,2584	412,035
Итого		177 565	–	**1411,821**
Расходы на персонал, задействованный во внедрении				
Должность	Количество человек	Расходы предприятия в год на 1 чел.	Длительность работы над проектом, лет	Итого затраты на персонал, тыс. руб.
Ведущий инженер по АСУП	1	1 100 000	6	6600
Инженер по АСУП 3 категории	1	520 000	2	1040
Итого				**7640**

свидетельствует о необходимости выстраивания стратегических отношений с аутсорсером на протяжении всего жизненного цикла изделия, без дробления на отдельные бизнес-функции. В результате такого подхода к организации хозяйственной деятельности промышленного предприятия будут высвобождены дополнительные ресурсы предприятия, одним из которых и наиболее ценным является время, затраченное на внедрение нового продукта или новой технологии. Так как создание нового изделия или технологии – это целостный проект, то целесообразным является ввести понятие проект-аутсорсинга, под которым понимается стратегическое взаимодействие хозяйствующих субъектов.

Понятие проект-аутсорсинг является более широким, чем научно-технический.

Под *проект-аутсорсингом* понимается способ организации проектных работ по созданию и внедрению научно-технической продукции, базирующийся на стратегических партнерских отношениях аутсорсера и заказчика, с передачей аутсорсеру рисков ведения проектов и дополнительной прибыли.

В настоящее время работы по созданию и внедрению научно-технической продукции выполняются на основе договоров о проведении научно-технических или консалтинговых работ. При этом угроза рисков в долгосрочной перспективе заставляет и заказчика, и исполнителя «дробить» этапы, что не позволяет достигать поставленных проектных целей в поставленные сроки и приводит к частым корректировкам видов работ по этапам. Кроме того, заказчик не всегда участвует в обсуждении технического задания всего проекта, не имеет возможности, используя свои компетенции, вносить улучшения на ранних стадиях.

Большинство специалистов по аутсорсингу считают, что главной причиной выбора такой бизнес-стратегии является снижение расходов заказчика. Но в расчет принимают, как правило, только прямые затраты, не учитывая упущенную выгоду и скрытые издержки, получаемые из-за затянувшейся длительности работ.

Рассмотрим пример организационно-экономической схемы создания и внедрения PLM-системы на одном из машиностроительных предприятий г. Екатеринбурга при использовании локальных договоров.

Схема работ и стоимости этапов приведена в табл. 1.

Общая сумма, выплаченная по договорам с учетом изменения курса доллара, составила 4976,4 тыс. руб. Срок внедрения – около 5,5 лет. Скрытые издержки составили около 9 млн руб., включая потери из-за изменения курса валют и непроизводи-

Таблица 2. Оценка стоимостных и временных затрат по схеме проект-аутсорсинга.

Дата	Событие	Цена по факту, долл.	Курс доллара	Стоимость работ, тыс. руб.
1 января 2016 г.	Договор на проект-аутсорсинг с фирмой АСКОН	80 000	72,93	5834,4
31 декабря 2016 г.	Запуск пилотного проекта	–	–	300
1 января 2017 г.	Обслуживание	–	–	300

тельной работы собственных сотрудников, сопровождавших внедрение.

В данном примере не подсчитана упущенная выгода, образовавшаяся из-за длительных сроков разработки основной продукции предприятия.

При проект-аутсорсинге первоначальная цена договора может быть увеличена до 6 млн руб. При этом экономический эффект у заказчика составит около 8 млн руб. Аутсорсер дополнительно получит 1 млн руб. Схема работ при проект-аутсорсинге представлена в табл. 2.

Принципиальными отличиями организации работ по договорам НИОКР и проект-аутсорсинге, по мнению авторов, являются следующие, обусловленные сущностью отношений аутсорсера с заказчиком.

1. Стратегический характер отношений, что подразумевает совместную разработку концепции долгосрочного проекта.

2. Передача рисков и дополнительной платы за риск аутсорсеру, рассчитанной исходя из возможных непроизводительных расходов на собственный персонал, упущенной выгоды и изменений валютных курсов.

Прежде чем принять решение о применении аутсорсинга, необходимо провести серьезную предварительную работу, которая включает:

– комплексный анализ промышленного предприятия, особое внимание должно быть уделено принципам функционирования организационной структуры;

– анализ целесообразности применения аутсорсинга;

– разработку схемы применения аутсорсинга;

– поиск аутсорсера.

Одной из самых сложных задач в проект-аутсорсинге является выбор аутсорсера, разработка для него технического задания и контроль хода его выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хлебников Д. Аутсорсинг как инструмент снижения затрат и оптимизации бизнес-системы // Компас промышленной реструктуризации. 2004. № 2. С. 25–28.
2. Kern T., Willcocks L. Exploring information technology outsourcing relationships: theory and practice // The journal of strategic information systems. 2000. Vol. 9. № 4. P. 321–350.
3. Бучин С. А. Развитие аутсорсинга как инновационной формы интеграции промышленных предприятий: организационно-экономические аспекты: автореф. дис. … канд. экон. наук. М.: Современная гуманитарная академия, 2010. 22 с.
4. Северов А. С. Неявные проблемы аутсорсинга // Аудит и финансовый анализ. 2007. № 5. С. 438–442.
5. Rolstadås A., Henriksen B., O'Sullivan D. Manufacturing Outsourcing: A Knowledge Perspective. London, 2012. 232 c.
6. Котляров И. Д. Взаимодействие предприятий при аутсорсинге: экономические, организационные и финансовые аспекты // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2011. № 2(14). С. 136–143.
7. Белкина Т. Ю. Проблемы внедрения аутсорсинга на промышленных предприятиях РФ // Проблемы современной экономики. 2011. № 3 (39). С. 365–367.
8. Хейвуд Дж. Б. Аутсорсинг: в поисках конкурентных преимуществ: пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. С. 176 с.
9. Наука и инновации. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_in novations/science/#
10. Сербиновский Б. Б. Научно-исследовательский аутсорсинг в организации подготовки производства: проблемы и пути развития // Изв. ИГЭА. 2008. № 4. С. 95–97.
11. Дёмчева Е. А. Научно-технический аутсорсинг как инструмент управления развитием химических предприятий: автореф. дис. … канд. экон. наук. М.: МГАТХТ им. М. В. Ломоносова, 2008. 24 с.
12. Маркеева Г. А., Михнева С. Г. Эволюция аутсорсинговых отношений в практике международного бизнеса // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2013. № 4(8). С. 82–89.

REFERENCES

1. Khlebnikov D. 2004, *Autsorsing kak instrument snizheniya zatrat i optimizatsii biznes-sistemy* [Outsourcing as a tool to reduce costs and optimize the business system]. *Kompas promyshlennoy restrukturizatsii* [Compass of industrial restructuring], no. 2, pp. 25–28.
2. Kern T., Willcocks L. 2000, Exploring information technology outsourcing relationships: theory and practice. *The journal of strategic information systems*, vol. 9, no. 4, pp. 321–350.
3. Buchin S. A. 2010, *Razvitie autsorsinga kak innovatsionnoy formy integratsii promyshlennykh predpriyatiy: organizatsionno-ekonomicheskie aspekty: avtoref. dis. … kand. ekon. nauk* [Development of outsourcing as an innovative form of integration of industrial enterprises: organizational and economic aspects: the author's abstract of the thesis of the candidate of economic sciences]. Moscow, 22 p.
4. Severov A. S. 2007, *Neyavnye problemy autsorsinga* [Implicit problems of outsourcing]. *Audit i finansovyi analiz* [Audit and financial analysis], no. 5, pp. 438–442.
5. Rolstadås A., Henriksen B., O'Sullivan D. 2012, Manufacturing Outsourcing: A Knowledge Perspective, London, 232 p.
6. Kotlyarov I. D. 2011, *Vzaimodeystvie predpriyatiy pri autsorsinge: ekonomicheskie, organizatsionnye i finansovye aspekty* [Interaction of enterprises in outsourcing: economic, organizational and financial aspects]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* [Economic and social changes: facts, trends, forecast], no. 2(14), pp. 136–143.
7. Belkina T. Yu. 2011, *Problemy vnedreniya autsorsinga na promyshlennykh predpriyatiyakh RF* [Problems of introduction of outsourcing at industrial enterprises of the Russian Federation]. *Problemy sovremennoy ekonomiki* [Problems of modern economics], no. 3(39), pp. 365–367.
8. Kheyvud Dzh. B. 2004, *Autsorsing: v poiskakh konkurentnykh preimushchestv* [Outsourcing: in search of competitive advantages], Moscow, 176 p.
9. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/#
10. Serbinovskiy B. B. 2008, *Nauchno-issledovatel'skiy autsorsing v organizatsii podgotovki proizvodstva: problemy i puti razvitiya* [Scientific and research outsourcing in the organization of production training: problems and ways of development]. *Izv. IGEA* [Bulletin of Baikal State University], no. 4, pp. 95–97.
11. Demcheva E. A. 2008, *Nauchno-tekhnicheskiy autsorsing kak instrument upravleniya razvitiem khimicheskikh predpriyatiy: avtoref. dis. … kand. ekon. nauk* [Scientific and technical outsourcing as a tool for managing the development of chemical enterprises: the author's abstract of the thesis of the candidate of economic sciences]. Moscow, 24 p.
12. Markeeva G. A., Mikhneva S. G. 2013, *Evolyutsiya autsorsingovykh otnosheniy v praktike mezhdunarodnogo biznesa* [Evolution of outsourcing relations in the practice of international business]. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* [Models, systems, networks in economics, technology, nature and society], no. 4(8), pp. 82–89.

Ирина Вадимовна Ершова,
eiv.eopm@e1.ru
Татьяна Анатольевна Минеева
tmineeva@list.ru
Уральский федеральный университет
им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина
Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Яна Григорьевна Бездежская
yana-okb@yandex.ru
Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Академическая, 20

Irina Vadimovna Ershova,
eiv.eopm@e1.ru
Tat'yana Anatol'evna Mineeva
tmineeva@list.ru
Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin
Ekaterinburg, Russia

Yana Grigor'evna Bezdezhskaya
yana-okb@yandex.ru
Institute of High-Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of RAS
Ekaterinburg, Russia

УДК 332.1: 502 DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-118-122

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: СТРУКТУРА, ВЗАИМОСВЯЗИ

В. Е. Стровский, О. В. Косолапов

Ecological and economic system of a mining enterprise: structure, interrelations

V. E. Strovskiy, O. V. Kosolapov

The authors consider the specifics of the functioning of ecological and economic system (EES) of a mining enterprise. The author clarify the concept of EES by analyzing a number of definitions; provide a structural diagram reflecting the flows of mineral raw materials and waste. The article reveals the components of depletion of the mineral-raw material potential and the assimilation potential within the boundaries of the mining complex. The authors substantiate the directions of intensification of development of mineral resources, slowing the depletion of mineral and raw materials potential, as well as the directions ensuring the preservation of assimilation potential. The structure of EES allows us to determine the residual value of the assimilation and mineral-raw potential. One should note the importance of institutional support, contributing to the realization of the set goal for subsoil use. The authors reveal the essence of interconnections taking place within the framework of EES: ecological-economic, economic-ecological, ecological-social, social-ecological, social-economic and economic-social, which corresponds to the presence of direct and inverse interrelations between the main blocks (subsystems) of EES. The availability of information on existing interrelations makes it possible to make the most informed decisions regarding the exploitation of mineral deposits, aimed at resource saving and reducing of the anthropogenic impact on the environment, i.e., preserving the assimilation potential of the territory under consideration.

Keywords: mining enterprise; ecological and economic system; structure; interrelations; exhaustion; preserving.

Рассматривается специфика функционирования эколого-экономической системы (ЭЭС) горного предприятия. Уточняется понятие ЭЭС на основе анализа ряда определений, проводится структурная схема, отражающая потоки минерального сырья и формирующихся отходов. Раскрываются составляющие истощения минерально-сырьевого потенциала и ассимиляционного потенциала в границах горнопромышленного комплекса. Обосновываются направления интенсификации освоения ресурсов недр, замедляющих истощение минерально-сырьевого потенциала, а также направления, обеспечивающие сохранение ассимиляционного потенциала. Структура ЭЭС позволяет определить остаточную величину ассимиляционного и минерально-сырьевого потенциала. Отмечается важность институционального обеспечения, способствующего реализации поставленной цели при недропользовании. Раскрывается сущность взаимосвязей, имеющих место в рамках ЭЭС: эколого-экономических, экономико-экологических, эколого-социальных, социально-экологических, социально-экономических и экономико-социальных, что соответствует наличию прямых и обратных взаимосвязей между основными блоками (подсистемами) ЭЭС. Наличие информации о существующих взаимосвязях дает возможность принимать наиболее обоснованные решения, касающиеся эксплуатации месторождения полезного ископаемого, нацеленные на ресурсосбережение и снижение антропогенного воздействия на окружающую среду, т. е. сбережение ассимиляционного потенциала рассматриваемой территории.

Ключевые слова: горное предприятие; эколого-экономическая система; структура; взаимосвязи; истощение; сбережение.

Долгое время антропогенез не нарушал баланса природных систем, так как использование природных ресурсов осуществлялось с минимальным приложением труда. Нарушенные экосистемы восстанавливались. В этот период исследование природных (экологических) систем осуществлялось изолированно от экономических. Усиление противоречий между экономическим ростом, имеющимися ресурсами и возрастающим загрязнением окружающей среды привело к тому, что в 1950–1960-е гг. объектом исследования становятся эколого-экономические системы (ЭЭС). Параллельно с ЭЭС в литературе используются такие понятия, как «биоэкономическая система», «природно-экономическая система» и др.

Анализ определений ЭЭС показывает, что в них отмечается:

– во-первых, целостность ЭЭС (совокупность, целостное множество, интеграция, организованное сочетание);

– во-вторых, многообразие составляющих системы, в числе которых обязательным является присутствие природного элемента и экономического (социальный и производственный, социальный, экономический и технический; люди и средства производства), что предполагает осуществление экономической деятельности в рамках тесного обмена материалами и энергией с окружающей средой, т. е. совместное функционирование экологической и экономической подсистем;

– в-третьих, взаимосвязь и взаимодействие элементов системы, осуществляемых посредством потоков вещества, энергии и информации;

– в-четвертых, наличие свойства эмерджентности – несводимости суммы свойств отдельных элементов системы к свойству системы.

Отдельные исследователи указывают на такие характеристики ЭЭС, как организованность [1], пространственная ограниченность [2], целевая ориентированность [3, 4]. Из анализа следует также, что рассматривая ЭЭС как систему, в ее составе выделяют элементы, процессы, структуры, факторы, связи, подсистемы. По мнению авторов, появление связей и процессов обусловливает наличие в составе ЭЭС подсистем – природной и социально-экономической, выступающей в качестве системы по отношению к социальной и экономической подсистемам. Взаимозависимое поведение подсистем, имеющих локальные цели, способствует достижению системной (главной) цели ЭЭС.

Не менее важным является вопрос о пространственной ограниченности ЭЭС. Учитывая тот факт, что антропогенные воздействия накладываются на геосистемы (экосистемы), не считаясь с их границами, и последствия этих воздействий выходят за пределы площади самого очага воздействия, границы ЭЭС следует устанавливать исходя из площадного проявления последствий с выделением зон различного характера проявления. Границей должно служить появление зоны с фоновым уровнем загрязнения. В авторском определении ЭЭС – это ограниченная территорией проявления последствий антропогенного воздействия часть экосферы, в которой природная и социо-экономическая подсистемы, взаимосвязанные посредством потоков вещества, энергии и информации, функционируют совместно для достижения единой системной цели. Структурная схема ЭЭС горнодобывающего предприятия приведена на рис. 1.

В процессе производства осуществляется добыча минеральных ресурсов, которая сопровождается потерями П*R*. Добываемое минеральное сырье реализуется потребителям на внутреннем рынке $П_р$ и внешнем $П_в$. Недропользование в рамках предприятия предполагает выполнение функций, связанных с воспроизводством минеральных ресурсов В и охраной окружающей среды, в том числе охраной недр Ох. В процессе освоения недр происходит формирование отходов $О_п$, использование которых осуществляется по разным направлениям:

$П_о$ – реализация непосредственно самих отходов;

$О_{пр}$ – переработка отходов с получением продуктов, которые реализуются – $П_{пр}$;

$О_з$ – захоронение части отходов;

$О_н$ – накопление части отходов на поверхности в виде терриконов;

$О_р$ – рекультивация отвалов и использование для заполнения пустот;

$О_т$ – вывоз части отходов за пределы предприятия.

