



ИЗВЕСТИЯ

Уральского государственного горного университета



Выпуск 2 (50), 2018 г.

Учредитель

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

ИЗВЕСТИЯ

Уральского государственного горного университета

Научно-технический журнал



Scientific and technical journal

Issue 2(50)

2018

Уральский государственный горный университет

Известия Уральского государственного горного университета 2018. вып. 2

Ural State
Mining University

News of the Ural State Mining University 2018, issue 2

















Журнал выходит 4 раза в год

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.

Published 4 times a year

News of the Ural State Mining University is a peerreviewed 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

Международный совет

БУЙ Сюань Нам — Dr.-Ing., Assoc. Prof., проректор, Ханойский университет горного дела и геологии, Ханой, Вьетнам ВЕКСЛЕР Юлиан Абрамович — Dr.-Ing.habil, Prof., Дахау, Германия, Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH

ВЕРШКОВ Александр Федорович – д-р экон. наук, Алматы, Казахстан, Департамент геологии АО «Волковгеология» **ДРЕБЕНШТЕДТ** Карстен – Prof., Dr.-Ing., Фрайберг, Герма-

ДРЕБЕНШТЕДТ Карстен – Prof., Dr.-Ing., Фрайберг, Германия, Фрайбергская горная академия

МЕРКЛЕ Роланд Карл Вилли – Dr, Prof., Претория, Южная Африка, Университет Претории

МОРКУН Владимир Станиславович – д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе, Кривой Рог, Украина, Криворожский национальный университет

САДОВЕНКО Иван Александрович – д-р техн. наук, профессор, Днепр, Украина, Национальный горный университет

САКСЕНХОФЕР Рейнхард Ф. – Univ.-Prof., Mag.rer.nat., Dr.mont., Леобен, Австрия, Горный университет Леобена **ФЕРРЕРО** Анна Мария – PhD, Турин, Туринский университет. Италия

Национальный совет

ВАЛИЕВ Нияз Гадым-оглы – д-р техн. наук, профессор, первый проректор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет

ГЛАЗЫРИНА Ирина Петровна – д-р экон. наук, канд. физ.мат. наук, Чита, Россия, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

ГОЛИК Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор, Владикавказ, Россия, Северо-Кавказский горно-металлургический институт

ДАВЫДОВ Ва́дим Анатольевич – канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник, Екатеринбург, Россия, Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН

ДАШКО Регина Эдуардовна – д-р геол.-минерал. наук, профессор, Санкт-Петербург, Россия, Санкт-Петербургский горный университет

ДОРОШЕНКО Юрий Анатольевич — д-р экон. наук, профессор, Белгород, Россия, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

ДУШИН Алексей Владимирович – д-р экон. наук, и. о. ректора, 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 **ИГОЛКИНА** Галина Валентиновна – д-р геол.-минерал. наук, Екатеринбург, Россия, Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН

КОРОТЕЕВ Виктор Алексеевич – академик РАН, д-р геол.минерал. наук, профессор, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН

ЛАРИЧКИН Федор Дмитриевич — д-р экон. наук, главный научный сотрудник, Апатиты, Мурманская обл., Россия, Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина Кольского научного центра РАН

МА́ЛИЧ Крешимир Ненадович — канд. геол.-минерал. наук, Екатеринбург, Россия, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН

НАЗАРОВА Зинаида Михайловна – д-р экон. наук, профессор, Москва, Россия, Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе

НАУМОВ Владимир Александрович — д-р геол.-минерал. наук, доцент, Пермь, Россия, Пермский государственный национальный исследовательский университет

ПИСЕЦКИЙ Владимир Борисович — д-р геол.-минерал. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет

ПОТАПОВ Валентин Яковлевич – д-р техн. наук, доцент, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет

РИХВАНОВ Леонид Петрович — д-р геол.-минерал. наук, профессор, Томск, Россия, Национальный исследовательский Томский политехнический университет

СУНГАТУЛЛИН Рафаэль Харисович – д-р геол.-минерал. наук, доцент, Казань, Россия, Казанский (Приволжский) федеральный университет

ЩАПОВ Вла́дислав Анатольевич – д-р геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник, Екатеринбург, Россия, Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН

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

International council

Xuan Nam Bui, Dr.-Ing., Associate Professor, Vice Rector (Hanoi, Vietnam, Hanoi University of Mining and Geology)

C. Drebenstedt, Professor, Dr.-Ing. (Freiberg, Technical University Bergakademie)

A.-M. Ferrero, PhD (Torino, Italy, Universita degli Studi di Torino)

R. K. W. Merkle, Dr, Professor (Pretoria, South Africa, University of Pretoria)

V. S. Morkun, Dr. Professor, Vice-Rector for scientific work (Krivoy Rog, Ukraine, Kryvyi Rih National University)

I. A. Sadovenko, Dr, Professor (Dnepr, Ukraine, National Mining University)

R. F. Sachsenhofer, Mag.rer.nat., Dr.mont., Univ.-Professor (Leoben, Austria, Montanuniversitat Leoben)

Ju. A. Veksler, Dr.-Ing.habil, Prof. (Dachau, Germany, Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH)

A. F. Vershkov, Dr, Professor (Almaty, Kazakhstan, Geology Department in Uranium Exploration Company «Volkovgeologiia»)

National council

- **V. I. Golik,** Dr, Professor (Vladikavkaz, Russia, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)
- V. A. Davydov, PhD (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
- R. A. Dashko, Dr. Professor (Saint Petersburg, Russia, Saint-Peterburg Mining University)
- Yu. A. Doroshenko, Dr, Professor (Belgorod, Russia, Belgorod State Technological University named after B. G. Shukhov)
- A. V. Dushin, Dr, Rector (Ékaterinburg, 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)
- **I. P. Glazyrina,** Dr, Professor (Chita, Russia, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the RAS)
- **K. S. Ivanov**, Dr (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
- **G. V. Igolkina**, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geophysics, 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)

- **F. D. Larichkin,** Dr (Apatity, Murmansk region, Russia, Luzin Institute for Economic Studies Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»)
- **K. N. Malitch,** PhD (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
- V. A. Naumov, Dr, Associate Professor (Perm', Russia, Perm State University)
- **Z. M. Nazarova**, Dr, Professor (Moscow, Russia, Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze)
- **V. B. Pisetski**, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
- V. Ya. Potapov, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
- **L. P. Rikhvanov**, Dr, Professor (Tomsk, Russia, Tomsk Polytechnic University)
- V. Á. Shchapov, Dr, Professor (Ekaterinburg, Russia, Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
- **R. Kh. Sungatullin,** Dr, Associate Professor (Kazan', Russia, Kazan Federal University)
- N. G. Valiev, Dr. Professor, First Vice-Rector (Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
- **A. N. Zotov**, Dr, Professor (Ufa, Russia, Ufa State Petroleum Technological University)

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- 7 ВОЗРАСТ И СОСТАВ ГРАНИТОИДОВ ИЗ ФУНДАМЕНТА КРАСНОЛЕНИНСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЙОНА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ) К. С. Иванов, Ю. В. Ерохин, В. С. Пономарев (IN ENGLISH)
- 15 О НАХОДКЕ ЗОЛОТА, СЕРЕБРА, МЕДИ, СВИНЦА, ВИСМУТА И ВОЛЬФРАМА В ПЕГМАТИТАХ ЛИПОВКИ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

 А. В. Захаров, В. В. Хиллер (IN ENGLISH)
- 20 СУБАКВАЛЬНЫЕ СТАЛАКТОИДЫ В ДАЛЬНЕМ ВЕРХНЕМ ОЗЕРЕ ПЕЩЕРЫ ШУЛЬГАН-ТАШ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)
 О. Я. Червяцова, С. С. Потапов, Л. Ю. Кузьмина, Л. В. Леонова (IN ENGLISH)
- 26 РОЛЬ ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НАДСОЛЕВОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ
 - И. В. Быстрова, Т. С. Смирнова, Д. А. Бычкова, М. С. Мелихов
- 35 ФАЦИИ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ О. Н. Грязнов
- 41 ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ОВАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ РУДНОЙ ОБЛАСТИ НАМПАТЕН (ЛАОС) Б. Суваннудом, В. Б. Болтыров, Е. А. Слободчиков
- 49 КОМПЛЕКСНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНАХ **Е. С. Контарь**
- 55 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ П. А. Белкин, В. Н. Катаев
- 65 ИЗУЧЕНИЕ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В. А. Давыдов, В. А. Щапов, Г. А. Цай
- 72 СТОХАСТИЧЕСКОЕ ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ ВОДОНОСНЫХ СВОЙСТВ НЕОДНОРОДНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ О. А. Дышин, Ф. Ф. Магеррамов

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 79 ТРЕНД-АНАЛИЗ СВОЙСТВ ПОРОДНОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЯДОВ О. Г. Латышев, О. О. Казак (IN ENGLISH)
- 85 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ РАЗДРОБЛЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ОСАДОЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ С. Н. Шабаев

EARTH SCIENCES

- 7 AGE AND COMPOSITION OF GRANITOIDS FROM THE BASEMENT OF KRASNOLENINSKY OIL AND GAS REGION (WESTERN SIBERIA)
 K. S. Ivanov, Yu. V. Erokhin, V. S. Ponomarev (IN ENGLISH)
- 15 NATIVE METALS FROM GRANITIC PEGMATITES
 OF THE LIPOVSKOYE VEIN FIELD
 (MIDDLE URAL)
 A. V. Zakharov, V. V. Khiller
 (IN ENGLISH)
- 20 SUBAQUEOUS STALACTOIDS IN THE DAL'NEE
 VERKHNEE LAKE OF THE SHULGAN-TASH CAVE
 (SOUTHERN URALS)
 O. Ya. Chervyatsova, S. S. Potapov, L. Yu. Kuz'mina,
 L.V. Leonova
 (IN ENGLISH)
- 26 THE ROLE OF THE PALEONTOLOGICAL ASPECTS
 TO DETERMINE THE HYDROCARBON POTENTIAL
 OF THE NORTH-WESTERN CASPIAN POST-SALT
 COMPLEX
 I. V. Bystrova, T. S. Smirnova, D. A. Bychkova,
 M. S. Melikhov
- 35 FACIES OF THE CONTINENTAL FORMATIONS' VOLCANOGENIC ROCKS
 O. N. Gryaznov
- 41 OVAL DEFORMATION OF THE STRUCTURE OF THE ORE REGION OF NAMPATEN (LAOS)

 B. Souvannoudom, V. B. Boltyrov,
 E. A. Slobodchikov
- 49 COMPLEX DEPOSITS OF NONFERROUS AND PRECIOUS METALS IN SEDIMENTARY BASINS E. S. Kontar'
- 55 REGULARITIES OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF TECHNOGENIC TRANSFORMATION WHICH GROUNDWATER UNDERGOES IN THE AREAS OF THE POTASH DEPOSITS DEVELOPMENT P. A. Belkin, V. N. Kataev
- 65 STUDY OF HAZARDOUS NATURAL AND MAN-MADE GEOLOGICAL PROCESSES USING GEOPHYSICAL METHODS

 V. A. Davydov, V. A. Shchapov, G. A. Tsay
- 72 STOCHASTIC INTERPOLATION
 OF AQUIFER PROPERTIES OF HETEROGENEOUS
 GEOLOGIC MEDIA USING
 FRACTAL PROCESSES
 O. A. Dyshin, F. F. Magerramov

ENGINEERING SCIENCES

- 79 TREND ANALYSIS OF THE ROCK MASS PROPERTIES ON THE BASIS OF FRACTAL REPRESENTATION OF SPATIAL RANGES
 O. G. Latyshev, O. O. Kazak
 (IN ENGLISH)
- 85 THE FACTORS WHICH INFLUENCE THE BEARING CAPACITY OF THE FRACTURED ROCKS OF SEDIMENTARY ORIGIN
 S. N. Shabaev

95	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ В ПРИГОТОВЛЕНИИ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ В.И.Голик, Ю.В.Дмитрак, Чжун Чан, С.А.Масленников	95	THE USE OF TAILINGS WHILE PREPARING HARDENING FILLING MIXTURES V. I. Golik, Yu. V. Dmitrak, Chzhun Chan, S. A. Maslennikov
102	РЕЗУЛЬТАТЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ МЕЛЬНИЦ ТИПА SAG, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ И. А. Габибов, Ф. М. Гамидов, П. П. Чакраборти	102	RESULTS OF IMPROVEMENTS OF THE TYPE SAG MILLS, USED IN THE AZERBAIJAN INTERNATIONAL MINING COMPANY I. A. Gabibov, F. M. Gamidov, P. P. Chakraborty
107	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНКИ, ОБРАЗУЮЩЕЙ КАМЕРУ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ГОРНОТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ Е.В.Рябко	107	MATHEMATICAL MODEL AND CALCULATION RESULTS OF THE TEMPERATURE OF THE WALL FORMING THE COMBUSTION CHAMBER OF THE DIESEL ENGINE MINING MACHINE E. V. Ryabko
114	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ НЕПОДВИЖНЫХ ГРОХОТОВ А.В.Юдин,В.С.Шестаков,М.К.Абдулкаримов	114	IMPROVING THE SCREENING SURFACE AND THE EFFICIENCY OF THE SPLIT ROCK MASS OF STATIONARY SCREENS A. V. Yudin, V. S. Shestakov, M. K. Abdulkarimov
ЭКОІ	НОМИЧЕСКИЕ НАУКИ	ECO	NOMIC SCIENCES
122	УЧЕТ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЗОВОВ И РИСКОВ В УСТОЙЧИВОМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ Ю.В.Лебедев, Т.А.Лебедева, П.А.Коковин, Н.С.Иванова (IN ENGLISH)	122	CONSIDERING THE CURRENT CHALLENGES AND RISKS IN THE SUSTAINABLE LAND USE FOR MINING TERRITORIES Yu. V. Lebedev, T. A. Lebedeva, P. A. Kokovin, N. S. Ivanova (IN ENGLISH)
130	ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И.В. Ершова, О.О. Подоляк, А.В. Данилов	130	THE FACTORS OF THE EFFECTIVENESS OF INTRODUCING ROBOTIC COMPLEX AT RUSSIAN ENTERPRISES I. V. Ershova, O. O. Podolyak, A. V. Danilov
135	ПРОМЫШЛЕННАЯ ПОЛИТИКА КАК СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ И СОЦИАЛЬНО ДРУЖЕСТВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА О. А. Романова	135	INDUSTRIAL POLICY AS A MODERN INSTRUMENT OF FORMING ECOLOGICALLY AND SOCIALLY FRIENDLY SPACE O. A. Romanova
142	ФОРМИРОВАНИЕ СИНЕРГИИ ДЛЯ ИННОВАЦИЙ НА ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ Н. В. Галкина, М. Н. Полещук	142	FORMATION OF A SYNERGY FOR THE MINING INDUSTRY INNOVATIONS N. V. Galkina, M. N. Poleshchuk
148	МЕТОДИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛНОТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕВОЗОБНОВИМЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОМ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ О.В.Косолапов, А.В.Душин	148	METHODOLOGICAL TOOLS TO ENSURE THE COMPLETENESS OF THE NON-RENEWABLE RESOURCES USE IN AN ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE SUBSOIL USE O. V. Kosolapov, A. V. Dushin
ИСТО	АЛЭД ОТОНЧОТ RNYC	HISTO	ORY OF MINING
153	ВКЛАД УРАЛА В МИНЕРАЛЬНОЕ МНОГООБРАЗИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ Ю.В.Поленов	153	THE CONTRIBUTION OF THE URALS IN THE MINERAL DIVERSITY OF THE EARTH'S CRUST Yu. V. Polenov

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 550.83+552.321.1(571.1)

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-7-14

AGE AND COMPOSITION OF GRANITOIDS FROM THE BASEMENT OF KRASNOLENINSKY OIL AND GAS REGION (WESTERN SIBERIA)

Kirill Svyatoslavich Ivanov, ivanovks55@yandex.ru Yuriy Viktorovich Erokhin, erokhin-yu@yandex.ru Vladimir Sergeevich Ponomarev p123v@yandex.ru Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Ekaterinburg, Russia

The relevance of the study consists in the insufficient level of scrutiny of the crystalline basement of the West Siberian megabasin. The purpose of this research is to study the material composition and age of granitoids from the pre-Jurassic basement of Krasnoleninsky oil and gas region in the Ural part of the West Siberian megabasin.

Research methodology: a detailed study of mineralogy, petrochemistry, geochemistry and age (different isotope systems using K–Ar, Rb–Sr and U–Pb methods of dating) of the granites in the Krasnoleninsky area.

Results. The mineralogy and petrogeochemical of the Krasnoleninsky region granites are studied in detail. It was found that rocks are composed of quartz, plagioclase (albite and oligoclase), potassic feldspar (microcline and orthoclase) and mica (annite). The accessory mineralization in the form of rutile, apatite, magnetite, titanite, monazite, zircon and cassiterite is added. Granites are subject to propylitization, which is expressed in the development of secondary carbonate, chlorite, sericite and albite. The sulfide (chalcopyrite, galena) and native (gold, silver) mineralization is also added to it. On petrogeochemical characteristics of rocks belong to granitoids of S-type, the source of substance for them was mainly sedimentary rocks. Granites are of early Permian age, which, apparently, reflects the process of raising granites to the level of the upper crust during riftogenesis and stretching of the entire region.

Summary. The granites of the Kamennaya petroleum exploration area are an integral part of the regional Shaimsky-Kuznetsovsky anticlinorium. The time of magmatic introduction and crystallization of granites of the Krasnoleninsky area is estimated at 300 million years, as well as of the granitoids of the nearby Shaimsky oil and gas area. The difference between U-Pb (297.9 \pm 3.8 million years) and Rb-Sr (291.8 \pm 2.1 million years) granite ages is likely to result from the gradual cooling of the granite massif. This happened because the uranium-lead isotope system closes at a higher temperature than the rubidium-strontium one. We interpret the "Mesozoic" numerals obtained by the K-Ar method as the time of the last tectonic-thermal events, most likely expressed in the form of granites propylitization.

Keywords: mineralogy; age; granites; pre-Jurassic basement; Kamennaya area; Krasnoleninsky region; Western Siberia.

ntroduction

World experience shows that granitoids are the most promising for searching hydrocarbon deposits out of all the complexes of sedimentary basins basements, and only then – limestone or other rocks [1 and others]. Western Siberia in this sense is no exception. Apparently, this is primarily due to the low specific gravity of granites. It is due to this, that granite batolites, together with the surrounding sialic slates, often form large (usually up to several hundred meters) ledges on the basement surface. When the crimp of these ledges with clay packs of the lower horizons of the sedimentary cover takes place (these packs are impermeable beds), the industrially significant tanks are often obtained with oil and/or gas condensate. This happens due to the cracks and secondary changes in granitoids. This especially happens in the event of the joining of lower oil-saturated horizons of the sedimentary cover to the traps of this type.

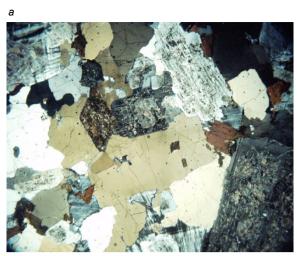
We have studied the deep core of granitoids from a large massif within a Kamennaya oil exploration area located within the Krasnoleninsky oil and gas region. This area is located directly northeast of Shaimsky area. Its foundation is the major regional late Paleozoic "granite-schist axis", also known as the Shaim-Kuznetsovsky meganticlinorium of the Trans-Uralian uplift (the central axial part). The Northern part of the late Paleozoic "granite-schist axis" can be traced, according to the geological and geophysical mapping [2], in the form of several granite plutons in the pre-Jurassic basement of the Krasnoleninsky uplift.

Mineralogy and geochemistry of granites

The Kamennaya area granitoids have a massive texture, medium-grained to fine-grained, weakly porphyritic structure (Fig. 1). The main rock-forming minerals are: plagioclase (≈ 40 %), potassic feldspar (≈ 25 %), quartz (≈ 25 %), biotite (8–10 %), accessory minerals – apatite, zircon, rutile, titanomagnetite, and monazite.

The plagioclase forms tabular or slightly idiomorphic grains with a size of 0.4–5 mm in diameter. It is presented with a zonal (number of zones from 2 to 4), double-ended grains. Rims have different widths – from whisker to 1/3 of the width of the grain, they often developed myrmekite. Cores are heterogeneous ("spots" of the oscillating basicity), sericitized and carbonatized (more basic parts). Some parts are saussuritized. The smallest grains are only sericitized or almost not changed. According to the microprobe analysis, the composition of plagioclase varies from oligoclase in the central part to pure albite in the rim zones (Table 1, analyses 1–2).

The potassic feldspar forms a shapeless mass between the grains of plagioclase. It is predominantly represented by the lattice type, i. e., microcline, but there are and orthoclase. The transitions occur within a single grain (among lattice plots are monotonous "spots"). The perthite occur in the form of spindles or small, idiomorphic weak spots. The poikilitic structure manifested rarely,



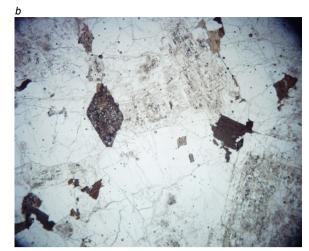


Figure 1. Granite from the pre-Jurassic basement Krasnoleninsky region. Kamennaya area. Kam P68/2555 m, well P–68, depth 2555 m. a – analyzer; b – without analyzer. The field length is 2.5 mm.

Рисунок 1. Гранит из доюрского фундамента Красноленинского района. Каменная площадь, обр. Кам P68/2555 м, скв. P-68, гл. 2555 м: *a* – с анализатором, *б* – без анализатора. Длина поля 2,5 мм.

Table 1. The chemical composition (in wt. %) of minerals of granite Kamennaya area (Kam P68/2555). Таблица 1. Химический состав минералов из гранита Каменной площади (Кам P68/2555).

Nº	SiO ₂	TiO ₂	Al_2O_3	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	F	Total
					Pla	gioclase						
1c	65.39	-	22.19	-	0.10	-	_	3.26	9.61	0.08	_	100.65
1r	66.00	0.02	21.83	-	0.06	0.01	_	2.49	9.47	0.07	_	99.96
2c	63.35	0.02	23.06	0.01	0.12	_	_	4.78	9.11	0.20	_	100.64
2r	65.38	0.04	21.74	_	0.15	_	_	2.84	10.12	0.20	_	100.47
					Potass	ium feldsp	ar					
3	64.60	_	18.52	0.02	0.09	_	_	_	0.35	16.19	_	99.76
4	64.19	_	18.73	_	0.06	0.01	_	_	0.46	15.93	_	99.40
5	64.99	0.04	17.86	0.01	0.10	_	_	_	0.45	15.95	_	99.40
6	65.18	_	18.39	0.01	0.15	_	0.01	0.02	0.45	16.00	_	100.22
						Mica						
7	36.21	3.37	13.96	0.05	20.68	0.30	11.42	0.02	0.06	8.06	0.68	94.80
8	36.46	3.45	13.46	0.12	20.50	0.19	11.21	0.09	0.12	7.10	0.94	93.65
9	36.39	3.48	13.71	0.08	20.45	0.27	11.42	0.13	0.10	7.04	0.71	93.78
10	35.45	3.37	14.47	0.03	21.60	0.32	11.47	0.04	0.04	7.61	0.30	94.70
					C	Chlorite						
11	27.36	0,04	18.82	0.06	23.14	0.54	17.38	0.01	0.03	0.03	_	87.39
12	27.42	0,06	18.50	0.03	23.00	0.55	17.53	0.02	0.03	0.02	_	87.15
13	27.93	0,02	18.32	0.03	22.68	0.51	17.75	0.03	0.05	0.04	_	87.35
						rbonate						
14	_	_	_	_	0.71	0.56	_	49.67	_	_	_	50.94

Note: the analyses have been done in the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS on the CAMECA SX 100, analyst V. V. Khiller, c – center of the grain, r – rim of the grain.

sometimes small tables plagioclase or biotites are enclosed in pure potassic feldspar. According to the microprobe studies the potash feldspar has zoning; the central parts of the grains contain higher values of Na_2O of 0.5 wt. % (Table 1, analyses 3–6).

Quartz forms segregation of panidiomorphic grains of different sizes, the grains sometimes have mosaic fading. It contains the "bays" of the substance of potassic feldspar.

Biotite forms scales and blades, often corroded in the rims, which pleochroic from gray-yellow to dark brown. It sometimes contains sagenite lattice, ilmenite spindles, and inclusions of ore mineral, apatite and sphene. According to the microprobe analysis biotite relates to magnesian annite (Table 1, analyses 7–10). Some small scales of mica are replaced by very light green chlorite. The composition of the chlorite aggregates are defined as ferrous clinochlore (Table 1, analyses 11–13).

In the rock there sometimes happen former envelopes of titanite replaced by an aggregate of carbonate and rutile, as well as separate clusters (0.5 mm) of carbonate (calcite, see Table 1, analysis 14). Granites are subject to secondary changes, first of all

Table 2. Chemical composition of gold and silver from granite of the Kamennaya area, wt. %. Таблица 2. Химический состав (в мас.%) золота и серебра из гранитов Каменной площади.

•	,	, ,			•	
Element	Cu	As	Ag	Hg	Au	Total
			Native gold			
1	0.17	_	-	2.82	97.48	100.47
2	0.16	_	_	2.64	96.28	99.09
3	0.14	0.27	0.10	4.39	96.90	101.81
4	0.16	0.46	0.02	1.54	95.91	98.09
5	0.15	0.43	_	2.17	97.76	100.51
			Native silver			
6	0.05	_	100.10	-	0.01	100.16
7	0.06	0.23	99.96	0.04	0.05	100.34
8	_	_	99.67	-	0.02	99.69
9	0.13	0.07	99.30	_	0.04	99.54
10	0.01	_	99.54	_	_	99.55

Note: microanalyzer CAMECA SX 100 Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, analyst V. V. Khiller.

Table 3. Chemical (in weight %) and trace element (in ppm) composition of granites in the Kamennaya area. Таблица 3. Химический (в вес.%) и микроэлементный (в г/т) состав гранитов Каменной площади.

Depth meters	2553	2555	2556	2564	Depth meters	2553	2555	2556	2564
SiO ₂	69.14	69.21	68.70	68.00	Ce	60.19	37.74	52.07	57.13
TiO ₂	0.47	0.45	0.49	0.55	La	35.39	17.08	29.03	31.95
Al_2O_3	14.71	14.80	17.73	14.56	Pr	6.70	4.11	6.15	6.68
FeO	2.20	1.51	2.00	2.80	Nd	23.94	15.61	22.38	24.75
Fe ₂ O ₃	0.68	1.20	1.00	0.91	Sm	3.84	2.85	3.72	4.22
MnO	0.05	0.06	0.05	0.06	Eu	0.88	0.76	0.88	0.98
CaO	0.88	1.25	1.11	1.29	Gd	2.89	2.23	2.84	3.37
MgO	1.38	1.32	1.34	1.54	Tb	0.39	0.33	0.38	0.48
K ₂ O	3.55	3.46	3.35	3.39	Dy	1.69	1.61	1.66	2.17
Na ₂ O	4.05	4.20	4.20	4.20	Er	0.83	0.85	0.79	1.04
P_2O_5	0.14	0.15	0.15	0.16	Tm	0.12	0.12	0.10	0.14
L.O.I.	1.98	1.86	1.97	2.62	Hf	0.89	1.39	0.93	0.99
Sr	346.61	402.73	403.25	399.24	Та	3.49	1.15	1.26	1.77
Rb	134.17	140.67	125.96	146.10	Pb	24.36	22.02	21.70	21.83
Zr	54.84	89.38	62.81	68.04	Th	13.87	17.56	14.84	24.23
Yb	0.74	0.75	0.67	0.86	U	2.72	2.58	2.50	3.82
Υ	9.72	9.34	9.38	13.78	W	0.71	0.54	0.69	0.65
Sc	7.27	6.68	7.39	10.61	Ga	36.70	37.68	39.73	42.01
V	48.55	49.43	51.88	65.68	Ge	1.50	1.42	1.54	1.64
Co	8.23	8.21	9.54	10.35	Мо	0.39	0.39	0.80	0.45
Ni	17.96	18.60	19.41	22.70	TI	0.67	0.74	0.62	0.62
Ва	616.73	637.84	642.14	689.98	Bi	0.27	0.20	0.21	0.37
Nb	12.21	13.16	13.65	15.20	Ве	2.47	2.61	2.67	2.54
Cr	32.88	34.71	36.88	67.11	Cs	7.08	9.90	8.06	8.57
Cu	47.71	30.88	63.00	37.51	Li	28.98	26.22	28.03	32.37
Zn	106.43	88.23	94.88	113.06	Cd	0.08	0.08	0.05	0.09

Note: the analyses of rocks have been made in an analytical laboratory, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS.

propylitization which is expressed in the development of carbonate, chlorite, sericite and albite. Accessory mineralization: rutile, apatite, magnetite, monazite, zircon and cassiterite. In addition, the granite has sulfides — chalcopyrite and galena, as well as scattered impregnation of native gold and silver (see Table 2). The latter consist of inclusions, up to 10 microns in size, in rockforming minerals affected by secondary processes of change. Any gravitation of metals to accumulations of accessory minerals and sulfides is not marked [3].

Chemical and microelement composition of the granites in the Kamennaya area is given in Table 3. In the classification diagram $K_2O + Na_2O - SiO_2$ they fall into the field of normal granites, near the lower boundary of the subalkaline granites.

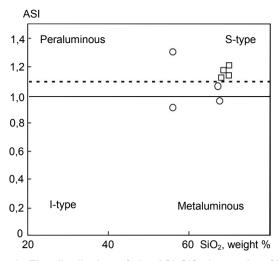


Figure 2. The distribution of the ${\sf ASI-SiO}_2$ in granite. Circles are used to denote granitoids of the Shaim region; squares are used to denote granites from the Kamennaya area of the Krasnoleninsky region.

Рисунок 2. Распределение ASI-SiO₂ в гранитах. Кружки – гранитоиды из Шаимского района, квадраты – граниты из Каменной площади Красноленинского района.

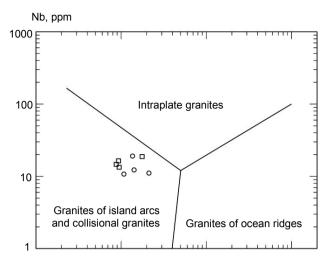


Figure 3. The diagram Nb–Y for the granites. Circles are used to denote granitoids of the Shaim region; squares are used to denote granites from the Kamennaya area of the Krasnoleninsky region. Рисунок 3. Диаграмма Nb–Y для гранитов. Кружки – гранитоиды из Шаимского района, квадраты – граниты из Каменной площади Красноленинского района.

Table 4. Isotope Rb–Sr data for minerals and granite Kamennaya area. Таблица 4. Изотопные Rb–Sr данные для минералов и гранита Каменной площади.

Sample	Rb, ppm	Sr, ppm	85Rb/86Sr	±2σ	⁸⁶ Sr/ ⁸⁷ Sr	± 2σ
Plagioclase (ρ = 2.61 – 2.64)	86.95	438	0.57460	0.00575	0.707167	0.000035
Potassic feldspar ($\rho = 2.54 - 2.59$)	211	422	1.4480	0.0145	0.710823	0.000036
Potassic feldspar (ρ < 2.54)	255	411	1.7979	0.0180	0.712287	0.000036
Granite (gross sample)	118	281	1.2160	0.0122	0.709804	0.000035
Biotite ($\rho = 3.24 - 3.3$)	389	134	8.2710	0.0827	0.739005	0.000037
Biotite ($\rho = 3.15 - 3.24$)	420	147	8.3774	0.0838	0.739582	0.000037

According to the content of potassium, the rocks are high potassium. According to the index of saturation with aluminum $ASI = Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)$ (at. number) [4], the studied rocks fall into the field of peraluminous granitoids (ASI = 1.13 - 1.22; see Fig. 2). This is typical for S-type granitoids, the source of the substance for them was mainly sedimentary rocks [5]. In the discriminatory diagram Nb-Y [6] these granites fall into the field of granites of island arcs and collision granites (Fig. 3).

The distribution of rare earth elements, normalized to chondrite, shows a strong predominance of light lanthanides over heavy ones and the absence of europium anomaly. A similar distribution is seen in nearby granitoids of the Shaim-Kuznetsov anticlinorium [2]. In general, granitoids of the Krasnoleninsky oil and gas area just like those of the Shaim oil and gas area compose the plutons the Shaim-Kuznetsov anticlinorium. They are characterized by a large similarity to the monzodiorite-granite complexes of the Urals, such as subalkaline composition of the medium and acidic rocks and mezoabyssal facies of the depth. They are also characterized by a zonal structure of massif. There, the central part is composed of quartz monzodiorites, and the edge part is composed of the more acidic granitoids (granosyenites). The granitoids are also characterized by geochemical peculiarities not only by rare earth elements, but also by other rare and scattered elements.

The results of the K–Ar granitoids dating of the Krasnoleninsky oil and gas region were obtained in the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry (analyst B. A. Kaleganov). Kamennaya area granites have the following ages – 253 ± 10 , 238 ± 7 , 236 ± 7 million years. The obtained Mesozoic ages, obviously, do not date the stage of magmatic introduction of granites, but show the age of superimposed secondary changes (for example, propylitization).

To check the obtained "Mesozoic" K–Ar dates, additional study was undertaken to determine whether these figures reflect the time of magmatic introduction and crystallzation of rocks. The separation of mineral fractions was carried out in a mixture of iodide methylene ($\rho = 3.3 \text{ g/cm}^3$) with acetone. The sample decomposition and chromatographic separation of Rb and Sr were performed according to the standard procedure in the IMGRE laboratory [7]. Isotopic analysis was conducted on a multicollector mass spectrometer Finnigan TRITON at the Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of Russian Academy of Sciences (see Table 4, analyst A. Yu. Petrova). The magnitude of the blank contamination in the laboratory was: [Rb] = 0.02 ng, [Sr] = 0.1 ng. When calculating the isochrones parameters, the measurement errors of ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotope ratio in the samples at the significance level of 2σ were used. Calculation of isochrones was carried out by the York method [8]. We used the accepted decay constant of rubidium – 1.42×10^{-11} years⁻¹ [9]. The obtained Rb–Sr isochrone determines the age of these granites as 291.8 \pm 2.1 million years (Fig. 4). Subsequent studies showed (see below) that the rubidium-strontium system gives, perhaps, a little understated, "rejuvenated" age.

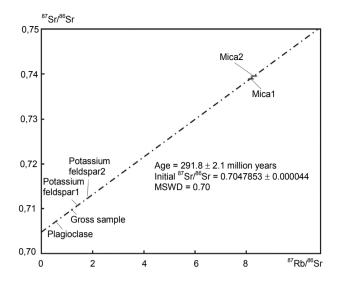


Figure 4. Rb–Sr isochrones for granite Kamennaya area. Sample Kam P68/2555 m. Рисунок 4. Rb–Sr изохрона для гранита Каменной площади. Обр. Кам P68/2555 м.

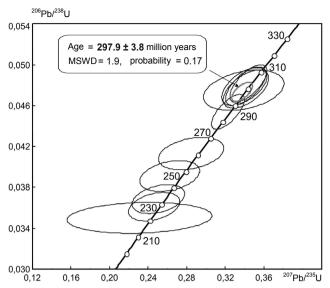


Figure 6. Isotope U–Pb diagram with concordia, built on the results of the study of zircons from granite of the Kamennaya area (Krasnoleninsky uplift).

Рисунок. 6. Изотопная U—Pb диаграмма с конкордией, построенная по результатам изучения цирконов из гранита Каменной площади (Красноленинский свод).

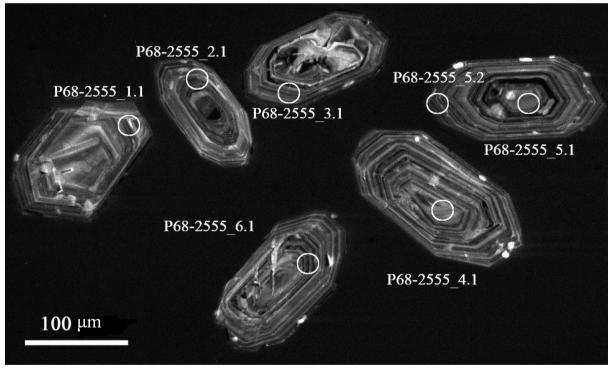


Figure 5. Photo of zircons from granites of the Kamennaya area in the rays of the cathodoluminescence. Рисунок 5. Фото цирконов из гранитов Каменной площади в катодолюминесцентных лучах.

To obtain reliable age of the rock (igneous time of the introduction and crystallzation of the granites), we have conducted an isotopic study of accessory zircon (U–Pb method, the ion microprobe SHRIMP-II, A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, analyst N. V. Rodionov). The mineral was highlight in the form of a monofraction from the granite of the Kamennaya area (sample Kam P68/2555 m). It was analyzed according to standard methods. Processing of the results and calculation of U–Pb ages was carried out using the program ISOPLOT/EX ver.3.66 [10]. Zircons are represented by well-formed prismatic crystals up to 150 microns in lengthening. In the rays of the cathodoluminescence crystals have zoning, often with a very distinct core (Fig. 5). According to the microprobe analysis, zircon is characterized by small impurities of hafnium (HfO₂ to 1.3 wt. %), yttrium (Y₂O₃ to 0.4 wt. %), thorium (ThO₃ up to 0.3 wt. %) and (UO₃ up to 0.3 wt. %). The mineral is non-metamict and is quite suitable for U–Pb-dating.

Most of the examined zircons (5 of 11 local analyses, see Table 5) mainly from the central part of crystals give concordant age 297.9 ± 3.8 million years (Fig. 6). Therefore, they correspond to the border of Permian and Carboniferous according to an

Table 5. U–Pb isotope data for zircons from granites of the Kamennaya area. Таблица 5. U–Pb изотопные данные для цирконов из гранитов Каменной площади.

		Con	tent		 Age, million years 		Isotopic ratio (1), ±	_0/_
Points	%		ppm		— Age, million years		isotopic ratio (1), ±	2 70
	²⁰⁶ Pb _c	²⁰⁶ Pb*	U	Th	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb*
1.1	_	42.3	1029	445	301.6 ± 4.8	0.341 ± 2.5	0.0479 ± 1.6	0.0517 ± 1.9
2.1	1.06	43.9	1400	846	228.7 ± 3.5	0.246 ± 4.4	0.0361 ± 1.6	0.0495 ± 4.1
3.1	1.56	49.4	1371	731	260.9 ± 4.0	0.285 ± 4.9	0.0413 ± 1.6	0.0500 ± 4.6
4.1	0.10	34.3	838	592	299.9 ± 4.7	0.341 ± 2.8	0.0476 ± 1.6	0.0520 ± 2.3
5.1	0.08	37.6	913	537	301.4 ± 4.7	0.339 ± 2.8	0.0479 ± 1.6	0.0515 ± 2.3
5.2	_	53.9	1303	512	303.1 ± 4.6	0.344 ± 2.3	0.0482 ± 1.6	0.0518 ± 1.7
6.1	0.98	45.0	1325	1096	247.3 ± 3.8	0.262 ± 4.8	0.0391 ± 1.6	0.0487 ± 4.6
7.1	0.93	27.5	669	237	299.1 ± 4.9	0.339 ± 5.0	0.0475 ± 1.7	0.0518 ± 4.8
8.1	_	61.3	1573	642	286.2 ± 4.3	0.323 ± 2.2	0.0454 ± 1.5	0.0516 ± 1.5
9.1	3.94	41.5	1325	898	221.8 ± 3.8	0.231 ± 13	0.0350 ± 1.8	0.0479 ± 13
10.1	1.68	61.5	1911	1797	233.3 ± 3.6	0.251 ± 4.5	0.0369 ± 1.6	0.0493 ± 4.2

Note: Pb_a, Pb* are common and radiogenic lead, respectively; calibration errors are relative to standards 0.29 %; (1) – correction using ²⁰⁴Pb.

international scale. Similar age (about 300 MA) is typical for the granitoids of the Shaim oil and gas area [11, 12]. The rims of zircon crystals of the Kamennaya area are characterized by the "rejuvenated" dating– 286, 261, 247, 233, 229 and 222 million years. Obviously they are similar to the aforementioned K–Ar and Rb–Sr dates and they are quite likely to reflect the late stages of tectonic activation of the West Siberian platform [13].