Истощение минерально-сырьевого потенциала $R_{ис}$, а также минерально-сырьевой базы в этом случае составит:

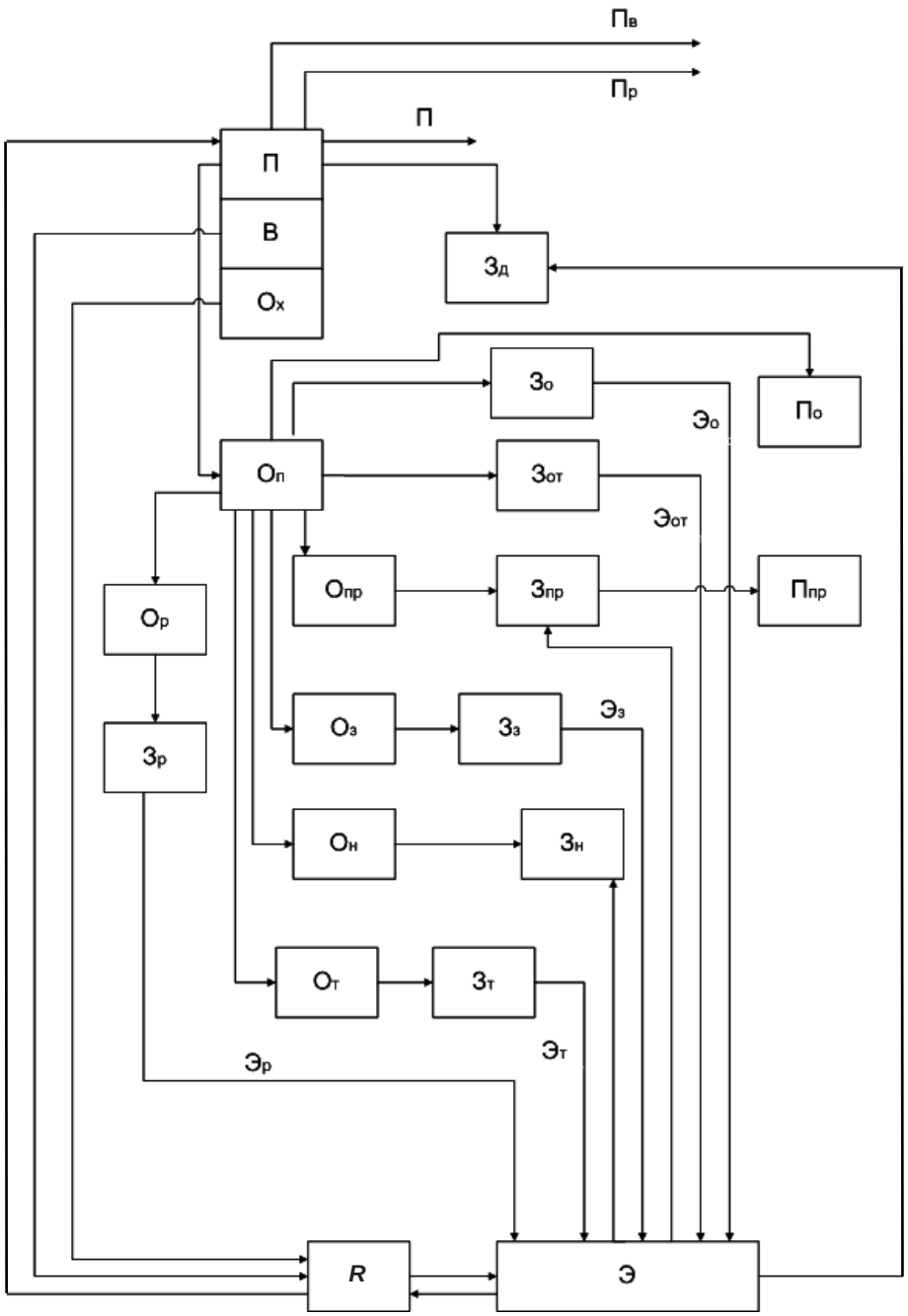


Рисунок 1. Структурная схема ЭЭС горнодобывающего предприятия.

Условные обозначения к рис. 1:
R – минерально-сырьевой потенциал;
Э – ассимиляционный потенциал;
R_1 – используемые балансовые запасы минеральных ресурсов;
$П_р$ – реализация минерального сырья;
ПR – потери полезного ископаемого;
$П_в$ – экспортируемое минеральное сырье;
П – производство (добыча) минерального сырья;
В – воспроизводство минерально-сырьевой базы (прирост запасов, переоценка запасов);
Ох – охрана окружающей среды, в том числе охрана недр;
$R_{ох}$ – используемые запасы целиков, ранее списанные запасы (возобновление R);
$R_в$ – прирост запасов полезных ископаемых, переоценка запасов (возобновление R);
$О_п$ – отходы производства; отходы, формирующиеся при добыче;
$О_{пр}$ – переработка отходов с получением продукции;
$П_{пр}$ – реализация продуктов переработки отходов;
$П_о$ – реализация непосредственно самих отходов;
$О_з$ – захоронение части отходов;
$О_н$ – накопление отходов на поверхности;
$О_р$ – использование отходов для рекультивации, заполнения пустот;

$О_т$ – вывоз отходов за пределы предприятия;
$З_з$ – предотвращаемое загрязнение окружающей среды при захоронении отходов;
$З_д$ – загрязнение окружающей среды при добыче;
$З_н$ – загрязнение окружающей среды при накоплении отходов;
$З_р$ – предотвращаемое загрязнение окружающей среды при рекультивации отходов;
$З_{от}$ – предотвращаемое загрязнение в связи с переработкой отходов;
$З_т$ – предотвращаемое загрязнение окружающей среды при транспортировании отходов за пределы предприятия;
$З_о$ – предотвращаемое загрязнение окружающей среды при реализации отходов;
$З_{пр}$ – загрязнение окружающей среды в процессе переработки отходов;
$Э_з$ – сохранение Э за счет предотвращения загрязнения при захоронении отходов;
$Э_р$ – сохранение Э за счет предотвращения загрязнения при рекультивации отходов;
$Э_т$ – сохранение Э за счет предотвращения загрязнения при вывозе отходов за пределы предприятия;
$Э_о$ – сохранение Э за счет предотвращения загрязнения при реализации отходов;
$Э_{от}$ – сохранение Э за счет переработки отходов.

$$R_{ис} = П_р + ПR + О_п + П_в - R_{ох} - R_в.$$

При существенном минерально-сырьевом потенциале и производственной мощности предприятия потребность в минеральном сырье стараются покрывать за счет наращивания производственной программы. В условиях же просматриваемого истощения запасов месторождения, в целях полноты использования минерально-сырьевой базы наиболее приемлемым становится интенсификация производства:

– снижение потерь и разубоживания;

– отработка ранее списанных и забалансовых запасов;

– максимизация использования отходов и предотвращение их образования;

– повышение комплексности использования сырья;

– повышение коэффициента извлечения полезного компонента при обогащении и др.

Интенсификация рассматривается в качестве наиболее приемлемого направления освоения ресурсов недр, обеспечиваемого за счет ресурсосбережения и использования отходов, минимизирует истощение ассимиляционного потенциала. Как следует из анализа, величина истощения минерально-сырьевой базы $R_{ис}$ определяется объемом добычи полезного ископаемого. Уменьшение $R_{ис}$ зависит от прироста запасов $R_в$ и отработки ранее списанных, забалансовых запасов $R_{ох}$. В числе направлений интенсификации наиболее реальным является использование отходов $П_о$ и $О_{пр}$, если они могут выступать в качестве техногенных источников минерального сырья.

Использование отходов осуществляется по нескольким направлениям:

$$О_п = П_о + О_{пр} + О_р + О_з + О_т + О_н.$$

При этом каждое из направлений сопровождается либо загрязнением окружающей среды, либо предотвращением загрязнения, которое могло бы иметь место при размещении этих отходов в отвалах. Общая величина предотвращенного загрязнения, которое обеспечивает сохранение $Э_{сох}$, составит:

$$Э_{сох} = Э_р + Э_т + Э_з + Э_{от} + Э_о.$$

При более детальном рассмотрении процесса сохранения Э следует величину $Э_{сох}$ несколько уменьшить за счет возникновения загрязнения окружающей среды при захоронении, рекультивации, реализации отходов и транспортировке их за пределы предприятия.

Истощение ассимиляционного потенциала обусловлено необходимостью ассимиляции загрязняющих веществ, которые попадают в окружающую среду в составе отходов (газообразные, жидкие и твердые):

$$Э_{и\,с} = З_н + З_{от} + З_д.$$

Остаточная величина минерально-сырьевой базы в составе минерально-сырьевого потенциала $R_о$ определяется как

$$R_о = R - R_1 + R_в + R_{ох}.$$

Остаточная величина ассимиляционного потенциала $Э_о$ составляет:

$$Э_о = Э - З_н - З_{от} - З_д + Э_{сох}.$$

Ассимиляционная способность может быть увеличена за счет восстановительных работ (например, рекультивации) и природоохранной деятельности, ориентированной на предупреждение и ликвидацию загрязнения окружающей среды. В определенной степени сохранение ассимиляционной способности связано с вывозом отходов за пределы региона, реализацией непосредственно самих отходов или продуктов их переработки, захоронением отходов, а снижение – с накоплением отходов и ростом добычи руды. Происходит истощение ассимиляционного потенциала и сопредельных территорий в силу того, что административные границы не совпадают с границами экосистем, в результате формируется череда последствий, сопровождаемых истощением ассимиляционного потенциала на сопредельных территориях [5]. Взаимодействие между рассматриваемыми блоками в ЭЭС, осуществляемое на основе формальных и неформальных институтов, ориентированно на расширение и реализацию возможностей людей (долголетие, образованность, духовность и др.) при сохранении природного базиса территории.

Существуют и иные интерпретации ЭЭС, когда экономические системы рассматриваются в качестве внутренней составляющей эколого-социальной системы [2] или когда ЭЭС расширяется до границ социо-эколого-экономической системы [2, 6–8 и др.]. Согласно определению, приведенному в [9], социо-эколого-экономическая система рассматривается авторами как сложное иерархическое образование, обладающее определенной свободой формы деятельности и представляющее собой единую организационную структуру, подсистемы которой (экологическая, социальная и экономическая) взаимосвязаны и совместно функционируют для достижения общей цели. В числе основных блоков, выделяемых при структурировании данной системы, функционируют: «природа», представляемая современной биосферой (биота биосферы и среда), «население» (человек, общество) и «экономика» (материальные и ценностные субъекты и формы хозяйственной деятельности) (рис. 2).

Институциональная среда является важнейшей составляющей ЭЭС, определяющей средства и правила игры, формирующие взаимоотношения между людьми. Институты при этом могут носить как формальный, так и неформальный характер (экологическая этика и традиции). Между всеми этими блоками существуют тесные прямые и опосредованные взаимосвязи [10], которые имеют как положительный, так и отрицательный характер.

Влияние блока «экономика» на блок «природа» просматривается через формирование отходов, поступающих в окружающую среду в виде выбросов, сбросов, размещаемых на поверхности твердых и жидких отходов, что истощает ассимиляционный потенциал, ухудшает его ассимиляционные способности, за-

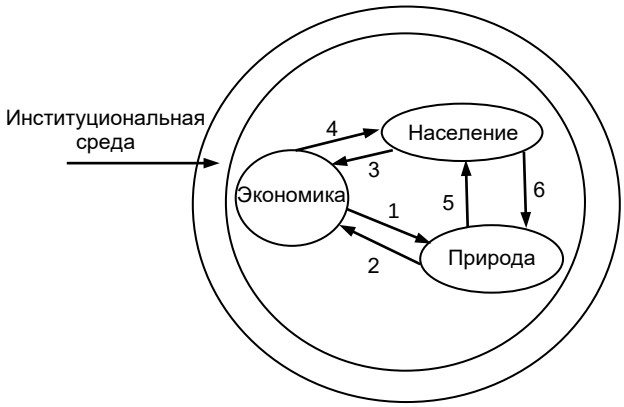


Рисунок 2. Структура социо-эколого-экономической системы (СЭЭС). Взаимосвязи. 1 – эколого-экономические (влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду); 2 – экономико-экологические, характеризующие воздействие природного потенциала на развитие экономики; 3 – экономико-социальные, отражающие влияние человеческого фактора на хозяйственную деятельность; 4 – социально-экономические (влияние экономики на уровень жизни населения); 5 – социально-экологические, характеризующие воздействие окружающей природной среды на население; 6 – эколого-социальные, отражающие влияние человеческого фактора на экологическую ситуацию, на состояние природных и экологических ресурсов.

медляет самовосстановление. Весьма укрупненно теряемая ценность ассимиляционного потенциала оценивается через величину платежей за загрязнение окружающей среды. Помимо этого в процессе производства осуществляется потребление природных ресурсов, т. е. имеет место истощение природно-ресурсного потенциала, определяемое экономической оценкой ресурсов, изымаемых из природной среды. Пользование природными ресурсами, которое приводит к снижению качественных характеристик последних, может осуществляться и без изъятия их из природной среды (например, земельные ресурсы).

Проявлением экономико-экологических взаимосвязей являются последствия в блоке «экономика» под влиянием измененной окружающей среды. В числе подобных последствий – рост ремонтов производственного оборудования, уменьшение длительности межремонтных циклов, ускорение сроков замены оборудования, снижение качества продукции. В условиях сельского хозяйства – снижение урожайности, качественных характеристик продукции, гибель урожая. Эти же последствия характерны для лесохозяйственной деятельности и животноводства. Влияние населения на экономику проявляется через решение проблемы трудообеспеченности производства (наличие трудовых ресурсов, квалификационный уровень этих ресурсов), а также наличия и использования человеческого капитала. Человеческая деятельность в современных условиях рассматривается как креативный инновационный процесс, а творческая личность приобретает приоритетную значимость, так как наиболее динамичным фактором экономического развития являются в настоящее время технологии, опирающиеся на научные знания. Прямое влияние на человека (население) оказывает и экономика. Повышение уровня и качества жизни – целевая установка экономического развития. Результативность экономической деятельности находит отражение в росте заработной платы, социальных выплат, налогов, отчисляемых во все уровни бюджета, развитии инфраструктуры, вещественного капитала, человеческого капитала и инфраструктуры домохозяйства.

Взаимосвязи социально-экологического характера проявляются через воздействие загрязненной окружающей среды на здоровье населения. Из оценки ориентировочного вклада различных факторов в здоровье населения следует, что влияние внешней среды, природно-климатических условий оценивается в 17–20 % [11]. Ухудшение экологической ситуации влияет не только на уровень заболеваемости, смертности, инвалидности, но и на демографические показатели. Наблюдаемая еще с 1992 г. депопуляция населения обусловлена не только резким ростом смертности, но и снижением рождаемости. В наибольшей степени на показателях здоровья в урбанизированных районах сказывается загрязнение атмосферного воздуха. Последний вид взаимосвязей – эколого-социальный – характеризует человека (общество) с позиции самосохранения природы. В современных условиях природа и человек (общество) имеют отличные друг от друга цели и принципы деятельности, что проявляется в массовом антропогенном давлении человека на природу. Только развитие духовности человека, коллективного интеллекта и самосознания могут служить основой сохранения природы. Человеку необходимо как можно скорее встраиваться в естественный порядок всеобщей деятельности природы [12–14]. Как отмечают авторы работы [15], «повышение уровня самоорганизации человека и общества (повышение уровня разума, интеллекта, нравственности, культуры) как приоритетного и обеспечивающего выравнивание соотношений скоростей самоорганизации между ними и средой обитания является залогом самосохранения и достижения максимальной длительности человека на Земле».

Наличие информации о существующих взаимосвязях дает возможность принимать наиболее обоснованные решения, касающиеся эксплуатации месторождения полезного ископаемого, нацеленные на ресурсосбережение и снижение антропогенного воздействия на окружающую среду, т. е. сбережение ассимиляционного потенциала рассматриваемой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестеров П. М., Нестеров А. П. Менеджмент региональной системы. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 365 с.
2. Акимова Т. А., Хаскин В. В. Экология. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. 495 с.
3. Анисимов А. В. Прикладная экология и экономика природопользования. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 317 с.
4. Елкина Е. Г. Управление развития эколого-экономической системы промышленного предприятия: дис. … д-ра экон. наук. Уфа, 2009. 331 с.
5. Природопользование сопредельных территорий / под ред. Я. Я. Яндыганова. Екатеринбург: УрГЭУ, 2006. 201 с.
6. Акимова Т. А., Хаскин В. В., Сидоренко С. Н. и др. Микроэкология и основы экоразвития. М.: Изд-во РУДН, 2005. 367 с.
7. Экономика природопользования / под ред. К. В. Папенова. М.: ТЕИС, ТК «Велби», 2008. 928 с.
8. Рудакова Ю. И., Вайсман В. В, Карманов В. В. и др. Социо-эколого-экономические аспекты как основа формирования региональной экономики // Экология и промышленность России. 2010. № 8. С. 22–31.
9. Оценка и прогноз социально-экономических последствий / под ред. А. И. Татаркина. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2004. 267 с.
10. Игнатьева М. Н. Эволюция взаимоотношений в системе «общество–природа» // Изв. УГГУ. 2015. № 1. С. 56–62.
11. Перотто П. Д. Дарвинизм и менеджмент. Милан: Изд-во «Соле 24 оре», 1990. 209 с.
12. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 519 с.
13. Моисеев Н. Н. Судьба цивилизации. М.: Изд-во ЭПУ, 1998. 226 с.
14. Моисеев Н. Н. Быть или не быть человечеству? М., 1998. 288 с.
15. Прыкин Б. В. Компакт-экономика. М.: Academia, 2006. 512 с.

REFERENCES

1. Nesterov P. M., Nesterov A. P. 2002, *Menedzhment regional'noy sistemy* [Management of the regional system], Moscow, 365 p.
2. Akimova T. A., Khaskin V. V. 2006, *Ekologiya* [Ecology], Moscow, 495 p.
3. Anisimov A. V. 2007, *Prikladnaya ekologiya i ekonomika prirodopol'zovaniya* [Applied Ecology and Environmental Economics], Rostov on Don, 317 p.
4. Elkina E. G. 2009, *Upravlenie razvitiya ekologo-ekonomicheskoy sistemy promyshlennogo predpriyatiya: dis. … d-ra ekon. nauk* [Management of the development of the ecological and economic system of an industrial enterprise: the dissertation of Doctor of Economic Sciences], Ufa, 331 p.
5. Yandyganov Ya. Ya. 2006, *Prirodopol'zovanie sopredel'nykh territoriy* [Nature management of adjacent territories], Ekaterinburg, 201 p.
6. Akimova T. A., Khaskin V. V., Sidorenko S. N. et al. 2005, *Mikroekologiya i osnovy ekorazvitiya* [Microecology and the foundations of eco-development], Moscow, 367 p.
7. Papenov K. V. 2008, *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Environmental economics], Moscow, 928 p.
8. Rudakova Yu. I., Vaysman V. V, Karmanov V. V. et al. 2010, *Sotsio-ekologo-ekonomicheskie aspekty kak osnova formirovaniya regional'noy ekonomiki* [Socio-ecological and economic aspects as a basis for the formation of a regional economy]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], no. 8, pp. 22–31.
9. Tatarkin A. I. 2004, *Otsenka i prognoz sotsial'no-ekonomicheskikh posledstviy* [Assessment and forecast of social and economic consequences], Ekaterinburg, 267 p.
10. Ignat'eva M. N. 2015, *Evolyutsiya vzaimootnosheniy v sisteme «obshchestvo–priroda»* [Evolution of relationships in the system "society-nature"]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1, pp. 56–62.
11. Perotto P. D. 1990, *Darvinizm i menedzhment* [Darwinism and Management], Milan, 209 p.

12. Vernadskiy V. I. 1988, *Filosofskie mysli naturalista* [Philosophical thoughts of the naturalist], Moscow, 519 p.
13. Moiseev N. N. 1998, *Sud'ba tsivilizatsii* [The fate of civilization], Moscow, 226 p.
14. Moiseev N. N. 1998, *Byt' ili ne byt' chelovechestvu?* [To be or not to be humanity?], Moscow, 288 p.
15. Prykin B. V. 2006, *Kompakt-ekonomika* [Compact Economy], Moscow, 512 p.

Владимир Евгеньевич Стровский
rinis@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Олег Вениаминович Косолапов
nedra1958@mail.ru
Управление Росприроднадзора по Республике Хакасия
Россия, Республика Хакасия, Абакан, ул. Хакасская, 21

Vladimir Evgen'evich Strovskiy
rinis@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Oleg Veniaminovich Kosolapov
nedra1958@mail.ru
Russian Environmental Control
Abakan, Khakassia, Russia

История горного дела на Урале

ВЫДАЮЩИЕСЯ УЧЕНИКИ П. К. СОБОЛЕВСКОГО[1]

В. В. Филатов

«Весьма дружная семья преподавательского персонала» кафедры геофизики не распалась после отъезда ее создателя в Москву. Напротив, отсутствие идейного наставника и организатора сделало ее еще прочнее. Ученики поняли, что теперь они ответственны за то дело, которое создавали вместе с учителем. О том, чего достигли ученики Соболевского, дают полноценное представление результаты их работ за 1930–1933 годы, опубликованные в 1934 году в сборнике «За недра Урала». Эпиграфом к геофизической части сборника, в котором были и статьи геологов, прекрасно подходит заключительная фраза из работы И. К. Овчинникова (1904–1987) и П. И. Ливанова, по мнению которых, геофизика нужна «*чтобы… помочь геологам в их трудном деле… разведки полезных ископаемых*» (курсив *В. Ф.).*

В те годы наиболее широко для «помощи геологам» применялись магниторазведка и электроразведка. Поэтому большая часть статей, авторами которых были Н. А. Иванов (1910–1978), И. И. Бок (1898–1983), П. А. Кукин (1912–2001), В. С. Красулин (1901–1991), М. Н. Ступак, Д. С. Миков (1903–1985) и А. А. Сержант, была посвящена результатам применения этих методов для решения разнообразных геологических задач не только на Урале, но и в Северном Казахстане, в Западной Сибири и в Присалаирье: поискам месторождений бокситов в Режевском, Алапаевском, Синаро-Каменском и Надеждинском районах наУрале и в Сибири; картированию зон распространения никеленосных известняков в Режевском и Уфалейском районах (до уральцев такие исследования были выполнены лишь в Канаде на месторождении Сёдбери); поискам месторождений хромитов в Полтавском и Миасском районах; изучению россыпных и коренных месторождений платины на реке Ис и в районе горы Вересовый Бор; картированию отальковaнных пород на Гумбейке и контактовой зоны между гранитами и известняками в Джетыгаринском районе в связи с поисками месторождений полиметаллов; обобщению и анализу результатов магнитных и электрических съемок.

Скромнее были представлены результаты исследований другими методами: М. Ф. Богатырёв, обобщив материалы гравиметрических измерений, качественно описал морфологию регионального гравитационного поля Урала и дал его геологическую интерпретацию, а А. А. Сержант показал эффективность впервые выполненных комплексных работ методами гравимагнитосейсморазведки на Егоршинском каменноугольном месторождении с целью обоснования выбора наилучшего места для шахтных полей.

К середине 30-х годов среди учеников Соболевского обозначилось два лидера: В. Н. Головцын (1905–1968) и А. А. Юньков (1902–1981). Судьба обоих необычна и в то же время типична для поколения людей – ровесников XX века. Их жизненные пути пересеклись в Костроме, где оба учились на рабфаке; оба закончили его в 1928 году, Головцын в мае, Юньков в середине июля. Головцын с отличными показателями получил направление на учебу в Московскую горную академию, но поехал учиться в Уральский политехнический институт. Юньков после окончания рабфака имел право поступать в любой технических вуз Российской Федерации без «поверочных испытаний», но выбор сделал, как и его однокурсник, тоже в пользу горного факультета УПИ. Была ли у них договоренность об этом, неизвестно. А вот выбор горной специальности был мотивированным, по крайней мере, для Головцына. Этот выбор, вспоминал он, «явился моим ответом на «Шахтинское дело», как это сделали и многие мои товарищи по рабфаку». Среди них, возможно, был и Юньков.

В. Н. Головцын

Апрель 1938 г. Цунами 37-го года почти отступило, забрав последние жертвы и обнажило «брег» жизни с уцелевшими после репрессий. Среди них был и Головцын – «передовик науки, борец за выполнение указаний тов. Сталина о передовой науке, доказавший на деле борьбу за передовую науку, что выражается в его громадной связи и помощи промышленности, а также его научная работа, выполненная в порядке конкурса молодых ученых, удостоенная первой областной и третьей Всесоюзной премии и премирована Свердловским обкомом ВЛКСМ и ЦК ВЛКСМ, получив самые лестные отзывы выдающихся ученых, страны. Эта его работа «Итоги применения электроразведки на сульфидных месторождениях Урала за 10 лет» полностью реализована Уральским отделением треста «Цветметразведка» и уже дала блестящие результаты: открыто шесть «железных» шляп и два месторождения сульфидов в Карабашском районе… Предложенная тов. Головцыным… методика проверялась на рудниках и строительных площадках Кизеловского каменноугольного месторождения, на строительстве соцгородка в Магнитогорске, на строительстве крекинг-завода в Уфе, при поисках вод в Челябинской области и в Надеждинске и везде получаются прекрасные результаты».

Характеристика, при всей ее стилистической неказистости, красноречива и великолепна. Судьба, которой Головцын с детства помогал изо всех сил, порой на грани отчаяния, вынесла его со дна жизни, из беспросветной нужды и юдоли к советскому профессорству.

Он родился в год первой русской революции 20 июня в деревне Острецово Костромской губернии. Родного отца не знал. Мать Мария Петровна с детства была инвалидом, работала батрачкой, няней, собирала лекарственные травы, даже «учительствовала», обучая детишек грамоте в те времена, когда в Острецове не было школы. Сама она грамоту постигла будучи крепостной.

[1] Продолжаем цикл статей В. В. Филатова. См.: История геофизических исследований на Урале в XVIII – начале XIX в (№ 2 (42), 2016); П. К. Соболевский – основоположник Уральской геофизической школы (№ 4 (44), 2016); Геофизические исследования на Урале в 20-е–30-е годы XX века (№ 1 (45), 2017); Они были первыми или дороги, которые нас выбирают (№ 2 (46), 2017) и «Спонтанный поток материи» (№ 3 (47), 2017).

Николая Гавриловича Головцына, имя и фамилия которого стали отчеством и фамилией Василия, он называл «приемным отцом». Мать не от хорошей жизни прилепилась к этому бедолаге, «кажется», в 1907 году. Точнее Василий не помнил. Николай Гаврилович действительно был бедолагой, как толстовский Поликушка. Сын кузнеца и прачки, он был воспитан тетей-учительницей. Она помогла ему закончить уездное училище и лесную школу. После учебы он устроился на хорошую работу сначала чертежником, потом топографом. Неплохо, но началась русско-японская война, на которой он был контужен и стал «не вполне умственно нормальным». «Он был умалишенным непродолжительное время, – с сочувствием об отце вспоминал Василий Николаевич, – дней 5–6 в месяц, а остальное время почти нормальный человек». Контузия контузией, но надо было на что-то жить, и отец работал не только пастухом, но и на небольших канцелярских должностях, в основном помощником: писаря в волостном управлении, секретаря волисполкома, лесничего.

Были в семье еще сестра и младший брат. Сестра потерялась в Гражданскую войну, уехав в 1918 году с военным отрядом то ли в Фергану, то ли в Семипалатинскую область. Брат, член ВКП (б), пригодился там, где родился, – в Острецове, где он заведовал отделением связи, работал нотариусом и секретарем суда.

Бедность, а точнее, нищета, очень рано заставили мальчика пойти в люди. В апреле 1914 года, едва сошел снег, он стал пастухом. Летом пас скотину, зимой учился. «Читать и писать я научился в 5 лет от своей матери и приемного отца,– написал он в одной из автобиографий.– После окончания пастушьего сезона, т. е. в 1915 г., пошел учиться в Трифоновскую церковно-приходскую школу и выдержал испытания во 2-й класс, а после окончания пасьбы в 1916 г. закончил эту школу с похвальным листом и наградой – «Евангелием» за отличную учебу. Будучи пастухом, я имел возможность читать книги; особенно увлекался географией и арифметикой. Так, что эти годы я несколько продвинул свои знания по сравнению с теми, что получил в… школе». Позже это фанатичное самообразование помогло ему успешно выдержать экзамены при поступлении на рабфак.

Особенно тяжелыми для него, 13-летнего мальчишки, стали осень и зима 1918–1919 года, настолько тяжелыми, что он вынужден был просить милостыню, пока не продался в батраки. Батрачил он три года. Учебу пришлось прекратить, лишь бы выжить, но помыслы об учебе лелеял, понимая, что она его единственный шанс выйти в люди. Но продолжить учебу можно было, только обретя самостоятельность. И первым шагом к ней стало его поступление в ученики плотника к частному подрядчику. Получив первую профессию, он три года плотничал у частников и в артелях по всему Верхнему Поволжью.

Только в 1925 году он смог продолжить учебу, и произошло это отчасти благодаря тому, что был он социально активен и увлечен коммунистическими идеями. Еще в 1923 году у себя на родине он организовал ячейку комсомола, был ее секретарем, членом бюро, редактором стенгазеты; там же на родине вступил кандидатом в члены ВКП (б), и поэтому Сретенский волисполком с дорогой душой дал Василию командировку на рабфак. Пока не начались занятия, Головцын торопился нагулять «жирок», чтобы было на что жить. Работал он в то лето много: грузчиком дров на волжских пристанях, приемщиком льна на льнообделочном заводе, рабочим по окраске сыра в Костромском отделении треста «Сырсоюз». Теперь работа, какой бы тяжелой она ни была, приобрела для него другое значение. Теперь он жил не только для того, чтобы выжить физически.

Три года рабфака пролетели невидаючи. Учился он самозабвенно, работал, чтобы прокормить себя, уже не батраком и не плотником, а секретарем Правления Губсельбанка и в 1926 г. выкроил время, чтобы навестить родителей. В апреле этого же года его приняли в члены ВКП (б). Среди рабфаковцев он был одним из самых активных: руководил шефским обществом и кружком безбожников в школе-коммуне, состоял сначала членом бюро ячейки ВЛКСМ, а затем ВКП (б), редактировал рукописную газету и журнал, но главным его делом была учеба.

Чем больше он учился, тем сильнее становилась его тяга к знаниям. На втором курсе института он самостоятельно изучил ряд предметов за третий курс. И Соболевский «выдвинул его в качестве выдвиженца на научную работу по геофизической специальности», а точнее, по электрометрии. В то время на Урале не было квалифицированных электроразведчиков, поэтому Головцын был командирован в Ленинградский горный институт (ЛГИ) к виднейшему теоретику в области электрометрии профессору А. А. Петровскому (1873–1942). Дважды по три месяца в 1931 и 1932 годах он под его руководством изучал сложные разделы теории электрического поля.

Научно-педагогический принцип своего учителя Соболевского – учи, учись и не отрывайся от живой природы – Головцын стал постигать еще студентом: в 1929 году он участвовал в комплексных магнитоэлектроразведочных работах Гумбейской геофизической партии на месторождении вольфрамита; на следующий год ему доверили быть помощником начальника Алапаевской геофизической экспедиции; в 1931 году он работал наблюдателем в Уральской опытной геофизической партии ЦНИГРИ, занимавшейся в районе Лёвихи изучением возможностей электрометрии по обнаружению глубокозалегающих колчеданных месторождений; летом 1932 года его назначили начальником экспедиции, которая проводила исследования по поискам месторождений хромитов в Полтавском и колчеданных месторождений в Красноуральском районах. С 1929 году, когда Петр Константинович занялся организаций на базе своей лаборатории Геофизического института, Головцын стал его помощником. Соболевский доверил ему не только заведование сектором электрометрии, но и исполнение обязанностей директора. Учась и работая, Головцын еще и учил, читая курс лекций по электрометрии в родном вузе и проводя занятия по высшей математике в геологоразведочном техникуме.

Институт Головцын закончил с отличием 16 апреля 1932 года. За ударную учебу его наградили значком ударника и денежной премией и вместе с однокурсниками Ш. А. Окроперидзе, П. Н. Меньшиковым (1903–1978) и А. А. Сержантом откомандировали в распоряжение УралНИИ геофизических методов разведки и горной геометрии. Но поработать там ему не пришлось. В это время началась организация Уральского филиала Академии наук (УФАН). Дефицит научных кадров был тогда острейший. Где их можно было взять для академических институтов? Только у кого-то отобрав. Уралобком ВКП (б) так и поступил. 26 июня 1932 года решением его Секретариата Головцын был передан как вещь в УФАН. Руководство УралНИИ долго сопротивлялось и сдалось лишь в начале декабря. Тогда постановлением обкома партии Головцына зачислили в ускоренную аспирантуру и командировали в Ленинград, в Академию наук.

В аспирантуре он учился в Сейсмологическом институте и «к 1 июня 1934 г. закончил прохождение программы… по специальности «Электрические методы разведки». Через год «в точно намеченный АН срок» Василий Николаевич защитил диссертацию в комиссии при Совете Ленинградского горного института. Она называлась «О возможности применения электрических методов к изучению карстовых явлений» и была частью договорной работы с трестом «Кизелуголь». Семидесятисемистраничная диссертация была оценена как пионерская. Ее рецензентами (оппонентами) были профессор А. А. Петровский и действительный член ЦНИГРИ профессор И. И. Горский (1893–1975), директор Ломоносовского института, будущий академик АН СССР Д. И. Щербаков (1893–1966), доцент кафедры электроразведки ЛГИ Р. Н. Скарятин (1904–1937) и профессор М. И. Сумгин (1873–1942) – земляк и одноклассник А. А. Петровского, один из основоположников мерзлотоведения, именем которого в 1974 году был назван кратер на Марсе.

Диссертацию Головцын защитил в мае 1935 года, а степень кандидата технических наук ВАК ему присвоил только в начале февраля 1938 года. Еще дольше он ждал утверждения в должности заведующего кафедрой, с июня 1934 по май 1939 года.

Вернувшись из Ленинграда, Головцын стал работать не в УФАНе, поскольку организация академического геофизического

института была отложена на неопределенное время. Институт геофизики был создан только в 1958 году. Но в УФАНе ему все же пришлось поработать, правда, в качестве совместителя, когда он в 1939 году возглавил геофизический сектор в Горно-геологическом институте. Место же работы он получил на родной кафедре геофизических методов разведки, куда его приняли в качестве доцента, заведующего и руководителя лаборатории общей геофизики и где он начал читать лекции по спецкурсу электричества, по электроразведке на постоянном токе, по магниторазведке (после П. А. Королькова), по геофизическим методам разведки для студентов всех геологических специальностей и по общей геофизике для студентов Уралуниверситета.

Его научно-педагогическое, административное и общественно-политическое положение с каждым годом становилось все прочнее и прочнее. Этому способствовали и он сам своей деятельностью, и его происхождение, поскольку он – пастух, батрак, плотник, рабфаковец, ученый – был ярким символом пролетаризации советской высшей школы, хотя коллеги над этим втихомолку иронизировали и посмеивались.

Дважды Головцын был деканом геологоразведочного факультета: с декабря 1937 по февраль 1939 года и около пяти месяцев – с апреля по август – в 1944 году. Первый раз в 1939 году он попросил освободить себя от деканских обязанностей, чтобы закончить работу над докторской диссертацией, и его просьба была удовлетворена. В 1944 году его освободили от обязанностей декана в виде наказания за то, что он решил участвовать в конкурсе на замещение вакантной должности профессора в Азербайджанском индустриальном институте. Директор института Д. Н. Оглоблин (1905–1968) воспротивился этому. Он не захотел «отдать» профессора и ослабить кафедру, с которой уже был откомандирован по распоряжению ГУУЗа Наркомугля профессор Юньков в Днепропетровский горный институт.