Conclusion

Thus, we have studied the material composition and age of granitoids in the basement of the Krasnoleninsky oil and gas region of Western Siberia. It is demonstrated that granites of the Kamennaya petroleum exploration area are an integral part of the regional Shaim-Kuznetsovsky anticlinorium. The time of the magmatic introduction and crystallization of granites of the Krasnoleninsky oil and gas area according to U–Pb dating of zircon is estimated at \approx 300 million years. This is just like in the granitoids located near Shaim oil and gas area. The difference between U–Pb (297.9 \pm 3.8 million years) and Rb–Sr (291.8 \pm 2.1 million years) granite ages is likely to result from the gradual cooling of the granite massif. This happens because the uranium–lead isotope system closes at a higher temperature than the rubidium–strontium one. This phenomenon ("cooling") has been identified in many well–studied intrusive massifs [14 and others]. We have interpreted the "Mesozoic" numerals obtained by the K–Ar method as the time of the last tectonic–thermal events, most likely expressed in the form of granites propylitization.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to V. V. Khiller, N. V. Rodionov and A. Yu. Petrova for the analytical studies conducted. This research was conducted with the financial support of RFBR (grant No. 16–05–00041).

REFERENCES

- 1. Schnip O. A. 1995, *Obrazovaniye kollektorov v fundamente neftegazonosnykh territoriy* [The formation of reservoirs in the foundation of oil and gas bearing areas]. *Geologiya nefti i gaza* [Oil and Gas Geology], no. 6, pp. 35–37.
- 2. Ivanov K. S., Koroteev V. A., Pecherkin M. F., Fyodorov Yu. N., Erokhin Yu. V. 2009, *Istoriya geologicheskogo razvitiya i stroyeniye fundamenta zapadnoy chasti Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseyna* [History of the geological development and structure of the West Siberian petroleum megabasin Western part basement]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], vol. 50, no. 4, pp. 484–501.
- 3. Erokhin Yu. V., Ivanov K. S., Fyodorov Yu. N., Khiller V. V. 2010, Samorodnoye zoloto i serebro v granitoidakh fundamenta Shaimsko–Kuznetsovskogo megantiklinoriya (Zapadnaya Sibir') [Native gold and silver in the granitoids of the Foundation of the Shaim-Kuznetsov anticlinorium (West Siberia)]. Fundament. struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezozoysko-kaynozoyskogo osadochnogo basseyna. ikh geodinamicheskaya evolyutsiya i problemy neftegazonosnosti. Materialy Vtoroi Vserossiyskoy konferentsii [Foundation, structure framing of the West Siberian Mesozoic-Cenozoic sedimentary basin, their geodynamic evolution and problems of oil and gas. Proceedings of the Second all-Russian conference]. Novosibirsk, pp. 47–50.
- 4. Zen E-an. 1986, Aluminum enrichment in silicate melts by fractional crystallization: some mineralogical and petrographic constraint. *Journal of Petrology*, vol. 27, № 5, pp. 1095–1117.
- 5. Chappell B. W., White A. J. R. 2001, Two contrasting granite types: 25 years letter. *Australian Journal of Earth Sciences*, vol. 48, pp. 489–499. 6. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A.G. 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, vol. 25, pp. 956–983.
- 7. Kostitsyn Yu. A. 1991, *Rb–Sr izotopnaya sistema v granitakh Altyntau (Tsentralnyye Kazylkumy): otkrytaya v porodakh i zakrytaya v polevykh shpatakh* [A Rb–Sr isotopic system in granites, Altyntau (Central Kyzylkum). This system is open in the rocks and closed in field porcelain]. *Geokhimiya* [Geochemistry], no. 10, pp. 1437–1443.
- 8. York D. 1966, Least-squares fitting of a straight line. Canadian Journal of Physics, vol. 44, pp. 1079–1086.
- 9. Steiger R. H., Jager E. 1977, Subcomission of Geochronology: convention of the use decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 36, № 3, pp. 359–362.
- 10. Ludwig K. R. 2008, User's Manual for Isoplot. Ex, Version 3.66. A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center. Special Publication (4), 77 p.
- 11. Ivanov K. S., Erokhin Yu. V., Fyodorov Yu. N., Khiller V. V., Ponomarev V. S. 2010, *Izotopnoye i khimicheskoye U–Pb-datirovaniye granitoidov Zapadno-Sibirskogo megabasseyna* [Isotopic and chemical U–Pb-dating of granitoids of the West Siberian basin]. *Doklady AN* [Reports of the Academy of Sciences], vol. 433, no. 5, pp. 671–674.
- 12 Иванов К. С. и др. Возраст и состав гранитоидов из фундамента Красноленинского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // Известия УГГУ. 2018. Вып. 2(50). С. 7-14. DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-7-14

- 12. Ivanov K. S., Fyodorov Yu. N., Koroteev V. A., Erokhin Yu. V., Ponomarev V. S. 2011, U-Pb-datirovaniye granitoidov iz fundamenta Shaimskogo neftegazonosnogo rayona Zapadnoy Sibiri [U-Pb-granitoid dating from the Foundation of Shaim oil and gas region of the Western Siberia]. Gornye Vedomosti [Mining News], no. 6 (85). pp. 90-103.
- 13. Fvodorov Yu. N., Krinochkin V. G., Ivanov K. S., Krasnobaev A. A., Kaleganov B. A. 2004. Etapv tektonicheskov aktivizatsii Zapadno-Sibirskov platformy (po dannym K-Ar metoda datirovaniya) [Stages of tectonic activity of the West Siberian platform (according to K-Ar dating method)]. Doklady AN [Reports of the Russian Academy of Sciences], vol. 397, no. 2, pp. 239–242.
- 14. Neiva A. M. R., Dodson M. H., Rex D. C., Guise P. G. 1995, Radiometric constraints on hydrothermal circulation in cooling granite plutons (The Jales gold-quartz mineralization, Northern Portugal). Mineralium Deposita, vol. 30, no. 6, pp. 460–468.

The article was received on December 14, 2017

УДК 550.83+552.321.1(571.1) DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-7-14

Возраст и состав гранитоидов из фундамента Красноленинского нефтегазоносного района (Западная Сибирь)

Кирилл Святославич Иванов, ivanovks55@yandex.ru Юрий Викторович Ерохин, erokhin-yu@yandex.ru Владимир Сергеевич Пономарев p123v@yandex.ru

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

Актуальность исследования заключается в слабой изученности кристаллического фундамента Западно-Сибирского мегабассейна.

Цель работы заключается в изучении вещественного состава и возраста гранитоидов из доюрского фундамента Красноленинского нефтегазового района Приуральской части Западно-Сибирского мегабассейна.

Методология исследования: детальное изучение минералогии, петрохимии, геохимии и возраста (разными изотопными системами с использованием K–Ar, Rb–Sr и U–Pb методов датирования) гранитов Красноленинского района.

Результаты. Детально изучена минералогия и петрогеохимия гранитов Красноленинского района. Установлено, что породы сложены кварцем, плагиоклазом (альбит и олигоклаз), калишпатом (микроклин и ортоклаз) и слюдой (аннит) с акцессорной минерализацией в виде рутила, апатита, магнетита, титанита, монацита, циркона и касситерита. Граниты подвержены пропилитизации, которая выражается в развитии вторичного карбоната, хлорита, серицита и альбита, а также сульфидной (халькопирит, галенит) и самородной (золото, серебро) минерализации. По петрогеохимическим характеристикам породы относятся к гранитоидам S-типа, источником вещества для них служили преимущественно осадочные горные породы. Граниты имеют раннепермские возраста, которые, по всей видимости, отражают процесс подъема гранитов на уровень верхней коры при рифтогенезе и растяжении всего региона.

ВЫВОДЫ. Граниты Каменной нефтеразведочной плошади являются составной частью регионального Шаимско-Кузнецовского мегантиклинория. Время магматического внедрения и кристаллизации гранитов Красноленинского района оценивается в 300 млн лет, как и у гранитоидов рядом расположенного Шаимского НГР. Разница между U-Pb (297,9 ± 3,8 млн лет) и Rb-Sr (291,8 ± 2,1 млн лет) возрастами гранитов по всей видимости есть следствие постепенного остывания гранитного массива, т. к. уран-свинцовая изотопная система закрывается при более высокой температуре, чем рубидий-стронциевая. Полученные K-Ar методом «мезозойские» цифры трактуются нами как время последних тектоно-термальных событий, вероятнее всего, выразившегося в виде пропилитизации гранитов.

Ключевые слова: минералогия; возраст; граниты; доюрский фундамент; Каменная площадь; Красноленинский район; Западная Сибирь.

Авторы выражают благодарность В.В. Хиллер, Н.В. Родионову и А.Ю. Петровой за проведенные аналитические исследования. Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-05-00041).

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Шнип О. А. Образование коллекторов в фундаменте нефтегазоносных территорий // Геология нефти и газа. 1995. № 6. С. 35–37.
- 2. Иванов К. С., Коротеев В. А., Печеркин М. Ф., Федоров Ю. Н., Ерохин Ю. В. История геологического развития и строение фундамента западной части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 4. С. 484–501.
- 3. Ерохин Ю. В., Иванов К. С., Федоров Ю. Н., Хиллер В. В. Самородное золото и серебро в гранитоидах фундамента Шаимско-Кузнецовского мегантиклинория (Западная Сибирь) // Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности: материалы Второй Всерос. конф. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2010. С. 47–50.
- 4. Zen E-an. Aluminum enrichment in silicate melts by fractional crystallization: some mineralogic and petrographic constraints // Journal of Petrology, 1986. Vol. 27, № 5. P. 1095–1117.
- 5. Chappell B. W., White A. J. R. Two contrasting granite types: 25 years letter // Australian Journal of Earth Sciences. 2001. Vol. 48. P. 489–499. 6. Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Journal of Petrology. 1984. Vol. 25. P. 956–983.
- 7. Костицын Ю. А. Rb–Sr изотопная система в гранитах Алтынтау (Центральные Казылкумы): открытая в породах и закрытая в полевых шпатах // Геохимия. 1991. № 10. С. 1437–1443.
- 8. York D. Least-squares fitting of a straight line // Canadian Journal of Physics. 1966. Vol. 44. P. 1079-1086.
- 9. Steiger R. H., Jager E. Subcomission of Geochronology: convention of the use decay constants in geo- and cosmochronology // Earth Planet Sci. Lett., 1977. Vol. 36, № 3. P. 359–362.
- 10. Ludwig K. R. User's Manual for Isoplot/Ex, Version 3.66. A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronology Center. Special Publication (4), 2008, 77 p.
- 11. Иванов К. С., Ерохин Ю. В., Федоров Ю. Н., Хиллер В. В., Пономарев В. С. Изотопное и химическое U–Pb-датирование гранитоидов Западно-Сибирского мегабассейна // Докл. АН. 2010. Т. 433, № 5. С. 671–674.
- 12. Иванов К. С., Федоров Ю. Н., Коротеев В. А., Ерохин Ю. В., Пономарев В. С. U–Рb-датирование гранитоидов из фундамента Шаимского нефтегазоносного района Западной Сибири // Горные ведомости. 2011. № 6 (85). С. 90–103.
- 13. Федоров Ю. Н., Криночкин В. Г., Иванов К. С., Краснобаев А. А., Калеганов Б. А. Этапы тектонической активизации Западно-Сибирской платформы (по данным К–Аг метода датирования) // Докл. РАН. 2004. Т. 397, № 2. С. 239–242.
- 14. Neiva A. M. R., Dodson M. H., Rex D. C., Guise P. G. Radiometric constraints on hydrothermal circulation in cooling granite plutons (The Jales gold-quartz mineralization, Northern Portugal) // Mineralium Deposita. 1995. Vol. 30, № 6. P. 460–468.

Статья поступила в редакцию 14 декабря 2017 г.

УДК 549.28+549.252+549.243(470.5)

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-15-19

ABOUT FINDING NATIVE GOLD, SILVER, COPPER, LEAD, BISMUTH AND TUNGSTEN IN LIPOVKA PEGMATITES (MIDDLE URAL)

Anatoliy Vladimirovich Zakharov, zakharov-zav@yandex.ru 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

The relevance of the work is conditioned by the need for a more complete study of the mineralogy of rare-metal granite pegmatites of the Lipov-skove vein field.

The purpose of the study is to describe the findings of native metals (gold, silver, copper, lead, bismuth and tungsten) in granite pegmatites of the Lipovskove vein field.

Research methodology. Detailed study of chemical composition, morphology and relationships of native metals with associated minerals. For this study we have chosen samples from the three types of granitic pegmatites – classical quartz-feldspar (mostly intragranitic), desilicated (apogranite plagioclasite) and contaminated lithium-bearing.

Results. The paper describes native metals (gold, silver, copper, lead, bismuth and tungsten), which we have found in rare-metal pegmatites of the Lipovskoye vein field. The discovery of the native metals is the first on this facility. The microprobe analysis of such native metals as gold and silver showed the variability of their chemical composition from the type of pegmatite in which they are present. The formation of native lead should be logically linked to the destruction and recrystallization of high uranium thin rims of zircons. The formation of bismuth and tungsten may have occurred during recrystallization of accessory tantalumniobates.

Summary. The finding of the native metals in granitic pegmatites is quite explainable. This is because these core rocks are formed in the post-magmatic stage of the silicate crystallization intrusions and they can contain typomorphic rocks for these metals. The absence of mineral concentrators (sulfides) in pegmatites clearly explains the small size and high dispersion of metals.

Keywords: native metals; ore mineralization; granite pegmatites; Lipovskoye vein field; Middle Urals.

ntroduction

The pegmatites of the Lipovskoye vein field lie in different rocks (gneisses, serpentinites, marbles, amphibolites, etc.) between the three granite massifs – Murzinsky, Aduisky and Sokolovsky. The geological structure of the area is a zone of mélange. In this zone, the bodies of serpentinites, gneisses, amphibolites and marbles are tectonically interspersed with each other in the form of separate blocks. Granitic pegmatites are represented by three metal types: classical quartz-feldspar (intragranitic), desilicated (apogranite plagioclasite) and contaminated lithium-bearing [1].

In this paper, we have described native metals (gold, silver, copper, lead, bismuth and tungsten), which we have found in rare metal pegmatites of the Lipovsky vein field. The discovery of the aforementioned minerals is the first one in this object. In the recent report on the mineralogy of granite pegmatites of Lipovka [2] there is no information about them. Previously we have published abstracts of papers about the discovery of gold, silver and copper in the Lipovka pegmatites [3].

Methods

We have investigated granitic pegmatites, which outcrop within abandoned and flooded quarries of the waste Lipovskaya silicate-nickel deposits. All native metals were discovered and investigated with the electron-probe microanalyzer CAMECA SX 100. This was performed at the Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, analyzed by V. V. Khiller. The metal phases were studied on polished sections of pegmatites. They were cut on a diamond saw, polished the face plate with abrasive powder and polished with diamond pastes and chromium oxide. All the aforementioned technology of manufacturing preparations excludes the possibility of rubbing the above mentioned metals into polished sections. The preparations have been manufactured at the Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

Native metals in granite pegmatites of the Lipovskoye vein field

Gold. This metal was installed in ordinary quartz-K-feldspar (intragranitic) pegmatites, and also in lepidolite aggregate of lithium-bearing pegmatites. Gold does not form any intergrowths with accessory minerals and other metals, it forms isometric inclusions in the matrix of feldspar and mica. Grain size is no bigger than 10 to 15 ppm. The chemical composition of gold from different pegmatites is given in the Table 1. The metal is characterized by high purity and almost does not contain impurities. It is of great interest that gold from lepidolite aggregate has impurities in contrast to its counterpart of ordinary pegmatites, which virtually has 100 % degree of purity. This

Table 1. Chemical composition of gold in Lipovka pegmatites, wt. %. Таблица 1. Химический состав (в мас. %) золота в пегматитах Липовки.

Points	Zn	Cu	Au	Ag	Hg	Total
1	_	0.05	99.87	0.01	_	99.93
2	_	0.01	99.95	_	_	99.96
3	_	0.50	98.91	1.24	-	100.65
4	_	0.51	98.53	1.14	_	100.18
5	_	0.46	98.17	1.05	-	99.68
6	_	0.56	97.16	0.95	_	98.67
7	_	0.57	97.58	0.93	_	99.08

Note: analyses 1–2 – ordinary pegmatites, analyses 3–7 – lithium-bearing pegmatites.

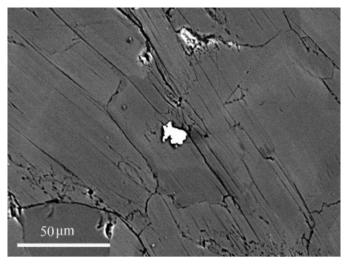


Figure 1. The inclusion of native silver in the aggregate of trilithionite. The image was made in the back-scattered electron CAMECA SX 100.

Рисунок 1. Включение самородного серебра в агрегате трилитионита. Изображение в обратных электронах, CAMECA SX 100.

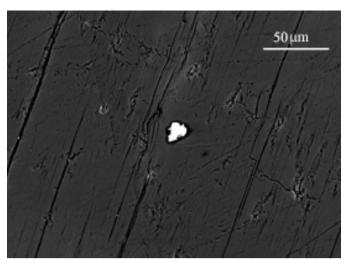


Figure 2. The inclusion of native copper in the aggregate of trilithionite. The image was made in the back-scattered electron CAMECA SX 100.

Рисунок 2. Включение самородной меди в агрегате трилитионита. Изображение в обратных электронах, CAMECA SX 100.

Table 2. Chemical composition of silver in Lipovka pegmatites, wt. %. Таблица 2. Химический состав (в мас. %) серебра в пегматитах Липовки.

Points	Zn	Cu	Au	Ag	Hg	Total
1	_	_	0.08	99.32	_	99.40
2	_	0.02	_	100.01	_	100.03
3	_	0.04	0,09	98.86	0,12	99.11
4	_	_	_	100.43	_	100.50
5	0.09	0.02	_	99.06	0,16	99.33
6	_	_	0,04	99.72	_	99.76

Note: analysis 1 – ordinary pegmatites, analyses 2–6 – lithium-bearing pegmatites.

high purity in quite rare nature and is characteristically a feature of secondary and supergene gold [4]. It is also typical in the metal from the ore exhalation of basalts found in a Large basaltic fissure eruption of Tolbachik [5] and in the lunar regolith as well [6]. In general, the discovery of native gold in granite pegmatites is very interesting, because this metal was not described earlier in these rocks [4, 7, 8, etc.].

Silver. This metal as well as gold, is found in ordinary quartz-K-feldspar (intragranitic) pegmatites and in lepidolite aggregate of lithium-bearing pegmatites. Silver does not form any intergrowths with accessory minerals and other metals either. It consists of isometric xenomorphic grains, no more than 20–25 microns in size (Fig. 1). The chemical composition of silver from different pegmatites is given in Table 2. This metal has high purity and contains almost no impurities. Native silver, as well as gold, in granite pegmatites was not found earlier [4, 7 8, etc.]. In the Urals, the silver was found in skarn, massive cupper-sulfide deposits, rhyolite, serpentinite and metamorphosed cupriferous cuprous sandstones, as well as in supergene in the zones of oxidation in different ores [4].

Copper. This metal as well as gold with silver is installed in an ordinary quartz-K-feldspar (intragranitic) and lithium-bearing pegmatites. Copper does not form any intergrowths with the accessory minerals of other metals. Grains are sprayed in all rock-forming minerals, except for quartz; their size is no more than 10–15 microns (Fig. 2). The chemical composition of copper from different pegmatites is given in Table 3. The metal has a high purity and does not almost contain any impurities. It is worth noting, that copper is the predominant metal in ordinary pegmatites. It sharply prevails over gold and silver, while in lithium-bearing pegmatites the quantitative ratio of metals is approximately equal to each other. The findings of metallic copper in granite pegmatites were not described before [4, 7, 8, etc.]. In the Urals native copper is found in various volcanites, serpentinites, cuprous sandstones, and quartz veins, as well as in oxidation zones of various copper-containing ores [4].

Lead. This metal as well as the aforementioned copper, gold and silver, are found in an ordinary quartz-K-feldspar (intragranitic) and in lithium-bearing pegmatites. In ordinary pegmatites, it is detected as small (up to 5 microns) inclusions in the matrix of potassium feldspar. The metal is associated with grains of native gold; its microprobe analysis showed that it was only lead that was found there and the complete absence of any impurities. In the lithium-bearing pegmatites the metal occurs as small inclusions (less than 10 microns) in the metamict zircon, which underwent serious changes. This metal associates with the abundant impregnation of uraninite. The chemical composition of the inclusions is as follows, wt. %: Pb 70.15; Sn 29.14; total 99.29. In general, the formation of native lead is quite logical to associate with the destruction and recrystallization of high-uranium zircons, which characteristically belong to the Lipovsky pegmatites. The migration of radiogenic lead from uranium minerals without their destruction in the conditions of endogenous processes at temperatures and pressures corresponding to natural conditions of metamorphism was experimentally confirmed [9]. In the Urals, lead was observed in pegmatoid aegirine-augite veins,

Table 3. Chemical composition of copper in the pegmatites of Lipovka, wt. %. Таблица 3. Химический состав (в мас. %) меди в пегматитах Липовки.

Points	Zn	Cu	Au	Ag	Hg	Total
1	_	98.40	_	0.11	_	98.51
2	_	98.46	0.08	0.08	0.01	98.62
3	0.01	99.56	_	_	0.02	99.60
4	_	98.37	0.03	0.11	0.10	98.61
5	_	98.96	-	0.08	0.02	99.07
6	0.03	98.04	-	_	0.09	98.16
7	0.04	99.19	0.01	0.05	0.20	99.49
8	_	98.78	0.04	_	_	98.82

Note: analyses 1-4 - ordinary pegmatites, analyses 5-8 - lithium-bearing pegmatites.

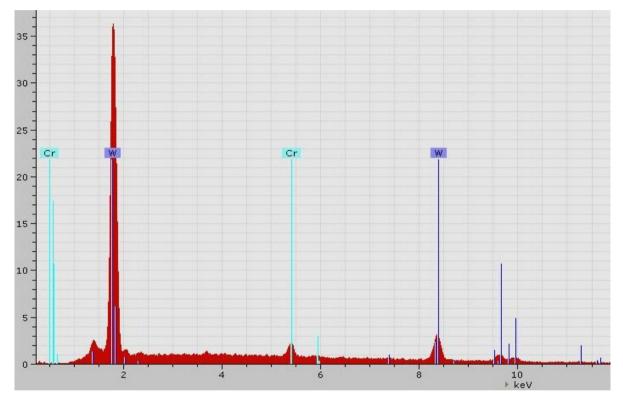


Figure 3. An energy dispersive spectrometer spectrum of tungsten from desilicated Lipovka pegmatites. Рисунок 3. ЭДС-спектр вольфрама из десилицированных пегматитов Липовки.

hydrothermal and hypergenic formations, as well as in alluvial deposits [4]. It is interesting, that hypogene lead crystallizes in a wide range of temperatures and pressures. This interval fluctuates from mantle conditions (inclusions in the black diamonds [10]) to low-temperature metasomatic rocks (smears and inclusions in pyrite from argillites [11]).

Bismuth. This metal is found in ordinary quartz-K-feldspar (intragranitic) pegmatites. It forms a rare and small (up to 5 μm) inclusions in the feldspars, although it is quite likely to be found in the desilicated pegmatites (plagioclasites). Microprobe analysis of the inclusions showed the presence of bismuth and the complete absence of any impurities. This made it possible for us to ascribe it to the native bismuth. The mineral does not form any intergrowths with accessory minerals and other metals. It is quite logical to associate the formation of native bismuth with the recrystallization of accessory tantalumniobates. At the Lipovka pegmatites these accessory tantalumniobates are often enriched with this element. This leads to the formation of self-dependent minerals called bismutotantalite and bismutomicrolite [2]. In general, the findings of native bismuth in the Ural pegmatites are not uncommon. This metal was described in the vein plagioclazites of the Ural emerald mines [12], on the Kvartal'noye tantalum-niobium deposit [13] and on many other objects.

Tungsten. This metal was found in desilicated pegmatites (vein plagioclazites) only, where it forms a rare and small (up to 10 μm) inclusions in the rock forming anorthite. The microprobe analysis of the inclusions showed the presence of small impurities of chromium (Cr up to 4.5 wt. %), no reflections of other elements, including carbon, are recorded (Fig. 3). This allows us to determine this phase as metallic tungsten. The mineral does not form intergrowths with accessory minerals and other metals. The formation of native tungsten is quite logical to associate with the recrystallization of accessory tantalumniobates. They are often enriched with this element in the Lipovka pegmatites [2].

In nature, tungsten is rare enough and even as a mineral species it was approved by the International Mineralogical Associ-

ation relatively recently, in 2011 [14]. Previously, this metal was found in the alluvial deposits of the Bol'shaya Pol'ya river on the eastern slope of the Polar Urals [15]. However, the mineral was not approved until it was found in quartz veins from the nearby Dodo mine. The finds were made of native tungsten in the lunar regolith [6], the chromitites from the Polar Urals [16]. The mineral was also found in the products of exhalation from the Great fissure eruption of Tolbachik [17], in the argillite of Gumeshevsky copper mine [11] and also in many other places.

Conclusion

In general, the discovery of native metals in granite pegmatites is quite logical, because vein rocks are formed on the postmagmatic stage of crystallization of siliceous intrusion. They may well contain noble metals which are typomorphic to these rocks. The temperature of formation of rare-metal pegmatites is about $500-650\,^{\circ}\text{C}$ (it decreases sharply in miarolas). This corresponds to the boundary PT-parameters ($\leq 500\,^{\circ}\text{C}$ and $1-2\,\text{kbar}$) for the medium of crystallization of native metals, which were determined by M. I. Novgorodova [18]. The absence of mineral concentrators (sulfides) in pegmatites completely explains the small size and high dispersion of precious metals.

Acknowledgements

The authors are grateful to the management of the Rezh state nature-mineralogical reserve ("Rezhevskoy") for the assistance in the research. The work was carried out as a part of the state budget theme "Paleogeodynamics and evolution of structural and material complexes in the formation of the Earth continental crust", № 0393-2016-0019.

REFERENCES

- 1. Zakharov A. V. 2017, *Mineralogiya i tipizatsiya granitnykh pegmatitov Lipovskogo zhilnogo polya (Sredniy Ural)* [Mineralogy and typing of granitic pegmatites from the Lipovskoye vein field (the Middle Urals)]. *XVII Chteniya pamyati akademika A. N. Zavaritskogo. Sbornik statey* [17th Readings in the memory of academician A. N. Zavaritsky. Collected papers]. Ekaterinburg, pp. 13–15.
- 2. Pekov I. V., Memetova L. R. 2008, *Mineraly granitnykh pegmatitov Lipovki. Sredniy Ural* [Minerals of the Lipovka granitic pegmatites in the Middle Urals]. *V mire mineralov. Mineralogicheskiy almanakh* [The world of minerals. Mineralogical almanac], no. 13, pp. 7–44.
- 3. Erokhin, Yu. V., Zakharov A. V., Kaverina V. P. 2010, Samorodnyye metally (Au, Ag, Cu) iz granitnykh pegmatitov Lipovskogo zhilnogo polya (Sredniy Ural) [Native metals (Au, Ag, Cu) from granitic pegmatites of the Lipovskoye vein field (the Middle Urals)]. Ural'skaya mineralogicheskaya shkola-2010 [Ural mineralogical school-2010]. Ekaterinburg, pp. 58–60.
- 4. 1990, Mineralogiya Urala: elementy, karbidy, sulfidy [Mineralogy of the Urals: Elements. Carbides. Sulfides]. Sverdlovsk, 391 p.
- 5. Bykova E. Yu., Berlepsch P., Kartashov P. M., Brugger J., Armbruster T., Criddle A. J. 1989, Vergasovaite Cu₃O[(Mo, S)O₄][SO₄], a new copper-oxy-molybdate-sulfate from Kamchatka. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*. 78, no. 6, pp. 479–488.
- 6. Mokhov A. V., Kartashov P. M., Bogatikov O. A., 2007, Luna pod mikroskopom: novyye dannyye po mineralogii Luny [The Moon under a microscope: new data on Mineralogy of the Moon]. Moscow, 127 p.
- 7. Popov V. A., Popova V. I. 2006, *Mineralogiya pegmatitov Ilmenskikh gor* [Mineralogy of the II'men mountains pegmatites]. *Mineralogicheskiy almanakh*. *Assotsiatsiya Ekost* [Mineralogical almanac. Ecost Association], vol. 9, 152 p.
- 8. Popova V. I., Popov V. A., Borshchev S. K., Demochkin V. P., Canonerov A. A. 1999, *Mineralogiya granitnykh pegmatitov Alabashskogo polya samotsvetnoy polosy Urala* [Mineralogy of granitic pegmatites of the Algabashskoye field in the semiprecious band of the Urals]. Miass, 90 p.
- 9. Tugarinov A. I., Bibikova E. V., Zykov S. I. 1964, *O metamorfizme uranovykh mestorozhdeniy i otdelnykh uranovykh mineralov* [On metamorphism of uranium deposits and separate uranium minerals]. *Atomnaya energiya* [Atomic energy], vol. 16, issue 4, pp. 332–343.
- 10. Silayev V. I. Khazov A. F., Piskunov N. N. 2011, Otsenka mineralnykh mestorozhdeniy: khimiya. geokhimiya ili mineralogiya? [Evaluation of mineral deposits: Chemistry, Geochemistry or Mineralogy?]. Materialy V Rossiyskogo seminara po tekhnologicheskoy mineralogii «Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh i problemy raskrytiya mineralov» [Proceedings of the Fifth Russian seminar on technological Mineralogy called "Mineralogical and technological assessment of mineral deposits and problems of mineral disclosure"]. Petrozavodsk, pp. 35–47.
- 11. Azovskova O. B., Rovnushkin M. Yu, Malyugin A.A. 2013, *Gumeshevskoye mestorozhdeniye ot drevnikh vremyon do nashikh dney* [Gumeshevskoye field from ancient times to the present day]. *Uralskaya mineralogicheskaya shkola-2013. Materialy konferentsii* [Ural mineralogical school-2013. Conference proceedings]. Ekaterinburg, pp. 12–18.
- 12. Vlasov K. A., Kutukova E. I. 1960, Izumrudnyye kopi [Emerald mines]. Moscow, 251 p.
- 13. Sustavov S. G., Popov M. P., Ogorodnikov V. N. 2014, Vismutovaya mineralizatsiya na Kvartalnom mestorozhdenii redkometalnykh pegmatitov (Sredniy Ural) [Bismuth mineralization at the Kvartal'noye Deposit of rare-metal pegmatites (Middle Urals)]. Vestnik Ural'skogo otdeleniya RMO [Bulletin of the Ural branch of the Russian Mineralogical Society]. Ekaterinburg, no. 11, pp. 98–104.
- 14. Mills S. J., Kartashov P. M., Kampf A. R., Rumsey M. S., Ma C., Spratt J., Rossman G. R., Novgorodova M. I. 2011, Tungsten, IMA 2011-004. Mineralogical Magazine, vol. 75, pp. 2537–2542.
- 15. Novgorodova M. I., Nedashkovskaya N. H. Rasskazov A. V., Trubkin N. V. Semenov Ye. I., Koshelev B. L. 1995, *Samorodnyy volfram s vk-lyucheniyami oksida ittriya iz allyuviya r. Bolshaya Polia* (Pripolyarnyy Ural) [Native tungsten with inclusions of yttrium oxide from alluvium of the Bol'shaya Pol'ya river (Polar Urals)]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences], Vol. 340, no. 5, pp. 681–685.
- 16. Yang J., Meng F., Xu X., Robinson P. T., Dilek Y., Makeyev A. B., Wirth R., Wiedenbeck M., Griffin W. L., Cliff J. 2015, Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals. *Gondwana Research*, vol. 27, № 2, pp. 459–485.
- 17. Glavatskikh S. F., Trubkin N. V. 2000, *Pervyye nakhodki samorodnykh volframa i serebra v produktakh eksgalyatsiy Bolshogo treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya (Kamchatka)* [The first find of native tungsten and silver in the exhalation products of the Great fissure eruption of Tolbachik (Kamchatka)]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences], vol. 373, no. 4, pp. 523–526.
- 18. Novgorodova M. I. 1987, Samorodnyye metally [Native metals]. Moscow, 48 p.

The article was received on December 13, 2017

УДК 549.28+549.252+549.243(470.5)

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-15-19

О находке золота, серебра, меди, свинца, висмута и вольфрама в пегматитах Липовки (Средний Урал)

Анатолий Владимирович Захаров, zakharov-zav@yandex.ru Вера Витальевна Хиллер hilvervit@mail.ru

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

Актуальность работы обусловлена необходимостью более полного изучения минералогии редкометалльных гранитных пегматитов Липовского жильного поля.

Шель работы: описание находки самородных металлов (золота, серебра, меди, свинца, висмута и вольфрама) в гранитных пегматитах Липовского жильного поля.

Методология исследования: детальное изучение химического состава, морфологии и взаимоотношения самородных металлов с минераламиспутниками. Для исследования отбирались образцы из трех типов гранитных пегматитов – классических кварц-полевошпатовых (в основном внутригранитных), десилицированных (апогранитных плагиоклазитов) и контаминированных литиеносных.

Результаты. В работе приводится описание самородных металлов (золота, серебра, меди, свинца, висмута и вольфрама), которые были обнаружены нами в редкометалльных пегматитах Липовского жильного поля. Находка самородных металлов является первой на данном объекте. Микрозондовый анализ таких самородных металлов, как золото и серебро, показал изменчивость их химического состава от типа пегматита, в котором они находятся. Образование самородного свинца вполне логично связывать с разрушением и перекристаллизацией высокоурановых цирконов, а формирование висмута и вольфрама, возможно, произошло при перекристаллизации акцессорных танталониобатов.

Выводы. Находка самородных металлов в гранитных пегматитах вполне объяснима, так как эти жильные породы формируются в постмагматическую стадию кристаллизации кремнекислой интрузии и могут содержать типоморфные для этих пород металлы. Отсутствие в пегматитах минераловконцентраторов (сульфидов) вполне объясняет мелкий размер и высокую рассеянность металлов.

Ключевые слова: самородные металлы; рудная минерализация; гранитные пегматиты; Липовское жильное поле; Средний Урал.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Захаров А. В. Минералогия и типизация гранитных пегматитов Липовского жильного поля (Средний Урал) // XVII Чтения памяти академика А. Н. Заварицкого: сборник статей. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2017. С. 13–15.
- 2. Пеков И. В., Меметова Л. Р. Минералы гранитных пегматитов Липовки, Средний Урал // В мире минералов. Минералогический альманах. 2008. № 13. C. 7-44.
- 3. Ерохин Ю. В., Захаров А. В., Каверина В. П. Самородные металлы (Au, Ag, Cu) из гранитных пегматитов Липовского жильного поля (Средний Урал) // Уральская минералогическая школа-2010. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2010. С. 58-60.
- 4. Минералогия Урала: элементы, карбиды, сульфиды. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 391 с.
- 5. Bykova E. Yu., Berlepsch P., Kartashov P. M., Brugger J., Armbruster T., Criddle A. J. Vergasovaite Cu.O[(Mo, S)O.][SO.], a new cooper-oxymolybdate-sulfate from Kamchatka // Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen. 1989. Bd. 78, № 6. S. 479–488.
- 6. Мохов А. В., Карташов П. М., Богатиков О. А. Луна под микроскопом: новые данные по минералогии Луны. М.: Наука, 2007. 127 с
- 7. Попов В. А., Попова В. И. Минералогия пегматитов Ильменских гор: минералогич. альманах. Ассоциация Экост, 2006. Вып. 9. 152 с.
- 8. Попова В. И., Попов В. А., Борщев С. К., Демочкин В. П., Канонеров А. А. Минералогия гранитных пегматитов Алабашского поля самоцветной полосы Урала. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН. 1999. 90 с.
- 9. Тугаринов А. И., Бибикова Е. В., Зыков С. И. О метаморфизме урановых месторождений и отдельных урановых минералов // Атомная энергия, 1964. Т. 16. Вып. 4. С. 332-343.
- 10. Силаев В. И., Хазов А. Ф., Пискунова Н. Н. Оценка минеральных месторождений: химия, геохимия или минералогия? // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов: материалы V Рос. семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2011. С. 35-47.
- 11. Азовскова О. Б., Ровнушкин М. Ю., Малюгин А. А. Гумешевское месторождение от древних времен до наших дней // Уральская минералогическая школа-2013: материалы конф. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2013. С. 12–18.
- 12. Власов К. А., Кутукова Е. И. Изумрудные копи. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 251 с.
- 13. Суставов С. Г., Попов М. П., Огородников В. Н. Висмутовая минерализация на Квартальном месторождении редкометальных пегматитов (Средний Урал) // Вестник УрО РМО. 2014. № 11. С. 98–104.
- 14. Mills S. J., Kartashov P. M., Kampf A. R., Rumsey M. S., Ma C., Spratt J., Rossman G. R., Novgorodova M. I. Tungsten, IMA 2011-004 // Mineralogical Magazine. 2011. Vol. 75. P. 2537–2542.
- 15. Новгородова М. И., Недашковская Н. Н., Рассказов А. В., Трубкин Н. В., Семенов Е. И., Кошелев Б. Л. Самородный вольфрам с включениями оксида иттрия из аллювия р. Большая Полья (Приполярный Урал) // Докл. РАН, 1995. Т. 340, № 5. С. 681–685.
- 16. Yang J., Meng F., Xu X., Robinson P. T., Dilek Y., Makeyev A. B., Wirth R., Wiedenbeck M., Griffin W. L., Cliff J. Diamonds, native elements and metal alloys from chromitites of the Ray-Iz ophiolite of the Polar Urals // Gondwana Research. 2015. Vol. 27, № 2. P. 459–485.
- 17. Главатских С. Ф., Трубкин Н. В. Первые находки самородных вольфрама и серебра в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // Докл. РАН, 2000. Т. 373, № 4. С. 523–526.
- 18. Новгородова М. И. Самородные металлы. М.: Знание, 1987. 48 с.

Статья поступила в редакцию 13 декабря 2017 г.

УДК 549.742.111:550.422:579.8:551.44

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-20-25

SUBAQUEOUS STALACTOIDS IN THE DAL'NEE VERKHNEE LAKE OF THE SHULGAN-TASH CAVE (SOUTHERN URALS)

Olga Yakovlevna Chervyatsova¹, kittary@ya.ru
Sergey Sergeevich Potapov², s_almazov@74.ru
Lyudmila Yur'evna Kuz'mina³, ljkuz@anrb.ru
Lyubov' Vladimirovna Leonova⁴
Ivleonova@yandex.ru

¹Shulgan-Tash National Park Irgizly village, Burzyanskiy district, Republic of Bashkortostan, Russia ²Institute of Mineralogy of the Ural Branch of the RAS Ilmen State Reserve, Miass, Chelyabinsk oblast', Russia ³Ufa Institute of biology – Subdivision of the Ufa Federal Research, Centre of the RAS (UIB UFRC RAS) Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia ⁴Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is conditioned by the need for a comprehensive study of the mineralogical and microbiological parameters of the Shulgan-Tash (Kapova) cave, which is an archeological monument of universal importance.

The purpose of the work: to describe findings of subaquatic stalactites in the Shulgan-Tash cave and to solve mineralogical and genetic issues. **Research methodology:** hydrochemical, electron microscopic and microbiological techniques of research were used in the present work.