Тезисы о том, что Урал – это «величайший центр социалистической стройки», а «геофизические методы нужны всему Союзу», были не афористическими декларациями. Свидетельством тому служили тематика и география договорных работ, которыми руководил Головцын, «держа тесную связь с промышленностью» и с научно-исследовательскими институтами. В 1934 году руководимая им Иркутская комплексная геофизическая партия по заданию УралНИГРИ проводила поисковые и разведочные работы на Кондаковском месторождении мусковита в Красноярском крае. На следующий год, выполняя для Уралгеомина работы по поиску нефтяных структур в долине Камы, он установил три перспективные структуры: Нытвенскую, Осинскую и Еловскую. В 1936 году им был завершен тоже для Уралгеомина аналитический обзор результатов электроразведочных работ на сульфидных месторождениях Урала, а для Горнотехтреста изучены возможности электроразведки для поисков мраморов на Прохоро-Баландинском месторождении под Челябинском. По договору с трестом Уралредметразведка руководимая им партия открыла несколько кварцевых жил на Кацбахском гранитном массиве. В трагичном 1937 году под руководством Головцына были осуществлены геофизические работы на Слюдянском месторождении на Байкале.

«Живая природа», по образному выражению Соболевского, очень хорошо учила Головцына, а он, в свою очередь, неплохо учил студентов.

Результатом учебы и учебы очень быстрой самого Головцына стала 145-страничная докторская диссертация «Применение электроразведки к поискам медно-колчеданных залежей в сланцевой полосе Урала», которую он защитил на заседании Ученого Совета Свердловского горного института 23 октября 1940 г. Оппоненты А. И. Заборовский (1894–1976), А. А. Петровский и Л. Д. Шевяков (1889–1963) были строги, но работу оценили высоко. По мнению А. А. Петровского, «Диссертация В. Н. Головцына является, по-видимому, первой докторской диссертацией, которая ставится на защиту по тому новому и чрезвычайно важному для практики разделу точных знаний, который именуется… электроразведкой. Тем приятнее видеть, что автор… сумел правильно оценить те требования, которые должны быть предъявлены к такой работе

А. А. Юньков

и найти оригинальные пути для решения поставленной им проблемы… Эта работа не только разрешает некоторые важные теоретические и практические вопросы постановки электроразведки в условиях рудника, но вообще совершенно по новому ставит вопрос о разведке в уральских условиях, синтезируя и обобщая все предшествующие изыскания. Поэтому …» все оппоненты высказались за присвоение соискателю докторской степени. На этот раз ВАК утвердил результаты защиты через два с небольшим месяца, 1 февраля 1941 года. А 10 февраля многотиражная газета «Горняк» опубликовала об этом заметку, сославшись на слова Шевякова, вернувшегося из Москвы с сессии АН СССР.

Средний и Южный Урал является классической колчеданоносной провинцией, и Головцын в своей докторской диссертацией сформулировал фундаментальную проблему ее изучения геофизическими методами, научная и практическая значимость которой остается актуальной до сих пор.

Результатами же обучения студентов стали учебники Головцына. В конце июня 1938 года Главная редакция горно-топливной и геологоразведочной литературы обратилась к нему с предложением «принять участие в составлении учебников по курсам «Электроразведка» и «Магниторазведка». Он ответил согласием. Более того, он загодя был готов к этой работе, поскольку еще в декабре 1937 года подробно обсуждал с Заборовским содержание обоих учебников и обязался написать для них «ряд глав», оставив общее редактирование за более опытным соавтором. По неизвестной причине учебники тогда написаны не были. Но заявку о себе как о педагоге он сделал неплохую. В середине ноября 1938 года кафедра геофизики, рассмотрев рукопись его учебного пособия «Электроразведка постоянным током», рекомендовала передать ее на рецензию Заборовскому, а затем подготовить к изданию. Издание книги затянулось, и вышла она из печати в двух частях под названием «Курс электроразведки» соответственно в 1947 и 1948 годах. Для уральской геофизики это стало таким же событием, как и защита им докторской диссертации.

В Советском Союзе социальная значимость человека и благополучие в немалой степени зависели от его роли в общественной-политической жизни. Головцын был всегда и везде социально активен. Поэтому его избирали в самые разные органы и комиссии: институтские, городские и областные. Он был членом месткома научных работников и секретарем окружной избирательной комиссии по выборам в Совет Союза Верховного Совета СССР, ответственным секретарем редсовета «Трудов СГИ» и действительным членом Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний. Дважды он избирался депутатом Горсовета, исполняя в нем обязанности руководителя секции по благоустройству города и председателя

А. А. Петровский

постоянной строительной комиссии. Поэтому, видимо, и жил он не в профессорском корпусе во Втузгородке, а в элитном доме № 29-а на проспекте Ленина. Его ценили в партийных органах, поручая делать доклады по важнейшим политическим вопросам, а однажды даже защитили. Вот по какому поводу это произошло.

В начале января 1935 года Горком ВКП (б) вынес Головцыну «выговор за ревизию решения горкома и примиренческое отношение к Гребенёву (К. В. Гребенёв заведовал кафедрой общественный наук в СГИ. – *В. Ф.*), исключенному из ВКП (б) за троцкизм». Ленинский райком партии и партком СГИ вступились за Головцына, возбудив ходатайство перед Горкомом, в котором, по его мнению, «сидели враги народа», о снятии партвзыскания. И добились своего. Партвзыскание с Василия Николаевича было снято.

Охота к перемене вуза не оставляла Головцына. В феврале 1946 года он обратился с ходатайством в Управление кадров Министерства образования о переводе на этот раз в Киевский университет «в связи со сложившимися семейными обстоятельствами». Василий Николаевич, кстати, был дважды женат: первый раз на студентке рабфака Уралуниверситета Агафине Ульяновне, второй – на преподавательнице английского языка Харитине Исидоровне. Управление кадров посчитало «целесообразным удовлетворить просьбу», но прежде решило узнать об этом мнение директора СГИ Оглоблина и ректора университета В. Г. Бондарчука (1905–1993). Оглоблин опять воспротивился, несмотря на то, что Бондарчук, поддерживаемый Управлением кадров, дважды подавал ходатайство. В июле 1948 года Головцыну отказано было в переводе еще раз. Но Бондарчук не отступал, и чтобы Головцын не передумал, пообещал выдвинуть его в члены-корреспонденты Академии наук УССР. На этот раз эту инициативу перевода поддержали Ученый Совет СГИ и руководство Союзного Уральского Геофизического Треста, управляющим которого был однокурсник Головцына Меньшиков.

Итак, упрямый Бондарчук победил. 30 сентября заместитель министра А. В. Топчиев (1907–1962) разрешил Головцыну перейти на работу в университет на должность заведующего кафедрой геофизики, несмотря на попытку директора СГИ Н. Н. Толокнова (1909–1989) добиться отмены приказа. Толокнов был недоволен упрямством Головцына, и когда Геологический институт АН УССР запросил его характеристику в связи выборами в академию, то Николай Николаевич распорядился подчеркнуть в ней отрицательные качества Василия Николаевича: поспешность в выводах и обобщениях, отсутствие скромности, склонность к самовосхвалению, заинтересованность в личном благополучии, отрицание возможности планирования научных работ, беспринципность «при критике отсталых настроений… части научных работников». Возможно, эта характеристика и повлияла на неизбрание Головцына в члены украинской академии.

Двадцать лет Головцын проработал в Киеве: тринадцать лет заведовал кафедрой, руководя одновременно университетской астрономической обсерваторией и возглавляя лабораторию структурной геологии в Геологическом институте; в 1961 году он перешел в только что созданный Институт геофизики, в котором

А. А. Петровский (третий справа стоит) с уральскими геофизиками, первый справа сидит В. Н. Головцын, четвёртый справа стоит А. А. Юньков

руководил сектором электрометрии и комплексной геофизической обсерваторией; в 1968 году вернулся в университет и в этом же году 25 октября умер.

Перед отъездом Головцына в Киев сотрудники кафедры сфотографировались на память со своим теперь уже бывшим заведующим. Среди них из выпускников кафедры первого поколения справа от него, маленького, щуплого, рано полысевшего, смотревшего через очки-колесики, одетого в шитую золотом форму горного директора, сидели только А. Я. Ярош, Н. А. Иванов, да Г. П. Саковцев. Слева от него и за его спиной сидели и стояли с супругами высокие и стройные выпускники 1943, 1944 и 1945 годов. Это было будущее кафедры: К. Н. Ансимов (1920–1979), Г. И. Гринкевич (1918–2005), Л. И. Пискунов (1922–2000), А. Б. Поляков (1919–2002), Б. И. Страхов, Е. К. Микшевич (1921–1998).

За эти годы Василий Николаевич только однажды приезжал в СГИ в 1967 году на пятидесятилетний юбилей alma mater. Может быть, поэтому сейчас о нем мало кто и что помнит. Профессор А. А. Редозубов, учившийся у Головцына, рассказывал мне, что во время пятиминутного перерыва в лекции Василий Николаевич, выходя из аудитории, доставал кисет с махоркой и говорил: «Это дело надо перекурить» и сворачивал самокрутку. Его обступали студенты, тянулись к кисету, чтобы попробовать профессорский табачок, закуривали и начиналась беседа про жизнь и про геофизику. Вот он, аромат истории.

Однокурсник Головцына Аким Арсентьевич Юньков по времени рождения 7 сентября 1902 года – Дева. Но в его характере было мало черт, присущих людям, рожденным под этим знаком Зодиака. Ученик Юнькова, член-корреспондент НАН Украины К. Ф. Тяпкин так коротко и выразительно сказал о нем: «Он был орел».

Родина Юнькова – рязанское село Ново-Романово; родители – крестьяне, небогатые, но вполне самостоятельные, имевшие дом, лошадь, корову, овец и девять детей: трех парней и шестерых девчат. Пока жив был отец, а умер он в 1916 году, Аким работал с ним. Потом вынужден был батрачить в имении князя Волконского и у местных зажиточных крестьян. В 1919 году жизнь впервые искусила его выбором, и хотя он окончил только начальную школу и был юн годами, все же отважился стать председателем сельсовета и проработал главой администрации в Ново-Романове до апреля 1923 года. Потом почти год до призыва в армию крестьянствовал на своем наделе. С этого времени он уже больше не держал в руках ни плуг, ни конскую упряжь, ни косу. Рязанская нива навсегда лишилась одного из своих хлебопашцев. К 1930 году, когда умерла мать, социально-политическая эрозия разрушила большую крестьянскую семью Юньковых: две сестры переехали в Москву, еще одна устроилась прислугой в Ленинграде, один из братьев остался в армии, другой уехал на Урал на Богословские угольные копи, только три сестры стали колхозницами в родном селе.

Военную службу Аким проходил в Костроме, в телеграфной роте полка связи. Был он собран, деятелен, активен, организовав в роте ячейку МОПР. Командование его заметило, а заметив, отметило, назначив командиром отделения, а после демобилизации направило учиться на рабфак. Но зуд общественной деятельности был так силен, что «проведя полгода на рабфаке,– вспоминал Юньков,– я ушел на работу по организации комсомола в сельских местностях», а точнее, в Ново-Романове. Отсюда он перебрался в Москву, где работал чернорабочим в Лефортове, занимаясь одновременно кооперированием рабочих. В это время он был уже кандидатом в члены ВКП (б), а членом партии стал в 1928 году. Узнав о том, что он бросил рабфак, местная парторганизация вернула его в Кострому за рабфаковскую парту.

В Свердловске начинал он учиться с Головцыным в одном вузе, а закончил другой – Уральский геологоразведочный. В день окончания института 16 апреля его зачислили в аспирантуру. Одаренного студента Соболевский привлек к научно-исследовательской и преподавательской работе еще в 1930 году. По воспоминаниям К. Е. Кожевникова (1896–1981), работавшего в это время заместителем председателя НТО Уралгеомина, Юньков, будучи студентом, выполнял «ответственную работу с разведочной партией на Южном Урале. В 1931 г. … он возглавляет геофизическую и горно-геометрическую экспедицию Уральского геофизического института, эта экспедиция проделала громадную работу по изучению перспектив, запасов и качества Бакальского железорудного бассейна, где Юньков обнаружил большие знания методики применения геофизических способов разведки, сумев сочетать теорию с практикой. Когда к 1932 году обнаружилось неудачное… применение гравиметрии со стороны ряда специалистов, молодому инженеру… было поручено дать… исчерпывающий ответ на эту тему… Со свойственным ему упорством и настойчивостью (он. – *В. Ф.*) взялся за решение вопроса… Вопреки ранее существовавшим взглядам…, доказал возможность использования … гравиметрического метода… для поисков хромитового железняка… на примере месторождения Верблюжьих гор Полтавского района». Запасы руды, определенные Юньковым на семи рудных участках по данным гравиметрии, всего на 10 % отличались от запасов, установленных путем обмеров в горных выработках. Феноменальный результат! За это достижение «треугольник» гравиметрической партии, руководимой Юньковым, премировал его «за высокие производственные показатели в работе 500 р.».

П. К. Соболевский (в центре) со студентами-геофизиками, первая слева Н. Г. Орлова, первый справа А. А. Юньков

В 30-е годы Юньков, как и его однокурсники, был и швец, и жнец, и на дуде игрец, выполняя много обязанностей и состоя на службе не в одном учреждении. Особенно трудным для него стал 1932 год, когда он, еще учась и работая в Геофизическом институте, читал общий курс гравиметрии, руководил вместе с однокурсниками Меньшиковым, В. Ф. Емковым и Окроперидзе учебной практикой по гравиметрии, заведовал лабораторией и кабинетом гравиметрии, а за три дня до защиты дипломного проекта принимал по просьбе заведующего геофизической специальностью М. И. Анчугова зачет по сейсморазведке вместо неожиданно уехавшего в Ленинград Н. В. Райко.

При такой нагрузке шансов вовремя закончить аспирантуру и защитить диссертацию было немного. Но помог случай. Юнькова, как и Головцына, секретариат Уралобкома ВКП (б) постановил командировать в целевую краткосрочную аспирантуру.

В аспирантуре он, как и Головцын, учился в Сейсмологическом институте. Тему диссертации ему, вероятно, сформулировал Соболевский. Она была посвящена вопросу совершенствования конструкции вариометра Этвеша. Этот прибор и тогда и в более позднее время был основным при проведении гравиметрических исследований. Поэтому от точности его работы в значительной мере зависела геологическая эффективность гравиметрических измерений. В этом Юньков убедился, решая хромитовую проблему. Ею он занимался, учась в аспирантуре, и она же помешала ему вовремя защитить диссертацию. Аспирантуру

Южный Урал. Гумбейка: второй справа П. К. Соболевский, третий справа А. А. Юньков

он закончил 1 июня 1934 года, а защита состоялась только весной 1936 года. Оппонировали работу директор Сейсмологического института П. М. Никифоров (1884–1944) и его сотрудники С. Г. Михлин (1908–1990), крупный специалист в области математической физики, и будущий академик АН СССР, Герой Социалистического Труда, директор Института физики Земли М. А. Садовский (1904–1994). Президиум Академии наук утвердил результаты защиты очень быстро – 15 мая.

После окончания аспирантуры Юньков, направленный в УралНИГРИ, стал заниматься поисками месторождений хромита в Алапаевском районе, заведовать по совместительству кабинетом гравиметрии в Уралгеомине и работать доцентом на кафедре геофизики в СГИ, в который он окончательно перешел в 1936 году.

В мае трагичного 1937 года его дальновидно назначили заместителем директора СГИ по научно-учебной работе. Администратор он был превосходный: умный, инициативный, требовательный и самостоятельный. Все директора, с которыми он работал семь лет, очень его ценили. Чтобы повысить административный авторитет своего заместителя, они более десяти раз направляли в ВАК документы об утверждении его в звании доцента, несмотря на мотивированные отказы Москвы. В 1939 и в 1942 годах он по нескольку месяцев замещал директора института. По мнению Н. С. Завьялова, Юньков всегда показывал «образцы большевистского отношения к… обязанностям. Показателем этого является то, что СГИ по целому ряду элементов учебной и научной работы стоит в числе передовых ВТУЗов» Наркомтяжпрома и Наркомтопа.

«Большевистски образцовыми» были и его партийные характеристики, в которых он аттестовался «наиболее активным членом партии, идеологически и политически выдержанным, устойчивым и дисциплинированным, последовательно защищавшим генеральную линию партии, передовиком науки, борцом за выполнение указаний т. Сталина «О передовой науке», доказавшим на деле борьбу за эту науку». И все же в марте 1937 года ему пришлось пригубить из горькой чаши недоверия. В конце октября 1936 года был арестован его однокурсник, начальник геофизического сектора Уральского геологоразведочного треста Аркадий Антонович Сержант, которого ранее Юньков рекомендовал «в группу сочувствующих ВКП (б)». Это было расценено как «притупление классовой бдительности» и стоило Юнькову выговора, который ему долго припоминали, но, к счастью, без последствий. А. А. Сержант, отсидев семь лет в Ухтпечлаге и в Ухтижемлаге, на Урал не вернулся.

Летом 1937 года «передовик науки» Юньков опубликовал в Свердловском отделении ОНТИ монографию «Поиски хромистого железняка методом гравиметрии», в которой критически оценил неудачные результаты работ предшественников, среди которых были московские и ленинградские гравиметристы Б. А. Андреев (1910–1969), Д. Г. Успенский (1904–1977), М. С. Закашанский и другие, обобщил свой семилетний опыт, продемонстрировав практическую сметку и неплохой теоретический уровень владения методами анализа аномалий гравитационного поля. Эта книга сделала его одним из авторитетнейших гравиметристов страны. Поэтому в 1939 году он был утвержден Главным управлением учебных заведений Наркомтопа рецензентом учебника для вузов «Курс гравитационной разведки».

Мнением Юнькова очень дорожили и в геологоразведочных организациях, приглашавших его для консультаций не только в связи с поисками месторождений хромитов, но и нефти. В августе 1938 года начальник геофизического цеха геологопоисковой конторы треста «Башнефть» Н. Л. Гущин умолял его приехать: «В течение зимы 1937/38 гг. я неоднократно просил Вас летом 1938 г. посетить наши гравиметрические партии и… дать указания и заключения по работам». Аким Арсентьевич уважил эту настойчивую просьбу и почти месяц ездил по районам Башкирии, в которых работали гравиметрические партии треста. В этом же году он завершил с великолепным результатом большую работу в Казахстане на Ак-Каргинском и Донском месторождениях хромитов, приведшую к открытию нескольких крупных рудных тел.

Выдающиеся результаты решения хромитовой проблемы, которой он занимался и в годы Великой Отечественной войны, им были обобщены в докторской диссертации «Применение гравиметрического метода к поискам и разведке хромистого железняка», защищенной в Совете СГИ 5 ноября 1943 года. Все оппоненты: академик Шевяков и три профессора – физик С. Д. Герцрикен (1901–1961), геофизик Головцын и геолог А. Е. Малахов (1899–1989) – были единодушны в ее высокой оценке.

Диссертационная работа Юнькова получила всесоюзную известность. В октябре 1944 года газета «Уральский рабочий» со ссылкой на ТАСС перепечатала заметку «Новый метод разведки хромистого железняка», в которой говорилось, что «Высшая аттестационная комиссия Комитета по делам высшей школы… присудила степень доктора… наук доценту Свердловского горного института… Юнькову (который. – *В. Ф.*) впервые разрешил важнейшие теоретические и производственные вопросы разведки месторождений хромистого железняка; рекомендуемый геологом-новатором… гравитационный метод, основанный на законе всемирного тяготения, на практике полностью себя оправдал», поскольку «значительно ускоряет выявление залежей хромистого железняка».

Вопросами поисков месторождений углеводородов Юньков эпизодически начал заниматься с 1936 года, хотя Соболевского они заинтересовали еще в 1932 году, когда сотрудники кафедры геофизики произвели измерения силы тяжести маятниковыми приборами в окрестностях Оренбурга, Верхнеуральска, Челябинска и Кунгура. Но только спустя десять лет эти вопросы приобрели государственное значение, когда в топливной промышленности страны сложилось критическое положение.

В июле 1942 года Государственный Комитет Обороны постановил расширить поисковые работы на углеводородное сырье и уголь. В связи с этим по распоряжению Свердловского обкома

Сотрудники кафедры геофизики СГИ. 1948 г. В центре сидит заведующий кафедрой В. Н. Головцын

ВКП (б) в СГИ была организована геофизическая партия для поисков месторождений нефти в Красноуфимском и Манчажском районах. Ее научным руководителем назначили Юнькова. Партия работала круглогодично и в тяжелейших условиях. Научный руководитель ежемесячно лично контролировал ее работу. Такой драматичной была ситуация с топливом. Месторождений нефти найти не удалось. И до сих пор перспективность обнаружения месторождений углеводородов в юго-западных районах Свердловской области остается призрачной.

В августе 1944 года Юньков сдал коменданту Втузгородка свою квартиру № 94 во втором профессорском корпусе, получил последнюю зарплату в 1400 рублей, упаковал вещи и уехал в Днепропетровск, взяв с собой своих учеников А. А. Непомнящих (1910–1993) и Н. Л. Афанасьева (1919–1988). Там в горном институте он создал кафедру геофизики, школу гравиметристов, стал лауреатом Государственной премии УССР, удостоился орденов Ленина и «Знак Почета», подготовил 42 кандидата и семь докторов наук. Если присовокупить сюда 85 кандидатов и пять докторов наук, подготовленных Головцыным, то можно смело утверждать, что украинская геофизика в значительной мере создана двумя уральцами – Акимом Арсентьевичем Юньковым и Василием Николаевичем Головцыным.

Владимир Викторович Филатов
filatov47@bk.ru
Владимирский государственный университет
Россия, Владимир, ул. Горького, 87

История УГГУ

К СТОЛЕТИЮ НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО

Е. А. Справцева

К столетнему юбилею НБ УГГУ директор библиотеки написала книгу об ее истории, избранные отрывки из которой подготовила специально для читателей журнала «Известия УГГУ».

На первых порах организация фундаментальной библиотеки в проекте Уральского горного института не предусматривалась. На это упущение обратил внимание первый ректор УГИ Петр Петрович фон Веймарн на торжественной закладке здания института 17 июля 1916 г. (даты даются по старому стилю). Вот выдержки из его речи, произнесенной на этом мероприятии, текст которой был напечатан в № 160 газеты «Зауральский край» за 20 июля 1916 г.:

«Одним из важнейших условий для полного развития и процветания высшей школы является привлечение в ее стены талантливой и энергичной профессорской коллегии, ибо за редкими исключениями, каковы учителя – таковы и ученики. <…> Екатеринбургский горный институт может привлечь в свою профессорскую коллегию видные научно-технические силы. <…> Для этого необходимо иметь, во-первых, хорошо оборудованные лаборатории и кабинеты и, во-вторых, что особенно важно для провинции, необходимо с самого начала создать обширную фундаментальную библиотеку. <…> Как бы ни хороши были лаборатории, ни один ученый не может работать в них не имея библиотеки – библиотеки фундаментальной <…>».

Стоит отметить, что история библиотеки Уральского горного института началась задолго до ее открытия. В ноябре 1913 г. главный начальник Уральского горного управления П. И. Егоров получил письмо от профессора механической технологии при Харьковском технологическом институте В. С. Кнаббе с предложением купить у него для будущего института библиотеку технической литературы числом в 741 том, собиравшуюся в течение 25 лет. Профессор просил за свою библиотеку 500 рублей, хотя стоила она вчетверо дороже. Письмо Кнаббе было передано городскому голове Екатеринбурга А. Е. Обухову, который с 1909 г. возглавлял комиссию «об открытии на Урале вуза». Документы, подтверждающие покупку книг, найдены не были. Но сопоставление рубрикатора библиотеки Кнаббе со старинными книгами, хранящимися в нашей библиотеке, дает возможность предположить, что покупка состоялась.

Владимир Сергеевич Кнаббе

Закладка здания УГИ в 1916 г.

Уже через несколько дней после торжественной закладки здания в 166 номере той же газеты «Зауральский край» была опубликована заметка, озаглавленная «Первое пожертвование на фундаментальную библиотеку горного института»: *«Ректором института профессором Веймарном в речи на закладке было обращено внимание на необходимость создания в институте обширной фундаментальной библиотеки.*

Первый почин в этом направлении на днях сделал местный промышленник В. А. Поклевский-Козелл, приславший на имя ректора следующее письмо:

*«Многоуважаемый Петр Петрович! <…>Выдающийся исторический момент в развитии города Екатеринбурга <…> заставляет меня <…> принять хотя долю участия в создании будущего рассадника процветания Урала, в виду чего я позволил себе от имени семьи <…> внести в Ваше распоряжение **5000** рублей на приобретение книг по химии в библиотечный фонд вверенного Вам института <…>» <…>».*

На этом пожертвования не закончились. Из № 156 газеты «Уральская жизнь» за 7 октября 1917 г. екатеринбуржцы узнали о щедром вкладе благотворительницы О. И. Дрозжиловой: *«Екатеринбургскому горному институту по завещанию гр. О. И. Дрозжиловой перешли капиталы: первый в **225745 р. 48 к.**, а второй в **65000 р.**, процентов с него должны обращаться на приобретение книг для библиотеки а всего **290745 р. 48 к.** <…> Второй капитал неприкосновенен временно, и 2/3 института <…>».*

Пополнялся библиотечный фонд и за счет частных книжных собраний. Например, в собственность Горного института поступила весьма ценная библиотека физика А. Л. Гершуна, привезенная из главной физической обсерватории Петрограда. Александр Львович Гершун (1868–1915) – основатель российской оптической промышленности, крупный специалист в области прикладной оптики, электромагнетизма, радиоактивности.

К моменту организации библиотеки ее фонд составлял 9080 экземпляров.

В заметке «К открытию горного института» № 156 газеты «Уральская жизнь» за 7 октября 1917 г. приводится информация о составе «преподавательского и служебного персонала», откуда узнаем, что первым библиотекарем стала Мария Георгиевна Гадд. Здесь же сообщается о том, что *«для библиотеки института городским самоуправлением предоставлено помещение Вознесенской школы».*

Александр Львович Гершун (1868–1915)

Викентий Альфонсович Поклевский-Козелл (1853–1929)

17 ноября 1917 г. на заседании Совета института обсуждался вопрос о ремонте книг. В результате было постановлено: «*Книги учебной библиотеки переплести все; из книг фундаментальной библиотеки переплести наиболее ценные <…>*».

А еще через несколько дней, 26 ноября 1917 г. Совет института обсуждал сразу ряд вопросов, касающихся библиотеки: была избрана библиотечная комиссия в составе Я. А. Шохата, Н. В. Галли, С. Н. Петрова, Н. Г. Келля; постановлено принять пожертвование институту от инженера П. А. Дрозжилова, часть денег от которого предназначалась для приобретения книг и изданий для библиотеки. Но особый интерес в данном случае представляет докладная записка библиотекаря М. Г. Гадд о предполагаемой организации библиотеки. Рассмотрев этот вопрос, Совет института вынес постановление: «*Принять со следующей поправкой: «Студенты могут пользоваться изданиями фундаментальной библиотеки только в читальном зале; книги из фундаментальной библиотеки выдаются студентам на дом только по рекомендации профессоров Института*».

Таким образом, 26 ноября (9 декабря по новому стилю) 1917 г. – день, когда по решению Совета института в библиотеку был разрешен доступ студентам, можно считать днем ее рождения!

29 ноября состоялось первое заседание библиотечной комиссии, где было постановлено: «*…1) выбрать председателем библиотечной комиссии профессора Шохата, 2) основать при УГИ учебную библиотеку и передать ее в ведение особого лица,3) книги учебной библиотеки отдавать в самый дешевый переплет, …, 5) книги из фундаментальной библиотеки не выдавать студентам на дом, а только выдавать для чтения в читальном зале, для чего фундаментальную библиотеку открывать ежедневно с 10 ч. утра до 8-ми ч. вечера*».

Эти вопросы были вынесены на рассмотрение Совета института, который состоялся 22 января 1918 г. и где было установлено предложенное библиотечной комиссией время работы фундаментальной библиотеки, а также принято решение о необходимости иметь второго помощника библиотекаря. Стоит отметить, что первым помощником библиотекаря М. Г. Гадд была Ада Семеновна Бильдштейн. Вторым помощником стала слушательница Высших женских курсов Наталия Андреевна Загуляева, «машинистка и конторщица при библиотеке, она же заведующая учебной библиотекой». В соответствии со «Сведениями о библиотеке Уральского горного института в Екатеринбурге» *фактически* для читателей библиотека была открыта в феврале 1918 г.

***

Сведения о библиотеке Уральского горного института в Екатеринбурге за 1918 год

«Библиотека Уральского горного института открыта в феврале 1918 года; одновременно открыты 2 отдела: фундаментальной и учебной библиотеки. Последняя содержит большей частью учебники, и студенты, получающие книги из фундаментальной библиотеки только для чтения в зале, имеют право брать книги из учебной библиотеки на дом. Ни преподавательский персонал, ни студенты не вносят залога, но при пользовании учебной библиотекой студенты вносят штраф за каждую просроченную книгу в размере 10 копеек за первый день и 5 копеек за последующие. Оба отдела открыты с 9 до 15, исключая воскресений и каникулярного времени. В 1918 году учебная библиотека была открыта и по вечерам, но вследствие полнейшего непосещения ее в это время вечерние занятия были отменены.

Книжный инвентарь фундаментальной библиотеки состоит из следующих отделов:

1) Инвентарь по форматам.
2) Инвентарь журналов.
3) Инвентарь неоконченных изданий.
4) Инвентарь справочного отдела.
5) Инвентарь технических старинных книг.
6) Инвентарь дефектов.
7) В 1919 году был заведен особый инвентарь для брошюр.

По особому подсчету, по перечисленным инвентарям, произведенному в июне 1919 года всего в фундаментальной библиотеке числилось 4537 томов или 319 названий, в учебной – 580 томов или 213 (?) названий.

Кроме того, Институт пользуется еще библиотекой проф. Гершуна, переданной Николаевской Главной Физической Обсерваторией, содержащей около 600 (?) томов.

В настоящее время имеется на руках из фундаментальной библиотеки 91 название [текст утерян], учебной [текст утерян] 62.

По отделам книги распределяются следующим образом:

Общее название	Индекс	Русские книги	Иностранные книги (англ., француз., нем.)
?	?	8	–
Философия	?	8	1
Соц. науки	?	53	12
Общее естествознание	?	13	?
Математика	51	96	35
Астрономия	52	30	11
Физика	53	163	17?3

Общее название	Индекс	Русские книги	Иностранные книги (англ., французз., нем.)
Химия. Кристаллография. Минералогия	54	146	107
Геология	55	77	20
Палеонтология	56	1	1
Биология	57	8	1
Ботаника	58	30	2
Зоология	59	13	3
Общ.	60	1	1
Медицина	61	4	2
Инженерные науки	62	467	62
Агрономия	63	14	2
Средства сношения	65	2	10
Химическое производство	66	132	118
Мануфактурная промышленность	67	8	10
Ремесла	68	10	2
Строительное искусство	69	30	30
Архитектура	72	3	–
Рисование и черчение	74	5	1
Фотография	77	29	7
Литература	?8	47	–
История и география	90	16	5

В перечисленные отделы не входят технические книги старше 1870 года, образующие особый отдел в 650 томов или 474 названия.

Что касается подписчиков библиотеки, то ею пользуются только преподаватели Института и студенты.

За минувший год фундаментальной библиотекой пользовались 41 человек, и поступило 532 требования, а учебной – 284 студента, от которых поступило 1138 требований. В помещении Института книги выдавались всем желающим специалистам по разрешению ректора.

Главная работа библиотеки состоит в приобретении и коллектировании книг, классификации книг, составлении каталогов, т. е. пока еще идет работа организационная. В виду неблагоприятных условий до сих пор нет необходимых для научной и преподавательской работы новых иностранных журналов и трудов. Со времени открытия библиотеки неоднократно производились попытки выписать из-за границы книги, но эти попытки не увенчались успехом. Что касается русских книг, они выписывались отовсюду, откуда их можно было достать, или приобретались по случаю у частных лиц.

Персонал библиотеки состоит: из библиотекаря Марии Георгиевны Гадд. Высшее физико-математическое образование. Оклад 500 руб. + 35 % прибавки. Помощницы библиотекаря Ады Семеновны Бильдштейн. 8 классов гимназии. Полуторагодичный станс. Оклад 450 руб. + 35 % прибавки. Машинистки и конторщицы библиотеки, она же заведующая учебной библиотекой, Наталии Андреевны Загуляевой, слушательницы Высших Женских Курсов. Оклад 260 руб. + 35 % прибавки.

В фундаментальной библиотеке принята десятичная международная система классификации Дьюи. Отдел 62 будет в ближайшем будущем подробнее разработан по схеме Богданова для библиотек высших специальных учебных заведений.

Для пользования библиотекой имеются 2 карточных каталога: алфавитный (на русском и иностранных языках) и систематический (на русском и иностранных языках). Книги расставлены по форматам. Число форматов – 6. В каждом формате нумерация начинается с 1; последняя цифра порядкового номера указывает на формат. Журналы расставлены по языкам, для них принято 2 формата.

Способ записи книг при выдаче следующий. В фундаментальной библиотеке каждый из преподавателей имеет свою тетрадку, в которой заносятся помощником библиотекаря взятые ими книги; сам же преподаватель пишет на заготовленном печатном бланке расписку, которая одновременно служит справкой, что книги нет дома, и помещается в алфавитном порядке книг в соответствующий индикатор. В учебной библиотеке, в которой число подписчиков больше, имеются формуляры книг, формуляры читателей и абонементы.

Помещение библиотеки состоит из 3 комнат, одна из них служит специальным книгохранилищем с открытыми шкафами. Из двух других комнат одна рабочая, а другая читальня. В двух последних комнатах помещаются также книги, но в закрытых шкафах; эти комнаты проходные. Других свободных помещений нет.

Смета на 1919 год была составлена на 50 000 руб. и представлена в минувшем месяце в Совет Института. Она распределена следующим образом:

Смета фундаментальной библиотеки		
Приобретение книг		27 400 р.
журналов		14 100
Переплет		3 000
Канцелярские расходы		2 000
	Учебная библиотека	
Приобретение книг		2 500
Переплет		1 000
ИТОГО	50 000 руб.	

Ввиду недостаточности этой суммы и возрастающей дороговизны предполагается при предоставлении этой сметы в комиссариат М. И. Пр. увеличить ее вчетверо».