Results. This article describes subaqueous stalactoids for the first time in Russia. In the foreign literature they are called "Pool Fingers". They are the carbonate forming with the origin, which is not yet definitely installed. They are emerging in the coastal zones of the cave waters. Subaqueous stalactoids were found in the Dal'nee Verkhnee lake on the second floor of the Shulgan-Tash cave 700 meters from the entrance. Subaqueous stalactoids are widespread along the Eastern and Western shores of the lake. They are thin and elongated aggregates of cream-colored up to a length of 30 cm, composed of calcite. They were formed in the lake of calcium bicarbonate type water with total mineralization of 390–510 mg/l, their hydrogen index is close to neutral (pH 6.8–7.3) and minor (not more than 5 mg/l) magnesium, sulfates and chlorides. Stalactitical surfaces are covered with the biofilm of the extracellular polymeric substances (EPS) and microorganisms. In their environment, the crystallization of calcite takes place. The "filaments", whose taxonomic affiliation is not clear are found inside the units in the flattened strands of biological origin. Calcite is a block crystal subindividuals, which possess the elements of splitting. Their size is about 200–300 µm. The manifestation of skeletal crystal growth happens rather often. Researches prove the participation of microorganisms in the origin of subaqueous stalactoids. Apparently, filamentous bacterial mats play the role of the primers and a "framework", which provides a gravity-oriented growth of the aggregates. Extracellular polymeric substance (EPS) has the ability to form complex compounds with ions of Ca²⁺. It may indirectly lead to the precipitation of calcite.

Conclusions. The microbial mediated genesis, similar to that described in the literature of the North American counterparts, was substantiated for the subaqueous stalactoids (Pool Fingers).

Keywords: subaqueous stalactoids, Pool Fingers, secondary mineral formation, the carbonates, the calcite skeletal crystals, bacteria, Shulgan-Tash cave.

Introduction

The relevance and purpose of the work

The subject of our research is the microclimate and gas composition of the atmosphere [1, 2]. The subject consequently includes modern mineral formation, the study of rare mineral species [3], and the isotopic Geochemistry of elements in the minerals of caves. One of the objects of our research is the cave Shulgan-Tash in Bashkortostan. It is famous for its Paleolithic paintings. To preserve them, the monitoring and study of the microclimatic features of modern mineral formation and activities of microorganisms and microflora (bacteria, fungi, and algae) was carried out [4].

The present work describes rare mineral formations, the so-called *subaqueous stalactoids*, for the first time in Russia. In the foreign terminology they are called "Pool Fingers" or stalactoids [1, 2, 5–8]. Similar formations belong to subaqual mineral deposits of caves [8–10]. The urgency of the work is conditioned by the need for a comprehensive study of mineralogical and microbiological parameters of the cave Shulgan-Tash (Kapova), which is an archeological site of universal importance.

The purpose of this work is the description of the findings of subaqueous stalactoids of the cave Shulgan-Tash and the solution of mineralogical and genetic issues.

Research methodology

Hydrochemical, electron-microscopic and microbiological methods of research were used in this work.

Hydrochemical monitoring of lake had been performed since 2010. The ionic composition of samples was determined by titrimetric method (estimated accuracy of ±5–10 %); the pH solution was determined using pH meter Sartorius PB (±0.03 pH). Calculations of saturation indices for calcite were performed in the program Aqion 4.15.5. The study of the morphology and the elemental composition was performed using electron scanning microscopy on the devices TESCAN Vega 3 SBH with an energy dispersive spectrometer X-ACT Oxford Instruments (Institute of problems of superplasticity of metals of RAS, Ufa, analysts I. I. Musabirov and S. N. Sergeyev) and JEOL JSM 6390LV with EMF-prefix INCA Energy 450 X-max 80 at the Institute of Geology and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg (analyst L. V. Leonova).

In the study of the number of microorganisms in the "Pool Fingers" for comparison the takyr clay was taken from the Diamond hall of the same cave. Selection and accounting of the number of microorganisms in the samples was carried out by means of of sowing suspension on solid nutrient media [4]. The number of heterotrophic bacteria on agar mesopatamia, oligotrophs on starvation agar, micromycetes in the environment of Chapek was studied. Incubation of crops was produced at a temperature of +28 °C and +10 °C for 7-14 days. For the convenience of microbiota analysis we used the coefficient of psychrotolerant, which is the ratio of the number of colonies of microorganisms grown at +6 °C to the number of colonies grown at +28 °C. This figure was determined at a significant difference in the number of colonies in samples incubated at specified temperatures [11].

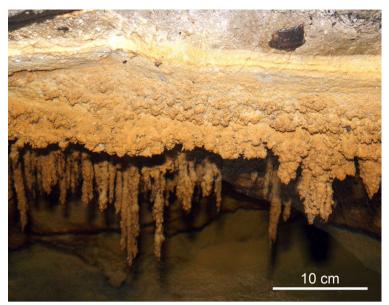


Figure 1. The subaqueous stalactoids "Pool Fingers" in the Dal'nee Verkhnee lake of the Shulgan-Tash cave. Рисунок 1. Субаквальные сталактоиды «Pool Fingers» в Дальнем Верхнем озере пещеры Шульган-Таш.

Research results

Subaqueous stalactoids is a carbonate formation with definitely not of the installed origin. They are emerging in the coastal zones of the cave water bodies [12]. Their origin is associated with the calcification of the filamentous colonial forms of bacteria [6]. However, it was not possible to identify these organisms due to the fact that the researchers usually got inactive forms. These formations are considered as microbialite or "biothemes" which are the mineral deposits formed with the help of leading microorganisms.

Subaqueous stalactoids are typical for caves in the Guadalupe Mountains in the southern United States. They were first described in 1990 in a Lechuguilla cave [13]. Currently they occur in several caves in Germany, Austria, Switzerland, and Spain [8]. No literary data on the "Pool Fingers" in the caves of Russia are known to us. Perhaps subaqueous stalactite or "Pool Fingers", was discovered in 2006 for the first time in Russia. It was found in the Dal'nee Verkhnee lake cave called Shulgan-Tash in the southern Urals by the Director of the "Bashkortostan" movie company R. M. Isakov. It appeared in the underwater filming of the movie called "In search of Akbuzat". We study the finding of these formations in this work.

Dal'nee Verkhnee lake is located on the second floor of the cave at ≈ 700 m from the entrance and represents the slow ground-water reservoir area of about 90 m² with a maximum depth of 2 meters. Subaqueous stalactoids are widespread along the Eastern and Western shores of the lake. It is a thin elongated aggregate of cream-colored, length 5–15 cm; it can rarely reach the length of 30 cm (Fig. 1).

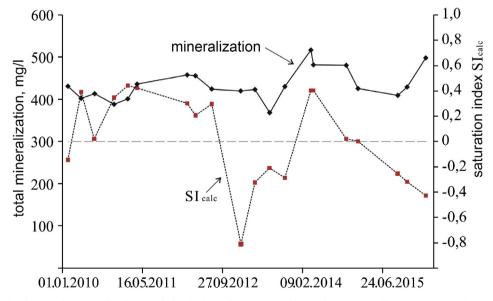


Figure 2. Changes in the total mineralization and the index of saturation for calcite according to the monitoring during the years 2010–2016.

Рисунок 2. Динамика общей минерализации и индекса насыщения к кальциту по данным мониторинга 2010-2016 гг.

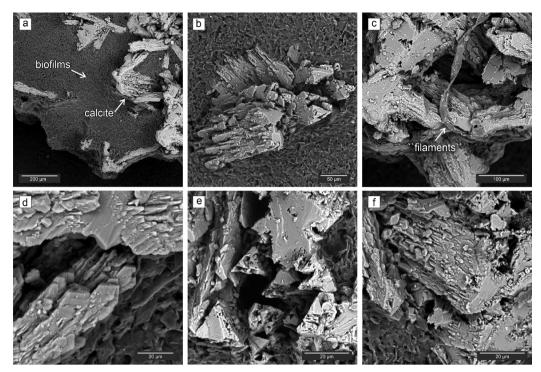


Figure 3. Electron micrographs of samples of subaquatic stalactoids. Рисунок 3. Электронные микрофотографии образцов субаквальных сталактоидов.

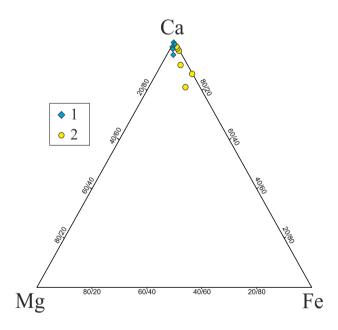


Figure 4. The ratio of Ca–Mg–Fe mineral formations in the Shulgan-Tash cave. 1 – the subaerial speleothems (sinter aggregates, coralloid, fibrous-acicular calcite; 2 – subaqueous stalactoids of the Dal'nee Verkhnee lake.

Рисунок 4. Соотношения Са–Мg–Fe в минеральных образованиях пещеры Шульган-Таш: 1 – субаэральные спелеотемы (натечные агрегаты, кораллоиды, волокнисто-игольчатый кальцит; 2 – субаквальные сталактоиды Дальнего Верхнего озера.

The hydrochemical monitoring of the lake waters has been carried out since 2010. The Ionic composition of samples was determined by titrimetric method (estimated accuracy of ± 5 –10 %); the solution pH was determined by means of using pH meter Sartorius PB (± 0.03 pH). Calculations of saturation indices for calcite were performed in the program Aqion 4.15.5. The study of the morphology and of the elemental composition was performed using electron scanning microscopy on the devices TESCAN Vega 3 SBH with an energy dispersive spectrometer X-ACT Oxford Instruments (Institute of problems of superplasticity of metals of RAS, Ufa, analysts I. I. Musabirov and S. N. Sergeyev) and a JEOL JSM 6390LV with EDS-attachment INCA Energy 450 X-max 80 at the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Department of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg (analyst V. L. Leonova).

The clay takyr from the Diamond hall of the same cave was taken for comparison when studying the number of microorganisms in the "Pool Fingers". Allocation and accounting of the number of microorganisms in the samples was carried out by cultur-

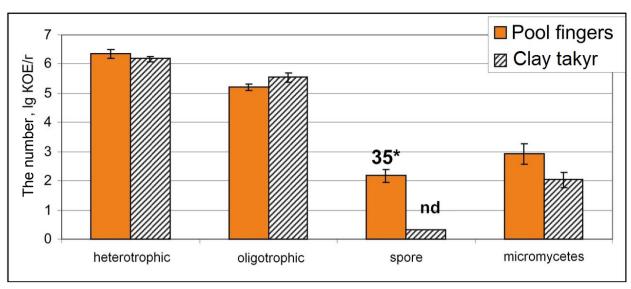


Figure 5. The number of bacteria and micromycetes in the subaqueous stalactoids called "Pool Fingers" and clay takyr from the audience Brilliantovaya (nd – no data; *ratio of psychrophiles, the data indicated are statistically significant at *P* < 0.05).
Рисунок 5. Численность бактерий и микромицетов в субаквальных сталактоидах «Pool Fingers» и глине такыра из зала Блиллиантовый (нд – нет данных, * – коэффициент психрофильности, статистически значимые данные обозначены при P < 0.05).

ing suspensions on solid nutrient medium [14]. The number of heterotrophic bacteria on the meat infusion agar, oligotrophs on starvation agar, and micromycetes in the environment of Čapek were studied as well. The incubation of crops was produced at a temperature of +28 °C and +10 °C for 7-14 days. To analyze the microbiota a coefficient of psychrotolerance, which is a ratio of the number of colonies of microorganisms grown at +6 °C by the number of colonies grown at 28 °C, was used. This figure was determined by the reliable difference in the number of colonies from samples incubated at the indicated temperatures [4].

The hydrochemical type of water in the Dal'nee Verkhnee lake is bicarbonate calcium, total mineralization of 390-510 mg/l, pH is close to neutral (pH 6.8-7.3), the content of magnesium, sulfates and chlorides is insignificant (< 5 mg/l). Graph of the changes in the total mineralization and saturation index for calcite is shown in Fig. 2. The saturation index for calcite is subject to considerable fluctuations and rarely reaches a critical value (SI = 0.3), when the crystallization of calcite is possible. When a new portions of water enriched in aggressive carbon dioxide (for example, in autumn floods in 2012), come to the lake the index of saturation decreases to negative values (see Fig. 2), and then with some delay an increase in salinity is seen due to the dissolution of calcite.

Previously, we found that the stalactoids of the Dal'nee Verkhnee lake are composed of calcite. Electron micrographs of stalactoids are shown in Fig. 3. Stalactoids surface is covered by the biofilm of extracellular polymeric substances (extracellular polymeric substances EPS) and microorganisms. The crystallization of calcite takes place in their environment (see Fig. 3, a, b). Inside the units, there occur the flattened strands of biological origin called the "filaments", their taxonomic affiliation is not clear (see Fig. 3, b). Calcite is a block crystal subindividuals of the size 200–300 μ m. They are characterized by some elements of splitting. It often happens that the manifestation of the skeletal structure of crystals takes place (see Fig. 3, d–f).

According to the energy dispersive spectroscopy (Inca Energy 450) calcite occurs in the admixture of iron, potassium, magnesium; sometimes there are titanium and manganese. The ratio of calcium and its typical impurities (calculated for atomic %) of magnesium and iron in the samples of stalactoids (n = 6) and normal subaerial speleothem the cave Shulgan-Tash (n = 16) is shown in Fig. 4. It is clear that stalactoids are significantly enriched in iron in comparison with conventional speleothem, which are characterized by significantly more pure chemical composition. It is close to stoichiometric composition. The split and skeletal growth is apparently linked with the presence of the structural impurities in the calcite.

The Fig. 5 shows the data of microbiological studies of mineral formation "Pool Fingers" and clay takyr. The analysis showed a high number of microorganisms in both samples, where the number of bacteria was as follows: heterotrophic $1.5-2.2 \times 10^6$ CFU/g, oligotrophic $1.6-3.5 \times 10^5$ CFU/g, spore 135 CFU/g and micromycetes 100-800 CFU/g. Meanwhile high abundance of psychrotolerant spore bacteria was observed in the mineral formation of stalactoids "Pool Fingers" (index 35). It should be noted that in the samples of the "Pool Fingers" the number of micromycetes was 8 times more than in the soil of the cave (in the takyr clay). Thus, microbiological studies have shown that "Pool Fingers" biofilms contained a high number of bacteria, such as takyr clay, and the number of micromycetes even surpassed it.

We believe that the accumulation of metals in calcite (which is not typical for the investigated conventional calcite deposits in caves) is connected, with the microbial activity, since microorganisms are able to locally change the redox potential of the medium and the conditions of migration of metals. The accumulation of metals may also be due to the adsorption of colloids on a bacterial slime. Thus, the participation of the microorganisms in the origin of subaqueous stalactoids is confirmed by the presence of biogenic components in the structure of aggregates. I. e., in the EPS biofilm where the crystallization of calcite and microbial filaments take place. Apparently, filamentous bacterial mats play the role of primers and a "framework", which provides a gravity-oriented growth of the aggregates. Extracellular polymeric substance (EPS), have the ability to form complex compounds with ions of Ca²⁺. This substance may indirectly lead to the precipitation of calcite [3]. We can assume that it is due to the buffering role

of EPS that the calcite crystals do not dissolve during the periods of the appearance of aggressive carbonic acid in the water of the lake. This issue is open to discussion.

Conclusion

As follows from the above, of subaquatic stalactoids (Pool Fingers) of the Shulgan-Tash cave justified the microbial-mediated genesis, similar to that described in the literature of the North American counterparts.

This work has been done with the support of RFBR project No. 17-44-020091 p_a "Abiotic and biotic factors that shape the microbiota of the Shulgan-Tash cave and their impact on the role of microorganisms in the destruction of Paleolithic art".

REFERENCES

- 1. Chervyatsova O. Ya., Kazadayev D. S., Dbar R. S., Ekba Y. A. 2016, *Izucheniye osobennostey estestvennoy ventilyatsii Novoafonskoy peshchery (Abkhaziya) s ispol'zovaniyem radonometricheskoy syomki* [Studying the characteristics of natural ventilation in the new Athos cave (Abkhazia) using ergonometrical shooting]. *Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable development of mountain territories], vol. 8, no. 2, pp. 109–119.
- 2. Chervyatsova O. Ya, Dbar R. S., Potapov S. S., Kuz'mina L. Yu. 2016, *K probleme dioksida ugleroda (CO₂) i karbonatnogo mineraloobrazovaniya v Novoafonskoy peshchere (Abkhaziya)* [The problem of carbon dioxide (CO₂) and carbonate mineral formation in the new Athos cave (Abkhazia)]. *Ustoychivoye razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable development of mountain territories], vol. 8, no. 4, pp. 378–392.
- 3. Nestola F., Kasatkin A. V., Potapov S. S., Chervyatsova O., Lanza A. 2017, First crystal-structure determination on natural lansfordite, MgCO₃ · 5H₂O. *Mineralogical Magazine*, vol. 81, no. 5, pp. 1063–1071.
- 4. Kuz'mina L. Y., Galimzyanova N. F., Abdullin Sh. R., Ryabova A. S. 2012, *Mikrobiota peshchery Kinderlinskaya (Respublika Bashkortostan)* [Microbiota of the Kinderlinskaya cave (Republic of Bashkortostan)]. *Mikrobiologia* [Microbiology], vol. 81, no. 2, pp. 273–281.
- 5. Barton H. A., Northup D. E. 2007, Geomicrobiology in cave environments: past, current and future perspectives. *Journal of Cave and Karst Studies*, vol. 69, no. 1, pp. 163–178.
- 6. Kambesis P. 2007, The importance of cave exploration to scientific research. Journal of cave and karst studies, vol. 69, no. 1, pp. 46-58.
- 7. Melim L. A., Northup D. E., Spilde M. N., Jones B., Boston P. J., Bixby R. J. 2008, Reticulated filaments in cave pool speleothems: microbe or mineral? *Journal of Cave and Karst Studies*, vol. 70, no. 3, pp. 135–141.
- 8. Melim L. A., Liescheidt R., Northup D. E., Spilde, M. N., Boston P. J. & Queen J. M. 2009, A biosignature suite from cave pool precipitates, Cottonwood Cave, New Mexico. *Astrobiology*, vol. 9, no. 9, pp. 907–917.
- 9. Merino A., Ginés J., Tuccimei P., Soligo M., Fornós J. J. 2014, Speleothems in Cova des Pas de Vallgornera: their distribution and characteristics within an extensive coastal cave from the eogenetic karst of southern Mallorca (Western Mediterranean). *International Journal of Speleology*, vol. 43, no. 2, pp. 125–142.
- 10. Meyer S., Plan L. 2010, Pool-Fingers eine kaum bekannte Sinterform biogenen Ursprungs. *Mitteilungen des Verbandes der deutschen Höhlen- und Karstforscher*, no. 56 (4), pp. 104–108.
- 11. Vakhrushev B. A. *Tipy, genezis i mineralogiya peshchernykh otlozheniy. Peshchery. Informatsionno-poiskovaya sistema* [Types, genesis and mineralogy of cave deposits. Caves. Information search system]. URL: https://speleoatlas.ru/about-caves/natural-caves/tipy-genezis-i-mineralogi-ya-peshchernykh-otlozheniy
- 12. Rogozhnikov V. Ya. 1984, *Vodnokhemogennyye otlozheniya v karstovykh polostyakh-labirintakh Podol'skogo Pridnestrovya* [Water hemogenic deposits in karstic cavities of the Podolsk Transdniestria]. *Peshchery. Tipy i metody issledovaniya: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [The Caves. The types and methods investigation: Inter-university collection of scientific transactions]. Perm', pp. 46–55.
- 13. Hill C. A., Forti P. 1997, Cave minerals of the world. Huntsville, 463 p.
- 14. 2008, Rukovodstvo po meditsinskoy mikrobiologii [Medical Microbiology Manual]. Pod. red. A. S. Labinskoy, E. G. Volinoy [Edited by A. S. Labinskaya and E. G. Volina]. Moscow, vol. 1, 1078 p.
- 15. Davies D. G., Palmer M. V., Palmer A. N. 1990, Extraordinary subaqueous speleothemes in Lechuguilla Cave, New Mexico. *National Speleological Society Bulletin*, no. 52, pp. 70–86.
- 16. Arp G., Hofmann J., Reitner J. 1998, Microbial fabric formation in spring mounds ("microbialites") of alkaline salt lakes in the Badain Jaran sand sea, PR China. *Palaios*, no. 13, pp. 581–592.

The article was received on December 7, 2017

УДК 549.742.111:550.422:579.8:551.44

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-20-25

Субаквальные сталактоиды в Дальнем Верхнем озере пешеры Шульган-Таш (Южный Урал)

Ольга Яковлевна Червяцова¹, kittary@ya.ru Сергей Сергеевич Потапов². s almazov@74.ru Людмила Юрьевна Кузьмина³, ljkuz@anrb.ru Любовь Владимировна Леонова⁴, lvleonova@yandex.ru

¹Государственный заповедник «Шульган-Таш» Россия, Республика Башкортостан, Бурзянский район, дер. ²Институт минералогии УрО РАН Россия, Челябинская область, Миасс, Ильменский заповедник ³Уфимский институт биологии УФИЦ РАН Россия, Республика Башкортостан, Уфа, просп. Октября, 69 4Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена необходимостью комплексного изучения минералогических и микробиологических параметров пещеры Шульган-Таш (Каповой), представляющей собой археологический памятник мирового значения.

Шель работы: описание находки субаквальных сталактоидов из пешеры Шульган-Таш и решение минералого-генетических вопросов.

Методология исследования: в работе применялись гидрохимические, электронно-микроскопические и микробиологические методы исследований. Результаты. В статье впервые для России описаны субаквальные сталактоиды (в зарубежной литературе называемые «Pool Fingers» – бассейновые пальцы) – карбонатные образования пещер с однозначно не установленным происхождением, формирующиеся в прибрежных зонах пещерных водоемов. Субаквальные сталактоиды найдены в Дальнем Верхнем озере, на втором этаже пещеры Шульган-Таш, в 700 м от входа. Субаквальные сталактоиды распространены вдоль восточного и западного берегов озера. Это тонкие вытянутые агрегаты кремового цвета длиной до 30 см, сложенные кальцитом. Образовались они в озере с гидрокарбонатно-кальциевым типом воды, обшей минерализацией 390–510 мг/л, водородным показателем, близким к нейтральному (рН 6,8–7,3) и с незначительным (не более 5 мг/л) содержанием магния, сульфатов и хлоридов. Поверхность сталактоидов покрывает биопленка внеклеточных полимерных веществ (extracellular polymeric substances – EPS) и микроорганизмов, в среде которой происходит кристаллизация кальцита. Внутри агрегатов встречаются уплощенные нити биологического происхождения «филаменты», таксономическая принадлежность которых неясна. Кальцит представляет собой блочные, с элементами расщепления кристаллические субиндивиды размером 200–300 µm. Нередко наблюдается проявление скелетного роста кристаллов. Исследованиями подтверждается участие микроорганизмов в генезисе субаквальных сталактитоидов. По всей видимости, нитчатые бактериальные маты играют роль затравок и «каркаса», обеспечивающего гравитационно-ориентированный рост агрегатов. Внеклеточное полимерное вещество (EPS), обладающее способностью образовывать комплексные соединения с ионами Ca2+, может опосредованно приводить к осаждению кальцита.

Выводы: аля субаквальных сталактоидов (Pool Fingers) обоснован микробно-опосредованный генезис, схожий с описанными в литературе североамериканскими аналогами.

Ключевые слова: субаквальные сталактоиды; Pool Fingers; вторичные минеральные образования; карбонаты; кальцит; скелетные кристаллы; бактерии; пещера Шульган-Таш.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 17-44-020091 р_а «Абиотические и биотические факторы, формирующие микробиоту пещеры Шульган-Таш и их влияние на роль микроорганизмов в разрушении палеолитической живописи».

ЛИТЕРАТУРА

- ЛИТЕРАТУРА

 1. Червяцова О. Я., Казадаев Д. С., Дбар Р. С., Экба Я. А. Изучение особенностей естественной вентиляции Новоафонской пещеры (Абхазия) с использованием радонометрической съемки // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. Т. 8, № 2. С. 109—119.

 2. Червяцова О. Я., Дбар Р. С., Потапов С. С., Кузьмина Л. Ю. К проблеме диоксида углерода (СО2) и карбонатного минералообразования в Новоафонской пещере (Абхазия) // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. Т. 8, № 4. С. 378—392.

 3. Nestola F., Kasatkin A. V., Potapov S. S., Chervyatsova O., Lanza A. First crystal-structure getermination on natural lansfordite, MgCO₃ · 5H₂O // Mineralogical Magazine. 2017. Т. 81, № 5. С. 1063—1071.

- 4. Кузьмина Л. Ю., Галимзянова Н. Ф., Абдуллин Ш. Р., Рябова А. С. Микробиота пещеры Киндерлинская (Республика Башкортостан) // Микробиология. 2012. Т. 81, № 2. С. 273–281.
- 5. Barton H. A., Northup D. E. Geomicrobiology in cave environments: past, current and future perspectives // J. Cave Karst Stud. № 69. P. 163–178. 6. Kambesis P. The importance of cave exploration to scientific research // Journal of cave and karst studies the National Speleological Society bulletin. 2007. Vol. 69, № 1. P. 46–58.

 7. Melim L. A., Northup D. E., Spilde M. N., Jones B., Boston P. J., Bixby R. J. Reticulated filaments in cave pool speleothems: microbe or mineral? Journal of Cave and Karst Studies. 2008. Vol. 70, № 3. P. 135–141.

 8. Melim L. A., Liescheidt R., Northup D. E., Spilde M. N., Boston P. J., Queen J. M. A biosignature suite from cave pool precipitates, Cottonwood Cave, New Mexico // Astrobiology. 2009. T. 9, № 9. C. 907–917.

 9. Merino A., Ginés J., Tuccimei P., Soligo M., Fornós J. J. Speleothems in Cova des Pas de Vallgornera: their distribution and characteristics within an extensive, coastal cave from the expensive form the expensive fo

- within an extensive coastal cave from the eogenetic karst of southern Mallorca (Western Mediterranean) // International Journal of Speleology. 2014. Vol. 43, № 2. P. 125–142.
- 10. Meyer S., Plan L. Pool-Fingers eine kaum bekannte Sinterform biogenen Ursprungs // Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher. 2010. № 56 (4). P. 104–108. 11. Ва́хрушев Б. А. Типы, генезис и минералогия пещерных отложений / Пещеры. Информационно-поисковая система. URI: https:// speleoatlas.ru/about-caves/natural-caves/tipy-genezis-i-mineralogiya-peshchernykh-otlozheniy/

- speleoatias: плароці-сачез/паціан-сачез/пру-депедіз-і-піпетаюду/а-резгіспетнукті-оподпетну/
 12. Рогожников В. Я. Воднохемогенные отложения в карстовых полостях-лабиринтах Подольского Приднестроваья // Пещеры. Типы и методы исследования. Пермь: Пермский университет, 1984. С. 45–55.
 13. Hill C. A., Forti P. Cave minerals of the world. Huntsville: National speleological society, 1997. 463 р.
 14. Руководство по медицинской микробиологии / под ред. А. С. Лабинской, Е. Г. Волиной М.: БИНОМ, 2008. Т. 1. 1078 с.
 15. Davies D. G., Palmer M. V., Palmer A. N. Extraordinary subaqueous speleothems in Lechuguilla Cave, New Mexico // National Speleological Society Bulletin. 1990. № 52. Р. 70–86.
- 16. Arp G., Hofmann J., Reitner J. Microbial fabric formation in spring mounds («Microbialites») of alkaline salt lakes in the Badain Jaran Sand Sea, PR China // Palaios. 1998. № 13. P. 581-592.

Статья поступила в редакцию 7 декабря 2017 г.

УДК 551.7;553.98 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-26-34

РОЛЬ ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ НАДСОЛЕВОГО КОМПЛЕКСА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИКАСПИЯ

Инна Владимировна Быстрова¹, bystrova1948@list.ru
Татьяна Сергеевна Смирнова¹, tatyana.smirnova@asu.edu.ru
Динара Абдулаевна Бычков¹, serebryakov-74@mail.ru
Макар Сергеевич Мелихов²
mail: mr.m m s@mail.ru

¹Астраханский государственный университет Россия, Астрахань ²Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина Россия, Москва

Актуальность работы. Северо-Западный Прикаспий относится к числу районов с высокой степенью ресурсности нефти и газа. Открытие в последние десятилетия ряда месторождений углеводородов является важным фактором, подтверждающим перспективность данной территории в нефтегазоносном отношении. Показана актуальность применения новых методов исследования с целью открытия месторождений углеводородов, в частности – палеонтологического. Изучение органического мира на эволюционной основе и с учетом региональных особенностей палеотективического развития позволяют на научном уровне обосновать перспективы нефтегазоносности Северо-Западного Прикаспия. Для этих ценеобходимо определить доминантные составляющие органического мира от бактерий до высокоразвитых организмов, которые развивались на протяжении всего геологического времени. В связи с этим необходимо развивать и выявлять диалектическое единство между палеотектоникой и палеонтологией, что позволит выявить закономерности формирования и размешения месторождений нефти и газа.

Шелью исследования является научное обоснование перспектив нефтегазоносности и повышения прогноза мезозойского комплекса Северо-Западного Прикаспия с учетом влияния палеотектонического и палеонтологического факторов.

Методология изучения. Изучение размешения месторождений нефти и газа на основе выявления роли палеонтологического метода при определении нефтегазоносности данного района. Анализ материала, содержащего ископаемые остатки вымерших организмов.

Результаты. Авторами проводились многолетние палеотектонические исследования на территории Северо-Западного Прикаспия, что позволило выявить ряд антиклинальных поднятий на локальном и региональном уровне. В 1976 г. на одном из таких поднятий (Астраханский свод) было открыто уникальное по флюидальному составу и крупнейшее по размерам Астраханское серогазоконденсатное месторождение. Это подтвердило перспективность данной территории в нефтегазоносном отношении. Авторами дается анализ сложного процесса образования углеводородов и их залежей. Выявлены основные причины и закономерности, определяющие концентрацию ОВ в осадках. Определено, что более высокие концентрации присуши породам глинистого состава. Аля субаквальных осадков характерны сапропелевые разности органического вещества. Их накопление происходит в условиях максимальной изоляции от влияния суши. В результате проведенных работ были отобраны образцы горных пород (керновый материал), обработка которого проводилась на базе Нижне-Волжского научно-исследовательского института геологии и геофизики в г. Саратове. Определялось наличие органических остатков и степени их сохранности. Именно эти показатели являются хорошими индикаторами условий осадконакопления и могут быть использованы при поисках месторождений нефти и газа.

ВЫВОДЫ. Многолетние исследования Северо-Западного Прикаспия на основе палеотектонического анализа и использование результатов палеонтологических исследований на стадии выявления и подготовки объектов под поисковое бурение позволяют не только изучить процессы формирования ловушек и приуроченных к ним залежей углеводородов, но и в конечном итоге оценить перспективы нефтегазоносности.

*Ключевые слов*а: палеотектоника; палеонтология; Северо-Западный Прикаспий; углеводороды; органическое вещество; биосфера; нефтегазоносность; шельфовая зона; прибрежная зона.

ведение

Россия обладает крупнейшими запасами углеводородного сырья (УВ), которое является основным резервом развития топливно-энергетического комплекса государства. Северо-Западный Прикаспий входит в число ведущих районов по наличию уникальных месторождений нефти и газа нашей страны.

Современный уровень знаний и анализ многочисленных фактических данных по геологии, тектонике и особенностям палеотектонического развития с учетом палеонтологических сведений, основанных на эволюционном развитии органического мира, позволяют более объективно обосновать перспективы нефтегазоносности исследуемого региона [18, 20].

Теоретическое обоснование поисков залежей углеводородов (УВ) в надсолевых отложениях данной территории на основе палеонтологического анализа дает возможность выявить на региональном и локальном уровнях структуры, перспективные в нефтегазоносном отношении, что в значительной степени расширяет научные преставления об этапах формирования и сохранности месторождений углеводородов в нефтегазоносных комплексах мезозоя и позволяет на более высоком научно-методическом уровне выделить наиболее перспективные участки.

Территория Северо-Западного Прикаспия характеризуется широким стратиграфическим диапазоном нефтегазоносности (от девона до плиоценовых отложений). В надсолевом комплексе отложений выявлены ряд месторождений и залежей УВ, а также отмечались нефтегазопроявления на многих площадях (табл. 1) [1–3]. В поисковом бурении находилось более 30 площадей. В отложениях триаса, юры и мела были выявлены нефтяные, газоконденсатные и газовые месторождения, в основном небольшие по запасам. Большинство из них залегают на глубинах от 720 до 2800 м и приурочены к ловушкам антиклинального типа, а также к ловушкам примыкания к склону соли (тектонически экранированный тип). Залежи пластовые, тектонически и литологически ограниченные. Средние мощности отдельных пластов изменяются от 1,5 до 15 м. Состав коллекторов представлен, как правило, терригенными породами порового типа, реже карбонатными трещинно-поровыми. Пористость данных пород изменяется в пределах от 13 до 29 %, а нефтегазонасыщенность – от 55 до 77 %. Термобарические условия находятся в зависимости от глубин залегания залежи. Выявленные в характеризуемом разрезе месторождения приурочены к мезозойским отложениям, которые, по мнению ведущих уче-

ных-геологов и экономистов, являются основной базой для формирования нефтегазовой отрасли (табл. 2, рис. 1).

Небольшие глубины залегания продуктивных горизонтов, доказанная региональная нефтегазоносность, современное состояние рынка УВ сырья предопределяют рентабельность разработки даже небольших месторождений и позволяют по-новому оценить перспективы нефтегазоносности надсолевого комплекса Северо-Западного Прикаспия.

Существенную роль в генерации и накоплении УВ играют многочисленные геологические факторы (тектонические, палеотектонические, литолого-стратиграфические, палеонтологические, геохимические, термобарические и др.). Каждый из них в той или иной степени оказывает в конечном счете влияние на формирование и сохранение залежей УВ, а также на их размещение.

Результаты

Результаты палеотектонических реконструкций Северо-Западного Прикаспия [3–6] направлены на разведку структур, перспективных в нефтегазоносном отношении, как на суше, так и в шельфовой зоне Каспия. Использование этих исследований позволяет более целенаправленно выявлять тектонические структуры, являющиеся перспективными в нефтегазоносном отношении, и более достоверно проводить прогнозные оценки данного региона.

Результаты палеонтологического анализа на основе изучения истории развития структур подтверждают наличие или отсутствия углеводородов. Практикой доказано, что размещение месторождений нефти и газа теснейшим образом связано с особенностями их биогенного генезиса. Отмечаем, что в процессе литогенеза, начиная от накопления первичного осадка и захоронения в нем органического вещества и до аккумуляции углеводородов в породах коллекторах, происходит формирование залежей и месторождений [7–10]. Важнейшим условием познания закономерностей формирования и распространения залежей различного типа обусловлено существующей связью с тектогенезом и накоплением органогенных осадков.

Длительный и сложный процесс образования углеводородов и их залежей требует, прежде всего, наличия исходного органического вещества (ОВ). На современном этапе изучения особенностей развития нефтегазовой отрасли необходимо выявлять основные причины и закономерности, определяющие концентрацию ОВ в осадках, к которым относятся:

- 1) размеры биомассы живого вещества в сфере накопления данного осадка на поверхности грунта и в слое покрывающей его воды;
- 2) интенсивность процессов разложения органического вещества, выражением которой может служить коэффициент фоссилизации (отношение количества захороняющегося органического вещества к величине суммарной его продукции);
 - 3) соотношение между притоком в осадок органического вещества и поступлением в него минеральных компонентов;
 - 4) активность процессов механического переноса органического детрита из одних фациальных обстановок в другие;
 - 5) локальные перемещения подвижных компонентов органического вещества в уплотняющемся осадке раннего диагенеза.

Таким образом, распределение исходного для нефтегазообразования органического вещества в осадках непосредственно связано с условиями их накопления [11, 12]. Установлено, что более высокие концентрации присущи породам глинистого состава. Для субаквальных осадков характерны сапропелевые разности органического вещества. Их накопление происходит в условиях максимальной изоляции от влияния суши.

В шельфовой зоне, где формируются оптимальные условия для развития органической жизни, создаются условия для аккумуляции углеводородов.

В. И. Вернадский в своих научных работах [13], посвященных развитию естествознания и учения о нефти и газе, отмечает значительную геологическую роль организмов в процессе образования нефти и газа. Он считал, что живые организмы – это могучая геологическая сила. «На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а поэтому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом». Химические элементы, очутившись в живом организме, попадают в особую среду, «аналогично которой они не находят нигде в другом месте на нашей планете». Такая оценка роли живых организмов позволяет верно подойти как к проблеме образования нефти, так и к процессам формирования ее залежей. Вот почему палеотектонический анализ далекого прошлого необходимо связывать с особенностями распространения жизни на Земле.

Все организмы делятся на автотрофные, которые в своем питании независимы от других организмов, и гетеротрофные, питающиеся органическими соединениями, созданными другими живыми организмами. Автотрофные организмы в отличие от гетеротрофных развиваются целиком из веществ «мертвой» природы. Основными химическими элементами являются азот, кислород, углерод и водород, которые за счет минеральных веществ образуют главную массу их состава.

Среди автотрофных организмов особое положение занимают две резко отличающиеся друг от друга группы – это зеленые хлорофильные организмы растений и быстро размножающиеся бактерии. Хлорофильные организмы, включающие зеленый планктон морей и океанов, являются главным механизмом биосферы. Путем фотосинтеза создаются химические тела, аккумулирующие лучистую энергию Солнца. Бактерии, широко распространенные в водоемах и их осадках, обладают геохимической энергией, в десятки и сотни раз превышающей ту же энергию растений [13].

Одной из важнейших особенностей автотрофных бактерий является их повсеместное распространение. Однако отсутствие их больших скоплений связано с особыми условиями питания. Они получают нужную для жизни энергию, окисляя соединения азота, серы, железа, марганца и углерода. Эти соединения обычно в той или иной степени бывают уже окисленными, в связи с чем количество пищи для бактерий весьма ограниченно. В природе существует равновесие между бактериями, восстанавливающими сульфаты, и автотрофными организмами, окисляющими их.

С момента появления жизни в гидросфере и во все дальнейшие геологические периоды развитие живых организмов удерживалось в определенных зонах. Данные зоны не изменялись в отличие от изменчивости форм жизни и физико-географического положения гидросферы. На распространение жизни в морях и океанах решающее влияние оказывает значительная трансформация солнечной энергии, что и приводит к сгущению организмов.

Взяв за основу процессы зарождения, развития и распределения жизни в океане, выделяют четыре статических скоплений жизни: две пленки – планктон и донную – и два сгущения – прибрежное (морское) и саргассовое. Прослеживается непосредственная связь между распределением морей и континентов, с одной стороны, и активным развитием

Таблица 1. Распределение залежей УВ и нефтегазопроявлений в надсолевом разрезе Северо-Западного Прикаспия. Table 1. Distribution of hydrocarbon deposits and oil and gas occurrences in the North-West Caspian sea section.

								1	
Промыс- повское месторож- дение		\bigcirc							
Беш- кульская площадь				▼					
Тинак- ская пло- щадь			Ф						
Кирикипи- новская ппощадь			Θ	\circ					
Разночи- новская ппощадь			\bigcirc	\bigcirc					
Веер- ная пло- щадь			\bigcirc						
Беньков- ская площадь				Θ					
Заволж- ская пло- щадь						\bigcirc			
Северо- Шаджин- ское ме- сторожде- ние					∇	∇			
Вороня- евская площадь						\triangleleft			
Бугринское месторож- дение						∇	0		
Верблюжье месторож- дение		$\nabla lacksquare$	•	•		,			
Прибаскун- чакская площадь						Ф		7	
Юртовское месторож- дение					◀			Нефтяные залежи	Газовые залежи
Возраст отпо- жений	N + Q	K2	Κı	2Γ	T ₂	Tı	P ₂	■	\triangleleft (

Нефтепроявления

Газопроявления

Таблица 2. Характеристика выявленных месторождений углеводородов. Table 2. Characteristics of the revealed hydrocarbon deposits.

N S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	짇		Возраст продук-	Глубина		Количе-	Средняя	i i	Колле	Коллекторские свойства	іства	Термобарические условия	ические зия
ждение	откры- тия	Тип ловушки	тивных отложе- ний	залега- ния, м	Тип залежи	ство пластов	толщина пластов, м	тора Тора	Открытая пори- стость, %	Проницае- мость, %	Нефте- газонос- ность, %	Давление, МПа	Темпера- тура, °С
					Юго-запад	ная часть і	Юго-западная часть Прикаспийской впадины	й впадины					
Бугрин- ское, газо- вое	1963	Антикли- нальная, тектонически нарушенная	Ē	2583– 2798	Пластовая, сводовая, тектонически экраниро- ванная	-	72	Терриген- ный, поро- вый	13–21	0,01–1,4	ව	28	80
Юртовское, нефтяное	2009	Антикли- нальная, тектонически нарушенная	<u>-</u> -	980–1070	Пластовая, сводовая, тектонически экраниро- ванная	-	12	I	21	1	09	15	65
Северо- Шаджин- ское, газо- вое	1991	Антиклиналь- ная	e ² T	2350-2700	Пластовая, сводовая	ω	12,8; 3,6; 3,4; 3,0; 2,0; 3,0	Карбонат- ный тре- щинный, терриген- ный поро- вый	0,9–11	1,4–2,0	24–09	24,3–31,2	78-90
Верблюжье а) 3. Блок, нефтяное	1994	Экранирован- ная солью – тектонически экранирован- ная	\int_{2}^{b}	1420— 1500	Пластовая, литологиче- ски экрани- рованная	-	∞	Терриген- ный, поро- вый	73	1	22	13	09
б) СВ. Блок, газо- нефтяное	I	Антиклиналь- ная	۲ 2 ع	840–1560	Пластовая	4	11,6; 15,6;8,1; 6,8	Карбонат- ный тре- щинный, терриген- ный поро- вый	23-30	1	64-68	4	28
Бешкуль- ское	1963	Антиклиналь- ная	$J_2 b$	1350– 1400	Пластовая, сводовая	7	4	Терриген- ный, поро- вый	15–24	0,27	63-72	14,5	547,8



Карта нефтегазоносности надсолевых отложений Северо-Западного Прикаспия. Масштаб 1: 1 000 000. Map of oil and gas potential of saline deposits of the North-Western Caspian sea. Scale 1: 1 000 000.

прибрежных организмов, с другой. Эта связь, несомненно, имеет решающее значение в процессе нефтегазонакопления. Раскрыть ее можно только путем восстановления палеотектонической ситуации отдельных периодов развития земной коры с учетом исторического развития флоры и фауны каждого периода [14, 15].

Для дальнейшего развития нефтегазовой отрасли на должном уровне требуется внедрение изучения биосферы для выявления и научного обоснования роли организмов и растений в формировании месторождений углеводородов. Полученные результаты подтверждают, что изучение биологической структуры биосферы позволяет выявить основную массу живого вещества. Данные основополагающие идеи, которые широко используются в обосновании перспектив нефтегазоносности регионов исследования, освещены в трудах выдающихся ученых (А. П. Виноградова, Н. М. Страхова, Б. Б. Полынова, В. И. Лебедева, Н. Б. Белова, А. И. Перельмана, В. А. Успенский и др.). По данным В. А. Успенского, живым веществом была осуществлена огромная работа в процессе формирования осадочной оболочки Земли. Он приводит следующие данные: суммарная годовая продукция живого вещества по отношению к осадочной оболочке составляет около 0,003 %. Отмечается, что суммарная продукция этого вещества за все время существования биосферы примерно в 30 раз превосходит современную массу осадочных пород. Поэтому в осадках захороняется лишь ничтожная часть органических веществ.

В водах Мирового океана из общей массы углерода только 8,7 % приходится на углерод растворенного органического вещества. Остальные 91,3 % падают на карбонатный углерод и углерод растворенной углекислоты. В прибрежных частях океана и глубоководных морей происходит наиболее интенсивное развитие жизни и накопление органических веществ. В шельфовой зоне, мелководных морях, заливах и лагунах кроме местной фауны и флоры накапливается большое количество органического материала, приносимого с суши. Здесь же в результате разложения органического вещества создается восстановительная среда, не свойственная континентальным и глубоководным осадкам.

Области выдержанного распространения восстановительных обстановок приурочены к зонам промежуточного эпиконтинентального режима гидросферы: к опоясывающим материковые глыбы эпиконтинентальным морям и к наземным водоемам. Общая площадь этих обстановок составляет 15–20 % от суммарной площади земной поверхности. Именно здесь происходит максимальное накопление осадков, наибольшая концентрация органического вещества и образование всех горючих ископаемых [3, 7, 13].

Смена морского режима континентальным приводит к переработке осадков и разрушению содержащегося в них органического вещества. Отмечается, что с новым циклом седиментогенеза биогенный синтез рождает новое органическое вещество. Эти данные позволяют привести примерные эмпирические подсчеты величин общей массы живого вещества в течение всей геологической истории Земли. Считается, что основная масса осадков, отложившаяся в океане, распределена следующим образом: в эпиконтинентальной шельфовой зоне задерживается более 70 %, а в области глубокого океана 14 %.

Накопление осадков в эпиконтинентальной зоне океана и общее количество углерода составляет 75,7 % от суммарной массы углерода, и именно она поступает в течение года в осадки Мирового океана. На морской шельф приходится 75 % органического углерода. По направлению к прибрежной зоне процентное содержание углерода в суммарной массе углерода возрастает и максимум осадков достигает в континентальных водоемах.

Выделяются следующие отношения органического углерода к суммарному количеству всего углерода в различных осадках. В процентном отношении это составляет: в глубоководной части океана – 12,3; на континентальном склоне – 34,2; в шельфовой зоне – 40,4; для озер и болот – 78,8 и 100,0 соответственно [7, 13].

В зоне перехода от моря к суше, где происходит накопление органического вещества в осадках, создаются благоприятные условия для его захоронения. Именно с этой областью, как правило, связано образование УВ и формирование их залежей. Достоверно доказано, что большинство месторождений горючих ископаемых расположено в отложениях, накопление которых происходило на обширных площадях по обе стороны древних береговых линий.

Мощность осадочных образований в большей степени, по мнению ведущих ученых-геологов, зависит от многих факторов, но важнейшим является тектонический режим, который формирует палеотектоническую обстановку [1, 3–6].

В процессе осадконакопления основная масса осадков выносится реками в заливы и моря, представлена илом, а не песком, что приводит к образованию обширных зон, обрамляющих авандельты. Именно в илах сосредоточивалась главная масса исходного органического вещества. Затем при погружении на оптимальные глубины они становились нефтегазогенерирующими отложениями. Прослеживается следующая закономерность: органическое вещество растительного и планктонного происхождения в устьях рек накапливается в убывающем порядке от морского края дельты в сторону взморья. Например, в предустьевом пространстве р. Волги среднее содержание поверхностного фитопланктона падает со 100 г/м^3 до 0.5 г/м^3 у края дельты. Для побережья п-ова Мангышлак (предустьевое взморье) прослеживается широкое развитие илистых грунтов. Отмечается выделение метана и водорода при разложении органического вещества этих грунтов. При активизации деятельности бактерий формируется пленка, что приводит к прекращению этого процесса. Вследствие этого здесь формируется субстрат, благоприятный для развития огромного количества одноклеточных водорослей, которые синтезируют новые массы органического вещества.

В дельтах палеозойского возраста ископаемая фауна некоторых морских родов – пелеципод, гастропод, иглокожих и даже брахиопод – приспосабливалась к жизни в солоноватых и пресных водах. Как отмечают ряд ученых-палеонтологов, некоторые представители из перечисленных сохраняют морской облик, при этом обитая в дельтовых и даже речных отложениях [14, 15, 21].

Ловушки, расположенные в пределах крупных палеодельт рек, впадающих в океаны, эпиконтинентальные моря и озера являются наиболее благоприятным для накопления углеводородов (ископаемые дельты Восточно-Европейской равнины, Западной Сибири и других районов). Именно эти зоны обладают повышенной нефтегазоносностью.

На основе научно-теоретических обоснованных результатов палеонтологических исследований, проведенных на большом количестве месторождений нефти и газа, появилась возможность выявить необычайно высокий уровень и активность бактериального сообщества в толще воды и в донных осадках.

Была доказана значительная роль микрофлоры в продукционных процессах, протекающих в районах морских акваторий рифовых зон. Здесь отмечается увеличение биомассы бактерий в десятки и сотни раз, что превышает средние

величины, характерные для вод и осадков открытого океана. Находящаяся в осадках суточная продукция фитобентоса и бактерий достигает нескольких процентов от суммарного содержания в них органики. Это подтверждает значительную активизацию биологического круговорота и является одной из главнейших причин наличия огромных скоплений нефти и газа, характерных для большинства рифовых массивов.

Следовательно, так же, как и для богатейших нефтяных месторождений, связанных с отложениями дельт и авандельт, важнейшим условием формирования гигантских скоплений нефти в ископаемых рифах является необычно высокая насыщенность осадков районов их распространения исходным для нефтеобразования органическим веществом [16, 17].

Прослеживается взаимосвязь между накоплением органического вещества в осадках прибрежной зоны (лагуны, заливы, лиманы, дельтовые межрусловые водоемы и т. д.) и довольно быстрым его захоронением под осадками наступающего моря. Благодаря этому органическое вещество сохраняется от окисления. На побережье при отступлении моря, как правило, остается относительно широкая полоса реликтовых озер и болот, где происходит накопление значительного количества органического вещества гумусового или сапропелевого типа.

В зоне трансгрессий, регрессий и ингрессий происходит переслаивание морских и континентальных осадков. В связи с этим наблюдается связь нефтегазоносных отложений с зонами перехода континентальных субаквальных отложений в морские, и наоборот. Как правило, этот переход нередко выражен присутствием в разрезе нефтегазоносных образований одного и того же стратиграфического подразделения.

Нефтегазообразование – длительный процесс образования углеводородов, протекающий, по различным оценкам ученых-исследователей, от 50 до 350 млн лет. Аккумуляция нефти и газа – конечный этап сложного процесса миграции нефти и газа из зоны образования в зоны накопления.

Выволы

В данной работе проведен анализ и изучение палеонтологического материала надсолевых отложений Северо-Западного Прикаспия с учетом развития современных структурных особенностей надсолевого осадочного чехла и истории его формирования в мезозойское время. Поэтому изучение органического мира на эволюционной основе и с учетом региональных особенностей палеотектонического развития позволяют на научном уровне обосновать перспективы нефтегазоносности Северо-Западного Прикаспия.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Анисимов Л. А., Делия С. В. К вопросу о перспективах нефтегазоносности надсолевого комплекса западной части Прикаспийской впадины // Недра Поволжья и Прикаспия. 2015. Вып. 84. С. 35–46.
- 2. Кононов Ю. С. Особенности нефтепоисковых работ в надсолевых отложениях Прикаспия // Недра Поволжья и Прикаспия. 2017. Вып. 91. С. 40–49.
- 3. Воронин Н. И. Палеотектонические критерии прогноза и поиска залежей нефти и газа на древних и молодых платформах (на примере Прикаспийской впадины и прилегающих районов Скифско-Туранской платформы): дис. д-ра геол.-минерал. наук. М., 1988. 288 с.
- 4. Воронин Н. И. Особенности геологического строения и нефтегазоносность юго-западной части Прикаспийской впадины. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. 163 с.
- 5. Быстрова И. В., Федорова Н. Ф., Смирнова Т. С. Палеоструктурные преобразования Северо-Западного Прикаспия в раннемеловое время // Геология, география и глобальная энергия. 2008. № 4. С. 26–30.
 6. Быстрова И. В., Смирнова Т. С., Федорова Н. Ф., Мангаладзе Р. Т. Особенности палеотектонического развития Астраханского свода и пер-
- 6. Быстрова И. В., Смирнова Т. С., Федорова Н. Ф., Мангаладзе Р. Т. Особенности палеотектонического развития Астраханского свода и перспективы нефтегазоносности западной части Прикаспийской впадины // Геология, география и глобальная энергия. 2017. № 3 (66). С. 77–86. 7. Расницын А. П. Эволюционная теория: современный этап // Палеонтологический журнал. 2014. № 1. С. 3–8.
- 8. Губкин И. М. Учение о нефти. М.: Наука, 1975. 385 с.
- 9. Исследования по палеонтологии и биостратиграфии древних континентальных отложений памяти профессора В. Г. Очева: сб. науч. статей / Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского, Геологический факультет; под ред. М. А. Шишкина и В. П. Твердохлебова. Саратов, 2009. 216 с.
- 10. Блюман Б. А. Эволюция событий в истории развития Земли от 4,5 до 0,9 миллиардов лет. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2015. 309 с.
- 11. Li Z. Research frontiers of fluid-rock interaction and oil-gas formation in deep-buried basins // Bulletin of mineralogy, Petrology and Geochemistry. 2017. Vol. 35. P. 807–816.
- 12. Mi J., Zhang S., Chen J. et al. Upper thermal maturity limit for gas generation from humic coal // International Journal of Coal Geology. 2015. Vol. 152. P. 123–131.
- 13. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994. 320 с.
- 14. Акишина О. В., Силантьев В. В. К палеонтологической характеристике нижнего триаса Скифской плиты // Палеострат-2018: науч. конф. секции палеонтологии МОИП и Москов. отд-ния Палеонтолог. о-ва при РАН (Москва, 29–31 янв. 2018 г.). М.: ПИН РАН, 2018. 64 с.
- 15. Устинова М. А. Биостратиграфия верхнеюрских отложений Астраханского газоконденсатного месторождения по фораминиферам // Палеострат-2018: науч. конф. секции палеонтологии МОИП и Москов. отд-ния Палеонтолог. о-ва при РАН (Москва, 29–31 янв. 2018 г.). М.: ПИН РАН, 2018. 64 с.
- 16. Okparanma R. N., A. M. Mouazen. Determination of total petroleum hydrocarbon (TPH) and polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in soils: a review of spectroscopic and non-spectroscopic techniques // Applied Spectroscopy Reviews. 2013. Vol. 48, № 6. P. 458–486.
- 17. Pepper A. S., Corvi P. J. Simple kinetic models of petroleum formation. Part I. Oil and gas generation from kerogen // Marine and Petroleum Geology. 2015. Vol. 12, № 3. P. 291–319.
- 18. Трофимов В. А. Глубинное строение юго-восточной части Восточно-Европейской платформы // Геотектоника. 2014. № 3. С. 3–15.
- 19. Конторович А. Э., Пономарева Е. В., Бурштейн Л. М., Глинских В. Н., Ким Н. С., Костырева Е. А., Павлова М. А., Родченко А. П., Ян П. А. Распределение органического вещества в породах баженовского горизонта (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2018. № 3. С. 357–371.
- 20. Макарова Н. В., Суханова Т. В. Актуальные проблемы изучения новейших платформенных структур (на примере Восточно-Европейской платформы и прилежащей части Скифской плиты) // Вестник Москов. ун-та. Сер. 4. Геология. 2017. № 3. С. 17–26.
- 21. Вишневская В.С., Копаевич Л.Ф., Беньямовский В.Н., Овечкина М.Н. Корреляция верхнемеловых зональных схем Восточно-Европейской платформы по фораминиферам, радиоляриям и нанопланктону // Вестник Москов. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 1. С. 26–35.

Статья поступила в редакцию 9 апреля 2018 г.

УДК 551.7:553.98 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-26-34

The role of the paleontological aspects to determine the hydrocarbon potential of the North-Western Caspian post-salt complex

Inna Vladimirovna Bystrova¹, bystrova1948@list.ru Tat'yana Sergeevna Smirnova¹, tatyana.smirnova@asu.edu.ru Dinara Abdulaevna Bychkova¹, serebryakov-74@mail.ru Makar Sergeevich Melikhov² mail: mr.m m s@mail.ru ¹Astrakhan State University Astrakhan', Russia ²Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) Moscow, Russia

Relevance of the work. The Northwest Caspian Sea region has a high oil and gas resource potential. The discovery of a number of hydrocarbon deposits in recent decades is an important factor confirming the prospects of the territory in terms of oil and gas. The urgency of applying new methods of research to open the deposits of hydrocarbons is shown. In particular, the paleontological method is one of the most topical. The study of the organic world on the evolutionary basis allows substantiating the prospects of oil-and-gas content of the North-West Caspian Sea at the scientific level. The regional characteristics of paleotectonic development should definitely be taken into account. For these purposes, it is necessary to determine the dominant components of the organic world from bacteria to highly developed organisms that have developed throughout the geological time. In this regard, it is necessary to develop and identify the dialectical unity between paleotectonics and paleontology, which will reveal the laws of formation and placement of oil and gas deposits.

The purpose of the study is to scientifically substantiate the prospects of oil and gas potential and increase the forecast of the Mesozoic complex of the North-West Caspian Sea. The influence of paleotectonic and paleontological factors should be taken into account.

The methodology of the study. The study of the oil and gas deposits placement on the basis of the identification of the paleontological method's role in determining the petroleum potential of the area. Analysis of material containing fossil remains of extinct organisms is one of the methods of the present research.

Results. The authors conducted long-term paleotectonic studies in the North-Western Caspian region, which allowed identifying a number of anticline rises at the local and regional level. In 1976 at one of these uplifts (Astrakhan vault) was opened at the unique fluid composition and the largest in size Astrakhan derogatories deposit. This confirmed the prospects of the territory in terms of oil and gas. The authors analyze the complex process of formation of hydrocarbons and their deposits. The basic causes and patterns that determine the concentration of gases in the sediments have been revealed. It is determined that higher concentrations are inherent to rocks of clay composition. The sapropelic differences of the organic matter are characteristic of subaqueous sediments. Their accumulation occurs under the conditions of maximum isolation from the influence of land. As a result of the carried-out works samples of rocks (core material) which processing was carried out on the basis Nizhne-Volzhsky research Institute of Geology and Geophysics in Saratov were selected. The presence of organic residues and their degree of preservation were determined. These indicators are good indicators of sedimentation conditions and can be used in the search for oil and gas deposits.

Summary. Long-term studies of the North-Western Caspian region based on the paleotectonic analysis and the use of the results of paleontological studies at the stage of detection and preparation of objects for exploratory drilling have been carried out. They allow not only studying the processes of formation of traps and associated hydrocarbon deposits. They also make it possible to ultimately assess the prospects of oil-and-gas content.

Keywords: paleotectonics; paleontology; North-Western Caspian region; hydrocarbons; organic matter; biosphere; petroleum; offshore area; the coastal area.

REFERENCES

- 1. Anisimov L. A., Delia S. V. 2015, K voprosu o perspektivakh neftegazonosnosti nadsolevogo kompleksa zapadnoy chasti Prikaspiyskoy vpadiny [The prospects of the post-salt complex of the Western part of the Caspian depression]. Nedra Povolzhia i Prikaspiya [Volga and Pricaspian region resources], vol. 84, pp. 35–46.
- 2. Kononov Yu. S. 2017, Osobennosti neftepoiskovykh rabot v nadsolevykh otlozheniyakh Prikaspiya [Peculiarities of oil exploration activities in the post-salt sediments of the Caspian Sea]. Nedra Povolzhia i Prikaspiya [Volga and Pricaspian region resources], vol. 91, pp. 40–49.
- 3. Voronin N. I. 1988, Paleotektonicheskiye kriterii prognoza i poiska zalezhey nefti i gaza na drevnikh i molodykh platformakh (na primere Prikaspiyskoy vpadiny i prilegayushchikh rayonov Skifsko-Turanskoy platformy). Dis. d-ra geol.-mineral. nauk [Paleotectonic criteria of oil and gas deposits forecast and search on ancient and young platforms (on the example of the Caspian basin and adjacent areas of the Scythian-Turan platform): dissertation of the Doctor of geological and mineralogical sciences]. Moscow, 288 p.
- 4. Voronin N. I. 2004, Osobennosti geologicheskogo stroyeniya i neftegazonosnost' yugo-zapadnoy chasti Prikaspiyskoy vpadiny [Peculiarities of the geological structure and oil and gas potential of the southwestern part of the Caspian depression]. Astrakhan', 163 p.
- 5. Bystrova I. V., Fedorova N. F., Šmirnova T. S. 2008, *Paleostrukturnyye preobrazovaniya Severo-Zapadnogo Prikaspiya v rannemelovoye vremya* [Paleostructural transformations of the northwestern Caspian sea in early Cretaceous time]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, geography and global energy], no. 4, pp. 26–30.
- 6. Bystrova I. V., Smirnova T. S., Fedorova N. F., Mangaladze R. T. 2017, Osobennosti paleotektonicheskogo razvitiya Astrakhanskogo svoda i perspektivy neftegazonosnosti zapadnoy chasti Prikaspiyskoy vpadiny [Features of the paleotectonic development of the Astrakhan arch and prospects of oil and gas potential in the Western Caspian basin]. Geologiya, geografiya i global'naya energiya [Geology, geography and global energy], no. 3 (66), pp. 77–86.
- 7. Rasnitsyn A. P. 2014, Evolyutsionnaya teoriya: sovremennyy etap [The theory of evolution: the modern stage]. Paleontologicheskiy zhurnal [Paleontological Journal], no. 1, pp. 3–8.
- 8. Gubkin I. M. 1975, *Ucheniye o nefti* [The doctrine of oil]. Moscow, 385 p.
- 9. 2009, Issledovaniya po paleontologii i biostratigrafii drevnikh kontinental'nykh otlozheniy pamyati professora V. G. Ocheva: sb. nauch. statey [Research on paleontology and biostratigraphy of ancient continental deposits in the memory of Professor V. G. Ochev: a collection of articles]. Saratovskiy gosudarstvennyy universitet im. N. G. Chernyshevskogo. Geologicheskiy fakul'tet; pod red. M. A. Shishkina i V. P. Tverdokhlebova [Saratov State University named after N. G. Chernyshevsky, Department of Geology; edited by M. A. Shishkin and V. P. Tverdokhlebov]. Saratov, 216 p.
- 10. Bluman B. A. 2015, Evolyutsiya sobytiy v istorii razvitiya Zemli ot 4.5 do 0.9 milliardov let [Evolution of events in the history of the Earth from 4.5 to 0.9 billion years]. Saint Petersburg, 309 p.

- 11. Li Z. 2017, Research frontiers of fluid-rock interaction and oil-gas formation in deep-buried basins. Bulletin of mineralogy, Petrology and Geochemistry, vol. 35, pp. 807-816
- 12. Mi J., Zhang S., Chen J. et al. 2015, Upper thermal maturity limit for gas generation from humic coal. International Journal of Coal Geology, vol. 152, pp. 123-131.
- 13. Vernadsky V. I. 1994, Zhivoye veshchestvo i biosfera [Living matter and the biosphere]. Moscow, 320 p.
- 14. Akishina O. V., Silantyev V. V. 2018, K paleontologicheskoy kharakteristike nizhnego triasa Skifskoy plity [The paleontological characteristic of the lower Triassic of the Scythian plate]. Paleostrat-2018: nauch. konf. sektsii paleontologii MOIP i Moskov. otd-niya Paleontolog. o-va pri RAN (Moskva. 29–31 yanv. 2018 g.) [Paleostrat-2018: a scientific conference of the paleontology section in the Moscow society of Nature Explorers and the Moscow Department of the Paleontological society under the Russian Academy of Sciences (Moscow, January 29-31, 2018)]. Moscow, 64 p. 15. Ustinova M. A. 2018, Biostratigrafiya verkhneyurskikh otlozheniy Astrakhanskogo gazokondensatnogo mestorozhdeniya po foraminiferam [Biostratigraphy of upper Jurassic deposits of Astrakhan gas condensate deposit by foraminifera]. Paleostrat-2018: nauch. konf. sektsii paleontologii MOIP i Moskov. otd-niya Paleontolog. o-va pri RAN (Moskva. 29–31 yanv. 2018 g.) [Paleostrat-2018: a scientific conference of the paleontology section in the Moscow society of Nature Explorers and the Moscow Department of the Paleontological society under the Russian Academy of Sciences (Moscow, January 29-31, 2018)]. Moscow, 64 p.
- 16. Okparanma R. N., Mouazen A. M. 2013, Determination of total petroleum hydrocarbon (TPH) and polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in soils: a review of spectroscopic and non-spectroscopic techniques. Applied Spectroscopy Reviews, vol. 48, no. 6, pp. 458–486.
- Soils: a review of spectroscopic and non-spectroscopic techniques. *Applied Spectroscopy Reviews*, vol. 46, 110. 6, pp. 456–460.

 17. Pepper A. S., Corvi P. J. 2015, Simple kinetic models of petroleum formation. Part I. Oil and gas generation from kerogen. *Marine and Petroleum Geology*, vol. 12, no. 3, pp. 291–319.

 18. Trofimov V. A. 2014, *Glubinnoye stroyeniye yugo-vostochnoy chasti Vostochno-Evropeyskoy platformy* [Deep structure of the South-Eastern part of the East European craton]. *Geotektonika* [Geotectonics], no. 3, pp. 3–15.

 19. Kontorovich A. E., Ponomaryova E. V., Burshtein L. M., Glinskikh V. N., Kim N. S., Kostyreva E. A., Pavlova M. A. Rodchenko, A. P., Yan P. A.

- 2018, Raspredeleniye organicheskogo veshchestva v porodakh bazhenovskogo gorizonta (Zapadnaya Sibir') [The Distribution of organic matter in rocks of the Bazhenov horizon (West Siberia)]. Geologiya i geofizika [Russian Geology and Geophysics], no. 3, pp. 357–371.

 20. Makarova N. V., Sukhanova T. V. 2017, Aktual'nyye problemy izucheniya noveyshikh platformennykh struktur (na primere Vostochno-Evropeyskoy platformy i prilezhashchey chasti Skifskoy plity) [Topical problems of studying the latest platform structures (on the example of the East European platform and the adjacent part of the Scythian plate)]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 4. Geologiya [Moscow University Geology
- Bulletin], no. 3, pp. 17–26.
 21. Vishnevskaya V. S., Kopayevich L. F., Ben'yamowsky V. N., Ovechkina M. N. 2018, *Korrelyatsiya verkhnemelovykh zonalnykh skhem Vostochno-Evropeyskoy platformy po foraminiferam, radiolyariyam i nanoplanktonu* [Correlation of upper Cretaceous zonal schemes of the East European platform based on foraminifers, radiolarians and nanoplankton]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 4. Geologiya* [Moscow University Geology Bulletin], no. 1, p. 26–35.

The article was received on April 9 2018

УДК 552.313: 551.7.022 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-35-40

ФАЦИИ ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ

Олег Николаевич Грязнов Gryaznov.O@ursmu.ru

Уральский государственный горный университет Россия, Екатеринбург

Актуальность темы обусловлена необходимостью выделения фациальных типов вулканогенных комплексов с целью выявления закономерностей локализации в них гидротермального оруденения.

Шель работы: обоснование необходимости изучения фаций вулканогенных горных пород и их роли в контроле локализации гидротермального оруденения.

Методология исследований базируется на материалах геологических съемок вулканогенных комплексов и лабораторного изучения горных пород.

Результаты. В статье рассматривается проблема фаций вулканогенных горных пород континентальных вулканогенных формаций. Приведен анализ представлений М. А. Усова, Ю. А. Кузнецова, В. К. Монича, Е. Б. Яковлевой, А. И. Семенова и других исследователей. Присоединяясь к мнению М. А. Усова и Ю. А. Кузнецова, под фацией автор понимает условия образования вулканогенных горных пород. При этом главным фактором является глубина, второстепенными – геолого-структурные особенности среды. Руководствуясь предложенными принципами, автор предлагает свою классификацию фаций вулканогенных пород орогенного ряда. По глубине образования выделены фации, по второстепенным факторам – субфации. Эффузивно-пирокластическая фация включает эффузивную, экструзивную и вулканогенно-осадочную субфации. Жерловая фация охватывает некковую, дайковую и экструзивную субфации. Субвулканическая фация представлена субфациями субвулканической интрузии и дайковой. Гипабиссальная фация включает субфации гипабиссальной интрузии и дайковую. Каждая субфация характеризуется присущими ей телами соответствующей формы. Приведена характеристика названных фаций, субфаций и тел.

В заключении подчеркивается необходимость изучения и обсуждения поставленного вопроса с целью выявления закономерностей локализации оруденения вулканогенных формаций.

Ключевые слова: фации; субфации; условия образования вулканических тел.

Проблема «вулканизм и рудообразование» многие годы волновала специалистов в связи с изучением условий образования гидротермальных месторождений урана, месторождений меди и полиметаллов колчеданного, порфирового типов, месторождений молибдена и сопутствующих им элементов. В этой важнейшей для нашей страны проблеме исследователи столкнулись с необходимостью выяснения роли вулканогенных горных пород различной фациальной принадлежности и значения фациальных типов вулканогенных комплексов в контроле локализации промышленного оруденения. С особой активностью эти вопросы обсуждались во второй половине XX в. Они не потеряли своего значения и в настоящее время в связи с необходимостью выявления новых месторождений в условиях резкого сокращения, а порой прекращения государственного финансирования геологоразведочных (поисковых, разведочных) работ на твердые полезные ископаемые.

В связи с изложенным выше современному поколению молодых геологов – основных исполнителей программы расширения минерально-сырьевой базы рудных месторождений – необходимо знать закономерности их размещения. «Лучшее новое – хорошо забытое старое», что требует учитывать богатейший опыт советской геологической школы, создавшей пока существующий резерв промышленных месторождений ведущих видов полезных ископаемых.

В настоящей статье мы остановимся на рассмотрении фаций вулканогенных пород континентальных формаций, а в последующем – на фациальных типах вулканогенных комплексов.

Познание закономерностей размещения рудных месторождений в вулканогенных формациях невозможно без дифференцированного подхода к изучению вулканогенных образований, их фациального расчленения и объективной оценки роли пород различных фаций в контроле оруденения. М. А. Усов был одним из первых, кто обратил внимание на необходимость дифференцированного подхода к исследованию пород эффузивного облика [1]. «В различных условиях становления одна и та же эффузивная масса получает различную форму своего литологического выражения или, если перенести на магматические породы терминологию, разработанную в применении к осадочным породам, различную фациальность ... только с точки зрения принадлежности эффузивов к определенной фации и фазе эта группа пород ... получит подобающее ей место и поможет выявлению новых и интересных моментов истории Земли».

Результаты

Руководствуясь условиями образования пород и формой тел, М. А. Усов впервые выделил пять фаций вулканогенных пород: экструзивную (покровы, потоки, купола); силлово-лакколитовую (силлы и лакколиты); дайковую (линейные дайки); жерловую (трубы) и штоковую (штоки). В качестве дополнительного критерия использовалась фаза состояния эффузивов. Такой подход к построению классификации представляется недостаточно убедительным. Форма тел является второстепенным признаком, зависит от геолого-структурных особенностей толщ, вмещающих вулканогенные образования, и не всегда определяется глубиной формирования пород. Лакколиты, дайки свойственны как субвулканическим, так и гипабиссальным условиям. Кроме того, форму даек имеют тела жерловой фации при трещинных излияниях. Не вполне удачно объединение покровов, потоков и куполов в экструзивной фации. Фаза состояния также не всегда может являться диагностиционным критерием. Исследования наземных андезит-дацит-липаритовой и трахилипаритовой формаций свидетельствуют о диагенетическом преобразовании пород, практически независимо от их фациальной принадлежности. По облику удается отличать субвулканические образования от излившихся и жерловых, но подчас это невозможно. При подводных же извержениях все породы приобретают зеленокаменный облик.

Несмотря на приведенные замечания, трудно переоценить колоссальную роль классификации М. А. Усова, на которой воспитывались многие поколения геологов, занимающихся изучением эффузивов. Она, несомненно, явилась очень

важным документом, нацелившим на более серьезный подход к изучению внутреннего строения эффузивных толщ и выявлению сложных взаимоотношений при формировании вулканогенных образований.

Ю. А. Кузнецов (1955), развивая идеи М. А. Усова, предложил фациальное подразделение магматических пород в зависимости от глубины формирования, типа магмы и формы тел. Под фацией магматической породы, по Ю. А. Кузнецову, «следует понимать совокупность условий формирования магматической породы (или магматического комплекса), которые определяют ряд ее специфических особенностей».

В классификации Ю. А. Кузнецова вулканогенные породы могут относиться к экструзивной и гипабиссальной группам фаций. В первой автор выделяет наземную, подводную и жерловую фации, во второй – силлово-лакколитовую, штоковую и дайковую фации. Представляется недостаточно удачным объединение в одну группу экструзивных фаций излившихся и эксплозивных пород с жерловыми, характеризующихся качественно различными условиями образования. Слишком расширено толкование гипабиссальной группы фации, включающей приповерхностные фации.

Позднее Ю. А. Кузнецов опубликовал принципиальную схему классификации фаций магматических пород [2], в основу которой была положена схема В. К. Монича. Важнейшее значение придается глубине образования пород, в качестве наиболее крупного классификационного подразделения выделена фация глубинности. Внутри макрофации по форме, размерам магматических тел и характеру контактового метаморфизма выделяются фации второго порядка. Последние, в свою очередь, подразделяются на фации третьего порядка в зависимости от состава, структуры и текстуры магматических пород. В рассматриваемой классификации вулканогенные породы могут быть отнесены к трем первым фациям глубинности (на примере гранитоидных магм): поверхностным (наземной эффузивной, подводной эффузивной, околократерной, экструзивной); приповерхностным (субвулканическим) фациям (жерловой, приповерхностной фации малых интрузий, приповерхностной жильной фации); гипабиссальным или малоглубинным фациям (малоглубинной плутонической, малоглубинной фации малых интрузий, малоглубинной жильной фации).

Существенно важным моментом является выделение самостоятельной субвулканической группы фаций. Неубедительно, однако, отнесение к этой группе жерловой фации. Кроме того, едва ли верно ограничение экструзий ролью поверхностных образований. При такой трактовке экструзии приходится рассматривать в отрыве от той части тел, которые возникли в магмоподводящем канале, хотя генетически они представляют единое целое.

На примере изучения краснокаменно-измененных вулканогенных пород Казахстана Е. Б. Яковлевой (1967) предлагается в основу выделения фаций положить условия формирования тел, в том числе их взаимоотношения с вмещающими породами. Морфологию тел автор рассматривает в качестве второстепенного признака и руководствуется им при выделении субфаций. По мнению Е. Б. Яковлевой, можно выделить три типа фаций вулканогенных пород: собственно эффузивную, субвулканическую и жерловую. Собственно эффузивная фация включает три субфации: субфацию текучих лав (лавовые потоки), эксплозивную (пирокластические породы) и экструзивную (купола, обелиски, купольные брекчии). К субвулканической фации отнесены лакколиты, силлы и дайки. Породы жерловой фации выполняют подводящие каналы в виде некков, даек и других тел.

В приведенной классификации автор не выделяет гипабиссальных пород. Они отождествляются с близповерхностными интрузивными образованиями в субвулканической фации. Такое чрезмерное расширение содержания субвулканической фации, на наш взгляд, мало обосновано. Необходимость выделения в качестве самостоятельных субвулканической и гипабиссальной фаций убедительно аргументирована Ю. А. Кузнецовым [2].

В процессе изучения позднеорогенных андезито-диоритовой, трахиандезито-диоритовой, трахито-сиенитовой и липаритовой формаций Северного Казахстана А. И. Семеновым (1966) выделены следующие фации: поверхностные (покровы лав, туфов), жерловые и прижерловые, экструзивные, субвулканических интрузий, гипабиссальных интрузий и дайковые. В рамках сжатых тезисов автор, естественно, не мог аргументировать выдвинутые положения. Обращает на себя внимание отделение экструзивных фаций в самостоятельную группу.

Изучение интрузивно-вулканических комплексов андезит-дацит-липаритовой и трахилипаритовой формаций, анализ и обобщение опубликованных материалов позволяют предложить следующие соображения о фациальном расчленении вулканогенных пород орогенного ряда.

Условия формирования магматических пород складываются из диалектического противоречия внешних и внутренних факторов. Внешние факторы – это свойства среды, внутренние – свойства магматического расплава. Специфика среды определяется глубиной и геолого-структурной обстановкой формирования пород. Присоединяясь к мнению М. А. Усова [1] и Ю. А. Кузнецова [2], под фацией мы понимаем условия формирования пород: главным фактором считаем глубину, второстепенными – геолого-структурные особенности среды. Последние обусловливают форму, размеры тел, их пространственные взаимоотношения с вмещающими породами. Вместе с тем следует учитывать состав магмы и степень насыщенности ее летучими компонентами. В зависимости от состава и свойств магматический расплав в различной степени воздействует на вмещающие породы и, следовательно, принимает участие в создании фациальных условий. Немаловажную роль в образовании пород различной фациальной принадлежности играет фактор времени. Пока не представляется возможным конкретизировать его значение при рассмотрении отдельно взятой фации. Вулканогенные породы всех фаций в широком смысле слова являются геологически одновременными при формировании сложных вулканических комплексов. Однако развитие комплексов охватывает значительный временной интервал, и при детальном изучении часто устанавливается определенная временная последовательность в образовании пород различных фаций [3]. В общем случае можно констатировать, что более глубинные тела формируются позже поверхностных по мере истощения энергии магматического очага.

Рассмотренные принципы положены в основу предлагаемой схемы классификации фаций вулканогенных пород орогенного ряда (таблица). По главному фактору (глубинности) выделены фации, по второстепенным факторам – субфации.

Породы эффузивно-пирокластической фации образуются при извержении магмы на поверхность. Вследствие пульсационного характера вулканической деятельности и чередования периодов извержений с периодами относительного

Схема классификации фаций вулканогенных пород орогенного ряда [4]. Scheme of classification of facies of volcanic rocks of orogenic series [4].

Фации	Субфации	Форма тел		
	Эффузивная	Потоки, покровы		
Эффузивно- пирокластическая	Эксплозивная	Прости		
Пирокластическая	Вулканогенно-осадочная	Пласты		
	Некковая	Некки или жерловины (вулканы центрального типа)		
Жерловая	Дайковая	Линейные дайки (вулканы трещинного типа), радиальнь кольцевые дайки (вулканы центрального типа)		
	Экструзивная	Экструзивные купола и обелиски, бисмалиты		
	Субвулканической интрузии	Лакколиты, гарполиты, бисмалиты, факолиты, этмолиты, силлы		
Субвулканическая	Дайковая	Линейные, радиальные дайки, кольцевые (в плане), цилиндрические и конические (в разрезе) дайки		
Гипабиссальная	Гипабиссальной интрузии	Лакколиты, штоки		
т инасиссальная	Дайковая	Линейные дайки		

покоя эффузивно-пирокластические породы в разрезе нередко переслаиваются с осадочными, имея с ними в общем случае согласное залегание. По условиям формирования эффузивно-пирокластические образования подразделяются на (1) эффузивную, (2) эксплозивную и (3) вулканогенно-осадочную субфации.

Породы эффузивной субфации образуются при излиянии жидкой базальтовой, андезитовой или обогащенной летучими дацитовой, липаритовой магмы, способной перемещаться на значительные расстояния на поверхности. Они представлены лавами, кластолавами, туфолавами и другими образованиями лавовой природы. Эффузивы залегают в виде потоков и покровов.

Породы эксплозивной субфации образуются в результате выбросов вулканического материала при взрывных извержениях. К ним относятся пирокластические горные породы (туфы, игнимбриты и др.), детально рассмотренные Е. Ф. Малеевым [5]. В связи со сменой эксплозивных извержений эффузивными в разрезе вулканических сооружений обычно наблюдается перемежаемость лав с пирокластами. Последние залегают в форме пластов различной мощности.

Эффузивно-пирокластические породы, в зависимости от образования вблизи вулканических жерл или на удалении от них, характеризуются рядом особенностей. Е. Ф. Малеев [5], К. И. Дворцова (1963), М. А. Петрова (1967) отмечают, что в околожерловой зоне формируются мощные потоки лав, часто глыбового сложения, крупнообломочные до глыбовых туфы, глыбовые брекчии; на некотором удалении от жерл (в промежуточной зоне склонов вулканических конусов) потоки лав имеют меньшую мощность, туфы отличаются средне- и мелкообломочной структурой; на значительном расстоянии от вулканических аппаратов (в удаленной зоне) формируются мелко- и тонкообломочные туфы и вулканогенно-осадочные породы.

Породы жерловой фации выполняют каналы, служившие для вывода магматического расплава на поверхность. Тела, сложенные породами жерловой фации, в вулканах центрального типа имеют трубообразную форму и получили название некков, или жерловин (некковая субфация). В вулканах трещинного типа жерловые тела обладают дайкообразной формой (дайковая субфация). Некки и дайки характеризуются секущими контактами с вмещающими породами. Формирование некков часто происходит в результате многократного поступления расплава, реже встречаются тела одноактных извержений. В зависимости от состояния магмы и степени насыщенности ее летучими компонентами излившиеся и жерловые породы могут обладать идентичными или различными структурно-текстурными особенностями. В верхних частях жерловин нередко наблюдается глыбовое или агломератовое сложение пород.