***

Рассказ о любой библиотеке – это, прежде всего, рассказ о редких изданиях, хранящихся в ее фонде. Стоит отметить, что все издания, с которых начал формироваться фонд библиотеки, вошли в выделенный в конце 1990-х гг. фонд дореволюционных изданий. Но изначально решение об организации в библиотеке подобного отдела было принято 3 июня 1918 г. на заседании библиотечной комиссии: «Основать при библиотеке отдел редкостей, куда будут заноситься редкие книги, не имеющие определенного отдела в фундаментальной библиотеке». И в числе первых назовем «Руководство к минералогии с присовокуплением статистических сведений о важнейших

солях и металлах, сочиненное Дмитрием Соколовым, профессором Санкт-Петербургского университета, преподающим геогнозию и минералогию в горном кадетском корпусе. Часть 1, содержащая минералы. Печатано в С.-Петербурге в типографии А. Плюшара. 1832 г.»

Ординарный академик Петербургской Академии наук, минералог и кристаллограф Николай Иванович Кокшаров после окончания Института корпуса горных инженеров работал на Монетном дворе в Екатеринбурге, в 1840–1841 гг. путешествовал по Уралу с экспедицией английского геолога Р. И. Мурчисона, открыл минерал ильменорутил. В нашей библиотеке хранятся «Лекции по минералогии, читанные Николаем Кокшаровым». Они были изданы в Петербурге в 1863г.

Открытое в 1825 г. в Екатеринбурге Горное общество сразу стало издавать по инициативе Д. И. Соколова, П. П. Аносова, В. В. Любарского и других русских ученых «Горный журнал или собрания сведений о горном и соляном деле, с присовокуплением новых открытий по наукам, к сему предмету относящимся».

Для библиофилов и историков горного дела этот журнал, почти полный комплект которого имеется в библиотеке, бесценен по содержанию и превосходит по качеству полиграфии многие современные издания.

Уроженца Златоустовских заводов Ивана Августовича Тиме вряд ли надо представлять – выдающийся ученый, один из основателей науки о резании металла, автор классических работ по горной механике, с 1856 по 1866 г. работал на уральских заводах, преподавал в Петербургском горном институте, оставил большое литературное наследие. С одной из его книг можно познакомиться в нашей библиотеке. Это «Атлас к справочной книге для горных инженеров и техников по горной части. Т. I. Горнозаводская механика» издания 1879 г.

Для маркшейдеров исторический интерес может представить прекрасно оформленный атлас О. Братчуга «Практическое руководство маркшейдерского искусства», для геологов – вышедшее в 1904 г. «Минеральное царство» Г. Гюриха и в 1906г. «Царство минералов» Р. Браунса.

В 1920-х гг. в Екатеринбург для формирования библиотеки нового вуза – Уральского государственного университета – была передана библиотека упраздненного в 1917 г. в связи с отменой сословных привилегий Императорского Александровского (Царскосельского) лицея. Горный вошел в состав университета сначала на правах института, а затем факультета, а библиотека УГИ влилась в фонд создаваемой фундаментальной университетской библиотеки.

Когда после многочисленных реорганизаций Горный институт снова стал самостоятельным вузом, фундаментальная библиотека была расформирована и распределена по вузовским библиотекам. Так, в фонде библиотеки Уральского горного института оказались книги с экслибрисом библиотеки Императорского Александровского лицея.

В том числе одно из крупнейших справочных изданий XVIII века – «Энциклопедия, или толковый словарь наук, искусств и ремёсел» Д. Дидро и Д'Аламбера. Среди авторов, написавших статьи для энциклопедии, такие выдающиеся люди эпохи Просвещения, как Вольтер, Руссо, Монтескье.

Справочные и энциклопедические издания представлены также энциклопедией «Британника», изданной в Эдинбурге в 1875–1889 гг., семнадцатитомным «Большим универсальным словарём XIX века» Пьера Ларусса 1865 г. издания, «Энциклопедическим словарём» Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона, выпускавшимся в 1890–1907 гг. и состоявшим из 86 томов, и многими другими.

В фонде хранятся книги, ранее принадлежавшие ученической библиотеке Екатеринбургского Алексеевского реального училища, конторе рудников Алапаевских заводов, библиотеке Чернореченского общественного собрания и другим организациям и частным книжным коллекциям. Определить принадлежность помогают владельческие записи, пометы, штампы, которые являются индивидуальными, неповторимыми чертами книги и могут многое рассказать о ней и ее владельце.

АТЛАСЪ
КЪ СПРАВОЧНОЙ КНИГѢ
ГОРНОЙ ЧАСТИ.

«Атлас к справочной книге для горных инженеров и техников по горной части. Т. I. Горнозаводская механика» издания 1879 г.

Так, например, по штампу «Дмитрий Иванович Мушкетов» узнаем, что книга принадлежала горному инженеру, профессору Петроградского горного института, человеку трагической судьбы. Он стал одной из многочисленных жертв массовых репрессий, был расстрелян в 1938 г., а в 1956-м – реабилитирован.

Есть работы, написанные и самим Д. И. Мушкетовым («Геологическое строение восточной Ферганы», 1912 г. и др.), и его отцом Иваном Васильевичем Мушкетовым, выдающимся геологом и географом, знаменитым путешественником, который в числе прочих проводил геологические изыскания и на Урале («Физическая геология»).

Один из лучших знатоков Урала А. Е. Ферсман, писал: «Мы все должны считать себя в долгу перед Уралом, этой мировой жемчужиной минерального царства. Ведь не надо забывать, что настоящая научная минералогия родилась на Урале». В нашем фонде хранятся работы этого выдающегося ученого: «Изумруды Урала» (1913), «Минералы СССР» (1940) и др.

Кроме того, есть у нас одна книга, сыгравшая, возможно, немаловажную роль в выборе жизненного пути этого выдающегося ученого-геолога. В детстве отец подарил ему двухтомный труд австрийского профессора М. Неймайра «История земли». «Дома мы с волнением перелистывали страницы геологии Фише и «Истории земли» Неймайра…»,– пишет А. Е. Ферсман в своей книге «Путешествия за камнем». В нашем фонде сохранилось несколько изданий «Истории земли» (1898–1904). Это большие, прекрасно оформленные тома с кожаными корешками, в старинных переплетах. А вот как отзывался об этой книге профессор А. П. Павлов: «Имя профессора М. Неймайра было до настоящего времени мало известно русскому читателю, но теперь с появлением русского перевода его знаменитой «Истории земли», оно приобретает и у нас ту заслуженную известность, какою давно пользуется на западе. Эта известность быстро создалась благодаря таланту автора совмещать в своём изложении строгую научность с замечательной простотой и ясностью, особенно в сочинениях, предназначенных для широкого круга читателей».

***

Книги Императорского Александровского (Царскосельского) лицея в фонде библиотеки.

Говоря о становлении библиотеки и первой серьезной библиографической работе, нельзя не вспомнить о Петре Петровиче Макарове (1887–1955гг.) – талантливом библиотекаре, библиографе, библиофиле, работавшем в первые годы основания библиотеки и не прекращавшем связи с ней до конца своей жизни.

После окончания в 1916 г. физико-математического отделения Казанского университета Петр Петрович Макаров преподавал в Челябинске в женской гимназии. Заведовал педагогической библиотекой при Музее просвещения и научной библиотекой Уралоблмузея, был научным сотрудником фундаментальной библиотеки УПИ, занимался библиографией полезных ископаемых Урала по заданию Уральского отделения Геолкома и особенно много полезного сделал для создания библиотеки нашего института. Будучи человеком по-европейски образованным, хорошо владея немецким, французским, итальянским, греческим и латинским языками, выполнял библиографические обзоры на высоком уровне. Кроме этого, был незаурядным педагогом (с 1931 по 1955 г. работал на кафедре высшей математики, сначала ассистентом, а затем старшим преподавателем).

Руководители библиотеки

Мария Георгиевна Гадд – первый библиотекарь Уральского горного института.

Родилась в 1880 г. в Петербурге. В 1903 г. окончила физико-математическое отделение Бестужевских курсов, несколько лет работала в провинциальной школе, два года стажировалась по физике и математике в Геттингенском университете, перевела на русский язык две книги выдающегося немецкого математика Д. Гильберта.

"История Земли"

В 1917–1920 гг. заведовала фундаментальной библиотекой горного института.

Анна Ивановна Васева – заведующая библиотекой Горного института в 1937–1943 гг.

Родилась в 1908 г. в Пермской губернии Соликамского уезда в семье рабочего. В 1930 г. была направлена комсомольской организацией на курсы в Пермский педагогический техникум, который окончила в 1933 г. с присвоением квалификации «заведующий массовой библиотекой». В 1937 г. Свердловский Ленинский райком партии направил А. И. Васеву на работу в Свердловский горный институт, где она была принята на должность заведующей. В 1943 г. командирована в распоряжение Горкома ВКП(б).

Анастасия Павловна Дьякова – заведовала библиотекой Горного института несколько месяцев 1943 г.

Татьяна Ивановна Гуленкова – заведовала библиотекой Горного института в 1943–1950 гг.

Родилась в 1898 г. в Московской губернии Звенигородского уезда. С 1910 по 1918 г. училась в Московской учительской семинарии. В 1942 г. была эвакуирована с Институтом цветных металлов, где работала в библиотеке, из г. Орджоникидзе в г. Свердловск. В октябре 1943 г. поступила на работу в библиотеку Горного института на должность библиотекаря, а в декабре была переведена на должность заведующей библиотекой.

Валентина Михайловна Масленникова. В 1940 г. окончила Свердловский коммунистический институт журналистики. Работала во Владивостоке литсотрудником, зав. отделом школ в редакции газеты «Приморский комсомолец». В 1942–1944 гг. находилась в рядах Красной Армии.

После демобилизации работала в Окружном доме офицеров. По окончании аспирантуры в Уральском госуниверситете была направлена на работу в Сельскохозяйственный институт.

С мая 1950 по сентябрь 1952 г. Валентина Михайловна заведовала библиотекой Свердловского горного института. За этот период в работе библиотеки произошли положительные изменения: увеличились площади читальных залов, выделен зал для научных работников, фонд пополнился значительным количеством учебников, учебных пособий, научной и художественной литературой.

Затем работала ассистентом кафедры марксизма-ленинизма. Наряду со своей основной работой была редактором газеты «Горняк»; с 1978 по 1981 г. руководила музеем истории института. С 1981 по 1990 г. с перерывами работала в институтской библиотеке.

Нонна Николаевна Шилова – заведовала библиотекой Горного института в 1952–1953 гг.

Родилась в г. Нижний Тагил в 1921 г. Училась в Свердловском коммунистическом институте журналистики. В библиоте-

ку Горного института была принята на должность заведующего отделом спецфонда иностранной литературы в 1950 г., а в 1952 г. была переведена на должность заведующего библиотекой. В 1953 г. Н. Н. Шилова постановлением Обкома КПСС зачисляется слушателем трехгодичной партийной школы, в связи с чем освобождается от занимаемой должности.

Дарья Андреевна Бобылева. В 1950 г. судьба привела Бобылеву Дарью Андреевну в библиотеку Свердловского горного института. С тех пор она места работы уже не меняла, посвятив всю свою жизнь служению библиотечному делу.

В 1953 г. Д. А. Бобылева была назначена заведующей библиотекой (в 1972 г. в соответствии с новым штатным расписанием эта должность стала называться «директор библиотеки»), оставаясь на этом посту вплоть до 1997 г., когда в связи с болезнью была вынуждена прекратить трудовую деятельность. Она отдала библиотеке почти полвека, и это не может не вызывать восхищения и благодарности.

То, что библиотека Горного располагает прекрасным фондом, в значительной степени является заслугой Дарьи Андреевны, которая придавала комплектованию первостепенное значение.

В библиотеке всегда поддерживалась атмосфера творческого и заинтересованного отношения к работе. В 1980 г. был осуществлен переезд в новое здание. Можно представить себе, чего стоило организовать перевозку и размещение на новом месте 800 000 томов.

Дарья Андреевна была не только хорошим руководителем, но и незаурядным, по-настоящему интеллигентным человеком. Обладая огромной эрудицией и высокой культурой общения, она была замечательной собеседницей. Прекрасно знала и любила литературу, театр, отличалась тонким чувством юмора.

Марина Валерьяновна Доброва. Окончила Уральский государственный университет в 1971 г. До 1997 г. работала в научной библиотеке УрГУ, в том числе 7 лет инженером отдела информации и 12 лет заведовала отделом обслуживания читателей. С 1997 г. – директор научной библиотеки Уральской государственной горно-геологической академии.

В середине 1990-х гг. появилось понимание того, что будущее библиотеки связано с развитием современных информационных технологий, и были предприняты первые, сначала робкие, шаги в этом направлении. В 1995 г. в научной библиотеке УГГГА появился первый персональный компьютер, было приобретено программное обеспечение – локальный вариант АБИС МАРК и началось освоение совершенно нового информационного пространства…

… 1999 год стал поворотным в деле внедрения новых информационных технологий в научной библиотеке горной академии. В этом же году началась наша работа над проектом «Consensus omnium: корпоративная сеть библиотек Урала»… Спустя два года работы над проектом можно было подвести итоги:

– отредактирована в соответствии со стандартом и представлена в Интернет в составе сводного каталога участников проекта (htt://consensus.eunet.net) база данных «Новые книги», включающая примерно 7000 библиографических описаний книг, начиная с 1994 г. издания; обеспечено ее постоянное пополнение;

– сформирован электронный каталог на фонд редких книг, куда вошло 3500 библиографических описаний книг, изданных в России до 1917 г., и начато редактирование созданной базы;

– начата работа по ведению электронной картотеки статей. Отобрано 10 наименований отраслевых научных журналов по геологии и горному делу и осуществляется их роспись с первых номеров 2001 г. База данных «Статьи» на сегодня включает около **2500** записей и также представлена в Интернете;

– начата работа по созданию электронной коллекции «Урал горный», для чего из фонда редких книг отобраны издания по геологии, минералогии и месторождениям полезных ископаемых Урала XIX–начала XX вв. Оцифровано **30** книг общим объемом более **4000** страниц. Все цифровые копии изданий представлены в виде отсканированных страниц, сохраненных в графическом формате DjVu. Коллекция размещена на сервере УГГГА. Таким образом, произошло накопление собственных электронных ресурсов, их интеграция с информационными ресурсами других библиотек и обеспечение к ним доступа читателей.

Параллельно шел процесс модернизации классических направлений библиотечной работы: комплектования фонда, каталогизации, справочно-библиографического обслуживания. Это последнее направление работы переживает сейчас революцию благодаря возможностям глобальной сети Интернет, открывшей перед библиографами дверь в океан информации и давшей им в руки лоцию. Хотя для того, чтобы умело пользоваться этой лоцией, снова приходится учиться. И это радует. Потому что, по нашему глубокому убеждению, человек жив, только пока он в состоянии воспринимать и усваивать новую информацию…

… Благодаря участию еще в одном проекте Института «Открытое общество» – «Пушкинская библиотека», мы имели возможность приобретать в течение 4 лет лучшие книги российских издательств по экономике, праву, истории, философии, психологии, а также энциклопедии, справочники и словари со скидкой 50 %.

За счет использования внебюджетных средств удалось сохранить подписку на основную научную периодику, в том числе такой ее дорогостоящий компонент, как реферативные журналы. Заметно выросла доля изданий, поступающих в фонд в качестве даров. Но говорить о принципиальном улучшении ситуации мы смогли, только подведя итоги 2001 г. Впервые за последнее время на комплектование библиотечного фонда были выделены средства из федерального бюджета, с одной стороны, и целевые внебюджетные – с другой. Благодаря этому в 2001 г. по сравнению с 2000 г. объем комплектования удвоился и составил **9557** экз. книг и журналов.

Похорошели за последнее время некоторые библиотечные помещения. В 2000 г. на средства спонсоров были капитально отремонтированы читальный зал научной литературы (ОАО «Уралмаш») и справочно-библиографический отдел (ОАО «Уралнеруд»). Проведена замена электропроводки, установлена охранная и пожарная сигнализация, куплена новая мебель. На сегодня из общей площади в **2500** кв. м., занимаемой библиотекой, в порядок приведено **500**. В планах ближайшего времени – ремонт учебного читального зала.

Коллектив библиотеки трудится не покладая рук, ведь следствием увеличения набора студентов явился рост количества читателей и подъем такого важного показателя, как книговыдача. В 2001 г. она составила **395 000** экз., что на **40 тыс**. экз. больше, чем в 2000 г. За год в полтора раза увеличилось число выданных читателям библиотечно-библиографических справок (**4031** в 2001 г. против **2784** в 2000 г.). Увеличение объема комплектования фонда повлекло за собой значительный рост показателей работы, связанных с учетом, обработкой и каталогизацией литературы. Так что скучать библиотекарям не приходится.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГАСО, ф. 1151-р, оп. 1, д. 6, л. 18.
2. ГАСО, ф. 1151-р, оп. 1, д. 6, л. 22.
3. ГАСО, ф. 95, оп. 1, д. 280, л. 2.
4. ГАСО, ф. 95, оп. 1, д. 280, л. 14, 15.
5. Доброва М. В. Отчет о работе научной библиотеке за 2002 г. Екатеринбург, 2003.
6. Сильных Е. В. Рождение библиотеки Горного (по материалам архивных документов и газетных публикаций начала XX-го века) // Изв. вузов. Горный журнал. 2017. № 8. С. 1–3.
7. Филатов В. В. «Отечества пользы для…» (75 лет Уральскому горному институту. 1917–1992). Екатеринбург: Изд. УГИ, 1992.