Формирование пород *экструзивной* субфации происходит в канале вулкана и сопровождается выдавливанием из его жерла вязкой магмы кислого или среднего состава на поверхность, где она застывает в виде куполов, бисмалитов, обелисков. Экструзивные тела, возникая в жерлах вулканов, пространственно и генетически связаны с породами жерловой фации. А. Ритман (1967) выделяет два генетических типа куполов: а) самостоятельные экструзии (экструзивные куполовидные вулканы); б) купола, формирующиеся в жерлах стратовулканов в завершающий период их развития. Примером первых могут служить плиоценовые куполовидные липаритовые вулканы Артени и Атис в Армении, описанные С. Г. Карапетяном [6], вторых – четвертичные андезитовые купола вулкана Большая Удина, исследованные К. М. Тимербаевым (1962).

Согласно А. Ритману [7], образование интрузий может сопровождаться одновременными излияниями лав, застывающих в виде коротких потоков, или эксплозивными извержениями. Подобные явления наблюдались Г. С. Горшковым и Г. Е. Богоявленской [8] при извержениях вулкана Безымянного в 1955–1963 гг. Вместе с тем ими установлено чередование эффузивно-эксплозивных извержений с выжиманием экструзивного купола Нового. По мнению Ю. М. Дубика и И. А. Меняйлова (1969), изучавших извержения Безымянного 1961–1965 гг., переход от экструзивного процесса к эффузивному может считаться постепенным.

В областях мезозойского и тем более палеозойского вулканизма диагностика экструзивных тел значительно затруднена, а на эродированных вулканических сооружениях практически невозможна. С увеличением глубины породы магмовыводящего канала некковой, дайковой и экструзивной субфаций приобретают облик субвулканических.

Фациальное разнообразие горных пород эффузивно-пирокластической и жерловой фаций установлено на палеовулканах Урала [9], современных вулканах Камчатки [10, 11, 12], Курильских островов [13], восточного Китая [14] и Тайваня [15].

Вулканогенные породы *субвулканической* фации формируются на относительно небольшой глубине. Из-за ряда причин магма при движении не достигает поверхности и застывает в пределах вулканогенных или вулканогенно-осадочных толщ. По морфологическим признакам среди субвулканических тел различают лакколиты, бисмалиты, гарполиты, факолиты, этмолиты, силлы (*субфация субвулканической интрузии*) и дайки (*дайковая субфация*). Последние, по данным многих авторов, в зависимости от характера выполняемых структур подразделяются на линейные, в том числе радиальные, кольцевые (в плане), цилиндрические и конические (в разрезе) дайки.

Субвулканические тела имеют отчетливые секущие контакты с вмещающими породами. Слагающие их породы обычно характеризуются более однородными структурами и текстурами по сравнению с эффузивными и жерловыми образованиями. Нередко в эндоконтакте субвулканические интрузии сопровождаются ореолами эруптивных брекчий. Образование тел, по всей вероятности, происходит за сравнительно короткий промежуток времени, скорость остывания весьма значительна. Субвулканические тела, как правило, приурочены к тем же структурам, в которых локализованы жерловины [16].

Глубина образования субвулканических тел относительно небольшая. Е. Б. Яковлева (1967) по опыту изучения палеозойских вулканогенных пород Казахстана указывает на весьма небольшую глубину, однако считает, что об абсолютных глубинах застывания с достаточной достоверностью пока судить трудно. Исследования андезит-дацит-липаритовой формации свидетельствуют о формировании верхних частей субвулканических интрузий на глубине 250–300 м от древней поверхности, существовавшей в момент их внедрения. Анализ опубликованных материалов по вертикальному распространению уранового оруденения на месторождениях, приуроченных к субвулканическим интрузиям [17, 18], позволяет наметить глубины образования последних от близповерхностных до 1200 м.

Породы гипабиссальной фации по времени и генетически связаны с вулканизмом. Необходимо подчеркнуть их вулканическую природу в отличие от гипабиссальных интрузий самостоятельных интрузивных комплексов. На такой особый фациальный тип интрузий указывает Ю. А. Кузнецов [2], отмечая, что гипабиссальные интрузии находятся в тесной связи с близкими по возрасту эффузивами, обнаруживая тем самым свою субвулканическую природу. Дж. С. Диккей (Dickey John (1968)), изучая третичную вулканическую формацию Дебора Южного острова Новой Зеландии, установил, что извержения базальтов и их туфов сопровождались внедрением гипабиссальных интрузивов. М. А. Фаворская (1959) рассматривает эффузивы сложных магматических комплексов кислого состава Южного Приморья и Мексики как результат прорыва на поверхность магмы дифференцированных интрузивных очагов. В. А. Дворкин-Самарский и Г. И. Туговик (1969), разбирая особенности формирования магматических камер интрузивных тел вулкано-плутонических комплексов на примере Западного Забайкалья, пришли к выводу, что синхронно с вулканизмом происходит постепенный подъем интрузива. По мере затухания вулканической деятельности магма не в силах прорвать покрышку эффузивов и застывает на глубине с образованием интрузивов.

В целом можно констатировать, что гипабиссальные тела завершают развитие вулканических аппаратов. По своему геологическому положению они являются промежуточными между субвулканическими телами и интрузивами, возникшими на месте периферических вулканических очагов. В большинстве случаев, по данным В.Н. Котляра [5], они отражают поздние фации становления сложных вулканогенно-интрузивных комплексов.

Морфологически гипабиссальные тела представлены лакколитами, штоками (субфация гипабиссальной интрузии) и дайками (дайковая субфация). Они имеют четкие рвущие контакты с породами фундамента, субвулканическими телами и некками на глубоких горизонтах. Гипабиссальные интрузии характеризуются более медленным остыванием по сравнению с субвулканическими. В связи с этим для центральных частей тел типичны полнокристаллические структуры и массивные текстуры. По мере приближения к контактам появляются порфировые, а в эндоконтакте возможны афировые структуры. Пространственно гипабиссальные интрузии тяготеют к тем же структурным узлам, к которым приурочены жерловые и субвулканические образования. Ф. И. Ростовский (1969) указывает даже на постепенный переход в ряде случаев экструзивов в гранитные интрузии. Глубина формирования гипабиссальных тел составляет 2–3 км.

Заключение

Необходимо еще раз подчеркнуть, что вопрос о фациях вулканогенных пород заслуживает пристального внимания и обсуждения в печати в связи с изучением вулканогенных формаций и их рудоносности.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Усов М. А. Фации и фазы пород эффузивного облика / Основные идеи М. А. Усова в геологии. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. 542 с. 2. Кузнецов Ю. А. О принципах выделения и классификации фаций магматических пород / Основные идеи М. А. Усова в геологии: сб. Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. 542 с.
- 3. Котляр В. Н. Вулканогенные гидротермальные месторождения / Генезис эндогенных рудных месторождений. М.: Недра, 1968. 719 с.
- 4. Грязнов О. Н. О классификации фаций вулканогенных пород орогенного ряда / Геология и поиски месторождений редких и цветных металлов: труды СГИ. 1971. Вып. 31. С. 90–96.
- 5. Малеев Е. Ф. Вулканокластические горные породы. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 168 с.
- 6. Карапетян С. Г. Куполовидные вулканы Артени и Атис // Изв. АН Арм. ССР. 1964. Т. XVII, № 3/4. С. 79–97.
- 7. Ритман А. Вулканы и их деятельность. М.: Мир, 1964. 440 с.
- 8. Горшков Г. С., Богоявленская Г. Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955–1963 гг. М.: Наука, 1965. 171 с. 9. Волчек Е. Н., Огородников В. Н., Слободчиков Е. А., Червяковский В. С. Палеозойские вулканические постройки на востоке Среднего Урала и их петрохимия // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П. Н. Чирвинского. 2015. № 18. С. 185–191. 10. Флеров Г. Б., Чурикова Т. Г., Ананьев В. А. Вулканический массив плоских сопок: геология, петрохимия, минералогия и петрогенезис пород (Ключевская группа вулканов, Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2017. № 4. С. 30–47.
- 11. Belousov A., Belousova M. Dynamics and viscosity of 'a'a and pahoehoe lawa flows of the 2012–2013 eruption of Tolbachik volcano, Kamchatka (Russia) // Bulletin of Volcanology. 2018. 80:6.
- 12. Magus'kin M. A., Magus'kin V. M. Vertical ground movements in the Southern Zone of Tolbachik Cinder Cones after the end of the 1975–1976 Great Tolbachik Fissure Eruption and possible causes of the movements // Journal of Volcanology and Seismology. 2017. Vol. 11(5). P. 377–388. 13. Белоусов А. Б., Белоусова М. Г., Козлов Д. Н. Распространение отложений тефры и реконструкция параметров эксплозивного извержения вулкана Тятя 1973 г., о. Кунашир, Курильские острова // Вулканология и сейсмология. 2017. № 4. С. 48–56.

- 14. Huang Yu., Shan Ju., Bian W., Gu G., Feng Yu., Zhang B., Wang P. Facies classification and reservoir significance of the Cenozoic intermediate and mafic igneous rocks in Liaohe Depression, East China // Petroleum exploration and development. 2014. Vol. 41(6). P. 734–744.
- 15. Zellmer G. F., Rubin K. H., Miller C. A., Shellnutt J. G., Belousov A., Belousova M. Resolving discordant U–Th–Ra ages: constraints on petrogenetic processes of recent effusive eruptions at Tatun Volcano Group, Northern Taiwan. Geological Society, London, Special Publications, 422:SP422-3. 2015.
- 16. Sarmento C. C. T., Sommer C. A., Lima E. F. Mafic subvolcanic intrusions and their petrologic relation with the volcanism in the south hinge Torres Syncline, Paraná-Etendeka Igneous Province, southern Brazil // Journal of South American Earth Sciences. 2017. Vol. 77(1). P. 70–91. 17. Власов Б. П. Воловикова И. М., Гладышев Г. Д. и др. Геология месторождений уран-молибденовой рудной формации. М.: Атомиздат, 1966. 183 с.
- 18. Власов Б. П., Левин В. Н. Смолково-карбонатное оруденение в зоне даек порфиритов среди субвулканического интрузива фельзит-порфиров / Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений. М.: Недра, 1968. 472 с.

Статья поступила в редакцию 7 марта 2018 г.

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-35-40 VIIK 552 313-551 7 022

Facies of the continental formations' volcanogenic rocks

Oleg Nikolaevich Gryaznov, Gryaznov.O@ursmu.ru

Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is conditioned by the need to identify facies types of volcanogenic complexes in order to identify patterns of localization of hydrothermal mineralization in them.

The purpose of the study is the substantiation of the necessity to study the facies of the volcanogenic rocks and their role in controlling the localization of hydrothermal mineralization.

The research methodology is based on the data of geological surveys of volcanogenic complexes and on laboratory studies of rocks.

Results. The article considers the problem of facies of volcanogenic rocks of continental volcanogenic formations. The analysis of representations of M. A. Usov, Yu. A. Kuznetsov, V. K. Monich, E. B. Yakovleva, A. I. Semenov and other researchers is presented. The author associates himself with M. A. Usov and Yu. A. Kuznetsov, and understands the conditions of formation of volcanic rocks by the facies. The main factor is the depth, the secondary one is geological and structural features of the environment. The author is guided by proposed principles and proposes his own classification of facies volcanogenic rocks of the orogenic series. Facies were distinguished by depth of formation, and subfactions were distinguished by secondary factors, Effusive-pyroclastic facies include effusive, extrusion and volcanogenic-sedimentary subfacies. The vent facies covers a neck, a dyke and extrusive subfamilies. Subvolcanic facies is presented by the subfamily of subvolcanic intrusions and the dyke one. A hypabyssal facies includes subfile hypabyssal intrusions and dykes. Each subfamily is characterized by its inherent bodies of the corresponding shape. The characteristic of the named facies, subfamily and bodies is presented.

In conclusion, the need is emphasized to study and discuss the issue in order to identify patterns of localization of mineralization of volcanic formations.

Keywords: facies; subfunctions; conditions of formation of volcanic bodies.

REFERENCES

- 1. Usov M. A. 1960, Fatsii i fazy porod effuzivnogo oblika [Facies and phases of rocks of effusive appearance]. Osnovnyye idei M. A. Usova v geologii: sbornik [Basic ideas of M. A. Usov in geology: collection]. Alma-Ata, 542 p.
- 2. Kuznetsov Yu. A. 1960, O printsipakh vydeleniya i klassifikatsii fatsiy magmaticheskikh porod [On principles of selection and classification of magmatic rocks facies]. Osnovnyye idei M. A. Usova v geologii [Basic ideas of M. A. Usov in geology]. Alma-Ata, 542 p.
- 3. Kotlyar V. N. 1968, Vulkanogennyye gidrotermal'nyye mestorozhdeniya [Volcanogenic hydrothermal deposits]. Genezis endogennykh rudnykh mestorozhdeniy [Genesis of endogenous ore deposits]. Moscow, 719 p.
- 4. Gryaznov O. N. 1971, O klassifikatsii fatsiy vulkanogennykh porod orogennogo ryada [Classification of volcanic rocks facies of orogenic series] Geologiya i poiski mestorozhdeniy redkikh i tsvetnykh metallov: trudy SGI [Geology and prospecting of deposits of rare and non-ferrous metalls. Proceedings of the Sverdlovsk Mining Institute], vol. 31, pp. 90–96.
- 5. Maleyev, E. F. 1963, *Vulkanoklasticheskiye gornyye porody* [Volcanoclastic rocks]. Moscow, 719 p. 6. Karapetyan S. G. 1964, *Kupolovidnyye vulkany Arteni i Atis* [Dome-shaped volcanoes of Arteni and Atis]. *Izv. AN Arm. SSR* [Izvestiya Akademii nauk Armyanskoy SSR], Volume 17, no. 3/4, pp. 79-97.
- 7. Ritman A. 1964, *Vulkany i ikh deyatelnost'* [Volcanoes and their activity]. Moscow, 440 p. 8. Gorshkov G. S., Bogoyavlenskaya G. E. 1965, *Vulkan Bezymyannyy i osobennosti yego poslednego izverzheniya 1955–1963 gg.* [The Bezymianny Volcano and peculiarities of its last eruption 1955–1963]. Moscow, 171 p.
- 9. Volchek E. N., Ogorodnikov V. N., Slobodchikov E. A., Cherviakovsky V. S. 2015, Paleozoyskiye vulkanicheskiye postroyki na vostoke Srednego Urala i ikh petrokhimiya [Paleozoic volcanic structures East of the Middle Urals and their petrochemistry]. Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii: nauch. chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo [Problems of Mineralogy, petrography and metallogeny: scientific readings in the memory of P. N. Chirvinsky], no. 18, pp. 185-191.
- 10. Flerov G. B., Churikova T. G., Ananyev V. A. 2017, Vulkanicheskiy massiv ploskikh sopok: geologiya. petrokhimiya. mineralogiya i petrogenezis porod (Klyuchevskaya gruppa vulkanov. Kamchatka) [Volcanic massif of flat hills: Geology, petrochemistry, Mineralogy and petrogenesis of rocks (Klyuchevskaya group of volcanoes, Kamchatka)]. Vulkanologiya i seismologiya [Journal of Volcanology and Seismology], no. 4, pp. 30–47.
- 11. Belousov A., Belousova M. 2018, Dynamics and viscosity of a'a' and pahoehoe lawa flows of the 2012–2013 eruption of Tolbachik volcano, Kamchatka (Russia). Bulletin of Volcanology, 80:6.
- 12. Magus'kin M. A., Magus'kin V. M. 2017, Vertical ground movements in the Southern Zone of Tolbachik Cinder Cones after the end of the 1975– 1976 Great Tolbachik Fissure Eruption and possible causes of the movements. Journal of Volcanology and Seismology, vol. 11(5), pp. 377-388.
- 13. Belousov A. B., Belousova M. G., Kozlov, D. N. 2017, Rasprostraneniye otlozheniy tefry i rekonstruktsiya parametrov eksplozivnogo izverzheniya vulkana Tyatya 1973 g. o. Kunashir. Kuril'skiye ostrova [The distribution of tephra deposits and reconstruction of the parameters of explosive eruptions of the Tyatya volcano in 1973, Kunashir island, Kuril Islands]. Vulkanologiya i seismologiya [Journal of Volcanology and Seismology], no. 4, pp. 48-56.
- 14. Huang Yu., Shan Ju., Bian W., Gu G., Feng Yu., Zhang B., Wang P. 2014, Facies classification and reservoir significance of the Cenozoic intermediate and mafic igneous rocks in Liaohe Depression, East China. Petroleum exploration and development, vol. 41(6), pp. 734-744.
- 15. Zellmer G. F., Rubin K. H., Miller C. A., Shellnutt J. G., Belousov A., Belousova M. Resolving discordant U-Th-Ra agents: constraints on petrogenetic processes of record effective eruptions at Tatun Volcano Group, northern Taiwan. Geological Society, London, Special Publications,
- 16. Sarmento C. C. T., Sommer C. A., Lima E. F. 2017, Mafic subvolcanic intrusions and their petrologic relation with the volcanism in the south hinge Torres Syncline, Paraná-Etendeka Igneous Province, southern Brazil. Journal of South American Earth Sciences, vol. 77(1), pp. 70–91. 17. Vlasov B. P. Volovikova, I. M., Gladyshev G. D. and others, 1966, Geologiya mestorozhdeniy uran-molibdenovoy rudnoy formatsii [The geology of deposits of uranium-molybdenum ore formation]. Moscow, 183 p.
- 18. Vlasov B. P., Levin V. N. 1968, Śmolkovo-karbonatnoye orudeneniye v zone dayek porfiritov sredi subvulkanicheskogo intruziva fel'zit-porfirov [The tarring-carbonate mineralization in the zone of porphyrite dykes among the felsite-porphyry subvolcanic Intrusive]. Geologiya i voprosy genezisa endogennykh uranovykh mestorozhdeniy [Geology and genesis of endogenous uranium deposits]. Moscow, 472 p.

The article was received on March 7, 2018

УДК 553.411'44 (598) DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-41-48

ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ОВАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ РУДНОЙ ОБЛАСТИ НАМПАТЕН (ЛАОС)

Бунтхин Суваннудом¹, bt59199459@gmail.com Владимир Босхаевич Болтыров², boltyrov34@mail.ru Евгений Александрович Слободчиков², Evgeniy. Slobodchikov@m.ursmu.ru ¹Лаосская рудно-геологическая компания Лаос, Вьентьян ²Уральский государственный горный университет Россия, Екатеринбург

Актуальность работы. Выявленные закономерности пространственной связи рудных месторождений Юго-Восточной Азии с овальными формами рельефа позволяют упростить методику поисковых работ и уменьшить затраты на их проведение.

Цель работы. Целью исследований являлось теоретическое обоснование пространственной связи промышленного эндогенного оловянного оруденения с овальными формами рельефа, выявленной в результате поисковых работ, проводимых под руководством Б. Суваннудома по его оригинальной авторской методике.

Методология исследования. Выявленные во время поисковых работ закономерные связи рудных объектов с овальными формами рельефа обосновываются их сочетанием с особенностями геологического строения породного субстрата и теоретически объясняются представлениями о деформационных процессах, протекающих в тектоносфере Земли.

Результаты исследования. В результате проведенного исследования сделан вывод о первичной тектонической природе овальных структур, возникающих в результате пространственного наложения разновозрастных и разноориентированных деформационных структур типа зон рассланцевания и зон смятия, проявленных в породных комплексах дискретно и разномасштабно в соответствии с универсальным принципом делимости геоматериалов. В соответствии с этим принципом породные комплексы всей рассматриваемой территории первоначально были расчленены на тектонические блоки размером от сотен километров до сотен метров в поперечнике, пространственно подчиненные иерархической зависимости, при которой каждый из блоков всех масштабных рангов состоит из 9 блоков ближайшего меньшего ранга. Взбросо-савиговые смешения по более поздним зонам смятия в условиях транспрессивного сжатия вызывали образование оперяющих разрывов как в крыльях зон смятия, так и в крыльях более ранних зон рассланцевания, что, наряду с выдавливанием тектонических блоков, приводило к их закруглению и формированию тектоноовалов разных масштабов антиформного и синформного облика, а внутри тектоноовалов S-образных приоткрывающихся разрывных структур, контролирующих магмо- и рудогенез. В связи с этим со многими овальными структурами каждого масштабного ранга пространственно совпадают рудоконтролирующие структуры такого же ранга. Одной из крупных овальных структур является овал-мегантиклиналь (рудная область) Нампатен, имеющая размер в поперечнике около 30 км. В ее пределах развиты овальные структуры трех масштабных рангов, наименьшими из которых являются овальные структуры размером около 1 км, охватывающие оловорудные месторождения. Современные флювиальные процессы, благодаря разной степени деструкции пород в центре тектоноовалов и по их ограничениям, сформировали овальные положительные и отрицательные формы рельефа разных масштабов.

Выводы. Пространственная связь эндогенных рудных объектов с овальными формами современного рельефа обусловлена наложением современного флювиального рельефа на ранее сформированные овальные деформационные структуры, сопровождаемые эндогенным оруденением.

Ключевые слова: зоны рассланцевания; зоны смятия взбросо-савиговой природы; иерархическая делимость геоматериалов; овальные и сигмоидальные деформационные структуры; синтектонические магматизм и рудогенез.

Поисковые работы на эндогенное оруденение под руководством Б. Суваннудома много лет проводились на территории горной части Лаоса. Целью настоящего исследования является теоретическое обоснование выявленной путем этих работ пространственной связи промышленных рудных объектов (месторождений, рудных полей, узлов и районов) с овальными формами рельефа, соответствующими масштабам этих рудных объектов. Закономерности, выявленные в результате работ, позволили в конечном итоге упростить и удешевить поисковые работы без снижения их детальности.

1. Геологическое строение оловорудной области Нампатен

Оловорудная область Нампатен находится в пределах складчатого пояса Пхулуанг, расположенного на стыке Индокитайского массива с Южно-Китайским кратоном и охватывающего восточную часть территории Лаоса и территорию Вьетнама. Складчатый пояс Пхулуанг сложен разнообразными комплексами отложений протерозойско-фанерозойского возраста и имеет двухэтажное строение. Комплекс протерозойско-палеозойских отложений нижнего структурного этажа в позднепалеозойское время испытал интенсивное сжатие со стороны Индокитайского массива, что выразилось в интенсивной деформации пород и линеаризации всех составляющих его структур. Разломы северо-западного простирания представлены зонами интенсивного рассланцевания, выполненными бластомилонитами филлитового и слюдистого состава, иногда сопровождаемыми согласными с рассланцеванием дайкообразными гранитными интрузиями. Нижний структурный этаж перекрыт субгоризонтально залегающим мезо-кайнозойским структурным этажом, в комплексах которого на границе мезозойского и кайнозойского геохронов проявились лево-взбросо-сдвиговые перемещения северо-восточного направления, сопровождаемые синтектоническим магматизмом и рудогенезом.

Складчатый пояс Пхулуанг в продольном направлении разделен на три крупные овал-антиклинальные (антиформные) структуры, самой северной из которых является мегантиклинорий Напэ, вытянутый в северо-западном направлении примерно на 300 км при ширине около 200 км (рис. 1). Мегантиклинорий Напэ крупными продольными разломами разделяется на три структурно-формационные зоны, из которых Хинбунская и Аннамская располагаются в пределах территории Лаоса (рис. 2). Крайняя юго-западная Хинбунская структурно-формационная зона продольным разломом Намтхен отделена от Аннамской и сама расчленена параллельными ему разномасштабными разломами на продольные «пластины» шириной примерно 10–13, 3–4, 1–1,3 и 0,3–0,4 км, то есть отношение ширины тектонических «пластин» соседних размерных рангов составляет около 3.

В поперечном направлении Хинбунская зона пересечена дискретно проявленными левыми взбросо-сдвигами разных масштабов, с расстояниями между ними, также подчиняющимися универсальному принципу делимости геоматериалов. По типу деформационного процесса эти разломы являются вязкими разрывами, а по морфологическому проявлению в породах – зонами смятия [1, 2]. Интенсивность деструкции пересекаемых ими пород была значительно слабее деструкции, обусловленной зонами рассланцевания. Это выражается в троекратном превышении расстояний между соседними зонами смятия по сравнению с расстояниями между зонами рассланцевания такого же размера и по кулисному расположению фрагментов зон смятия по простиранию. Крупными левыми взбросо-сдвигами Намтон и Намсакан из Хинбунской зоны вычленен тектонический блок Хинбун (рис. 2).

Внутреннее строение блока Хинбун как фрагмента мегантиклинория Напэ и Хинбунской структурно-формационной зоны определяется сочетанием зон рассланцевания северо-западного и зон смятия северо-восточного простираний. Зоны рассланцевания расчленяют тектонический блок на узкие полосы (пластины) разного размера. Разномасштабные разломы северо-восточного простирания, представленные зонами смятия лево-взбросо-сдвигового типа, расчленяют «располосованный» северо-западными зонами рассланцевания блок Хинбун на разномасштабные ячеи-блоки [2].

2. Структурно-деформационная интерпретация тектонического строения блока Хинбун

Выше было отмечено, что расстояния между разломами одного масштабного ранга в системах разломов одной ориентировки примерно одинаковы. Отношение величин расстояний между разломами соседних масштабных рангов в системах разломов обоих направлений (северо-западной и северо-восточной ориентировки) примерно равно 3. В результате наложения систем разломов северо-восточного направления на системы разломов северо-западного направления описываемая территория, а в ее составе и тектонический блок Хинбун, расчленена на разномасштабные ячеи-блоки.

В этом разномасштабном блоковом расчленении описываемой территории проявился эмпирически установленный универсальный принцип делимости геоматериалов при сохранении соотношений размеров блоков соседних масштабных размерностей в значении 3:1 [3–5]. Различия расстояний, наблюдаемых между разрывными нарушениями разного ранга, можно объяснить проявлением во время разрывообразования деформационно-волновых процессов [6–9]. Считается [9–10], что эти процессы регулируются высвобождением накопленной перед разрывообразованием энергии в виде дискретных порций, величина которых обусловлена масштабом блоков, вовлеченных в деформационный процесс (высвобождаемая энергия при удалении от ее источника затухает не равномерно, а порциями через определенное расстояние).

В результате проявления универсального принципа делимости геоматериалов вся описываемая территория превратилась в тектоническую структуру, представляющую собой мозаику блоков, подчиненных в пространственном расположении строгой иерархической зависимости: крупные блоки обычно состоят из 9 более мелких, которые, в свою очередь, состоят из 9 еще более мелких блоков, в итоге образуя систему закономерно расположенных в пространстве блоков до 6 масштабных рангов (если за структуру 1-го ранга принять блок Хинбун). Каждый из этих блоков ограничен со всех сторон разломами примерно одного порядка: крупные блоки ограничены крупными разломами, а мелкие – мелкими.

Исключение составляют блоки, расположенные по периферии более крупных блоков и «вынужденные примыкать к разломам более крупного размера, ограничивающим «материнский» блок (рис. 3).

Важной особенностью проявления северо-восточных зон смятия является то, что лево-взбросо-сдвиговые смещения вдоль этих зон приводили к образованию около них оперяющих субмеридиональных разрывов растяжения [1, 11, 12]. Сопряжения этих разрывов с окончаниями северо-западных зон рассланцевания у границ блоков способствовали формированию морфологических структур двух типов.

Первый тип морфологических структур – это овальные тектонические структуры, формирующиеся на месте угловатых блоковых. Они возникали из блоковых структур при сопряжении зон рассланцевания северо-западного простирания с оперяющими взбросо-сдвиги разрывами растяжения субмеридионального простирания. Субмеридиональные оперяющие разрывы, с одной стороны, срезали два противоположно расположенных угла из четырех углов тектонических блоков, образованных сочленением зон рассланцевания и зон смятия, как бы закругляя их; а с другой стороны, накладываясь на более ранние зоны рассланцевания, затушевывали и маскировали их северо-западную ориентировку около углов блоков, усиливая эффект их закругления (рис. 3). Повышенная деструкция пород на пересечениях и сочленениях разломов трех указанных направлений определяла расположение флювиальных долин, сочетание которых своей конфигурацией дешифрирует овальные тектонические структуры. Интенсивная деструкция углов блока Хинбун и входящих в него более мелких блоков по рассмотренному сценарию придала им овалоподобную форму в плане.

Вторым типом морфологических структур, возникающих при взаимодействии зон рассланцевания с меридиональными разрывами, оперяющими зоны смятия, являются сигмоидальные структуры. Их образование вызвано тем, что зоны рассланцевания северо-западного простирания в тектонической структуре территории проявлены контрастнее, чем зоны смятия. Кроме того, в связи с втрое меньшими расстояниями между зонами рассланцевания северо-западного простирания по сравнению с одноранговыми зонами смятия северо-восточного простирания более-менее изометричный тектонический блок любого ранга (и овальная структура, образованная на основе этого блока) разделен на 3 полосы северо-западного простирания. Разворот северо-западных зон рассланцевания, ограничивающих эти полосы, в субмеридиональное направление при их сопряжении с оперяющими зоны смятия субмеридиональными разрывами около границ блоков придал этим полосам S-образную (сигмоидальную) форму (рис. 3). Соответственно каждая овальная структура состоит из 3 сигмоид, а каждая сигмоида – из 3 овальных структур следующего (более мелкого) масштабного ранга, что определяется тем же принципом универсальной делимости геоматериалов. Обычно четче выражены сигмоиды в центральной, наиболее массивной части овальной структуры, поскольку краевые части интенсивно переработаны ограничивающими овальную структуру разломными зонами. Механизм формирования разномасштабных блоков, овальных структур и сигмоид показан на рис. 3.

Поскольку тектонический блок Хинбун более мелкими разломами северо-западного и северо-восточного прости-

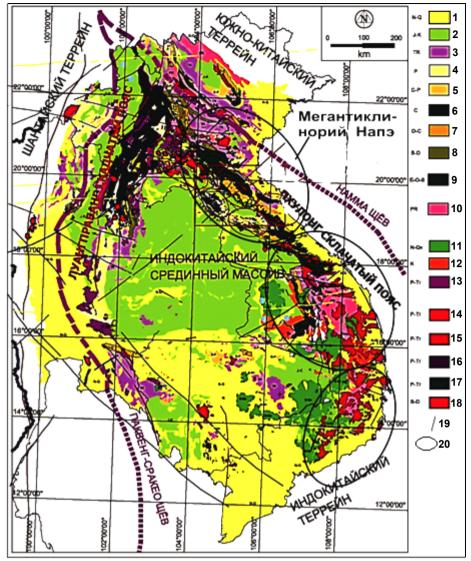


Рисунок 1. Геолого-структурная карта Индокитайского полуострова (по [13] с авторскими изменениями). Стратифицированные <u>образования.</u> 1 – неоген-четвертичные рыхлые отложения; 2 – юрская и меловая системы нерасчлененные; континентальные и субмаринные отложения: красноцветные терригенные породы, эвапориты, кислые вулканиты; 3 – триасовая система, верхний отдел; континентальные красноцветные карбонатно-терригенные отложения; 4 – пермская система, верхний отдел; известняки, терригенные угленосные отложения; 5 – каменноугольная и пермская системы нерасчлененные; рифовые известняки, черные сланцы и кремнистые породы; 6 - каменноугольная система; черные сланцы, кремнистые и терригенные угленосные породы, лавы и туфы кислого и среднего состава; 7 – девонская и каменноугольная системы нерасчлененные; красноцветные и сероцветные терригенные породы, карбонатно-черносланцевые породы, мергели; 8 - силурийская и девонская системы нерасчлененные; филлитовые сланцы, вулканиты кислого и среднего состава; 9 – кембрийская, ордовикская и силурская системы нерасчлененные; мраморы, кварциты, хлоритовые сланцы, филлиты, метавулканиты кислого, среднего и основного состава; 10 – протерозойская эратема; гранитогнейсы, слюдистые сланцы, амфиболиты, мигматиты, гранулиты, кальцифиры. Вулканогенные и вулкано-плутонические образования. 11 – неогеновые и четвертичные базальты; 12 – меловые дациты, риодациты и риолиты; 13 – пермские и триасовые андезиты, дациты и риолиты. <u>Интрузивные образования.</u> 14 – меловые граниты, гранодиориты, адамеллиты; 15 – пермские и триасовые кварцевые диориты, диориты, монцониты, сиениты, кварцевые порфиры; 16 – пермские габбро, габбро-нориты, долериты; 17 – каменноугольные офиолиты: пироксениты, перидотиты, дуниты, серпентиниты; 18 – батолитовые граниты и гранодиориты; 19 – разломы; 20 – контуры овальных деформационных структур в ранге мегантикпинориев

Figure 1. Geological and structural map of the Indo-Chinese Peninsula (by [13] with author's changes).

рания был разделен на ряд ячей разного размера, то все они в условиях лево-взбросо-сдвиговых смещений вдоль северо-восточных разрывов также были преобразованы в овалы соответствующих размеров, разделенные на сигмоиды такой же морфологии и ориентировки, как и сигмоиды блока Хинбун. На практике это выглядит как разделение овальной структуры Хинбун на ряд внутренних овалов меньшего размера, пространственно подчиненных его сигмоидам.

Следующей особенностью формирования овальных структур тектонического блока Хинбун является их выдавливание вверх под действием взбросовой составляющей мезозойских лево-взбросо-сдвиговых движений. Это перемещение вверх вызывало подворот горизонтальной неоднородности пород около границ блоков, что при их разной скорости перемещения привело к антиформному или синформному облику внутренней структуры блоков. За овальный облик в плане деформированных блоков и за их «обмятый» вид в разрезе сформированные структуры были названы овал-антиформами или овал-синформами разного ранга. Так тектонический блок Хинбун назван овал-антиклинорием, текто-

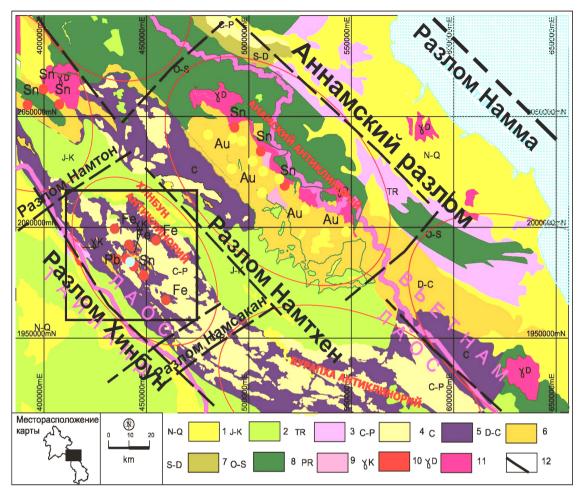


Рисунок 2. Геологическая карта центральной части мегантиклинория Напэ (по [13] с авторскими изменениями). 1 — неогенчетвертичные рыхлые образования: латериты и континентальные мелко- и грубообломочные породы; 2 — юрско-меловые континентальные и субмаринные отложения: красноцветные конгломераты, аргиллиты, алевролиты, песчаники и эвапориты, кислые вулканиты; 3 — позднетриасовые красноцветные отложения: аргиллиты, алевролиты, песчаники и мергели; 4 — верхнекаменноугольные и пермские отложения нерасчлененные: рифовые известняки, черные сланцы и кремнистые породы; 5 — каменноугольная система: черные сланцы, кремнистые породы, терригенные угленосные образования, лавы и туфы кислого и среднего состава; 6 — девонская и каменноугольная системы нерасчлененные: красноцветные терригенные породы, карбонатно-черносланцевые породы, мергели; 7 — силурийская и девонская системы нерасчлененные: филлитовые сланцы, вулканиты кислого и среднего состава; 8 — ордовикская и силурийская системы нерасчлененные: мраморы, метаконгломераты, хлоритовые сланцы, филлиты, кварциты, метавулканиты кислого, среднего и основного состава; 9 — протерозойская эратема: гранито-гнейсы, слюдистые сланцы, амфиболиты, мигматиты, гранулиты, кальцифиры; 10 — меловые граниты, гранодиориты, адамеллиты; 11 — батолитовые граниты и гранодиориты; 12 — разломы.

Figure 2. Geological map of the Central part of Nape meganticlinorium (by [13] with author's changes).

нический блок следующего масштабного ранга Нампатен, приуроченный к центральной сигмоиде овал-антиклинория Хинбун – овал-мегантиклиналью, входящие в овал-мегантиклиналь Нампатен более мелкие блоки Нампатен-центр и Фонтью – овал-синклиналями 1-го порядка, а более мелкие структуры – овал-антиклиналями и овал-синклиналями более высоких порядков (под порядком овальных структур здесь подразумевается элемент таксономического ряда складчатых структур размером меньше овал-мегасинклинали – от овал-синклинали 1-го до овал-синклинали 4-го порядка, размер складок уменьшается с увеличением номера порядка).

Выделяемые прежними исследователями синклинальные и антиклинальные структуры на самом деле являются тектоническими блоками, перемещенными на разную высоту (амплитуду) и обнажившими на земной поверхности разновозрастные комплексы. Схема иерархической соподчиненности овальных структур приведена на рис. 4.

3. Причинная связь пространственного совмещения рудных объектов с овальными формами рельефа

Интенсивные взбросо-сдвиговые движения в раннем мезозое по зонам смятия северо-восточного простирания способствовали формированию внутри разномасштабных блоков зон растяжения крутой ориентировки, что обусловливало проявление синтектонического магматизма и связанного с ним рудогенеза. Небольшая глубина заложения магматических систем способствовала формированию вулкано-плутонических комплексов гипабиссального типа с интрузивными телами состава диоритов, кварцевых диоритов, андезитов, дацитов, гранит-порфиров и риолитов [13, 14].

Гомодромный характер внедрения производных магматического процесса во времени от средних к кислым породам свидетельствует о достаточно глубокой дифференциации магматических очагов, завершающие стадии которых сопровождались отделением летучих и флюидов, содержащих рудную нагрузку. Для складчатого пояса Пхулуанг и

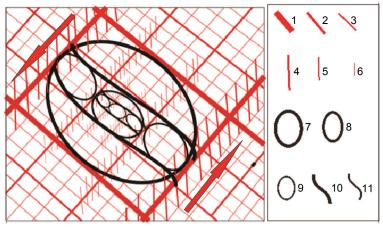


Рисунок 3. Схема образования овальных и сигмоидальных структур при пересечении разломных зон северо-западного и северо-восточного простирания. 1 — пересекающиеся системы разломов 1-го ранга; 2 — пересекающиеся системы разломов 2-го ранга; 3 — пересекающиеся системы разломов 3-го ранга; 4 — оперяющие разрывы зон смятия 1-го ранга; 5 — оперяющие разрывы зон смятия 2-го ранга; 6 — оперяющие разрывы зон смятия 3-го ранга; 7 — контур овальной структуры 1-го ранга; 8 — контуры овальных структур 2-го ранга; 9 — контуры овальных структуры 3-го ранга; 10 — контуры центральной сигмоиды овальной структуры 1-го ранга; 11 — контуры центральной сигмоиды овальной структуры 2-го ранга. На схеме показаны овальные структуры 2-го и 3-го рангов, выполняющие только центральные сигмоиды 1-го и 2-го рангов. Стрелки показывают направление трансляционного смещения в зонах смятия.

Figure 3. Scheme of formation of oval and sigmoidal structures at the intersection of fault zones of North-West and North-East stretch.

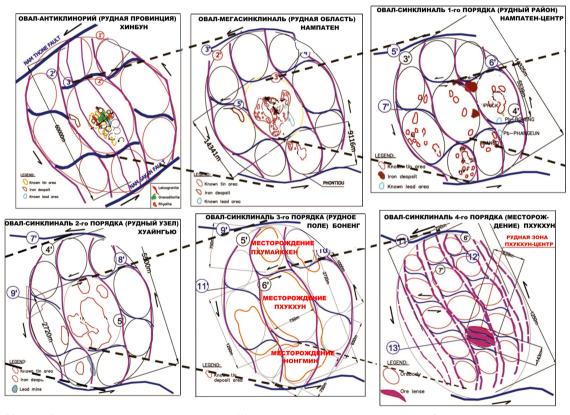


Рисунок 4. Масштабная иерархия овальных структур. Штриховые линии показывают масштабную соподчиненность овальных структур со структурами более низкого и более высокого рангов.

Figure 4. Large-scale hierarchy of the oval structures.

входящих в него более мелких структур характерно формирование рудно-магматических систем с золотом, серебром, оловом, медью, свинцом и другими металлами. В пределах рудной области Нампатен развита в основном оловянная минерализация олово-сульфидного типа (арсенопиритового и колчеданного подтипов).

Масштабы проявления магматизма в пределах оловорудной области были пропорциональны размерам овальных структур. Так, для центральной части овал-синклинали Нампатен-центр характерны крупные куполообразные вулкано-плутонические комплексы, включающие диорит-гранодиоритовые и дацит-риолитовые массивы, а для овальных структур краевой части овал-синклинали характерны небольшие, расположенные вблизи центра овальных структур штокообразные интрузии, часто еще не эродированные.

В связи с этим овальные структуры разного размера рудной области Нампатен (овальной структуры 2-го ранга) не-

сут в себе и оруденение разного масштаба. Овальные структуры 3-го ранга вмещают в себя рудные районы (Нампатенцентр и Фонтью), а овальные структуры 4-го ранга – рудные узлы и т. д. Ранжированность и номенклатура овальных и рудоносных структур, расположенных в пределах овал-антиклинория Хинбун, приведены на рис. 4 и в таблице.

Необходимо отметить, что рудоконтролирующими структурами внутри овальных структур всех рангов от рудных полей до месторождений являются сигмоиды северо-западного простирания соответствующих масштабов. Однако ориентировка в пространстве рудных зон и рудных тел (рудовмещающих структур) в пределах сигмоид конкретных месторождений подчиняется другим закономерностям. Это объясняется тем, что блоковые структуры от 1-го до 6-го ранга и их сигмоиды являются продуцентами регионального поля напряжений, которое посредством особым образом организованной разрывной тектоники и формировало, и обуславливало ориентировку этих сигмоидальных структур. При достижении блоковыми структурами размеров, определяемых расстояниями между лево-взбросо-сдвиговыми зонами смятия наименьшего размера, при дальнейшем смещении блоков вдоль этих левых взбросо-сдвигов происходила переориентировка регионального поля напряжений с разворотом осей деформации против часовой стрелки на угол около 30–40° [16], что вызывало лево-сдвиговое смещение вдоль зон рассланцевания северо-западного простирания. Это лево-сдвиговое смещение, в свою очередь, способствовало формированию около бывших зон рассланцевания северо-западного простирания оперяющих разрывы и субмеридиональные разрывы растяжения, оперяющие зоны смятия северо-восточного простирания, а также участки фрагментарно приоткрывающихся зон рассланцевания северо-западного простирания от лево-сдвиговых смещений вдоль зон смятия северо-восточного простирания и послужили рудовмещающими структурами месторождений.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что описываемые овальные структуры всех рангов являются по своей природе деформационно-блоковыми и какими-либо сопутствующими кольцевыми геологическими телами не сопровождаются. Первоначально овальные структуры в результате закономерно сочетающихся разноориентированных разрывных нарушений имели в плане вид многоугольников. Дезинтеграция пород в зонах этих разрывных нарушений способствовала формированию вдоль них флювиальных долин, огибающих эти многоугольники, и образованию благодаря этому овальных форм рельефа.

Телами, генетически сопутствующими блоковым структурам, являются только интрузии субвулканического комплекса, сопровождающие блокообразование. Но, внедряясь по внутриблоковым разрывам, они обычно не подчеркивают овальную форму эрозионно проработанных блоковых структур, а часто, охватывая несколько некрупных блоковых структур, даже маскируют их контуры.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Кочарян Г. Г. Геомеханика разломов. М.: ГЕОС, 2016. 424 с.
- 2. Суваннудом Б., Болтыров В. Б., Слободчиков Е. А. Структурные условия образования и строение овал-антиклинория Хинбун (Средний Лаос) // Литосфера. 2014. № 1. С. 127–132.
- 3. Макаров П. В. Об иерархической природе деформации и разрушения твердых тел и сред // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7. № 4. С. 25–34.
- 4. Макаров П. В., Трубицын А. А., Трубицына Н. В. и др. Универсальный критерий фрактальной делимости геоматериалов и геосред // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 7. С. 724–746.
- 5. Шерман С. И. Деструкция литосферы: разломно-блоковая делимость и ее тектонофизические закономерности // Геодинамика и тектонофизика. 2012. Т. 3, № 4. С. 315–344.
- 6. Быков В. Г. Деформационные волны Земли // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 4. С. 1176–1190.
- 7. Зуев Л. Б., Данилов В. И. Медленные автоволновые процессы при деформации твердых тел // Физическая мезомеханика. 2003. Т. 6, № 1. С. 75–94.
- 8. Шерман С. И., Горбунова Е. А. Волновая природа активизации разломов Центральной Азии на базе сейсмического мониторинга // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11, № 1. С. 115–122.
- 9. Makarov P. V., Peryshkin A. Y. The role of slow deformation waves in the formation of fracture foci / AIP Conference Proceedings. Vol. 1785, 18 November 2016, 10 th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures, MRDMS 2016; Ekaterinburg; Russian Federation; 16 May 2016 to 20 May 2016.
- 10. Makarov P. V., Peryshkin A. Y. Modeling "slow movements" Auto waves of non-elastic deformation in ductile and brittle material and media / AIP Conference Proceedings. Vol. 1683, 27 October 2015, International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2015; Tomsk; Russian Federation; 21 September 2015 to 25 September 2015.
- 11. Кочарян Г. Г., Спивак А. А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. М.: Академкнига, 2003. 423 с.
- 12. Мартынюк П. А., Шер Е. Н. Особенности формирования трещин отрыва в горных породах при сжатии // ФТПРПИ. 2004. № 6. С. 77–87.
- 13. Phan Cu Tien et al. Geological map of Cambodia, Laos and Vietnam. Hanoi: Geological Survey of Vietnam, 1991.
- 14. Souvannoudom B. Hydrothermal Au mineralization associated with felsic volcanic Coeval alkaline intrusive / Syntectonic grabben fault in indochines depression (rifts) of Indochinese massif: presentation at the mining conference of Newmont Mining Limited (US Company) held in Vientiane, Lao PDR. 1995.
- 15. Souvannoudom B. Indochina terrane (and adjacent territories: Laos, Vietnam, Thailand and Cambodia), trans-regional structures and associated different metallogeny: Presentation at the second Lao-Thai Technical Conference on Geology and Mineral Resources (Lao-Thai Geology: Beyond the Bound). 17–21 January 2013, Vientiane, Lao PDR.
- 16. Bedeaux P., Pilote P., Rafini S. Synthesis of the structurale evolution and associated gold mineralization of the Cadillac Fault, Abitibi, Canada (Review) // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 82. P. 49–69.
- 17. Муди Дж. Д., Хилл М. И. Сдвиговая тектоника // Вопросы современной зарубежной тектоники: пер с англ. М.: ИЛ, 1968. С. 265–333.

Статья поступила в редакцию 7 марта 2018 г.

УДК 553.411[']44 (598) DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-41-48

Oval deformation of the structure of the ore region of Nampaten (Laos)

Buntkhin Souvannoudom¹, bt59199459@gmail.com Vladimir Boskhaevich Boltyrov², boltyrov34@mail.ru Evgeniy Aleksandrovich Slobodchikov², Evgeniy. Slobodchikov@m.ursmu.ru ¹Laos ore-geological company Vientiane, Lao ²Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

Relevance of the work: the revealed regularities of spatial connection of ore deposits in South-East Asia with oval forms of relief allow simplifying the technique of prospecting works and reducing the cost of their conduct.

The purpose of the work was the theoretical justification of the spatial context of industrial endogenous tin mineralization with oval forms of the relief. This context was identified as a result of search operations carried out under the leadership of B. Souvannoudom according to his original technique. **Research methodology.** The natural connections of ore objects with oval forms of a relief revealed during prospecting works are proved by their combination with features of a geological structure of a rock substrate. These connections are theoretically explained with the help of the ideas about the deformation processes which are in progress in a tectonosphere of the Earth.

Research results. As a result of the research conducted, the conclusion was made about the primary tectonic nature of the oval structures. They appear as a result of the spatial superposition of multi-age and multi-oriented deformation structures. Such structures include cleavage zones and confusion zones. They are manifested in the rock complexes in a discrete and multi-scale way in accordance with the universal principle of the separability of geomaterials. In accordance with this principle, the rock complexes of the entire territory under consideration were initially divided into tectonic blocks. The size of these blocks varies from hundreds of kilometers to hundreds of meters in diameter, spatially subordinated to hierarchical dependence. Each of the blocks of all scale ranks consists of 9 blocks of the nearest smaller rank. Climbing-shear bias at later confusion zones in terms of the transpressive compression caused the formation of the fledging gaps. They occurred in the wings of confusion zones and in the wings of the earlier zones of cleavage. This, along with the extrusion of the tectonic blocks, led to their rounding and the formation of technoblogs of different sizes of antiform and synform appearance. Inside the technoblogs of the S-shaped overlapping discontinuous structures that control magma genesis and ore genesis. In this regard, the ore-controlling structures of the same rank coincide with many oval structures of each scale rank spatially. One of the large oval structures is an oval-megachilinae (ore area) of Nampaten. Its diameter is about 30 km within a developed oval structure of three major grades, of which the smallest are oval structures with a size of about 1 km, covering tin deposits. Modern fluvial processes, due to the different scales. **Summary.** The spatial relationship of endogenous ore objects with the oval forms of modern relief is due to the imposition of modern fluvial relief on previously formed oval deformation structures, accompanied by endogenous mineralization.

Keywords: zones of sending; zones of crushing of the climbing-shear nature; hierarchical divisibility of geomaterials; oval and sigmoidal deformation structures; sintectonic magmatism and ore genesis.

REFERENCES

- 1. Kocharyan G. G. 2016, Geomekhanika razlomov [Geomechanics of faults]. Moscow, 424 p.
- 2. Souvannoudom B., Boltyrov B. V., Slobodchikov E. A. 2014, Strukturnyye usloviya obrazovaniya i stroyeniye oval-antiklinoriya Khinbun (Sredniy Laos) [Structural conditions for the formation and structure of oval-anticlinorium of Hinboun (Middle Laos)]. Litosfera [Litosfera], no. 1, pp. 127–132. 3. Makarov P. V. 2004, Ob iyerarkhicheskoy prirode deformatsii i razrusheniya tverdykh tel i sred [On the hierarchical nature of deformation and fracture of solids and media]. Fizicheskaya mezomekhanika [Physical mesomechanics], vol. 7, no. 4, pp. 25–34.
- 4. Makarov P. V., Trubitsyn A. A., Trubitsyna N. V. and others 2007, *Universalnyy kriteriy fraktalnoy delimosti geomaterialov i geosred* [Universal criterion of fractal divisibility of geomaterials and geospatials]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], vol. 48, no. 7, pp. 724, 746
- 5. Sherman S. I. 2012, Destruktsiya litosfery: razlomno-blokovaya delimost' i yeyo tektonofizicheskiye zakonomernosti [The destruction of the lithosphere: fault-block divisibility and its tectonophysical regularities]. Geodinamika i tektonofizika [Geodynamics and Tectonophysics], vol. 3, no. 4, pp. 315–344.
- 6. Bykov V. G. 2005, *Deformatsionnyye volny Zemli* [Strain waves of the Earth]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], vol. 46, no. 4, pp. 1176–1190.
- 7. Zuyev L. B., Danilov V. I. 2003, Medlennyye avtovolnovyye protsessy pri deformatsii tverdykh tel [Slow autowave processes at deformation of solids]. Fizicheskaya mezomekhanika [Physical mesomechanics], vol. 6, no. 1, pp. 75–94.
- 8. Sherman S. I., Gorbunova E. A. 2008, Volnovaya priroda aktivizatsii razlomov Tsentral'noy Azii na baze seysmicheskogo monitoringa [Wave nature of fault activation in the Central Asia on the basis of seismic monitoring]. Fizicheskaya mezomekhanika [Physical Mesomechanics], vol. 11, no. 1, pp. 115–122.
- 11, no. 1, pp. 115–122.

 9. Makarov P. V., Peryshkin A. Y. The role of slow deformation waves in the formation of fracture foci. *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1785, 18 November 2016, 10 th International Conference on Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures, MRDMS 2016; Ekaterinburg; Russian Federation; 16 May 2016 to 20 May 2016.
- 10. Makarov P. V., Peryshkin A. Y. Modeling "slow movements" Auto waves of non-elastic deformation in ductile and brittle material and media. AIP Conference Proceedings. Vol. 1683, 27 October 2015, International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2015; Tomsk; Russian Federation; 21 September 2015 to 25 September 2015.
- 11. Kocharyan G. G. and Spivak A. A. 2003, *Dinamika deformirovaniya blochnykh massivov gornykh porod* [Dynamics of deformation of block rock masses]. Moscow, 423 p.
- 12. Martynyuk P. A., Cher E. N. 2004, Osobennosti formirovaniya treshchin otryva v gornykh porodakh pri szhatii [Features of the formation of separation cracks in rocks under compression] FTPRPI [Journal of Mining Science], no. 6, pp. 77–87.
- 13. Pham Cu Tien et al. 1991, Geological map of Vietnam, Laos and Cambodia. Department of Geology and Mineral Resources, Lao PDR.
- 14. Souvannoudom B. Hydrothermal Au mineralization associated with felsic volcanic Coeval alkaline intrusive / Syntectonic grabben fault in indochines depression (rifts) of Indochinese massif: presentation at the mining conference of Newmont Mining Limited (US Company) held in Vientiane, Lao PDR. 1995.
- 15. Souvannoudom B. Indochina terrane (and adjacent territories: Laos, Vietnam, Thailand and Cambodia), trans-regional structures and associated different metallogeny: Presentation at the second Lao-Thai Technical Conference on Geology and Mineral Resources (Lao-Thai

Geology: Beyond the Bound). 17–21 January 2013, Vientiane, Lao PDR.
16. Bedeaux P., Pilote P., Rafini S. 2017, Synthesis of the structurale evolution and associated gold mineralization of the Cadillac Fault, Abitibi, Canada (Review). *Ore Geology Reviews*, vol. 82, pp. 49–69.

17. Moody G. D., Hill M. I. 1968, *Sdvigovaya tektonika* [Shear tectonics]. *Voprosy sovremennoy zarubezhnoy tektoniki: per s angl.* [Issues of

modern foreign tectonics: translation from English]. Moscow, pp. 265–333.

The article was received on March 7, 2018

УДК 553.4.078:551 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-49-54

КОМПЛЕКСНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНАХ

Ефим Семенович Контарь eskontar@mail.ru

Уральский государственный горный университет Россия, Екатеринбург

Актуальность данного обзора обусловлена целесообразностью обобщения опубликованных материалов по геологическим особенностям месторождений полиметальных руд, локализованных в осадочных бассейнах многих регионов мира.

Цель работы: составление обзора опубликованных в отечественной и зарубежной литературе в последние 25–30 лет материалов по характеру размешения, геологическому строению и минералогии нетрадиционных месторождений благородных и цветных металлов, что должно учитываться при прогнозировании подобных объектов в соответствующих геологических обстановках.

Методология исследования: выполнен обзор, базирующийся на анализе опубликованных данных, в которых с разной степенью полноты и достоверности охарактеризованы нетрадиционные комплексные месторождения благородных и цветных металлов различных геологических провинций мира.

Результаты. Своеобразные комплексные полиметальные (благородные и цветные металлы) месторождения локализованы в осадочных бассейнах многих регионов мира. В состав руд этих месторождений входят Мо, Ni, Cu, Zn, U, Se, V, и они сопровождаются аномально высокими содержаниями благородных металлов, в том числе металлов платиновой группы, среди которых, как правило, преобладают Pt и Pd. Общим для всех известных провинций с комплексными полиметальными месторождениями является наличие рудоносных терригенных углеродистых формаций различного возраста в аноксических частях шельфа внутри- или окраинно-континентальных морских бассейнов, которые занимают принципиально однотипное палеотектоническое положение – они входят в состав чехлов древних платформ или верхних частей их фундаментов.

Выводы. Наиболее обстоятельная информация имеется по месторождениям Южного Китая, Канады, Онежского прогиба в Карелии. Изложены также сведения о благороднометальном оруденении Верхнекамского месторождения солей. Приведены данные о вероятной перспективности на подобное оруденение некоторых структур восточной окраины Восточно-Европейской платформы.

Ключевые слова: черные сланцы; цветные металлы; благородные металлы; металлоорганические комплексы; осадочные бассейны; соли; Южный Китай; Канада; Онежский прогиб; Восточно-Европейская платформа.

В последние 25–30 лет опубликованы материалы о своеобразных месторождениях комплексных полиметальных руд, локализованных в осадочных бассейнах многих регионов. В состав этих месторождений входят молибден, никель, медь, цинк, уран, селен, ванадий. Руды этих месторождений сопровождаются аномально высокими содержаниями благородных металлов, в том числе металлов платиновой группы (МПГ). Среди последних, как правило, преобладают платина и палладий.

Эти объекты приурочены к углеродистым терригенным формациям различного возраста, но имеющим принципиально однотипное палеотектоническое положение – они входят в состав чехлов древних платформ или верхних частей их фундаментов. Общим для всех известных провинций с комплексными полиметальными и золото-платиноидными месторождениями является наличие рудоносных терригенных углеродистых формаций в аноксических частях шельфа внутри- или окраинно-континентальных морских бассейнов.

Настоящий обзор базируется на анализе опубликованных данных, в которых с разной степенью полноты и достоверности охарактеризованы месторождения комплексных полиметальных руд различных геологических провинций мира. Наиболее обстоятельная информация имеется по месторождения Южного Китая, Канады, Онежского прогиба в Карелии [1–3, 4, 5–11].

Описание объектов

В Южном Китае рудоносная черносланцевая толща раннего кембрия входит в состав раннепалеозойского чехла Южно-Китайской платформы, которая несогласно перекрывает позднепротерозойские (синийские) отложения. Эта толща с перерывами прослежена в широтном направлении на 1600 км в пределах нескольких административных провинций Южного Китая. В рудоносной толще расположено несколько молибден-никелевых месторождений, два из которых – Зуния (Цзуньи) в провинции Гуайжоу (Гуйчжоу) и Даюн в провинции Юнань (Хунань) в настоящее время отрабатываются.

На месторождении 3уния (43уньи) добывается в год около 1000 т руды, которая содержит в среднем 2.7 % Мо, 7.7 % Ni, 1.6 % Zn. Благородные металлы присутствуют в следующих количествах, r/t: Au -0.7, Ag -3-5, Pt -0.7, Pd -0.87, Os -0.06, Ru -0.0034, Ir -0.05, Rh -0.025. Кроме того, руды этих месторождений содержат до 1 % ванадия и до 0.5 % меди.

В черносланцевой толще оруденение локализовано в рудовмещающей пачке 10-метровой мощности, а в ней – в горизонтах мощностью от нескольких сантиметров до 15 см (максимально 35 см). Рудоносные горизонты образованы частым переслаиванием сульфидных слойков с фосфатоносными черными сланцами, содержащими конкреции и нодули фосфатов и карбонатов, углеродистыми и кремнистыми аргиллитами и микрозернистыми песчаниками. Фосфатоносные глинистые сланцы имеют Ni–Мо специализацию, а кремнистые – существенно ванадиевую. Сульфиды представлены фромбоидальным пиритом, миллеритом (NiS), бравоитом (Fe,NiS₂), ваэситом (NiS₂), герсдорфитом (NiAsS), молибденитом и иордизитом (аморфная разновидность молибденита).

Руды этих месторождений представляют собой мелкообломочную породу, состоящую из нодулярного пирита, конкреций фосфорита, округлых агрегатов органического вещества, литифицированных обломков кварца, аргиллита и кремнистых пород. Обычны следующие разновидности обломков: 1) угловатые и субокатанные, обогащенные C_{opr} ; 2) обогащенные C_{opr} с высоким содержанием Мо и S; 3) сферические обломки морских организмов, богатые C_{opr} , фосфатные конкреции (некоторые являются биотурбидитами); 4) богатые сульфидами фосфатные конкреции; 5) бедные

углеродом фосфатные обломки; 6) угловатые и субокатанные сульфидные обломки и конкреции. Фосфаты имеют, как правило, ячеистую структуру, допускающую образование их по древним бактериальным формам.

Минералогия руд досточно сложная и своеобразная. Наиболее распространенным минералом является пирит. Он присутствует в виде нодулей, фромбоидов, идиоморфных кристаллов, рассеянных в матриксе всех типов пород, включая фосфатные ячеи, слойков слившихся кристаллов. Молибден присутствует в виде иордизита, чаще всего ассоциирующегося с органическим веществом или замещающего его. Сульфиды никеля (ваэсит и миллерит) обычны в виде единичных кристаллов в фосфатных конкрециях, но чаще в виде микросфероидальных форм, что наводит на мысль о возможном замещении ими микрофоссилий. Сульфиды Мо и Ni вместе с пиритом, фосфатами, сгустками органического вещества входят в состав рудных обломков размером от 0,1 до 1 см.

Помимо названных минералов, в рудах этих месторождений присутствует уранинит в виде микровключений в фосфатах, халькопирите и пирите. Селенид ртути (тиеманнит HgSe) находится в бедных углеродом фосфатных обломках и в качестве микропримесей содержит платину и палладий. Не исключено также, что МПГ входят в состав металлоорганических комплексных соединений.

Важной особенностью руд южнокитайских месторождений является постоянное присутствие в них органического вещества (ОВ), количество которого составляет 6–22 %. В его составе присутствуют остатки водорослей, а также остатки беспозвоночных, о чем свидетельствуют присутствие скелетных элементов радиолярий и спикул губок. В тех случаях, когда количество $C_{\rm opr}$ превышает 15 %, что по теплотворной способности соответствует 800 ккал/кг, это ОВ на объектах называют каменным углем.

Накопление южнокитайских кембрийских черных сланцев происходило в морском мелководном бассейне шельфового типа в условиях жаркого аридного климата при относительно стабильной гидродинамической обстановке.

Черносланцевые комплексные полиметальные руды формировались сингенетично с осадконакоплением в застойных аноксичных частях бассейна. Источником металлов являлась морская вода, откуда они адсорбировались органическим углеродсодержащим веществом; а в морской бассейн металлы поступали вместе с гидротермами, поднимавшимися по глубинным разломам, ограничивающим Южно-Китайскую платформу.

В *Канаде* углеродсодержащие черные сланцы с полиметальным оруденением, близким южнокитайскому, располагаются на Северо-Американской платформе, где приурочены к позднедевонским отложениям бассейна Селвин (территория Юкон), вдоль западного края пояса Маккензи, вблизи западной аконсервационной зоны Западно-Канадского нефтегазоносного бассейна. На северной окраине бассейна Селвин расположена небольшая впадина $(16 \times 2 \text{ км})$, в которой находится полиметальное Ni–Mo–Zn–MПГ месторождение $Hu\kappa$.

Полиметальные руды в черносланцевой толще находятся в едином латеральном ряду со стратиформными баритсвинцово-цинковыми месторождениями (Говард-Пас и др.), хотя стратиграфически расположены несколько выше. В разрезе рудоносной толщи выделено два продуктивных горизонта. Нижний горизонт залегает на своде антиклинали, он сложен глинисто-карбонатными и карбонатными породами с барит-свинцово-цинковыми рудами. На западном борту этой антиклинали залегает черносланцевый горизонт с полиметальными рудами, прослеженный на 14 км. Причем этот горизонт расположен в 20–50 м выше контакта углеродистых пород девона с подстилающими карбонатными породами раннего палеозоя.

Рудоносный черносланцевый горизонт мощностью 5–8 м представлен ритмично-слоистыми углеродистыми фосфатоносными кремнистыми сланцами темно-серого или черного цвета, обусловленного рассеянными или послойно расположенными скоплениями ОВ и сульфидами. Сланцы имеют фосфатный, кварцевый и полевошпатовый цемент, в котором встречается большое количество конодонтов и обломков микрофоссилий.

Оруденение локализовано в маломощных (5–15 см) сульфидных слойках. Ведущим сульфидом является ваэсит, количество которого обеспечивает содержание никеля в среднем по месторождению 5,7 % (5,1–7,8 %). Подсчитанные запасы Ni приближаются к 1 млн т. Кроме ваэсита, присутствует пирит в виде фромбоидов, идио- и ксеноморфных кристаллов, слойков слившихся кристаллов и фромбоидов, а также сфалерит, вюрцит, иордизит, герсдорфит, битумы. Для породы характерно в среднем 2,12 % С

породы характерно в среднем 2,12 % С Сорг. Средние содержания цветных (%) и благородных (г/т) металлов в рудах месторождения Ник следующие: Ni - 5,7 (5,1-7,8), Mo - 0,2 (0,17-0,25), Zn -0,75 (0,3-1,2), Pt -0,7 (0,43-0,62, до 1,2), Pd -0,3 (0,25-0,3, до 0,7), Au -0,1 (0,07-0,14), Ag - 3-6; кроме того, в рудах содержатся 370-740 г/т ванадия, 240-350 г/т кобальта, 10-23 г/т рения. Минеральные формы МПГ не установлены; вероятнее всего, они в виде микропримесей входят в сульфиды железа и никеля.

Вероятная модель образования оруденения представляется следующей. Допускается, что Ni-Mo-Zn-MПГ оруденение возникло как результат взаимодействия металлоорганических комплексов с горячими (130–140 °C) рассолами, поступавшими в бассейн седиментации из близрасположенных нефтяных впадин. Источником ОВ могли служить раннепалеозойские известковистые граптолитовые сланцы, подстилающие девонские рудоносные отложения, а также синхронные им продуктивные нефтегазоносные толщи. Этим, вероятно, объясняется присутствие в рудном пласте битумов, образующих прожилки и даже жилы протяженностью до 20 м. Взаимодействие термальных рассолов с металлоорганическими соединениями приводило к образованию обогащенных металлами минерализованных растворов, которые проникали в нелитифицированные отложения вдоль поверхности вода-осадок, что, в свою очередь, способствовало развитию бактерий, восстанавливавших сульфат-ион до сульфидов, и их отложению в виде рудного пласта.

В Южной Карелии объекты с комплексным полиметальным Мо–U–V–МПГ оруденением располагаются в Онежском прогибе [1]. Они представлены шестью месторождениями (Средняя и Верхняя Падма, Царевское, Весеннее, Космозерское, Шульгиновское), запасы одного из которых (Средняя Падма) учтены Государственным балансом.

Рудоносной является заонежская свита шунгитсодержащих терригенно-карбонатных пород и мафит-ультрамафитовых вулканитов раннего протерозоя. Эта свита залегает на туломозерской свите, сложенной доломитами, известняками, мраморами. Заонежская свита разделена на нижнюю – алевролит-вулканогенную и верхнюю – туфопелито-

вую подсвиты. Для обеих подсвит характерным является ритмичное переслаивание алевролитов и шунгитсодержащих глинисто-карбонатных сланцев. Этим обусловлена многоуровенность шунгитсодержащих пород в разрезе свиты. При этом промышленные скопления Мо-U-V-МПГ руд приурочены к нижней подсвите, а шунгитов – к верхней.

Важным элементом, определяющим локализацию оруденения, являются зоны складчато-разрывных дислокаций, секущих породы заонежской свиты. Именно к этим деформационным зонам непосредственно приурочены рудные тела. Как правило, они залегают в шарнирах и на крыльях антиклинальных складок и имеют плащеобразную (с пережимами) или сигарообразную (ролловидную) форму. Протяженность рудных тел составляет 1,5–2,5 км, мощность 15–50 м, ширина 300–600 м; они залегают на глубинах 100–150 м от поверхности.

Комплексное полиметальное оруденение непосредственно вмещается магнезиально-щелочно-карбонатными метасоматитами сложного состава, развитыми в местах пересечения шунгитсодержащих пород деформационными зонами. В строении метасоматитов установлена следующая зональность: в их центральных частях расположены хромфенгитфлогопит-роскоэлитовые породы (слюдиты), которые к периферии постепенно сменяются карбонат-роскоэлит-хромфенгитовыми (карбонатно-слюдистые породы) и рибекит-доломит-хромфенгитовыми. В осевых частях зон метасоматитов расположены жильные и штокверковые рудные тела.

Уран-ванадиевое оруденение приурочено к слюдитам и карбонатно-слюдистым породам, а благородные металлы – к жильно-штокверковым телам. На выклинках рудных тел развита бедная (медно-молибденовая) минерализация.

Ванадиевые руды образованы массивными слюдитами, в составе которых ведущая роль принадлежит роскоэлиту ($KV_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$), а также ванадийсодержащему гематиту. Урановая минерализация сосредоточена в настуране, уранините, коффените $U(SiO)_{1-x}(OH)_{4x}$. Медь, молибден, а также цинк представлены в соответствующих сульфидах. Благородные металлы присутствуют в самородном виде, а также в интерметаллических соединениях и в изоморофной примеси в висмутидах, сульфидах и селенидах.

На наиболее изученном месторождении Средняя Падма средние содержания металлов составляют: $V_2O_5 - 2,35$ % (местами до 7 %), U - 0,068 % (иногда достигая 0,25 %), Cu - 0,05 % (до 0,8 %), MO - 0,022 % (до 0,1–0,2 %), MIII - 0,309 г/т (в том числе Pd - 0,293, Pt - 0,016), Au - 0,159 г/т. На отдельных участках мощностью 1,5–2,5 м содержания благородных металлов достигают 56 г/т Pt, 140-420 г/т Pd, 1 г/т Pt и 126 г/т Pt.

Общий потенциал этих руд оценен следующим образом [5]: V_2O_5 по сумме категорий $C_1+C_2+P_1$ – в 510 тыс. т при среднем содержании 2,53 %, урана – по категориям C_1+C_2 – в 3,0 тыс. т при среднем содержании 0,07 %, сумма золота, палладия и платины по категории P_1 – в 10–20 т при средних содержаниях 0,23, 0,29 и 0,02 г/т соответственно. На основе этих параметров оценен ресурсный потенциал благородных металлов всего Онежского прогиба [12] в 1 600 т, в том числе МПГ – 650 т, золото –250 т, серебро – 700 т.

Принципиальная генетическая модель комплексных руд Онежского прогиба связывается с металлоорганическими комплексами. Это подтверждается следующими данными. Руды насыщены мелкодисперсным шунгитом, количество которого составляет 1–5 % и более. В шунгитах содержится 50 % ОВ в виде керогена, в составе которого присутствуют битумы, смолы и асфальтены. Допускается изначально осадочное накопление металлов в застойном (аноксическом) бассейне с их концентрированным перераспределением в зонах наложенных складчато-разрывных деформаций, обусловленных процессами тектономагматической активизации.

В Предуральском осадочном бассейне, относящемся к восточной окраине Восточно-Европейской платформы, также известны проявления благородных металлов в терригенных углеродистых толщах позднего докембрия.

На Южном Урале, в Ишлинском грабене Башкирского мегантиклинория, залегает толща среднерифейских черных углеродистых сланцев с редкими прослоями алевролитов и песчаников, насыщенных кварцевыми прожилками. Эта толща зажата между двумя дайками долеритов. Сланцы и кварцевые прожилки содержат обильную сульфидную минерализацию. Сульфидизированные черные сланцы содержат 0,05 г/т Pt и 0,004 г/т Os, а в кварцевом прожилке установлены 0,005 г/т Os и 0,006 г/т Ru [13].

Гораздо более интересным представляется *Кокуйское* (*Григорьевское*) рудопроявление на Среднем Урале, установленное при проведении ГДП-200 территории листа О-40-XVIII в 1999 г. [14, 15]. Рудопроявление расположено в Кваркушско-Каменногорском антиклинории, и оно приурочено к терригенным углеродистым отложениям кырминской свиты позднего рифея, залегающим на терригенно-карбонатных отложениях клыктанской свиты. (Напомним, что рудоносные черные сланцы Канады и Онежского прогиба залегают на карбонатных отложениях.) Породы кырминской свиты представлены черными углеродисто-серицит-кварцевыми, углеродисто-серицитовыми, углеродисто-кварцевыми сланцами. Углеродистые сланцы содержат $2-5 \% C_{\rm opt}$, и им свойственен следующий геохимический спектр элементов: ванадий – 0,036-0,058 % (в пересчете на V_2O_5), фосфор – 0,23-0,69 % (в пересчете на P_2O_5), $Zn-100-400 \ r/\tau$, $Zn-79-150 \ r/\tau$, $Zn-1,0-4,0 \ r/\tau$, Zn-1,0,008 % (максимально zn-1,0,008 %). В углеродистых сланцах расположены тонкие (zn-1,0,008 %) сланцы образуют пачки мощностью zn-1,0,008 % местами достигая zn-1,0,008 % (максимально zn-1,0,008 %). В углеродистых сланцах расположены тонкие (zn-1,0,008 %) сланцы образуют пачки мощностью zn-1,0,008 % местами достигая zn-1,0,008 % (zn-1,0,008 %) сланцы образуют пачки мощностью zn-1,0,008 % местами достигая zn-1,0,008 %) сланцы образуют пачки мощностью zn-1,0,008 % местами достигая zn-1,0,008 % (zn-1,0,008 %) сланцы образуют пачки мощностью zn-1,0,008 % местами достигая zn-1,0,008 % местами достигая zn-1,0,008 % сланцы образуют пачки мощностью zn-1,0,008 % местами достигая zn-1,0,008 % сланцых сланцах установлены до zn-1,0,008 % г/т платины и до zn-1,008 % г/т платины и

Принципиально новым и важным в промышленном отношении является обнаружение благородных металлов в солях Верхнекамского месторождения [16–19]. Были изучены две штуфных пробы красного сильвинита средней и верхней частей основного промышленного пласта Кр.-II на Первом и Четвертом Березниковском рудниках. Проба весом 2,2 кг отобрана из слоя 3 средней части пласта, проба весом 1,5 кг – из слоя 1 верхней части пласта. Пробы разделялись на сильвинитовую и галитовую части. Анализировались исходные сильвин и галит, полученные из них нерастворимые остатки, а также чистые соли. В составе нерастворимых остатков присутствуют (в порядке убывания): ангидрит, доломит, кварц, серицит, полевые шпаты, гематит, хлорит, каолинит, пирит.

Содержания благородных металлов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Содержания благородных металлов в средней части пласта, г/т. Table 1. Content of precious metals in the middle part of the formation, ppm.

Благородные	Сильвин			Галит			
металлы Исходный		Нерастворимый остаток (выход 2,2 %)	Чистая соль	Исходный	Нерастворимый остаток (выход 1,13 %)	Чистая соль	
Au	0,18	2,5	Не обнаружены	0,38	0,46		
Ag	2,04	17,1		1,76	7,04		
Pt	0,14	6,3		0,387	4,85		
Pd	0,29	1,23		0,083	1,07	Не обнаружены	
Rh	0,022	0,1		Н. о.	H. o.		
In	0,156	7,5		0,75	9,7		

Таблица 2. Содержания благородных металлов в верхней части пласта, г/т. Table 2. Content of precious metals in the upper part of the formation, ppm.

Благородные		Сильвин			Галит	
металлы Исходный		Нерастворимый остаток (выход 22 %)	Чистая соль	Исходный	Нерастворимый остаток (выход 26 %)	Чистая соль
Au	0,011	0,05		0,017	0,06	
Ag	25,36	110,6		45,17	171,66	
Pt	2,26	10,25		6,36	24,20	
Pd	0,47	2,10	Не обнаружены	0,94	3,40	Не обнаружены
Rh	0,066	0,3		0,011	0,43	
In	4,74	21,5		6,6	25,1	

Наибольшие содержания золота установлены в средней части пласта, а серебра и МПГ – в его верхней части Формы нахождения благородных металлов следующие. Основное количество золота и все МПГ находятся в несамородной форме. Доля самородного золота и его интерметаллов не превышает 3–4 % общего его количества в солях. Большая часть золота сосредоточена в сильвине и связана с его пигментом в форме карбонилгалогенидов. Серебро и МПГ сосредоточены в нерастворимом остатке сильвинита и связаны с органическим веществом (ОВ), представленным хлороформенными и спиртобензольными битумами. В каменной соли благородные металлы сосредоточены в нерастворимом остатке, причем МПГ также связаны с ОВ. Исследования показали, что ОВ Верхнекамского месторождения относится к нефтяному ряду, преимущественно планктонного и водорослевого типов, является автохтонным и преобразовано в самих соляных породах без признаков миграции из нижележащих толщ. Поэтому приуроченность МПГ к ОВ может свидетельствовать о существовании их в виде органических соединений (металлоорганических комплексов) и их сингенетичности вмещающим породам.

При переработке солей благородные металлы концентрируются в шламах (глинисто-солевых отходах) обогатительных фабрик. Нерастворимый остаток шламов, образующийся после их отмывки, представляет собой продукт, содержащий благородные металлы в следующих количествах, г/т: золото – 0,8–3,0, платина – 2,4–26,3, палладий – 11,8–41,8. При гигантских объемах получаемых шламов количество заключенных в них благородных металлов может быть сопоставлено с запасами крупных и даже сверхкрупных месторождений. Предложена методика извлечения благородных металлов из солей Верхнекамского месторождения [16].

Подобная рудоносность допускается для солей Прикаспийской впадины [20].

Заключение

Таким образом, изложенное свидетельствует о своеобразии нетрадиционных месторождений комплексных руд цветных и благородных металлов в осадочных бассейнах, не имеющих видимых связей с магматизмом. Прилегающая с запада к горно-складчатому Уралу восточная окраина Восточно-Европейской платформы, рассматриваемая автором в качестве Предуральского осадочного бассейна, также обладает потенциальными возможностями формирования подобных комплексных месторождений, содержащих в тех или иных количествах благородные металлы.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Билибина Т. В., Мельников Е. К., Савицкий А. В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. 1991. № 6. С. 3–14.
- 2. Додин Д. А., Чернышов Н. М., Яцкевич Б. А. Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
- 3. Конкин В. Д., Ручкин Г. В., Букинга О. Б. и др. Обстановки нахождения платинометалльного оруденения в черносланцевых формациях // Руды и металлы. 1993. № 1-3. С. 22–28.
- 4. Полуаршинов Г. П., Константинов В. М. О новых типах платиноидного оруденения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1994. № 4. С. 20–23.
- 5. Трофимов Н. Н., Голубев А. И. Геодинамические условия формирования и металлогения Онежской впадины // Руды и металлы. 2000. № 5. С. 10–25.
- 6. Barnes S., Schmid S., Coveney Jr. R. M., et al. Geochemical investigation of the lower Cambrian mineralised black shales of South China and late Devonian Nick deposit, Canada // Ore Geology Reviews. 2018. Vol. 94. P. 396–413.
- 7. Coveney Jr. R. M., Nancheng C. Ni–Mo–PGM–Au–rich ores in Chinese black shales and speculation on possible analogues in United States // Mineralium Deposita. 1991. Vol. 26, № 2. P. 83–88.
- 8. Coveney Jr. R. M., Grauch R. I., Murowchick J. B. The Geologic Setting of Precious Metal-bearing Ni-Mo Ores Beds // Society of Economic

Geologists Newsletter. 1994. Vol. 18. P. 1-10.