Елена Адольфовна Справцева
library@ursmu.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

СИМВОЛИКА УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО

А. Г. Шорин

В 2004 г. в Уральском государственном горном университете по инициативе ректора были введены и официально зарегистрированы атрибуты символики вуза: собственный герб, флаг и особая форменная одежда, а спустя четыре года появился и свой гимн. За прошедшие с тех пор годы символика настолько вросла в обыденную жизнь вуза, что теперь как само собой разумеющееся воспринимается изображение герба на документах и визитках или звучащий из динамиков гимн, а преподаватели и студенты в форме могут вызвать удивление разве что у гостей или абитуриентов горного университета. Некоторые элементы этой символики могут сегодня восприниматься как смелый эксперимент, однако все они имеют исторические корни и несут в себе глубокий внутренний смысл и значение. Об этом мы здесь и постараемся рассказать.

Герб (от нем. Erbe – наследство) – отличительный знак, символизирующий владельца, которым может быть человек, страна, город, или – как в данном случае – университет. Изначально гербы получили распространение в Средние века в Западной Европе, преимущественно в Англии и Франции, где гербами пользовались аристократы. Важной особенностью гербов стало то, что они передавались по наследству, т. е. герб, первоначально создававшийся для конкретного владельца, становился отличительным знаком целого рода.

Сегодня изучением и созданием новых гербов занимается *геральдика* – историческая дисциплина, которую в полном смысле слова можно считать самостоятельной наукой, причем строгой, так как принятое ныне создание и оформление гербов подчинено строгим правилам, без соблюдения которых герб не может быть официально зарегистрирован. Так, например, с 1999 г. существует Геральдический совет при Президенте РФ, созданный специально для проведения единой государственной политики в области геральдики.

Не нужно путать герб с эмблемой, логотипом, символом или знаком, даже если они созданы с той же целью, потому что создание герба подчиняется более строгим правилам. Однако здесь имеет смысл коротко вспомнить об эмблемах, которые использовались в Горном за годы его существования.

В основанном в 1914 г. Уральском горном институте была создана своя эмблема, которая изображалась, например, на обложке первого номера «Известий Уральского горного института»[1] и имела элемент герба – девиз: «Ipsa scientia potestas est» – вариация на тему латинского выражения «Знание – сила», дословный перевод – «Знание само по себе сила» (рис. 1).

В Свердловском горном институте (такое название носил вуз с 1934 по 1991 г.) выпускались значки с аббревиатурой СГИ (рис. 2), в том числе юбилейные – к 50-летию (рис. 3) и 70-летию института (рис. 4), а также памятные медали (рис. 5, 6), и это не считая значков, которые получали выпускники.

Своя эмблема существовала и в Уральской государственной горно-геологической академии (название вуза с 1993 по 2004 г.), которая активно использовалась в этот период (рис. 7).

Герб Уральского горного тоже имеет свою историю. Малоизвестный факт: еще в 1998 г. по инициативе вузовской газеты «Горняк» был объявлен конкурс[2] на лучшую идею символики УГГГА, по итогам которого[3] был даже предложен вариант герба (рис. 8), но в то время дальше эскизов дело не пошло.

В 2004 г. в соответствии с геральдическими правилами был создан ***герб УГГУ***, который был занесен в реестр гербов (рис. 9).

Геральдическое описание, объясняющее его элементы, гласит: «*В черном щите – золотая вогнутая остриём и ограниченная зубцами в виде беличьих шкурок глава, под которой – российская императорская корона естественного вида с лазоревыми лентами и серебряными положенными накрест молотом и киркой; концы ленты обвивают рукояти*»[4].

Окрашенная черным площадь щита, ограниченная сверху золотой главой, стилизованно воспроизводит гору, усаженную стилизованными же елями (как символ именно Уральских гор). Черный и золото – отраслевые цвета горняков: такова была расцветка петлиц и мундиров инженеров Горного ведомства в предреволюционную эпоху. Ломаная линия, отделяющая золото от черного, имеет зубчатый контур. По замыслу реформатора русской геральдики Б. В. Кене черные и золотые зубцы символизируют горнорудную (добывающую) и металлургическую специализацию Екатеринбурга. Как геральдические символы Урала, черные и золотые зубцы использованы в современном гербе Екатеринбурга (на ошейниках щитодержателей), а также в большинстве гербов городов и районов области.

Рис. 1. Эмблема Уральского горного института в 1918–19 учебном году

Рис. 2. Значок Свердловского горного института – с таким рисунком выпускался в варианте «СГИ» и «Геологический факультет СГИ»

Рис. 3. Памятный значок «50 лет СГИ»

Рис. 4. Памятный значок «70 лет СГИ»

Рис. 5. Памятная медаль Свердловского горного института

Рис. 6. Памятная медаль Свердловского горного института (оборотная сторона)

[1] Ныне – «Известия УГГУ».
[2] Газета «Горняк», № 15 (2016), ноябрь 1998. С. 8.
[3] Итоги конкурса – см. газета «Горняк», № 3-4 (2022–2023), январь 1999. С. 1, 12.
[4] Цитируется по брошюре «Знаки горняцкой чести», изд. УГГУ, 2006. С. 13.

Рис. 7. Значок Уральской государственной горно-геологической академии с символикой вуза

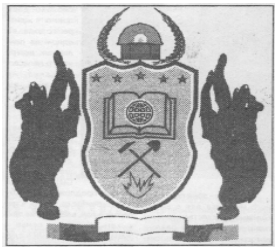


Рис. 8. Вариант герба УГГГА, предложенный на конкурсе в газете «Горняк» (1999 год)

Рис. 9. Герб УГГУ

Рис. 10. Флаг УГГУ

Императорская корона с выходящими из нее двумя лазоревыми лентами ордена Андрея Первозванного указывает на императорское покровительство, предоставленное институту. Текст девиза заимствован из библейского послания святого апостола Павла: «Ищите горнего,… о горнем помышляйте, а не о земном» (Колоссянам, 3:1,2), где «о горнем» означает «о высоком». Библия является популярным источником девизов в геральдике. В гербе университета этот девиз призван напоминать о том, что основатель Горного института император Николай II канонизирован Русской православной церковью и является покровителем университета уже в ранге святого. В свою очередь, святой апостол Павел – небесный покровитель Санкт-Петербурга, откуда воспоследовало решение об учреждении института.

Слово «горнее», созвучное с названием института, делает и девиз, и герб в целом геральдически «говорящими» – т. е. намекающими на имя владельца герба. В целом же девиз можно толковать как в возвышенном ключе, так и в самом обыденном – как призыв заботиться об alma mater. Начертание девиза черными литерами на серебряной ленте – классическая традиция в геральдике.

Скрещенные молот и кирка – эмблема Горного ведомства, именно в таком виде (серебро на черном) она воспроизводилась на ведомственных мундирах в момент учреждения Горного института. Молот и кирка под короной с инфулами составляют главную символику университета: в этом качестве эмблема употребляется и самостоятельно – вне щита и без девиза.

Все права как на использование герба в целом, так и эмблемы принадлежат только Уральскому государственному горному университету.

Флаг (от нидерл. *vlag*) – полотнище правильной формы (чаще всего – прямоугольное), имеющее специальную расцветку. Флаг размещают, как правило, на специальной мачте – *флагштоке*. Так же, как и в случае с *геральдикой*, флагами занимается специальная историческая дисциплина – *вексиллология* (от лат. *Vexillum* – «знамя», «флаг»), которая кроме собственно флагов занимается изучением и созданием знамен, штандартов, вымпелов и пр.

Флаг УГГУ воспроизводит ту же символику, что и герб, и представляет собой прямоугольное полотнище, ширина и длина которого соотносятся как 2 : 3 (рис. 10). Он может воспроизводиться как в виде полотнища, так и в виде вымпела.

Герб и флаг УГГУ занесены в Российский государственный реестр гербов и флагов под номерами 179 и 180.

Гимн (от др.-греч. *ὕμνος*) – песня, восхваляющая или прославляющая кого-либо (изначально – богов). Такая песня является символом наряду с гербом и флагом.

Гимн УГГУ. Несмотря на то, что студентами и преподавателями сочинено немало песен про Горный (например, застольная – «Так повелось в СГИ» и др.), официальный гимн появился в УГГУ относительно недавно. 13 апреля 2008 г. первый вариант этого гимна на ректорском совещании представил автор текста – почетный выпускник Горного Лев Дмитриевич Зонов.

Гимн УГГУ

(Слова Л. Зонова, музыка В. Орлова и А. Кудрявцева)

Наш Горный институт сам Император
Своим указом произвел на свет.
Так появилась наша альма-матер –
Уральский горный университет.

Он был открыт ветрам и добрым музам,
Науки знал и творчества секрет.
Стал на Урале самым первым вузом,
Уральский горный университет.

Припев:
Свое названье носит он по праву
И дарит всем студентам знаний свет.
Он заслужил признание и славу,
Уральский горный университет. – 2 раза

Пусть в синем небе ярко светит солнце
Над Университетом много лет.
Он в каждом сердце всех своих питомцев,
Уральский горный университет!

Он выбрал в жизни правильный фарватер,
Такого вуза в мире больше нет.
Да здравствует родная альма-матер,
Уральский горный университет!

Припев *(повторяется).*

Так как Лев Зонов – известный в Екатеринбурге бард, то первый вариант он спел под гитару, просто подобрав к словам мелодию, которую позже доработали и оформили в нотной форме декан Творческого факультета Владимир Орлов и профсоюзный лидер Александр Кудрявцев (рис. 11).

Форменная одежда

Униформа (от лат. *forma* – форма и *uniformis* – единообразный) – одинаковая по стилю, цвету и ткани служебная одежда (мундир), которая символизирует принадлежность человека к определенной организации.

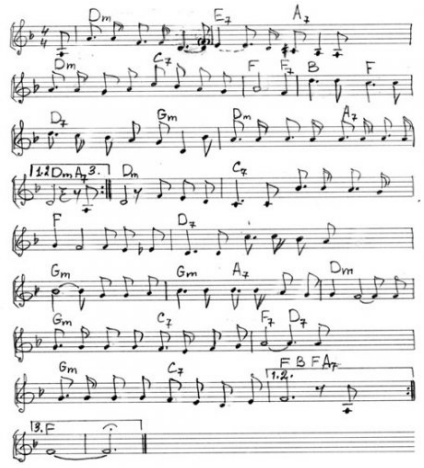


Рис. 11. Нотная запись музыки к гимну УГГУ

В наше время такая одежда чаще всего ассоциируется с военной формой, хотя она сохраняется и в других организациях (МВД, РЖД, МЧС и т. д.). Однако раньше форма была популярна гораздо больше, являясь обязательной для людей на государственной службе, а также преподавателей и учащихся различных учебных заведений – причем всех, а не только военных.

Как и у других служащих в России, у чинов горных ведомств собственная форменная одежда появилась в 60-е годы XVIII века: это был кафтан из красного сукна, детали отделки (воротник, обшлага, лацканы и пр.) – зеленого цвета, пуговицы белого металла, головной убор – треугольная шляпа. В 1804 г. были введены мундиры нового образца – из синего сукна с черной отделкой и красными кантами. С 1834 г. военизированный Корпус горных инженеров одевают в темно-зеленую форму с черной отделкой и светло-зелеными кантами, а гражданские чиновники постепенно переодеваются в форму тех же цветов. После упразднения Корпуса (в 1867 г.) горные инженеры перешли на гражданскую форму одежды, которая сохраняла черты военного мундира, имела черный и голубой цвета, а также эмблему – на пуговицах, головных уборах и петлицах. Преподаватели и учащиеся высших и средних горных учебных заведений тоже одевались в одежду горного ведомства, только в конце XIX в. поменяв ее на мундиры, установленные для всех учебных заведений в стране. Эволюцию формы для горняков можно проследить по иллюстрациям (рис. 12–14).

Современному человеку сложно даже представить себе, насколько была распространена форма среди гражданских лиц. Например, если бы мы сейчас прибыли поездом в Екатеринбург 90-х гг. XIX в., то увидели бы[5] кондуктора в черном кафтане русского покроя, на голове которого – круглая шапка с бараньим околышем с надписью: «Пермь-Тюменская железная дорога». Чиновники телеграфной конторы в то время носили двубортные сюртуки с черными бархатными воротниками и желтыми выпушками по воротнику и обшлагам, на пуговицах их мундиров – особый телеграфный знак: два пучка стрел, либо два рожка (в зависимости от статуса владельца), да еще и в темно-зеленых фуражках с кокардами. Своя форма – у полицейских, почтальонов, судейских чинов... причем форма отличается в зависимости от чина. И это – не считая того, что форму имели право носить отставные чиновники по выслуге не менее 10 лет.

Горные инженеры в то время носили двубортные темно-зеленые мундиры на восьми пуговицах со скошенным воротником и прямыми обшлагами из черного бархата со светло-синей выпушкой. В зависимости от чина шитье на мундирах имело четыре разряда. 1-й – для чиновников I–IV классов (не ниже действительного статского советника): им полагалось полное шитье по воротнику, обшлагам и карманным клапанам; 2-й – для V класса (чин статского советника): шитье по воротнику и обшлагам; 3-й – для VI–VIII классов: шитье с бортом только на воротнике; и 4-й – ниже VIII класса: шитье с бортом только на воротнике мундира. С 1884 г. для горных инженеров вместо треугольной шляпы при парадной форме ввели шапки черного сукна с черным же барашковым околышем и отложным козырьком, подбитым кожей, который, как правило, носили не отгибая. По верху околыша крепились государственный герб с киркой и молотом и кокарда, которая наполовину закрывалась гербом. А с 1900 г. в связи с 200-летним юбилеем горного ведомства в нагрудный знак горных инженеров были включены вензели Петра I и Николая II, а боковые части венка были переплетены синей лентой с датами «1700» и «1900»[6].

И, естественно, форму носили гимназисты. В конце XIX в. – темно-синие фуражки с белыми выпушками и жестяным посеребренным знаком в виде двух лавровых листьев и прописных заглавных букв города Екатеринбурга. Например, «ЕГ» означало: «Екатеринбургская 1-я гимназия». Своя форма была и в училищах, как в городских, так и в промышленных, а также в духовной семинарии и духовном училище. Пример формы горного

Рис. 12. Форма горняков со второй половины VIII века – первой половины XIX века: 1 – горный чиновник (2-я пол. XVIII в.); 2 – офицер горнозаводских войск (2-я пол. XVIII в.); 3 – горный чиновник (1804); 4 – солдат горнозаводских войск (1817); 5 – штаб-офицер Корпуса горных инженеров (1834)

Рис. 13. Форма Корпуса горных инженеров (1837-1867 гг.): 1 – кондуктор Корпуса горных инженеров (1837); 2 – чиновник Горного ведомства, служащий на Кавказе (1853); 3 – обер-офицер Корпуса горных инженеров (1855); 4 – чиновник Корпуса горных инженеров (1857); 5 – горный инженер, состоящий в генеральском чине (1867)

Рис. 14. Форма горняков (1882-1904 гг.): 1 – студент Горного института (1882); 2 – горный инженер в мундирном фраке (1885); 3 – штейгер (1896); 4 – горный инженер в парадной форме (1904); 5 – горный инженер в повседневной форме (1904)

училища – дореволюционный снимок юного Федора Сыромолотова, который при Советской власти занимал высокие посты в горном деле[7] (рис. 15).

В 1918 г. постановлением Наркомпроса РСФСР от 18 февраля «Об отмене форм и учебных знаков всех учебных заведений»

[5] Описание (с сокращениями) дается по книге: Земцов В. Н., Ляпин В. А. Екатеринбург в мундире. Екатеринбург: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1992.
[6] Эти знаки могли носить горные инженеры, находившиеся на службе до 24 августа 1900 г., все остальные чины получили специальный юбилейный жетон.
[7] Подробнее о Ф. Ф. Сыромолотове – см. Шорин А. Г. Веймарн и Артемьев: противопоставление разных педагогических систем высшего обра-зования на примере двух горных вузов в процессе их формирования // Изв. УГГУ. 2017. № 3(47). С. 113–118.

Рис. 15. Ф. Сыромолотов в форме учащегося горного училища в Екатеринбурге

Рис. 16. Форменная одежда образца 1947 года: 1 – почетный шахтер в парадной форме (установлена в 1947); 2 – горный директор в повседневной форме (1947); 3 – горный генеральный директор в парадной форме (1947); 4 – генеральный директор-инспектор Государственной горно-технической инспекции (1947); 5 – студент горных вузов (1947)

Рис. 17. Форменная одежда образца 1976 года: 1 – министр угольной промышленности СССР в двубортной тужурке (форма одежды, установленная в 1976); 2 – горный инженер (старшей должностной категории) в однобортной тужурке (1976); 3 – горный техник (младшей должностной категории) в куртке-сорочке (1976); 4 – почетный шахтер в парадном костюме (1976); 5 – горный инженер (высшей должностной категории) в зимнем пальто (1976)

Рис. 18. Контрпогон студента Свердловского горного института (1947 г.)