- 9. Grauch R. I., Murowchick J. B., Coveney Jr. R. M. et al. Extreme concentration of Mo, Ni, PGE and Au in anoxic marine basins, China and Canada / In Source, Transport and Deposition of Metals (M. Pagel & J. L. Leroy, eds.). Proc. 25th SGA Anniversary Meeting, Balkema, Rotterdam, The Netherlands. 1991. P. 531–534.
- 10. Coveney Jr. R. M., Murowchick J. B., Grauch R. I. et al. Gold and Platinum in Shale with Evidence against extraterrestrial Sources of Metals // Chemical Geology. 1992. Vol. 99. P. 101–114.
- 11. Lott D. A., Coveney Jr. R. M., Murowchick J. B., Grauch R. I. Sedimentary exhalative nickel-molibdenium ores in South China // Economic Geology. 1999. Vol. 94(7). P. 1051–1066.
- 12. Гурская Л. И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 208 с.
- 13. Ковалев С. Г., Сначев В. И., Высоцкий И. В. и др. О новом типе благороднометалльной минерализации на западном склоне Южного Урала // Руды и металлы. 1997. № 6. С. 27–32.
- 14. Золоев К. К., Мардиросьян А. Н. Платинометалльное оруденение в геологических комплексах Среднего Урала. Екатеринбург: Уралгеолфонд, 2000. 260 с.
- 15. Петров Г. А., Григорьев А. Г. Геологическое доизучение масштаба 1:200 000 и подготовка к изданию Госгеолкарты-200 (новая серия) листов О-40-XVIII и О-41-XIII Среднеуральской серии (Салдинская площадь). Екатеринбург: Уралгеолфонд, 2001. 285 с.
- 16. Сметанников А. Ф., Шанина С. Н., Синегрибов В. А. и др. Благородные металлы Верхнекамского месторождения солей // Горный журнал. 2006. № 6. С. 62–64.
- 17. Константинов В. М., Заварзин А. В., Файзулин М. И. и др. Нетрадиционные типы рудопроявлений платиноидов и золота на востоке Русской платформы и в Уральском регионе // Руды и металлы. 1999. № 4. С. 13–21.
- 18. Сметанников А. Ф., Кудряшов А. И. О возможном извлечении золота и серебра из руд Верхнекамского месторождения калийных солей // Руды и металлы. 1995. № 5. С. 118–121.
- 19. Сметанников А. Ф., Кудряшов А. И. Содержание и распределение Au, Ag и Pt-металлов в сильвинитах Верхнекамского месторождения // Геохимия. 1995. № 9. С. 1348–1351.
- 20. Милецкий Б. Е., Шелудяков Ю. Л. О предполагаемом открытии первого благороднометалльного рудопроявления в соляной толще Прикаспийской впадины // Руды и металлы. 2012. № 1. С. 62–65.

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2017 г.

УДК 553.4.078:551 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-49-54

Complex deposits of nonferrous and precious metals in sedimentary basins

Efim Semenovich Kontar' eskontar@ mail.ru

Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

The urgency of this review is conditioned by the expediency of generalization of published materials on geological features of complex ore deposits localized in sedimentary basins of many regions of the world.

The purpose of the study is to compose a review of the papers published in Russia and in foreign countries during the last 25–30 years. These papers should be concerned with the issues of the placement, geological structure and Mineralogy of non-traditional deposits of precious and non-ferrous metals. This should be taken into account when forecasting such objects in appropriate geological conditions. **Research methodology:** the review is based on the analysis of the published data. This information characterizes unconventional complex deposits of

precious and non-ferrous metals of different geological provinces of the world with varying degrees of completeness and reliability.

Results. Peculiar complex polymetallic deposits of noble and non-ferrous metals are localized in sedimentary basins of many regions of the world. The ores of these deposits include Mo, Ni, Cu, Zn, U, Se, and V. They are accompanied by abnormally high concentrations of noble metals, including platinum group metals, among them Pt and Pd usually prevail. The presence of ore-bearing terrigenous carbon formations of different ages in the anoxic parts of the shelf of the inland sea basins or in marginal-continental sea basins is common to all known provinces with complex polymetallic deposits. The basins maintain a fundamentally similar paleotectonic position: they are part of the covers of ancient platforms or of the upper parts of their foundations.

Summary. The most detailed information is available on deposits of Southern China, Canada, and Onega deflection in Karelia. The information about precious-metal mineralization of the Verkhnekamsk salt deposit is also presented. The data on the likely prospects for similar mineralization of some structures of the Eastern edge of the East European platform are given as well.

Keywords: black shales, non-ferrous metals; precious metals; organometallic complexes; sedimentary basins; salts; Southern China; Canada; Onega deflection; Eastern European platform.

REFERENCES

- REFERENCES

 1. Bilibina T. V., Mel'nikov Ye. K., Savitsky A. V. 1991, *O novom tipe mestorozhdeniy kompleksnykh rud v Yuzhnoy Karelii* [On a new type of deposits of complex ores in South Karelia]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of ore deposits], no. 6, pp. 3–14.

 2. Dodin D. A., Chernyshov N. M., Yatskevich B. A. 2000, *Platinometal'nyye mestorozhdeniya Rossii* [Platinum metal deposits of Russia], Saint Petersburg, 755 p.

 3. Konkin V. D., Ruchkin G. V., Bukinga O. B. and others 1993, *Obstanovki nakhozhdeniya platinometal'nogo orudeneniya v chernoslantsevykh formatsiyakh* [Situations of finding platinum-metal mineralization in black-shale formations]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 1–3, pp. 22–28.

 4. Poluarshinov G. P., Konstantinov V. M. 1994, *O novykh tipakh platinoidnogo orudeneniya* [On new types of platinoid mineralization]. *Mineral'nyye resursy Rossii* [Mineral resources of Russia, Economics and management], no. 4, pp. 20–23. resursy Rossii [Mineral resources of Russia. Economics and management], no. 4, pp. 20-23.
- 5. Trofimov N. N., Golubev A. I. 2000, Geodinamicheskiye usloviya formirovaniya i metallogeniya Onezhskoy vpadiny [Geodynamic conditions of
- 5. Irotimov N. N., Golubev A. I. 2000, *Geodinamicheskiye usloviya formirovaniya i metallogeniya Onezhskoy vpadiny* [Geodynamic conditions of formation and metallogeny of Onega depression]. *Rudy i metally* [Ores and metalls], no. 5, pp. 10–25.
 6. Barnes S., Schmid S., Coveney Jr. R. M., et al. 2018, Geochemical investigation of the lower Cambrian mineralised black shales of South China and late Devonian Nick deposit, Canada. *Ore Geology Reviews*, vol. 94, pp. 396–413.
 7. Coveney Jr. R. M., Nancheng C. 1991, Ni–Mo–PGM–Au–rich ores in Chinese black shales and specification on possible analyses in United States. *Mineralium Deposita*, vol. 26, no. 2, pp. 83–88.
 8. Coveney Jr. R. M., Grauch R. I., Murowchick J. B. 1994, The Geological Setting of Precious Metal-bearing Ni–Mo Ores Beds. Society of Economic Geologists Newsletter, pp. 1–10.
 9. Grauch R. I., Murowchick J. B., Coveney Jr. R. M. et al. 1991, Extreme concentration of Mo, Ni, PGE and Au in anoxic marine basins, China and Canada In Source, Transport and Deposition of Metals (M. Pagel & L. L. Leroy, eds.). Proc. 25th SGA Applyersary Meeting, Balkema, Rotterdam.
- Canada. In Source, Transport and Deposition of Metals (M. Pagel & J. L. Leroy, eds.). Proc. 25th SGA Anniversary Meeting, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 531–534.

 10. Coveney Jr. R. M., Murowchick J. B., Grauch R. I. et al. 1992, Gold and Platinum in Shale with Evidence against extraterrestrial Sources of
- Metals. Chemical Geology, vol. 99, pp. 101–114.

 11. Lott D. A., Coveney Jr. R. M., Murowchick J. B., Grauch R. I. et al. 1999, Sedimentary exhalative nickel-molibdenium ores in South China. Economic Geology, vol. 94(7), pp. 1051–1066.

 12. Gurskaya, L. I. 2008, Platinometal'noye orudeneniye chemoslantsevogo tipa i kriterii ego prognozirovaniya [The platinum-metal mineralization in the black-shale type and criteria of its forecasting], Saint Petersburg, 208 p.

 13. Kovalev S. G., Snachev V. I., Vysotsky V. I., and others 1997, O novom tipe blagorodnometal'noy mineralizatsii na zapadnom sklone Yuzhnogo Urala
- [About a new type of precious metal mineralization on the Western slope of the southern Urals]. Rudy i metally [Ores and metals], no. 6, pp. 27–32.
- 14. Zoloyev K. K., Mardirosyan A. N. 2000, Platinometal'noye orudeneniye v geologicheskikh kompleksakh Srednego Urala [The platinum-metal mineralization in the geological complexes of the Middle Urals]. Ekaterinburg, 260 p.
- 15. Petrov G. A., Grigor'yev A. G. 2001, Geologicheskoye doizucheniye masshtaba 1:200 000 i podgotovka k izdaniyu Gosgeolkarty-200 (novaya 15. Petrov G. A., Grigor yev A. G. 2001, Geologicneskoye dolzucheniye masshtaba 1:200 0001 podgotovka k izdaniyu Gosgeoikarty-200 (novaya seriiya) listov O-40-XVIII i O-41-XIII Sredneural'skoy serii (Saldinskaya ploshchad') [The geological survey of scale 1:200,000 and preparation for publishing state geological map – 200 (new series) of leaves O-40-XVIII, and O-41-XIII Sredneuralskaya series (Salda area)]. Ekaterinburg, 285 p. 16. Smetannikov A. F., Shanina S. N., Sinegribov V. A., and others 2006, Blagorodnyye metally Verkhnekamskogo mestorozhdeniya soley [Noble metals of the Verkhnekamskoye deposit of salts]. Gornyy zhurnal [Mining Journal], no. 6, pp. 62–64.

 17. Konstantinov V. M., Zavarzin A. V., Fayzulin M. I. and others 1999, Netraditsionnyye tipy rudoproyavleniy platinoidov i zolota na vostoke Russkoy platformy i v Ural'skom regione [Non-traditional types of occurrences of platinoids and gold in the East of the Russian platform and in the
- Ural region]. Rudy i metally [Ores and metals], no. 4, pp. 13–21.

 18. Smetannikov A. F., Kudryashov A. I. 1995, O vozmozhnom izvlechenii zolota i serebra iz rud Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley
- [On possible extraction of gold and silver from ores of Verkhnekamsk deposit of potassic salts]. Rudy i metally [Ores and metals], no. 5. pp. 118–121. 19. Śmetannikov A. F., Kudryashov A. I. 1995, Soderzhaniye i raspredeleniye Au. Ag i Pt-metallov v sil'vinitakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniya [Content and distribution of Au, Ag and Pt-metals in the sylvinites of the Verkhnekamskoe potash deposit]. Geokhimiya [Geochemistry], no. 9, pp. 1348–1351.
- 20. Miletsky, B. E., Y. L. Sheludyakov 2012, O predpolagayemom otkrytii pervogo blagorodnometal'nogo rudoproyavleniya v solyanoy tolshche Prikaspiyskoy vpadiny [On the expected opening of the first hosting precious metal deposits in the salt thickness of the Caspian basin]. Rudy i metally [Ores and metals], no. 1, pp. 62-65.

The article was received on September 10, 2017

УДК 502/504 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-55-64

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЙОНАХ РАЗРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Павел Андреевич Белкин, pashabelkin@mail.ru Валерий Николаевич Катаев, kataev@psu.ru Пермский государственный национальный исследовательский университет Россия, Пермь

Актуальность. Калийные соли являются важным и востребованным ресурсом, разработка которого ввиду достаточного уровня обеспеченности и возрастающей потребности в мировом хозяйстве неуклонно возрастает. Добыча и переработка калийных солей приводят к изменениям химического состава различных компонентов природной среды в районах месторождений. В особенности эти изменения характерны для водной составляющей экосистем, к которой относятся подземные воды зоны активного водообмена.

Цель работы. Определение комплекса химических элементов-индикаторов воздействия калийной промышленности на состав подземных вод зоны активного водообмена и характеристика источников поступления этих элементов в водную среду.

Методология исследования. В работе обобщены сведения по крупнейшим калийным месторождениям мира. Описаны особенности их генезиса, способы разработки руд и их обогащения. Приведена характеристика химического состава руд калийных месторождений, отходов калийного производства, а также результаты гидрохимических исследований подземных вод в различных регионах добычи калия.

Результаты. Проведенный анализ показал, что крупнейшие калийные месторождения мира характеризуются преобладанием солей хлоридного типа. Основным минеральным компонентом разрабатываемых калийных залежей в абсолютном большинстве случаев является сильвин, подчиненную роль играют карналлит и группа сульфатных минералов. Преобладающее количество промышленно разрабатываемых калийных руд являются залежами твердых ископаемых солей, добыча которых производится шахтным способом. Технологии обогащения, по сути, представлены двумя основными методами – флотационным и химическим.

Выводы. В результате исследования выделен комплекс химических элементов, определяющих направление трансформации химического состава подземных вод. С учетом их роли в формировании состава калийных руд, способности к водной миграции и опасности для человека этот комплекс подразделен на ведущие (CI, Na, K) и второстепенные (S, Ca, Mg) макрокомпоненты солей, ведущие микрокомпоненты солей (галогены, шелочные и шелочноземельные металлы), а также акцессорные микрокомпоненты солей (тяжелые металлы, полуметаллы и неметаллы).

Ключевые слова: подземные воды; химический состав; месторождения калийных солей; техногенез; производственные отходы; геохимические индикаторы.

Ведение
Калийная промышленность является комплексной отраслью хозяйства, объединяющей в себе горнодобывающее и химическое производство. Как горнодобывающее, так и химическое производство характеризуются значительным уровнем воздействия на окружающую среду.

Горнодобывающие предприятия являются источником комплексного и концентрированного воздействия на все компоненты окружающей среды. Большинство технологических процессов таких предприятий проходят в условиях прямого взаимодействия с окружающей средой. Проходка горных выработок и извлечение большого объема пород из недр Земли приводят к изменению напряженно-деформированного состояния массива горных пород, проявлениям техногенной сейсмичности, провалообразованию, изменению уровня подземных вод. Для расположения производственных комплексов, открытых горных выработок, объектов хвостового и отвального хозяйства изымаются значительные площади земель и сельхозугодий. Геохимическое воздействие на геологическую среду осуществляется посредством поступления в атмосферу, поверхностные и подземные воды, почвенную среду различных химических элементов и их соединений в количествах, не характерных для природного геохимического фона.

Предприятия химической промышленности, как правило, характеризуются меньшим масштабом взаимодействия с окружающей средой и объемом образующихся отходов, закрытыми технологическими циклами. Однако высокая степень опасности химически синтезированных веществ, отсутствие природных аналогов для многих из них, потенциальная возможность аварийных выбросов в природную среду также ставят предприятия химической промышленности в ряд наиболее экологически опасных производств.

Геохимическая составляющая воздействия калийного производства на геологическую среду в целом и на подземные воды в частности определяется, в первую очередь, спецификой химического состава и свойств объекта разработки калийных месторождений – минеральных солей.

Месторождения калийных солей

По времени образования соленосные отложения, формации и месторождения минеральных солей разделяются на две большие группы. К первой относятся современные месторождения, образовавшиеся в одну из эпох четвертичного периода вплоть до настоящей. В условиях литосферы они чаще всего представляют собой скопления насыщенных природных рассолов (Мертвое море, Большое соленое озеро и др.), где процесс соленакопления происходит в настоящее время. Ко второй, наиболее многочисленной группе, относятся ископаемые галогенные формации и соляные месторождения, образовавшиеся в прошлые геологические периоды, как правило, находящиеся в более или менее глубоких недрах Земли [1].

Современные соляные месторождения представляют собой разнообразные бассейны морского и континентального генезиса. Кристаллизация и накопление солей в таких бассейнах возможны в условиях жаркого аридного климата.

Содержание полезного компонента в природных рассолах в пересчете на КСl находится на достаточно низком уровне и составляет от 0,5 до 5 % от всей массы сырья. В связи с этим экономически выгодная разработка месторождений калийсодержащих рассолов возможна только в особых климатических условиях, где возможно использование солнечного испарения либо кристаллизации охлаждением в технологическом цикле для выработки высококонцентрированных технических рассолов. К началу второго десятилетия XXI в. доля мировой добычи калия из месторождений природных рассолов составляет около 25 % [2].

В отличие от природных калийсодержащих рассолов, месторождения твердых калийных солей характеризуются значительно более высоким содержанием полезного компонента, так как уже в ходе геологического образования месторождений в процессе испарения происходила концентрация полезных компонентов. В связи с этим именно месторождения такого типа представляют основу мировой сырьевой базы калийных руд.

Выбор способа добычи калийных солей зависит от комплекса геолого-структурных, гидрогеологических, климатических и других условий разработки. При подземной разработке месторождений твердых калийных солей наиболее распространен шахтный способ. Способ подземного выщелачивания применяется в условиях глубокозалегающих (более 1000 м) калийных пластов, где горно-механические и температурные условия не позволяют вести шахтную разработку, а также для отработки запасов аварийно затопленных рудников (Patience Lake, Канада).

Обогащение сырых калийных солей производится в основном двумя способами: химическим или галургическим (растворением-кристаллизацией) и флотацией в насыщенных растворах. Для обогащения калийных солей сложного минералогического состава применяется, кроме флотационного и химического способов, также электростатический метод. Каждый метод (способ) обогащения имеет особенности, проявляющиеся в большей или меньшей степени в зависимости от состава руды.

Наиболее распространенным методом обогащения калийных руд в мире является флотация. Из 33 действующих в мире обогатительных фабрик, использующих в качестве сырья добытые горным способом калийные руды, на 29 производственных площадках переработка осуществлялась способом флотации или комбинирования флотации с химическим способом и только на 4 – исключительно химическим. Технология электростатического обогащения твердых калийных солей в комбинации с химическим и флотационным способами в промышленных масштабах применяется только на четырех предприятиях в ФРГ [2].

Характеристика химического состава калийных руд

Согласно Методическим рекомендациям Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых [3], выделяют калийные соли хлоридного, сульфатного и смешанного сульфатно-хлоридного промышленного типов. Месторождения твердых минеральных солей по вещественному составу обычно являются комплексными. Калийные и калийно-магниевые соли приурочены к соленосным сериям, представляющим собой чередование пластов калийных и калийно-магниевых солей с пластами и прослоями каменной соли и несолевых отложений. Химический состав минеральных руд характеризуется преобладанием хлоридных и сульфатных солей щелочных и щелочноземельных металлов (табл. 1).

К важнейшим минералам калия относятся сильвин (63,2 % K₂O) и карналлит (16 % K₂O). Обобщающие исследования химического и минерального состава калийных руд месторождений мира, проведенные А. А. Ивановым с соавторами [1], показали, что наиболее распространенным калийным минералом является сильвин. Он установлен в подавляющем большинстве (80 % от общего количества) соленосных формаций и соляных месторождений, содержащих калийные соли. При этом более чем в 65 % случаев сильвин является породообразующим минералом и в половине из этих случаев представляет практический интерес или промышленно используется. Второе место по распространенности занимает карналлит, установленный в 65 % общего числа соленосных формаций и соляных месторождений. Из этого числа формаций более чем в 60 % случаев карналлит является породообразующим, но промышленно используется лишь в нескольких месторождениях. Сильвин и карналлит распространены в как в бессульфатных, так и в сульфатных месторождениях, являясь в первых почти везде единственными представителями калийных и калийно-магниевых солей, а во вторых – проявляются в ассоциации с другими солями калия и магния. Согласно данным Г. Раухе [2], более 70 % калийных удобрений в мире сегодня производятся на основе сильвинитового сырья. К крупнейшим разрабатываемым месторождениям калийных солей хлоридного типа относятся Западно-Канадский бассейн (Элк-Пойнт) в провинции

Таблица 1. Химический состав и свойства основных минералов калийных и калийно-магниевых месторождений (по [3]). Table 1. Chemical composition and properties of the main minerals of potassium and potassium-magnesium deposits (by [3]).

Минерал	Формула	Плотиости 5/0143	Троппост	Растворимость, кг/дм ³	
	Формула	Плотность, г/см ³	Твердость	при 25 °C	при 95 °С
	Основные	калийные минералы			
Сильвин	KCI	1,97–1,99	1,5–2,0	0,312	0,428
Карналлит	KCI · MgCl ₂ · 6H ₂ O	1,6–1,9	1,5–2,5	1,019	1,217
Полигалит	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,72–2,78	2,5–3,0	Распадается на галит и воду при –10 °C	
Кизерит	$MgSO_4 \cdot H_2O$	2,57	3,0–3,5	_	0,535
Лангбейнит	K₂SO₄ · 2MgSO₄	2,83	3,0-4,0	_	0,415
Каинит	KCI · MgSO ₄ · 3H ₂ O	2,13–2,15	2,5–3,0	Легкора	створим
	Основные	минералы-спутники			
Галит	NaCl	2,1–2,2	2–2,5	0,317	0,328
Ангидрит	CaSO ₄	2,8–3,0	3–3,5	0,0002	0,00007

Саскачеван (Канада), Верхнекамское месторождение калийных солей (ВКМС) в Пермском крае (РФ), Припятский калиеносный бассейн (Старобинское, Нежинское, Петриковское месторождения, Беларусь).

Другие типы калийных руд играют второстепенную роль. По степени распространенности к карналлиту близок полигалит (встречен в 58 % числа формаций и месторождений), но как породообразующий минерал он проявляется в немногих случаях. Остальные минералы (табл. 1) занимают по сравнению с первыми тремя подчиненное положение.

Постоянными компонентами, присутствующими во всех типах пород наряду с хлоридными и сульфатными солями калия и магния, являются галит (NaCl) и нерастворимый в воде остаток (карбонатно-глинистый материал), в подавляющем большинстве случаев также ангидрит (CaSO₄), а в породах, содержащих кристаллогидрат – H₂O.

Средний химический состав продуктивных пластов калийного месторождения хлоридного типа охарактеризован в работе Э. О. Баяндиной и А. И. Кудряшова [4] на примере ВКМС. По отдельности рассмотрен состав всех 15 продуктивных пластов месторождения, как преимущественно сильвинитового состава, так и пластов с преобладанием карналлитовой породы. Ведущими компонентами химического состава являются соли NaCl (45,31–76,11 мас. %), KCl (15,25–31,04 мас. %), MgCl₂, (0,24–0,34 мас. % в сильвинитовых пластах; 5,97–12,48 мас. % в пластах с присутствием карналлитовой породы), CaSO₄ (1,15–2,68 мас. %).

Наряду с растворимыми соляными минералами в состав руд калийных и калийно-магниевых месторождений входят нерастворимые минералы смешанного глинисто-солевого состава – галопелиты. Галопелиты представляют собой сложную многокомпонентную систему, основными составными частями которой являются водонерастворимые хлоридные соли $(5-12\ \%)$, поровые растворы $(15-30\ \%)$, нерастворимый остаток $(52-70\ \%)$, органическое вещество $(10-12\ \%)$. Химический состав галопелитов, наряду с солевыми компонентами, обогащен оксидами алюминия, железа, кремния и углерода, а также бромом и водой.

Нерастворимый в воде остаток (н. о.) представлен карбонатами (10–20 %), сульфатами (5–30 %) и алюмосиликатами (42–51 %). В минеральном составе карбонатов преобладают доломит, магнезит; сульфатов – ангидрит, гипс. Алюмосиликаты представлены преимущественно гидрослюдами и полевым шпатом [5]. Общее его содержание в продуктивных пластах ВКМС варьирует в пределах 1,76–3,66 мас. % [4].

Таким образом, в состав основных химических компонентов, добываемых на калийных месторождениях и вовлекаемых в переработку, входят ионы Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $SO_4^{\ 2-}$. Преобладающее значение при рассмотрении наиболее ценных промышленных компонентов месторождений – хлоридных солей – имеют хлориды калия и натрия.

Наряду с перечисленными химическими элементами, определяющими вещественный состав, калийные руды содержат элементы-примеси. В их число входят в основном галогениды, щелочные и щелочноземельные металлы. Кроме того, с применением современных чувствительных методов химического анализа в калийных рудах обнаружен широкий спектр тяжелых металлов и присутствие благородных металлов.

Согласно выводам Н. М. Страхова [6], вся совокупность акцессорных компонентов, встречающихся в галогенных отложениях, разделяется на две группы. Первую (галофильную) группу образуют Вг, J, Sr, B, Rb, Cs, Tl и некоторые другие, которые вносились в солеродный водоем из морских вод, где они уже предварительно несколько сконцентрированы. Вторая группа (кластофильная) представлена более широким перечнем элементов: Fe, Mn, P, V, Cr, Ni, Co, Cu, Pb, Ве и др. Это элементы терригенного происхождения, которые поступали в осолоняющиеся водоемы с берега вместе с пылью, заносимой ветром, или с речным стоком. В породах, обогащенных терригенным материалом, количество кластофильных элементов максимально. В решетках соляных минералов элементы этой группы находятся в исчезающе малых количествах.

Характеристика микроэлементного состава калийных руд приводится в работах Н. Н. Тетериной [5], С. М. Кореневского [7], Д. Е. Гаррета [8], Б. А. Бачурина [9], А. И. Кудряшова [10]. Авторами отмечается высокое содержание в рудах брома и рубидия (особенно в карналлитовой породе), присутствие в концентрациях, превышающих кларк земной коры, бора, йода, стронция, лития. Среди акцессорных элементов терригенного происхождения, концентрирующихся в большей степени в нерастворимом остатке, наиболее часто встречаются Ва, Fe, Mn, V, Ti, Ni, Zn, Cu, Pb, Cr и некоторые другие.

Характеристика химического состава отходов производства

Состав и свойства отходов калийного производства обусловлены, в первую очередь, составом и свойствами исходных калийных руд, а также их преобразованием в технологическом цикле производства. Главными технологическими факторами формирования химического состава отходов являются избирательное концентрирование отдельных компонентов исходных природных руд, а также применение различных химических реагентов.

Твердые солеотходы представляют собой сыпучую среду, содержащую 90 % и более галита, а также небольшое количество других солей и нерастворимого остатка. Основным способом утилизации твердых галитовых отходов во всем мире является складирование их в солеотвалах на поверхности земли (табл. 2). Суммарная площадь изъятия земель под солеотвалы на крупнейших мировых производствах превышает 5600 га. Часть солеотходов направляется на закладку подземных выработок, а также после растворения закачивается в глубокие горизонты. В районах, где добыча и производство калия осуществляются в непосредственной близости от морских бассейнов, применяется утилизация солеотходов в море.

Таблица 2. Способы утилизации твердых солеотходов в мире на 2011 г. (по [2])*. Table 2. Methods of disposal of solid waste in the world in 2011 (according to [2])*.

Способ утилизации	Часть в общем объеме отходов, %
Складирование на солеотвалах	81
Закладка пустот	9
Растворение и выпуск в глубокие скважины/море	10

^{*} Учтены производства, где осуществляется добыча руды шахтным способом.

Главным компонентом состава твердых отходов калийного производства является галит. Это обусловливает доминирующий компонент химического состава солеотходов – NaCl. При разработке месторождений хлоридного типа его валовое содержание может достигать 95 % [11]. Наряду с галитом в составе солеотвала присутствуют другие хлориды – KCl (1,2–3,5 %) и MgCl (до 0,2 %), а также до 2 % CaSO,, до 4 % нерастворимого остатка и до 6 % воды.

При разработке калийных руд сульфатного типа состав твердых солеотходов несколько изменяется в сторону закономерного увеличения доли сульфатов кальция и магния. К примеру, на калийных производствах Германии средний состав солеотвалов включает в себя 69 % NaCl, 15 % CaSO₄, 7 % MgSO₄, а также небольшие порции KCl, MgCl₂, K_2SO_4 и нерастворимых глинистых минералов [2].

Глинисто-соляная пульпа представляет собой суспензию с весовым соотношением жидкой фазы к твердой от 3:1 до 2:1. Жидкая среда содержит рассол, обогащенный главным образом NaC1, менее КC1, MgC1 $_2$ и SO $_4$, твердая содержит 15–70 % нерастворимого остатка, остальное – мелкодисперсная масса NaCl и KCl [12]. Жидкие отходы калийного производства – глинисто-солевые шламы и избыточные рассолы – складируют в поверхностных шламохранилищах и рассолосборниках, используют при закладке отработанного пространства, а также осуществляют закачку в глубокие горизонты и сброс в морские бассейны.

Шламы представляют собой двухфазную систему – седиментационно неустойчивую суспензию. В роли дисперсионной среды выступает насыщенный раствор хлоридов натрия и калия. Дисперсная среда, присутствующая в форме «донных отложений», представлена нерастворимым остатком руды [13]. В него входят следующие компоненты, %: КСl 6-10; NaCl 5-24; MgCl $_2$ 0-7; CaCl $_2$ 0.03-0.10; CaSO $_4$ 2-5. Нерастворимый остаток шлама (5-28 %) по минералогическому составу состоит преимущественно из глинисто-карбонатного материала. Глинистая часть (около 60 % по массе) представлена монтмориллонитом (~ 40 %) и хлоридами (~ 20 %). Карбонаты представлены в основном кальцитом и доломитом. Кроме того, в шламе присутствуют магнезит и силикаты (кварц, полевой шпат и др.) [11].

Состав оборотных рассолов калийных производств также зависит от исходного состава руд и действующей технологии производства. Усредненный состав оборотных рассолов флотационных фабрик березниковских калийных рудоуправлений ВКМС, по данным Н. Н. Тетериной [5], представлен, %: катионами натрия (7,2-8,1), калия (5,0-6,0), магния (0,1-0,3) и кальция (0,15-0,20); анионами хлора (16,6-17,4), брома (0,05-0,07) и сульфат-анионом (0,2-0,4). Доля чистой H_2 О составляет 68,8-70 %. Технологические растворы, возникающие при химическом способе обогащения калийных руд, имеют более высокую температуру и способны содержать большее количество растворенных веществ.

Микрокомпонентный состав твердых галитовых отходов, глинисто-солевых шламов и избыточных рассолов калийных предприятий на примере ВКМС детально описан в работе Б. А. Бачурина [9]. Автором рассмотрено содержание в галитовых отходах, твердой фазе глинисто-солевых шламов и водной вытяжке из них, а также в избыточных рассолах следующего перечня микроэлементов: Ва, V, Fe, Cd, Co, Mn, Cu, Ni, Pb, Sr, Cr, Zn, Br. Согласно приведенным в работе данным, галитовые отходы в целом в ходе промышленной переработки не обогащаются большим количеством микрокомпонентов. Содержание приведенных элементов в них, как правило, не превышает содержания в исходных калийных рудах. Наибольшая концентрация микрокомпонентов наблюдается в составе глинисто-солевых шламов, однако в формах, способных к водной миграции, присутствуют в основном бром и стронций, в меньшей степени свинец, никель и кобальт. Примерно аналогичный состав преобладающих микрокомпонентов наблюдается в избыточных рассолах.

Характеристика химического состава подземных вод в районах калийного производства

Ведущее место в нарушении исходной гидрохимической обстановки большинство исследователей отводит воздействию поверхностных накопителей отходов – шламохранилищ и солеотвалов [12, 14–17 и др.]. Инфильтрующиеся растворы, содержащие значительное количество растворенных веществ и обладающие повышенной плотностью, проникают в зону активного водообмена. Наиболее обогащенные водорастворимыми солями подземные воды погружаются в глубокие горизонты водопроницаемой толщи. Этому способствуют большая мощность зоны активного водообмена и отсутствие в ней выдержанных водоупоров.

В процессе трансформации подземных вод зоны активного водообмена выделяют три стадии [12, 14]. Первая стадия соответствует инфильтрации сточных вод через зону аэрации. Она характеризуется метаморфизацией сточных вод вследствие процессов растворения, выщелачивания и сорбции, сопровождающих их движение через породы зоны аэрации. На второй стадии происходит смешение метаморфизованных сточных вод с вмещающими водами водоносного горизонта. Третья стадия соответствует движению вод метаморфизованного состава и переносу растворенных веществ в водоносном горизонте. На интенсивность этого процесса влияет ряд факторов, а именно: повышенная плотность рассолов (до 1,2 г/см³), что способствует их быстрому опусканию; наличие вблизи действующих водозаборов и зон сдвижения горных пород в результате подземной разработки, где значительно повышается скорость фильтрации [12].

Исследования химического состава поверхностных вод и подземных вод зоны активного водообмена в районах разработки калийных месторождений в связи с ухудшением качества этих вод, часто используемых в питьевых целях, проводятся во всех калиедобывающих регионах. Сопоставление результатов этих исследований показывает их сходимость в части трансформации химического состава вод.

Изучение состава сточных вод, фильтрующихся с объектов складирования отходов калийной промышленности и являющихся первоисточником трансформации состава подземных вод, проводилось автором в 2016 г. Количественный химический анализ техногенных рассолов показал, что они представляют собой сверхкрепкий рассол, в химическом составе которого доминируют ионы Cl^- , Na^+ и K^+ , минерализация составила более 400 г/дм 3 . Следует отметить, что согласно существующим методикам, выполнение химического анализа рассолов подобной концентрации производится посредством их разбавления, что повышает возможность ошибки. Как правило, предельная концентрация рассолов Cl^-Na^+ состава в приповерхностных условиях достигает 300-320 г/дм 3 . Также отмечено влияние ионообменных процессов на рост концентраций магния и кальция в подземных водах, находящихся в зоне влияния калийных стоков [18, 19].

Исследования состава сточных вод с солеотвалов и шламохранилищ, а также их дальнейшего влияния на состав подземных вод на территории Верхнекамского месторождения солей проводились Е. А. Хайрулиной и Н. Г. Максимовичем [20–22]. Сточные воды, фильтрующиеся с накопителей солеотходов, по данным авторов, представляют собой насыщенные хлоридные калиево-натриевые рассолы с минерализацией до 326–440 г/дм³ при фильтрации с солеотвалов и до 139 г/дм³ при фильтрации из-под дамб шламохранилищ. Наряду с крайне высокими концентрациями хлоридов натрия и калия отмечено повышенное содержание сульфатов (2–3,7 г/дм³), кальция, магния, а также широкого ряда микрокомпонентов: Sr, Mn, Pb, Ba, Cr, Zn, Li, V и других редких элементов.

Результаты изучения родниковой разгрузки подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта, находящихся под влиянием фильтрации с объектов складирования отходов, показали значительную трансформацию химического состава подземных вод. Пресные гидрокарбонатные кальциевые воды сменяют состав на хлоридный натриевый, минерализация возрастает в десятки раз. Для иллюстрации масштаба трансформации состава подземных вод были приведены коэффициенты концентрации компонентов химического состава измененных вод в сравнении с фоновыми значениями. Среди макрокомпонентов наибольшие коэффициенты концентрации отмечены для $K^+(2046) > Cl^-(889,2) > Na^+(275) > SO_4^{-2} - (179,2) > Mg^{2+}(50,1)$. Среди микроэлементов выделен следующий ряд: Pb(87) > Sr(78) > Co(39) > Mn(7). Отмечено появление в составе измененных вод редкоземельных элементов, не зафиксированных ранее (Tm, Sm, Lu, Eu, Yb и др.) [21].

Исследования химического состава подземных вод на территории Соликамско-Березниковской градопромышленной агломерации проводились И. В. Щуковой и Е. С. Ушаковой [23, 24]. На участках влияния промышленных объектов отмечено значительное увеличение минерализации подземных вод, повышенные концентрации хлорид- и сульфат-анионов, катионов натрия, калия, магния и общего железа.

Подобные результаты получены исследователями подземных вод в Испании, Германии, Франции и других странах. В работе N. Otero [25] представлены результаты опробования сточных и природных вод в бассейне р. Льобрегат (Llobregat) на северо-востоке Испании, где располагается ряд предприятий калийной промышленности. В анионном составе отмечается высокое содержание хлоридов и сульфатов, среди катионов доминируют натрий и калий, в меньшей степени магний и кальций. Среди микрокомпонентов отмечено повышенное содержание стронция, присутствие марганца, цинка, меди и свинца.

Результаты изучения состава природных вод в регионе верхнего Рейна, где долгое время действовали калийные предприятия Эльзаса, представлены в работах М. Bauer et al. [26], S. Durand et al [27], Y. Lucas et al. [28]. Авторы отмечают вклад хлоридно-натриевых и калиевых рассолов в трансформацию состава подземных вод региона, особенно выделяя роль ионообменных процессов при движении техногенных рассолов по водоносному горизонту, смену состава вод на хлоридные кальциевые и магниевые. Среди микрокомпонентов отмечено присутствие рубидия, стронция, бария. Сходные данные по исследованиям в Тюрингии (Германия) представлены в работе Siefert et al. [29].

Целенаправленные исследования содержания тяжелых металлов в техногенных гидрохимических потоках на территории горнодобывающих предприятий Урала проводились Б. А. Бачуриным [30]. Для Верхнекамского месторождения калийных солей автор отмечает элементы, чье содержание в стоках значительно превышает установленные предельно допустимые концентрации, мг/дм³: Mn (220,5), Fe (99), Pb (11,8), Zn (8,1), Co (4,9), Ni (4,6), Cu (4,3), Cr (0,88).

Трансформация химического состава подземных вод

Анализ и обобщение изложенных данных позволяет сделать ряд выводов. Крупнейшие калийные месторождения мира характеризуются преобладанием солей хлоридного типа и, вследствие этого, схожим химическим составом руд, что обусловлено единством генетических процессов их формирования. Основным минеральным компонентом разрабатываемых калийных залежей в абсолютном большинстве случаев является сильвин, подчиненную роль играют карналлит и группа сульфатных минералов. Среди главных сопутствующих минеральных компонентов калийных солей повсеместно присутствуют галит и ангидрит.

Преобладающее количество промышленно разрабатываемых калийных руд являются залежами твердых ископаемых солей, добыча которых производится шахтным способом. Технологии обогащения, по сути, представлены двумя основными методами – флотационным и химическим. Все это вкупе определяет схожесть технологических процессов, а также перечень, количество и состав отходов производства.

Обобщение исследований химического состава калийных руд, отходов их переработки, а также результатов опробования подземных вод зоны активного водообмена в районах добычи и переработки калия в различных регионах мира позволяет выделить следующий комплекс химических элементов, определяющих направление трансформации химического состава подземных вод с учетом их роли в формировании состава калийных руд, способности к водной миграции и опасности для человека (табл. 3).

К ведущим макрокомпонентом солей относятся Cl, Na, K. Их преобладание характерно для месторождений хлоридного типа – наиболее широко распространенных и разрабатываемых. Большое количество Na и Cl обусловлено широким распространением в калийных рудах галита. Особенностью калия является высокая сорбируемость в почвах, породах, донных отложениях, задержка корневой системой растений – как следствие значительно меньшая интенсивность водной миграции. Na и Cl составляют основную долю твердых солеотходов. Насыщенные хлоридные калиевонатриевые рассолы составляют основную часть избыточных рассолов производства, жидкую фазу шлама.

Второстепенные макрокомпоненты солей – S, Ca, Mg. Сера (сульфат-анион SO₄) является ведущим солевым компонентом сульфатных калийных руд. Однако в наиболее распространенных месторождениях хлоридного типа содержание значительно уменьшается (присутствует в ангидрите, галопелитах). В отходах производства присутствует повсеместно: в твердых солеотходах, в глинисто-солевых шламах, в оборотных и избыточных рассолах. Кальций и магний входят в состав главных калийных минералов (Mg – карналлит, полигалит, кизерит, лангбейнит, каинит; Са – полигалит, сопутствующий ангидрит). В отходах производства кальций преобладает в твердых солеотходах (ангидрит, гипс),

Таблица 3. Перечень возможных элементов-индикаторов воздействия калийной промышленности на химический состав природных вод.

Table 3. List of possible tracer elements of potash industry, which impact the chemical composition of natural waters.