Рис. 19. Преподаватели УГГУ в форме

Рис. 20. Мужской вариант формы для студентов

Рис. 21. Женский вариант формы для студентов

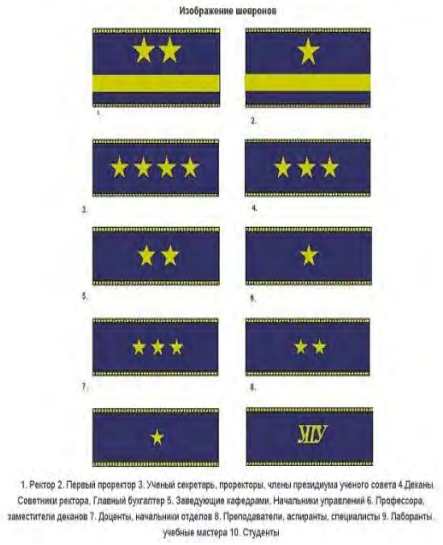


Рис. 22. Шевроны для формы УГГУ

ношение форменной одежды «служащими, учащими и учащимися Народного Комиссариата по Просвещению, а также всякого рода кокард, значков и знаков, выдаваемых по окончании учеб-

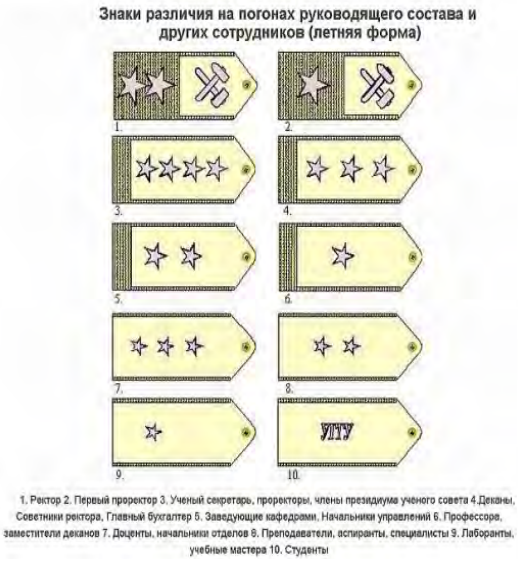


Рис. 23. Знаки различия на погонах (летняя форма)

ных заведений и присвоенных ученым степеням» было отменено. Специальная форменная одежда для работников угольной и горнорудной отраслей была введена лишь в 1947 г. (рис. 16). Привела к этому политика возврата к историческим традициям России, предпринятая руководством страны в период Великой Отечественной войны, которая затронула и деятельность такого ведомства, как Комитет по делам Высшей школы при СНК СССР. Председатель этого комитета С. В. Кафтанов еще в 1944 г. обратился с предложением о введении формы в вузах к В. М. Молотову, занимавшему в тот момент должность заместителя Председателя Совета народных комиссаров СССР, и к 1947 г. проект был воплощен в жизнь. В 1948–1949 гг. в форменную одежду решено было переодеть уже всех советских госслужащих, однако эти планы так и остались только на бумаге, а после смерти И. В. Сталина в 1953 г. отменили и уже введенную форму. В 1976 г. была предпринята попытка ренессанса: вариант ранее вводившейся формы использовался для руководящих и инженерно-технических работников угольной и сланцевой промышленности (рис. 17), но тоже недолго.

Форменная одежда Уральского Горного. В начальный период работы Уральского горного института (1917/18 и 1918/19 уч. гг.) не сохранилось сведений о введении специальной учебной формы. Скорее всего, ее просто не было: это был очень сложный исторический период, когда в Екатеринбурге несколько раз менялась власть, а руководство Уральского Горного было озабочено строительством собственного здания, обеспечением занятий в арендованных помещениях, разработкой учебного плана института и т. д., так что до введения формы руки просто не дошли, хотя сам ректор института П. П. фон Веймарн фотографировался в форме, очень похожей на форму преподавателей Петроградского Горного, где он работал до переезда в Екатеринбург. Скорее всего, форма одежды для студентов и преподавателей в этот период была произвольной.

С 1947 г., как и во всех горных вузах СССР, студенты Свердловского горного института носили форму, в которую входили черный пиджак с позолоченными контрпогонами, брюки с синим кантом, а также шинель и фуражка (рис. 17). От студентов других горных вузов страны студенты СГИ отличались лишь уникальными контрпогонами с аббревиатурой своего вуза (рис. 18).

Форменная одежда УГГУ. Современная форменная одежда, определяющая принадлежность к Горному университету, была введена в 2004 г. в целях возрождения исторических традиций и воспитания корпоративного единства сотрудников и студентов вуза. Эта форма не стала обязательной для всех преподавателей и студентов, а затрагивала лишь отдельные категории – из числа наиболее достойных. Так, например, в приказе от 24 июня 2004 г. «О введении форменной одежды в УГГУ» в

Рис. 24. Нашивки и пуговицы на форме УГГУ

Рис. 25. Летний вариант формы УГГУ

эту категорию вошли 159 сотрудников университета. Позже из числа студентов выделялись лишь некоторые из числа отличников, активистов и пр., которым было разрешено также носить эту форму (рис. 19).

Описание формы: для мужчин (рис. 20) – костюм состоит из пиджака и брюк, изготавливается из шерстяной или полушерстяной ткани темно-синего цвета, носится с однотонной рубашкой светлых тонов и галстуком. Пиджак двубортный на подкладке, застегивается на две большие форменные пуговицы. Воротник отложной, боковые карманы прямые прорезанные с клапаном. Рукава втачные с тремя малыми форменными пуговицами по локтевому шву. На верхних половинках рукавов нашиваются знаки различия – шевроны. На шевроне располагаются знаки различия, на плечах пиджака контрпогоны.

Для женщин (рис. 21) – костюм состоит из пиджака и юбки, изготавливается из шерстяной или полушерстяной ткани темно-синего цвета, носится с однотонной блузой светлых тонов. Пиджак однобортный на двух пуговицах, удлиненный, рукава втачные. Воротник отложной, спинка со швом посередине, боковые карманы прямые прорезанные с клапаном. На левой полочке верхний карман с ластовицей. Ниже нагрудная нашивка. Рукава втачные, двухшовные, с тремя малыми форменными пуговицами внизу по локтевому шву. На верхних половинках рукавов нашиваются знаки различия – шевроны. На шевроне располагаются знаки различия, на плечах пиджака контрпогоны.

Статус носящего форму отличается шевронами (рис. 22), знаками различия на погонах (рис. 23), а также пуговицами и нашивками (рис. 24). Летняя форма выполнена в светлых тонах (рис. 25).

Заключение

В этой статье подробно рассказано о различных элементах символики, которая сейчас принята в УГГУ, а также о ее происхождении. Вопрос о значимости (или обязательности) тех или иных элементов символики в разное время решался по-разному, и его обсуждение уже выходит за рамки этой статьи. Однако знание этой символики является важным для всех, кто хоть немного интересуется историей своей страны, города и вуза.

Александр Георгиевич Шорин,
sandy_blood@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Уважаемые авторы!

Журнал «Известия УГГУ» публикует результаты научных исследований российских и зарубежных авторов на русском или английском языках.

К публикации принимаются статьи, снабженные следующими необходимыми компонентами.

1. Текст статьи на русском или английском языке (либо двуязычный) в электронном виде. Статьи принимаются на электронную почту редакции: **iuggu-journal@yandex.ru.** Не допускается направление в редакцию статей, уже публиковавшихся или посланных на публикацию в другие журналы. Необходимо указывать номер УДК.

2. Список литературы на русском и английском языках. Ссылки на источники должны идти в тексте по порядку – 1, 2, 3. В тексте ссылки заключаются в квадратные скобки. Количество ссылок в тексте должно соответствовать количеству источников литературы в списке. Упоминания ГОСТ, СНиП, правил безопасности, нормативных, законодательных и других документов, а также ссылок на неофициальные источники в Интернет рекомендуется приводить в тексте статьи или в сносках, не вынося в список литературы. Обязательно отражение в статье мирового опыта по рассматриваемому вопросу, список литературы должен содержать современные зарубежные статьи (не ранее 2010 года издания). Список литературы должен содержать не менее 15 источников, из которых должно быть не более 2–3 собственных работ автора. Наличие в списке литературы учебников, учебных и методических пособий, указаний по курсовому и дипломному проектированию, конспектов лекций для студентов не допускается.

3. Аннотация и ключевые слова. Объем аннотации должен составлять 200–250 слов, ключевых слов должно быть не менее 5. По аннотации читатель должен определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации. Стоит воздержаться от второстепенной информации и выражать мысли возможно более лаконично.

В аннотации должны быть отражены: предмет, тема, цель работы; метод или методология проведения работы; результаты работы и область их применения; выводы. Перевод аннотации, ключевых слов и списка литературы на английский язык осуществляется авторами, только если они уверены в качестве перевода, если же нет – перевод осуществляется редакцией. Перевод с помощью электронных переводчиков не рекомендуется.

4. Сведения об авторах. Необходимо указать на русском и английском языках ФИО, должность, ученую степень и звание, место работы (учебы) с указанием полного почтового адреса, контактный e-mail, контактный телефон.

5. Рекомендация кафедры, или члена редколлегии, или редактора по разделу (в случае, если автор не имеет ученой степени).

6. Экспертное заключение о возможности опубликования. В сканированном или распечатанном виде.

7. Согласие на обработку персональных данных. Можно как прислать в сканированном виде, так и принести в редакцию. Бланк можно взять в редакции.

Статью необходимо по возможности структурировать (разбивать на отдельные разделы) для более удобного восприятия материала.

Плата за публикацию с авторов научно-технических статей, включая аспирантов, в порядке общей очереди не взимается.

Оформление статей

1. Редактор Microsoft Word, гарнитура Times New Roman. Поля документа: левое 3 см, остальные – 2,5 см. Кегль 11, одинарный интервал. Абзацный отступ 0,63. Страницы нумеруются. Не допускаются пробелы между абзацами.

2. В тексте допускаются только общепринятые сокращения слов. Все сокращения в тексте, рисунках, таблицах должны быть расшифрованы.

3. Формулы должны быть набраны в редакторе Microsoft Equation и пронумерованы, если в тексте имеются ссылки на них. При наборе формул и текста латинские буквы выделяют курсивом, а русские, греческие и цифры – прямым шрифтом. Кегль шрифта в формулах должен совпадать с кеглем шрифта основного текста. Тригонометрические знаки (sin, cos, tg, arcsin и т. д.), знаки гиперболических функций (sh, ch, th, cth и т. д.), обозначения химических элементов (Al, Cu, Na и т. д.), некоторые математические термины (lim, In, arg, grad, const и т. д.), числа или критерии (Re – Рейнольдса и т. д.), названия температурных шкал (°C – градусы Цельсия и т. д.) набираются прямым шрифтом.

4. Физические единицы приводятся в системе СИ.

Графический материал

Рисунки, карты, чертежи предоставляются в электронном и бумажном виде, в цветном и/или черно-белом исполнении. Изображения должны быть четкими, контрастными. Таблицы и схемы должны быть пригодными для правки. Таблицы и схемы, сканированные как изображения, не принимаются.

На картах обязательно указывается масштаб. На чертежах, разрезах, картах должно быть отражено минимальное количество буквенных и цифровых обозначений, а их объяснение – в подрисуночных подписях. Ксерокопии и сканированные ксерокопии фотографий не принимаются. Рисунки с нечитаемыми или плохо читаемыми надписями, с подписями «от руки», слишком тонкими линиями не принимаются.

Подрисуночная подпись должна быть набрана 7 кеглем, основной текст в таблице – 7 кеглем, шапка таблицы – 7 кеглем. Гарнитура текста в рисунках и таблицах – Arial, кегль 7.

Все статьи подлежат рецензированию, мнение рецензента всегда доводится до сведения автора.

Примеры оформления списка литературы

Монографии

Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. 280 с.

Статьи в периодических изданиях

Абатурова И. В., Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия месторождений Урала в скальных массивах // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 6. С. 160–168.

Авторефераты, диссертации

Овечкина О. Н. Оценка и прогноз изменения состояния геологической среды при техногенном воздействии зданий высотной конструкции в пределах города Екатеринбурга: автореф. … дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2013. 24 с.

Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем: дис. … канд. техн. наук. М.: МИФИ, 2007. 170 с.

Зарубежные исследования

Hudson J. A. The Scattering of Elastic Waves by Granular Media. Quart Journal Mech. and Applies Math. 1968. Vol. XXI. Pt. 4. pp. 487–502.

Сетевые источники

Биржевой навигатор. URL: http://stock-list.ru/natural-gas.html

Памятка для авторов

Научный журнал не может (и не должен) развиваться только силами редакции. Поэтому, предъявляя новые требования к себе, мы предъявляем их и к авторам, которые хотят публиковаться в нашем журнале.

Требования к оформлению высылаемых рукописей мы публикуем на нашем сайте, а также на последней странице каждого нового выпуска. Здесь мы не будем повторять все это, лишь расскажем о нововведениях, которые нам представляются наиболее важными.

Аннотация. Как на русском, так и на английском языках аннотации сейчас принимаются только расширенные – не менее 200 слов. Делается это для того, чтобы читатель (в том числе иностранный) мог в считанные минуты понять, о чем данная статья и представляет ли она для него интерес.

Список литературы. К сожалению, публикации в советских журналах традиционно отличались от иностранных меньшим числом источников. Кроме того, отечественные ученые зачастую не утруждают себя изучением иностранных публикаций на интересующую тему. Также часты использования в качестве источников различных учебников, методичек и пр. Все это значительно снижает уровень публикаций. Поэтому мы взяли за правило рекомендовать авторам расширять список литературы до 10–15 источников с обязательным использованием современных зарубежных публикаций. Исключения возможны, но они должны быть обоснованными.

DOI. Помимо ставшего уже привычным для авторов присваиваемого каждой статье номера УДК, начиная со второго номера нынешнего года (№ 2 (42), 2016) каждой статье в обязательном порядке присваивается номер DOI.

DOI (*англ.* Digital object identifier) – классификатор цифрового объекта для создания постоянных гиперссылок, которые позволяют сохранять информацию о конкретной статье в сети Интернет, даже если изменилась структура сайта, где эта статья изначально была сохранена.

Проще говоря, номер DOI позволяет научной статье гарантированно открываться и быть доступной для поиска в сети, что совершенно необходимо для того, чтобы статья могла цитироваться с помощью Интернета, не затрудняя авторов поисками ее в библиотеках и архивах – своего рода дань современным IT-технологиям.

Редакцией «Известий УГГУ» заключен договор с Некоммерческим партнерством «Национальный Электронно-Информационный консорциум» (НП НЭИКОН), которое предоставляет в России посреднические услуги по присвоению DOI от регистрационного агентства (DOI Registration Agency) CrossRef. Это самый современный центр регистрации Международной организации документации, основной задачей которого является организация доступа пользователей к первичным публикациям, содержащим научный контент, и содействие коллективной работе издателей по всему миру. Эту кооперативную справочную систему сейчас используют большинство научных журналов в мире.

DOI обязательно указывается при цитировании статьи. В журнале «Известия УГГУ» DOI сейчас присваивается каждой вновь вышедшей статье. Также номер DOI может быть присвоен любой из статей, которые ранее публиковались в нашем журнале – но уже не в обязательном порядке, а по желанию авторов. Для желающих достаточно сделать заявку в редакцию.

Качество перевода. Нас не устраивает перевод аннотаций (и уж тем более – статей) с помощью электронных переводчиков. Если вы не уверены в своем переводе, лучше обратитесь за помощью в редакцию. Лучше не предоставить никакого перевода, чем перевод низкого качества.

Качество рисунков. Рисунок должен оставаться качественным при увеличении. Не забывайте о том, что статья будет опубликована не только в бумажной, но и в электронной версии.

Качество текстов. При рассмотрении рукописи авторитет и заслуги автора статьи во внимание не принимаются – только качество присланного текста. Для этого введено двойное слепое рецензирование.

Слепое рецензирование. Два рецензента оценивают качество статьи, не зная, кто ее автор. В случае, если рецензент узнает автора, то рукопись автоматически передается другому рецензенту – из числа экспертов, сотрудничающих с журналом. Делается это для того, чтобы личные отношения не влияли на качество рецензии. Автор также не знает своего рецензента.

Помимо этого, правила публикации текстов предполагают их разнообразие. Поэтому **недопустима публикация двух статей одного автора в одном номере журнала.** То же правило распространяется и на соседние номера. Так мы поддерживаем разнообразие тем и авторов, исключая превращение журнала в издание, где постоянно публикуется десяток одних и тех же авторов. Исключение составляют статьи вне научных разделов, а также статьи, продолжающиеся из номера в номер. В качестве альтернативы публикации в нашем журнале мы можем предложить автору опубликоваться в другом журнале, с которым у нас заключен договор по обмену статьями.

Очередь. Сроки публикации зависят от количества (и качества) статей, предложенных редакции. Если статей много, они публикуются в порядке очередности, однако редакция оставляет за собой право печатать вне очереди те из них, которые считает наиболее значимыми.

Автор должен также подписать согласие на использование редакцией журнала "Известия УГГУ" его персональных данных.

Ответственный секретарь Шорин А. Г.
Перевод Шиварева Е. П., Киселева Е. И.
Редакторы Шорина Э. В., Безруких А. П.
Верстка Шориной Э. В.
Корректура Пихтовниковой О. Г.

Подписано в печать 01.11.2017. Формат 60 × 84/8. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 16,28. Тираж 500. Заказ № 12.

Почтовый адрес редакции: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,
Уральский государственный горный университет, к. 3142.
Тел.: (343)251-15-95
E-mail: iuggu-journal@yandex.ru
http://iuggu.ru

Отпечатано в типографии
ООО "Издат-Принт"
394033, г. Воронеж, пр-т Ленинский, 119а

НАШ САЙТ: IUGGU.RU

На обложке: герб Уральского государственного горного университета. Читайте в этом номере статью А. Г. Шорина «Символика Уральского Горного»

На задней стороне обложки: фото вверху – учебный абонемент научной библиотеки УГГУ в 1975 году. внизу – читальный зал той же библиотеки в наше время. Читайте статью Е. А. Справцевой "К столетию научной библиотеки Уральского Горного".