Группа элементов		Элемент	Интенсивность водной миграции (по [31], в скобках – коэффициент водной миграции)	ПДК, мг/дм³ (класс опасности)
Ведущие макрокомпоненты солей		Cl	Очень сильная (644)	350 (4)
		Na	Сильная (4,2)	200 (2)
		K	Средняя (0,43)	_
Второстепенные макрокомпоненты солей		S (SO ₄)	Очень сильная	500 (4)
		Ca	Сильная (3,3)	_
		Mg	Сильная (2,3)	50 (3)
	Fa	Br	Очень сильная (203)	0,2 (2)
	Галогены	I	Очень сильная (99)	0,125 (2)
_		Rb	Средняя	0,1 (2)
Ведущие	Щелочные металлы	Li	Средняя	0,03 (2)
иикрокомпоненты солей	·	Cs	Средняя	_
	Щелочноземельные	Sr	Высокая (1,2)	7 (2)
	металлы	Ва	Средняя	0,7 (2)
		Мо	Сильная (4,4)	0,07 (3)
		Zn	Сильная (0,94)	1 (3)
	Тяжелые металлы (способные к водной миграции)	Cu	Средняя (0,27)	1 (3)
		Ni	Средняя (0,13)	0,02 (2)
		Mn	Средняя (0,11)	0,1 (3)
		Co	Средняя	0,1 (2)
		TI	Средняя	_
		Cd	_	0,001 (2)
		Pb	_	0,01 (2)
Акцессорные		Hg	_	0,0005 (1)
иикрокомпоненты солей	Тяжелые металлы (слабые мигранты)	Fe	Слабая (0,02)	0,3 (3)
		Ti	Слабая (0,005)	0,1 (3)
		V	Слабая (0,05)	0,1 (3)
		Cr	Слабая (0,08)	0,05 (2)
		Zr	Слабая (0,017)	-
	Полуметаллы и неметаллы	В	Очень сильная	0,5 (2)
		Se	Сильная	0,01 (2)
		As	Средняя	0,01 (1)
		Sb	_	0,005 (2)
		Ge	_	-

^{*}Приведены по ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

магний – в глинисто-солевых шламах и избыточных рассолах. Для отходов переработки сульфатных месторождений характерна большая доля присутствия Са и Mg. Дополнительное увеличение концентрации в подземных водах может проявляться в процессе ионного обмена при взаимодействии насыщенных хлоридных калиево-натриевых рассолов с обменным комплексом терригенных пород.

К числу ведущих микрокомпонентов солей относятся *галогены, щелочные и щелочноземельные металлы*. Среди галогенов особенно выделяется *бром* – наиболее распространенный микрокомпонент калийных руд. Включается в кристаллическую решетку калийных минералов путем изоморфного замещения СI вследствие близости ионных радиусов. Бром широко распространен как в сильвинитах, так и в карналлитовой породе. Рассеянные элементы, характеризуются высокой подвижностью в водных растворах. В отходах бром в наибольших концентрациях присутствует в оборотных рассолах карналлитового производства, в меньших – в стоках химического производства сильвинита, еще в меньших – в стоках флотационных фабрик. Существенно содержание брома и в галитовых отходах, причем в отходах карналлитового производства оно выше, чем в отходах сильвинитового [5]. Геохимия *йода* изучена значительно хуже, известны факты обнаружения его в сильвинитах, присутствует в высокоминерализованных рассолах. Элементы обладают очень сильной способностью к водной миграции.

К микрокомпонентам-щелочным металлам относятся рубидий, литий, цезий. *Рубидий* включается в кристаллическую решетку калийных минералов путем изоморфного замещения К вследствие близости ионных радиусов. Наибольшие содержания рубидия характерны для карналлитовых руд. Рассеянные элементы, характеризуются высокой подвижностью в водных растворах. При обогащении карналлита значительная часть рубидия – до 70 % – концентрируется в готовом продукте обогащения карналлитовой руды. В галитовые отходы и шламы переходит до 3 % рубидия, осталь-

ная часть переходит в состав производственных щелоков. Кроме того, концентрация рубидия (более чем в 2 раза выше, чем в исходной руде) происходит в отработанном электролите, образующемся в процессе электролизного производства магния из карналлитового концентрата [5]. Повышенная концентрация лития характерна для соленосных глин. Цезий может входить в состав кристаллической решетки карналлита. Элементы характеризуются средней интенсивностью водной миграции, низкими ПДК и высоким классом опасности (II).

Присутствие щелочноземельных металлов – стронция и бария – характерно для калийных солей и отходов их переработки. Стронций в концентрациях, превышающих кларковые, содержится в соленосных глинах. В отходах калийной промышленности преобладает в избыточных рассолах. Обладает высокой способностью к миграции. В значительном количестве присутствует в составе сточных вод, обнаружен при изучении подземных вод калийных регионов. Барий присутствует во всех видах отходов калийной промышленности. В руде наибольшее количество характерно для карналлитовой породы, присутствует в растворимой форме. В сильвинитах мало- и нерастворимые формы [10]. Наибольшие концентрации характерны для твердой фазы глинисто-солевых шламов. Стронций и барий достаточно интенсивно мигрируют в подземных водах.

Среди широкого спектра *тяжелых металлов*, присутствующих в калийных солях, по интенсивности водной миграции выделяется 2 группы элементов. В список элементов, способных к водной миграции, включены Мо, Zn, Cu, Ni и др. (табл. 3). Для большинства характерно накопление в соленосных глинах и нерастворимом осадке калийных руд и прилегающих горизонтов каменной соли. В производственном процессе при отмывке и обогащении руд концентрируются главным образом в твердой фазе глинисто-солевых шламов и направляются на складирование в шламохранилища. Благодаря способности к водной миграции могут переходить в состав жидкой фазы рассолов и поступать в горизонты пресных подземных вод. Под влиянием атмосферных осадков эти процессы интенсифицируются. Группа элементов обладает низкими ПДК и высокими классами опасности (II–III).

Ко второй группе отнесены элементы, обладающие малой растворимостью и слабой способностью к водной миграции. Для них характерно накопление в значительных количествах в твердой фазе глинисто-солевых шламов (особенно для железа и титана, обладающих высокими кларками), отмечено повышенное содержание железа и хрома в стоках ВКМС [30].

В небольших количествах присутствуют в калийных рудах полуметаллы и неметаллы. Для бора характерно присутствие в каменной соли и соленосных глинах. В калийных солях он концентрируется преимущественно в сульфатных разновидностях, менее характерен для хлоридного разреза. Обладает очень высокой подвижностью в воде. Для бора, селена и мышьяка отмечается повышение подвижности в соленых водах [32]. В ВКМС зафиксировано повышенное содержание германия в соленосных глинах, присутствие мышьяка в подстилающей каменной соли [10].

Таким образом, применение сходных технологий добычи, переработки сырья, складирования отходов, определяемых составом руд, общность климатических условий территорий расположения крупнейших калийных производств ведут к схожим техногенным изменениям в химическом составе природных вод и преобладающему накоплению в них определенного перечня химических элементов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Иванов А. А., Воронова М. Л. Галогенные формации. М.: Недра, 1972. 328 с.
- 2. Rauche H. Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015. 580 p.
- 3. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Соли. М.: МПР России, 2007. 47 с.
- 4. Баяндина Э. О., Кудряшов А. И. Нерастворимый остаток Верхнекамского месторождения. Пермь, 2015. 102 с.
- 5. Тетерина Н. Н., Сабиров Р. Х., Сквирский Л. Я. и др. Технология флотационного обогащения калийных руд / под ред. Н. Н. Тетериной. Пермь: ОГУП «Соликамская типография», 2002. 484 с.
- 6. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. III. 552 с.
- 7. Кореневский С. М. Комплекс полезных ископаемых галогенных формаций. М.: Недра, 1973. 300 с.
- 8. Garrett D. E. Potash: deposits, processing, properties and uses. London: Chapman & Hall, 1996. 374 p.
- 9. Бачурин Б. А. Экологические проблемы горнопромышленных районов Пермского края // Экология и промышленность России. 2006. № 4. С. 32–35.
- 10. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. М.: Эпсилон Плюс, 2013. 368 с.
- 11. Пермяков Р. С., Ковалев О. В., Пинский В. Л. и др. Справочник по разработке соляных месторождений. М.: Недра, 1986. 212 с.
- 12. Бельтюков Г. В. Карстовые и гипергенные процессы в эвапоритах: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Пермь: Перм. гос. университет,
- 13. Бачурин Б. А., Мурзаев В. М., Одинцова Т. А. Эколого-геохимическая характеристика отходов калийного производства // Горные науки на рубеже XXI века: материалы Междунар. конф. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С.408–417.
- 14. Тютюнова Ф. И. Гидрогеохимия техногенеза. М.: Наука, 1987. 335 с.
- 15. Гольдберг В. М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 262 с.
- 16. Мироненко В. А., Мольский Е. В., Румынин В. Г. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. Л.: Недра, 1988. 279 с. 17. Горбунова К. А., Максимович Н. Г., Андрейчук В. Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области: препринт.
- Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 44 с.
 18. Белкин П. А. Результаты изучения влияния ионообменных процессов на состав подземных вод Верхнекамского месторождения солей // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX междунар. симпоз. им. акад. М. А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Изд-во
- TПУ, 2016. T. 1. C. 626–628.

 19. Belkin P. A., Menshikova E. A., Kataev V. N. Influence of ion exchange processes on the composition of the groundwater from the Upper Kama potash salt deposit // SGEM2016 Conference Proceedings. 2016. Book 3. Vol. 3. P. 173–180. DOI: 10.5593/SGEM2016/HB33/S02.022.
- 20. Хайрулина Е. А. Максимович Н. Г. Влияние стоков солеотвала калийного предприятия на химизм приповерхностной гидросферы // Геохимия ландшафтов и география почв: докл. Всерос. науч. конф. М.: МГУ, 2012. С. 340–342.
- 21. Хайрулина Е. А. Техногенная трансформация ландшафтно-геохимических процессов в районе добычи калийно-магниевых солей // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 41–45.
- 22. Хайрулина Е. А., Максимович Н. Г. Влияние шламохранилища с солесодержащими отходами на приповерхностную гидросферу // Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. Сергеевские чтения. М.: РУДН, 2017. Вып. 19. С. 429–434.

- 23. Щукова И. В., Ушакова Е. С. Подземные воды Соликамской градопромышленной агломерации // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2012. № 2 (22).
- 24. Щукова И. В. Современное состояние подземных вод района развития соляного карста на территории Пермского края // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 12-1. С. 37–42.
- 25. Otero N., Soler A. Sulphur isotopes as tracers of the influence of potash mining in groundwater salinisation in the Llobregat Basin (NE Spain) // Water Research, 2002, Vol. 36, Issue 16, P. 3989–4000.
- 26. Bauer M., Eichinger L., Elsass P. et al. Isotopic and hydrochemical studies of groundwater flow and salinity in the Southern Upper Rhine Graben // Int. Journal Earth Sci. (Geol Rundsch) 94. P. 565–579.
- 27. Durand S., Chabaux F., Rihs S., Duringer P., Elsass P. U isotope ratios as tracers of groundwater inputs into surface waters: Example of the Upper Rhine hydrosystem // Chemical Geology. 2005. 220 (1-2). P. 1–19.
- 28. Lucas Y., Schmitt A. D., Chabaux F., Clément A., Fritz B., Elsass P., Durand S. Geochemical tracing and hydrogeochemical modelling of water-rock interactions during salinization of alluvial groundwater (Upper Rhine Valley, France) // Applied Geochemistry. 2010. 25 (11). P. 1644–1663. 29. Siefert B., Büchel G., Lebküchner-Neugebauer J. Potash mining waste pile Sollstedt (Thuringia): Investigations of the spreading of waste solutes in the Roethian Karst // Grundwasser. 2006. 11 (2). P. 99–110.
- 30. Бачурин Б. А. Геохимическая трансформация отходов горного производства // Минералогия техногенеза: матер. науч. семинара. Миасс, 2007. С 177–188.
- 31. Перельман А. И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.
- 32. Babel M., Schreiber B. C. Geochemistry of Evaporites and Evolution of Seawater // Treatise on Geochemistry. Second edition / Ed. by Heinrich D. Holland and Karl K. Turekian. Oxford: Elsevier, 2014. P. 483–560.

Статья поступила в редакцию 8 декабря 2017 г.

УДК 502/504 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-55-64

Regularities of the chemical composition of technogenic transformation which groundwater undergoes in the areas of the potash deposits development

Pavel Andreevich Belkin, pashabelkin@mail.ru Valeriy Nikolaevich Kataev, kataev@psu.ru

Perm State University Perm'. Russia

The urgency of the work. Potash salts are an important and needed resource. Its development is steadily increasing in view of the sufficient level of security and the growing need for the world economy. Production and processing of potassic salts lead to changes in the chemical composition of various components of the natural environment in the areas of deposits. In particular, these changes are typical for the aquatic component of ecosystems, which include groundwater zones of active water exchange.

The purpose of the work is to determine a set of chemical tracer elements of the potash industry impact on the composition of the underground waters in the active water exchange zone. The characteristic of the sources of these elements in the aquatic environment is also the purpose of the

Research methodology. This paper summarizes data on the largest potash deposits in the world. The peculiarities of their genesis, methods of mining of ore deposits and their enrichment are described here. The work gives characteristics of the chemical composition of ores potash deposits, and waste potash production. It also gives the results of hydrochemical studies of groundwater in different regions of the extraction of potassium.

Results. The analysis showed that the largest potash deposits in the world were characterized by a predominance of chloride salts. The main mineral component of the developed potash deposits in most cases is sylvin, carnallite and a group of sulphate minerals play a subordinate role. The predominant number of industrially developed potash ores is deposits of solid minerals of salts, which are produced by the mine method. Enrichment technologies are, in fact, represented by the two main methods: flotation method and chemical method.

Summary. As a result of research, the complex of the chemical elements defining the direction of transformation of chemical composition of underground waters was allocated. This complex is divided into leading (Cl. Na, K) and secondary (S. Ca, Mg) macro components of salts subject to their role in the formation of potash ore composition, the ability to water migration and the danger to humans. The micro components of salts (halogen, alkaline and alkaline earth metals), as well as accessory micro components of salts (heavy metals, semi-metals and non-metals) are among

Keywords: groundwater; chemical composition; deposits of potassium salts; technogenesis; industrial waste; geochemical indicators.

REFERENCES

- 1. Ivanov A. A., Voronova M. L. 1972, Galogennyye formatsii [Halogen formations], Moscow, 328 p.
- 2. Rauche H. 2015, Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert. Berlin, Heidelberg, 580 p.
- 3. 2007, Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov mestorozhdeniy i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopayemykh. Soli [Methodical recommendations on applying the Classification of reserves of fields and forecast resources of firm minerals. Salts]. Moscow, 47p.
- 4. Bayandina E. A., Kudryashov A. I. 2015, Nerastvorimyy ostatok Verkhnekamskogo mestorozhdeniya [The insoluble residue of the Verkhnekamskoye Deposit]. Perm', 102 p.
- 5. Teterina N. N., Sabirov R. H., Skvirsky L. Ya. and others. 2002, Tekhnologiya flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud. Pod red. N. N. Teterinoy [The Technology of flotation beneficiation of potash ore. Ed. by N. Teterina]. Perm', 484 p.
- 6. Strakhov N. M. 1962, Osnovy teorii litogeneza [Fundamentals of the theory of lithogenesis]. Vol. 3. Moscow, 552 p.
- 7. Korenevsky S. M. 1973, Komplex poleznykh iskopayemykh galogennykh formatsiy [A complex of minerals of the halogen formations]. Moscow,
- 8. Garrett D. E. 1996, Potash: deposits, processing, properties and uses. London, 374 p.
- 9. Bachurin B. A. 2006, Ekologicheskiye problemy gornopromyshlennykh rayonov Permskogo kraya [Ecological problems of mining regions in the Perm Krai]. Ekologiya i promyshlennost' Rossii [Ecology and industry of Russia], no. 4, pp. 32-35.
- 10. Kudryashov A. I. 2013, Verkhnekamskoye mestorozhdeniye soley. 2-e izd. [Verkhnekamskoye deposit of salts. 2nd ed.]. Moscow, 368 p.
- 11. Permyakov R. S., Kovalev O. V., Pinsky V. L. and others. 1986, Spravochnik po razrabotke solyanykh mestorozhdeniy [A Guide to the development of salt deposits]. Moscow, 212 p.
- 12. Bel'tyukov G. V. 2000, Karstovyye i gipergennyye protsessy v evaporitakh: dis. ... d-ra geol.-mineral. nauk [Karst and hypergenic processes in evaporites: Dissertation of the Doctor of geological and mineralogical sciences]. Perm', 337 p.
- 13. Bachurin B. A., Murzayev V. M., Odintsova T. A. 1998, Ekologo-geokhimicheskaya kharakteristika otkhodov kaliynogo proizvodstva [Ecological and geochemical characterization of waste of potash production]. Gornyye nauki na rubezhe XXI veka: materialy Mezhdunar. konf. [Mining science at the turn of the 21st century: proceedings of the International Conference]. Ekaterinburg, pp. 408-417.
- 14. Tyutyunova F. I. 1987, Gidrogeokhimiya tekhnogeneza [Hydrogeochemistry of technogenesis]. Moscow, 335 p.
 15. Gol'dberg V. M., Gazda S. 1984, Gidrogeologicheskiye osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya [Hydrogeological basis for protecting groundwater against pollution]. Moscow, 262 p.
- 16. Mironenko V. A., Molsky E. V., Rumynin V. G. 1988, *Izucheniye zagryazneniya podzemnykh vod v gornodobyvayushchikh rayonakh* [A study of groundwater pollution in mining areas]. Leningrad, 279 p.
- 17. Gorbunova K. A., Maximovich N. G., Andreychuk V. N. 1990, Tekhnogennoye vozdeystviye na geologicheskuyu sredu Permskoy oblasti: preprint [Technogenic impact on the geological environment of Perm region: Preprint]. Sverdlovsk, 44 p.
- 18. Belkin P. A. 2016, Rezul'taty izucheniya vliyaniya ionoobmennykh protsessov na sostav podzemnykh vod Verkhnekamskogo mestorozhdeniya soley [The results of studying the influence of ion exchange processes on the composition of the groundwater of salts in the Verkhnekamskoye deposit]. Problemy geologii i osvoyeniya nedr: trudy XX mezhdunar. simpoz. im. akad. M. A. Usova studentov i molodykh uchenykh [Problems of Geology and exploitation of mineral resources: proceedings of the 20th International Symposium named after Academician M. A. Usov, for students and young scientists], vol. 1.Tomsk, pp. 626-628.
- 19. Belkin P. A., Menshikova E. A., Kataev V. N. 2016, Influence of ion exchange processes on the composition of the groundwater from the Upper Kama potash salt deposit. SGEM2016 Conference Proceedings, book 3, vol. 3, pp. 173-180. DOI: 10.5593/SGEM2016/HB33/S02.022.
- 20. Khayrulina E. A., Maximovich N. G. 2012, Vliyaniye stokov soleotvala kaliynogo predpriyatiya na khimizm pripoverkhnostnoy gidrosfery

[Influence of effluents of the potassic salt enterprises on the chemistry of the near-surface hydrosphere]. *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv: doklady Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [Geochemistry of landscapes and geography of soils: Proceedings of the all-Russia scientific conference]. Moscow, pp. 340–342.

- 21. Khayrulina E. A. 2014, *Tekhnogennaya transformatsiya landshaftno-geokhimicheskikh protsessov v rayone dobychi kaliyno-magniyevykh soley* [Technogenic transformation of landscape-geochemical processes in the area of potassium-magnesium salts extraction]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and applied ecology], no. 3, pp. 41–45.
- 22. Khayrulina E. A., Maximovich N. G. 2017, Vliyaniye shlamokhranilishcha s solesoderzhashchimi otkhodami na pripoverkhnostnuyu gidrosferu [Influence of sludge storage with salt-containing wastes on surface hydrosphere]. Geoekologicheskaya bezopasnost' razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh. Sergeyevskiye chteniya [Geo-ecological safety of mineral deposits development. Sergeyev readings], vol. 19. Moscow, pp. 429–434.
- 23. Shchukova I. V., Ushakova E. S. 2012, *Podzemnyye vody Solikamskoy gradopromyshlennoy aglomeratsii* [Groundwater of Solikamsk urban industrial agglomeration]. *Internet-vestnik VolgGASU* [Scientific and technical multi-topic Internet journal of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering], no. 2 (22).
- 24. Shchukova I. V. 2014, Sovremennoye sostoyaniye podzemnykh vod rayona razvitiya solyanogo karsta na territorii Permskogo kraya [Current state of groundwater in the area of development of the salt karst in the Perm Krai]. Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii [Modern high technologies], no. 12-1, pp. 37–42.
- 25. Otero N., Soler A. 2002, Sulphur isotopes as tracers of the influence of potash mining in groundwater salinisation in the Llobregat Basin (NE Spain). *Water Research*, vol. 36, issue 16, pp. 3989–4000.
- 26. Bauer M., Eichinger L., Elsass P. et al. Isotopic and hydrochemical studies of groundwater flow and salinity in the Southern Upper Rhine Graben. *International Journal of Earth Sciences*. *Geologische Rundschau*, 94, pp. 565–579.
- 27. Durand S., Chabaux F., Rihs S., Duringer P., Elsass P. 2005, U isotope ratios as tracers of groundwater inputs into surface waters: Example of the Upper Rhine hydrosystem. *Chemical Geology*, 220 (1–2), pp. 1–19.
- 28. Lucas Y., Schmitt A. D., Chabaux F., Clément A., Fritz B., Elsass P., Durand S. 2010, Geochemical tracing and hydrogeochemical modelling of water-rock interactions during salinization of alluvial groundwater (Upper Rhine Valley, France). *Applied Geochemistry*, 25 (11), pp. 1644–1663. 29. Siefert B., Büchel G., Lebküchner-Neugebauer J. 2006, Potash mining waste pile Sollstedt (Thuringia): Investigations of the spreading of waste solutes in the Roethian Karst. *Grundwasser*, 11 (2), pp. 99–110.
- 30. Bachurin B. A. 2007, Geokhimicheskaya transformatsiya otkhodov gornogo proizvodstva [Geochemical transformation of mining waste] Mineralogiya tekhnogeneza–2017: materialy nauchnogo seminara [Mineralogy of technogenesis: materials of scientific workshop]. Miass, pp. 177–188.
- 31. Perelman A. I. 1982, Geokhimiya prirodnykh vod [Geochemistry of natural waters]. Moscow, 154 p.
- 32. Babel M., Schreiber B. C. 2014, Geochemistry of Evaporites and Evolution of Seawater. Treatise on Geochemistry. 2nd ed. Ed. by Heinrich D. Holland and Karl K. Turekian. Oxford, pp. 483–560.

The article was received on December 8, 2017

УДК 550.8.028: 550.834: 550.837 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-65-71

ИЗУЧЕНИЕ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОЛОВ

Вадим Анатольевич Давыдов¹, davyde@yandex.ru Владислав Анатольевич Щапов¹, vlad-shchapov@yandex.ru Григорий Александрович Цай² tsai.grigory@gmail.com

¹Институт геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН Россия, Екатеринбург ²Уральский государственный горный университет Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена необходимостью предотвращения вреда, наносимого современной инфраструктуре опасными геологическими процессами и явлениями.

Цель работы: показать принципиальную возможность изучения опасных природных и техногенных геологических процессов с помощью комплексных геофизических исследований.

Методология исследования: в качестве основных методов использовались электроразведка и малоглубинная сейсморазведка, на одном из объектов применялась радиометрия. Электроразведочные работы проводились методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Сейсморазведка выполнена методом преломленных волн (МПВ) в комбинации с многоканальным анализом поверхностных волн (МАSW).

Результаты. Эффективным методом по выявлению подземных пустот, образовавшихся в результате действия процессов карстообразования или за счет горных работ, признана малоглубинная сейсморазведка. Это связано с резким изменением упругих свойств в районе пустотного пространства и зон разуплотнения грунтов, что выражается в появлении контрастных аномалий пониженных значений на фоне относительно однородного распределения в окружающих породах. Электроразведка помогает в структурном и литологическом расчленении грунтов по электрическим свойствам, а также позволяет выделять трешиноватые и обводненные зоны. Радиометрия дает возможность уточнить области распространения и границы коренных пород разного состава.

Заключение. Комплексирование геофизических методов позволяет получить больше данных об изменениях физических свойств грунтов, что дает возможность опознать и выделить области воздействия опасных геологических процессов. Результаты работ свидетельствуют о высокой эффективности геофизических исследований при изучении опасных геологических процессов природного и техногенного происхождения.

Ключевые слова: подземные пустоты; карст; суффозия; просадка грунта; фильтрационные утечки; малоглубинная сейсморазведка; электроразведка.

ведение Опасные геологические процессы и явления могут наносить значительный ущерб современной инфраструктуре. Одним из таких процессов является выщелачивание горных пород с образованием подземных пустот или карста. На поверхности процессы карстообразования часто проявляются в виде воронок, образующихся при обрушении подземных полостей. Известны случаи возникновения по вине карста оползней и провалов, когда под землю уходили целые селения, мелели озера и изменялись течения рек. В результате человеческой деятельности появились подземные пустоты искусственного происхождения – горные выработки и тоннели, также являющиеся объектами повышенной опасности. Техногенное преобразование среды зачастую приводит к активизации природных процессов, приводя к нежелательным последствиям. Особенно сильно это проявляется при нарушении режима поверхностных и подземных вод, в качестве примеров можно упомянуть обезвоживание или заболачивание обширных территорий, затопление тоннелей и горных выработок, прорыв плотин искусственных водохранилищ. Сосредоточенная фильтрация воды из промышленного пруда-отстойника может привести к размыву дамбы и экологической катастрофе. Чтобы предотвратить вред, наносимый геологическими процессами, необходимо получение всесторонней информации для изучения ситуации и контроля над ее развитием. Бурение изыскательских и наблюдательных скважин позволяет получить необходимые данные, но может оказаться слишком дорогим или недостаточно детальным. В этом случае более рационально привлечение геофизических методов как для опережающих работ, так и для увеличения общей детализации. При этом желательно применять комплексирование нескольких методов, базовыми из которых являются сейсморазведка и электроразведка.

Главная цель работы – показать принципиальную возможность изучения опасных геологических процессов с помощью комплексных геофизических исследований. К основным задачам относится выделение геофизических аномалий, связанных с суффозией, карстом, подземными горными выработками и местами повышенной фильтрации из отстойников-накопителей промышленных отходов.

Методика работ

Сейсмические измерения проводились 24-канальной портативной цифровой сейсмостанцией СИНУС–24М (ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург) с твердотельной памятью [1]. Сейсморазведочные работы выполнены по методике комбинированных наблюдений методом преломленных волн (МПВ) и многоканального анализа поверхностных волн (МАЅW) [2, 3] для получения информации по скоростям продольных и поперечных волн. В качестве детекторов сейсмических колебаний использованы вертикальные сейсмоприемники GS-20DX («Геоспейс Технолоджис Евразия», г. Уфа) с установкой через 2 м. Наблюдения осуществлялись по системе встречных и нагоняющих годографов с 7 пунктами возбуждения (ПВ) на одну стоянку. Для возбуждения колебаний использовалась кувалда с металлической подложкой в виде площадки. Отметка момента осуществлялась от пьезодатчика и передавалась в станцию по переговорной линии. Время дискретизации получаемого сигнала t = 0.5 мс, длина записи полезных волн – 0.512 с. Для обеспечения глубинности применялись выносы ПВ на 25 м и 13 м от края косы, достигнутая глубина исследований составила 20 м. Качество

полученных сейсмограмм проверялось непосредственно в поле. Для исключения сейсмических помех использовалось накопление сигналов (суммирование) от нескольких ударов, при сильных сетевых помехах включался режекторный фильтр. Перед началом работы на каждой новой стоянке производилась запись микросейсмического фона.

Полевые записи сейсмических трасс переписывались из памяти сейсмостанции в компьютер и конвертировались в стандартные форматы сейсмической записи SEG-2 и SEGY. Вся обработка сейсморазведочных данных проводилась по специализированным программам. Обработка сейсмических данных разделялась на два этапа в соответствии с типом целевых волн. Алгоритм обработки сейсмограмм МПВ заключался в выборочной фильтрации сигнала, выделении и прослеживании фаз преломленных волн, фазовой корреляции с первыми вступлениями и построении годографов. Годографы корректировались и увязывались между собой по взаимным временам, а затем пересчитывались способом времени задержки для построения сейсмических преломляющих границ [4] и томографическим способом (как рефрагированые волны) для получения скоростных разрезов продольных волн. Вторым типом целевых волн являлись волны Релея, к которым применялся вариант суммирования спектров в скользящем окне для получения более контрастных дисперсионных кривых, которые затем конвертировались в скоростной разрез поперечных волн. Таким образом, по каждому профилю получены конфигурация преломляющих границ и скоростные сейсмические разрезы продольных и поперечных волн, по которым рассчитывались коэффициенты Пуассона. Применение спектрального анализа поверхностных волн для изучения различных природных и искусственных объектов в настоящее время широко практикуется за рубежом [5, 6], а также принято на вооружение отечественными геофизиками [7, 8].

Обработка и интерпретация сейсморазведочных данных осуществлялась с помощью программ Sinus24 (ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург), SeisImager/2D и SeisImager/SW (Geometrics, USA).

Вертикальные электрические зондирования выполнялись аппаратурой ERA-MAX на частоте 4,88 Гц по стандартной методике. При работе использовались стальные приемные и питающие электроды длиной 1,2 м и диаметром 10 мм, соединительные провода марки ПВР. Для проведения измерений применялась четырехэлектродная симметричная (Шлюмберже) или дипольно-осевая установка. Разносы изменялись от 3 до 60 м, размер приемной линии равнялся 2 м. При использовании дипольно-осевой установки размеры диполей *АВ* и *МN* равнялась 1 м. Величина разносов выбиралась исходя из необходимой глубины исследования и возможности беспрепятственно растянуть линию питания. Все результаты измерений записывались в полевой журнал. Кажущееся удельное электрическое сопротивление грунта вычислялось по формуле:

$$\rho_{\nu} = K\Delta U/I$$

где $\rho_{\rm K}$ – кажущееся сопротивление, Ом · м); K – коэффициент установки; ΔU – разность потенциалов, мВ; I – сила тока, мА.

Коэффициент установки определялся по формулам:

 $K = \pi \cdot AM \cdot AN/MN$ для измерительной установки Шлюмберже;

 $K = \pi R^3 / AB \cdot MN$ для дипольно-осевой установки,

где R – расстояние между центрами приемных и питающих диполей.

Интерпретация результатов измерений проведена в программе Zond-IP [9], разработанной в Лаборатории импульсной электроразведки ВИРГ-Рудгеофизика А. Е. Каминским. С помощью данной программы был выполнен комплекс работ, включающий первичную обработку полевого материала, качественную и количественную интерпретацию. На этапе качественной интерпретации решались вопросы изучения характера пространственного изменения электрических свойств среды. Для этой цели были получены разрезы кажущихся сопротивлений, характеризующие изменение электрических свойств с глубиной. Для определения количественных параметров – мощностей и удельных электрических сопротивлений (УЭС) основных пачек пород геологического разреза – была выполнена одномерная инверсия данных электрического зондирования по профилям. В результате интерпретации получены геоэлектрические разрезы, отображающие особенности строения и характер изменения электрических свойств основных слоев, слагающих разрез.

В качестве параметрического материала для литологической привязки геофизических границ и геологического истолкования получаемых сейсмических и электрометрических данных использованы результаты бурения инженерногеологических скважин. Механическое колонковое бурение скважин выполнено станком УРБ-2А-2 диаметром 132 мм с отбором керна.

Результаты исследований

Карстовые процессы

Открытый карст проявляется в виде выхода на дневную поверхность провалов и воронок в кровле самих карстующихся пород. Закрытый карст – это полости различной формы в карстующейся породе, перекрытые массивными породами или рыхлыми осадками. Полости могут быть заполнены воздухом, водой, песчано-глинистыми суффозионными образованиями. К закрытому карсту, по определению, можно относить перекрытые слоями осадочных пород причудливые формы древнего выветривания поверхности карстующихся пород: карры, суходолы, воронки, эрозионные долины. При исследовании всех форм карста большой популярностью пользуются геофизические методы исследований, являющиеся наиболее оперативными и достаточно информативными [10, 11]. Сами карстующиеся породы: известняки, доломиты, гипсы, соли – по физическим свойствам являются типичными представителями скальных пород. Они обладают средней и высокой акустической жесткостью, плотные, немагнитные, нерадиоактивные (за исключением калийных солей) и высокоомные. Полость, заполненная влажными рыхлыми песчано-глинистыми породами, характе-

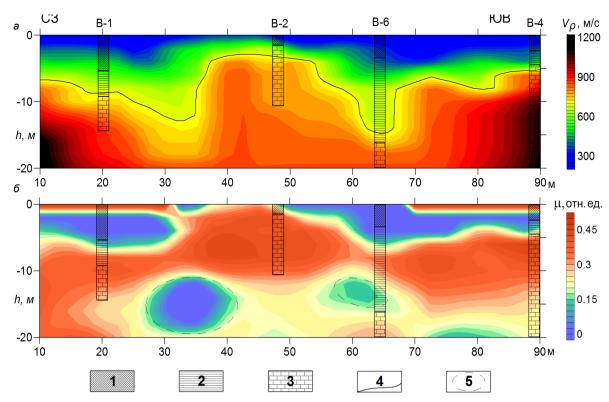


Рисунок 1. Результаты геофизических работ на карстоопасном участке (г. Кунгур, Пермский край). a – скоростной сейсмический разрез продольных волн; б – разрез коэффициента Пуассона. 1 – насыпной грунт суглинистого состава (ρ = 23–44 Ом · м); 2 – глина элювиальная (ρ = 10–17 Ом · м); 3 – подстилающие породы (ρ = 280–2000 Ом · м); 4 – ориентировочное положение кровли карстующихся пород по сейсмическим данным; 5 – зоны предполагаемого развития карста.

Figure 1. The results of geophysical work on the karst-hazard area (Kungur, Perm region).

ризуется величинами УЭС около 20–80 Ом \times м и невысокими значениями скоростей продольных ($v_p = 300-1500$ м/с) и поперечных волн ($v_c = 150-600$ м/с).

Далее приведены материалы по изучению закрытого карста на южной окраине г. Кунгур Пермского края. Участок работ находится в междуречье рек Сылва и Ирень, на IV надпойменной террасе р. Сылвы. В геологическом разрезе устанавливается четыре типа отложений. Поверхность покрывает четвертичный Q террасовый комплекс, включающий суглинки и глины с гравием. Под аллювиально-делювиальным глинистым покровом залегает горизонт крупнообломочных карстово-обвальных отложений мощностью до 10 м, в состав которых входят суглинки и глины со щебнем и глыбами карбонатных и сульфатных пород. Крупнообломочные отложения образовались в течение длительного времени, начиная с неогена N₃, вследствие растворения сульфатных пород кунгурского яруса и накопления обломков слаборастворимых карбонатных пород. Рыхлый покров ложится на гипсы и ангидриты шалашнинской пачки, там, где они разрушены на доломиты неволинской пачки иренского горизонта кунгурского яруса Р, k^{ir}. Общая мощность карстующихся пород 25-30 м. Иренский горизонт подстилается мощной толщей доломитов и известняков нижнего филипповского горизонта кунгурского яруса $P_i k^{ph}$. Участок исследования относится к Нижнесылвенскому району гипсового и карбонатно-гипсового интенсивного карста [12]. На территории Кунгура и его окрестностей широко развиты карстовые процессы, связанные с выщелачиванием сульфатных пород. Талые снеговые и дождевые воды, проникая под фундаменты, вызывают обводнение и осадку фундамента строений. Особые условия для суффозионно-карстовых процессов создает повышенный уклон земной поверхности, определяющий сток поверхностных вод. Обследуемый микрорайон располагается на останце известняков вблизи обрывистого спуска в долину р. Ирень с перепадом высот более 20 м.

Геофизические исследования проводились во дворе дома, на котором замечено появление трещин, для уточнения безопасности его дальнейшей эксплуатации. Основной задачей ставилось определение участков, подверженных процессу карстообразования, в непосредственной близости от дома. В состав работ входила комплексная малоглубинная сейсморазведка (МПВ + MASW) и электроразведка методом ВЭЗ. Сейсмический профиль проходил вдоль юго-западной стены, в 3 м от дома. Провести измерения ВЭЗ вблизи дома было невозможно из-за экранирующего влияния стальных канализационных труб, уложенных рядом, поэтому точки зондирования выбирались со смещением. Наличие асфальтированных дорожек и бетонных площадок привело к ограничению некоторых разносов ВЭЗ. Результаты геофизические работ, оформленные в виде сейсмических разрезов и колонок ВЭЗ, представлены на рис. 1.

Полученные годографы не позволяют получить преломляющие границы, так как близки по виду к годографам рефрагированных волн. Однако по изменению сейсмических скоростей и коэффициента Пуассона μ удалось проследить три основных структурных элемента разреза. Верхний слой (от 2 до 10 м) относится к рыхлым терригенным грунтам (суглинок, насыпной грунт) с пониженными скоростями продольных ($v_p = 250-600$ м/с) и поперечных волн ($v_s = 150-300$ м/с) и низкими значениями коэффициента Пуассона (μ < 0,15). Граница рыхлых отложений приблизительно соответствует скоростной изолинии $v_p = 700$ м/с (рис. 1). Второй и третий горизонты связаны с карбонатно-гипсовыми

карстующимися породами, отличающимися по структурно-прочностным характеристикам. Разделить карбонатные и сульфатные породы по упругим свойствам не представляется возможным. Скорости сейсмических волн в обеих разновидностях значительно ниже типовых скоростей в монолитных породах. Так, скорости продольных волн $v_{_p}$ составляют 700–1500 м/с, а максимальная скорость поперечных волн достигает 650 м/с. На скоростных разрезах продольных волн выделяются две депрессии в районах отметок 30–40 м и 60–70 м. Изолинии скоростей поперечных волн $v_{_s}$ носят плавный характер, монотонно возрастая с глубиной. Наиболее показательным упругим параметром для определения кавернозных зон и идентификации подземных пустот является коэффициент Пуассона. Его нормальные значения для монолитных и слабо дислоцированных пород составляют 0,25–0,45; значения μ < 0,15 свидетельствуют о сильном разуплотнении грунтов, характерном для трещиновато-кавернозных пород, а нулевые и кажущиеся отрицательные значения μ позволяют выделить подземные пустоты [13]. На полученном разрезе коэффициента Пуассона выделяются две зоны аномально низких значений на глубине 12–18 м (ПК 30–40 м и 60–65 м), говорящие о возможном нарушении структурной целостности грунтов с образованием каверн и подземных пустот. Результаты ВЭЗ на отметке 65 м (В-6) подтверждают наличие здесь карстовой воронки, заполненной глинистыми отложениями до глубины 16 м. О начавшейся просадке грунта свидетельствует появление трещин на стене дома и в одной из квартир. Аномалия в районе ПК 30–40 м указывает на вероятное нахождение еще более объемной карстовой полости.

Подземные выработки

Следующий объект исследований представляет собой земельный участок под строительство спортивного комплекса в г. Березовский Свердловской области. Он располагается над шахтным полем Березовского золоторудного месторождения и может подвергаться просадочным явлениям. Горные выработки проходят по дайкам плагиогранит-порфиров, секущих вмещающие вулканогенно-осадочные породы. Дайки пронизаны «лестничными» кварцевыми жилами, с которыми и связано золотосульфидное оруденение [14]. В геологическом строении прилегающей к участку территории принимают участие вулканогенные породы основного состава – базальты. Четвертичные породы в разрезе участка представлены слоем элювиальных суглинков и супесей, которые, в свою очередь, перекрыты насыпными грунтами. Согласно имеющейся рудничной документации, участок работ находится в районе выхода на поверхность дайки № 72, на площади, не затронутой горными работами. В связи с недостаточно сохранившимися архивными материалами по подработанности поверхности для установления зон опасного сдвижения Березовский рудник рекомендовал провести инженерно-геофизические изыскания. Геофизические работы проводились на проектируемых местоположениях объектов строительства по выявлению возможных пустот от не числящихся и не задокументированных горных выработок и устранению их вредного влияния на строящиеся объекты. В задачи исследований входило выявление техногенных изменений, вызванных подработкой территории горными работами, а также определение условий залегания коренных пород и покрывающих их рыхлых отложений.

Проводившиеся ранее аналогичные исследования показали высокую эффективность обнаружения старых выработок сейсморазведкой МПВ, если известно точное положение на местности даек плагиогранит-порфиров [15]. Для локализации даек обычно использовались имеющиеся маркшейдерские и горно-геологические планы, а в случае их отсутствия − данные других геофизических методов. Наиболее простым и надежным методом выделения даек оказалась радиометрия, так как плагиограниты содержат повышенные концентрации естественных радиоактивных элементов. Эта особенность давно используется при каротаже буровзрывных скважин в шахтах рудника, а теперь применяется и при изысканиях. Радиационная съемка интенсивности гамма-излучения выполнялась радиометром СРП-88 с шагом 2,5 м, при построении применялось гауссовское сглаживание. На рис. 2 представлены результаты геофизических работ по одному из исследованных профилей, пересекших дайку № 72 в месте ее подработки.

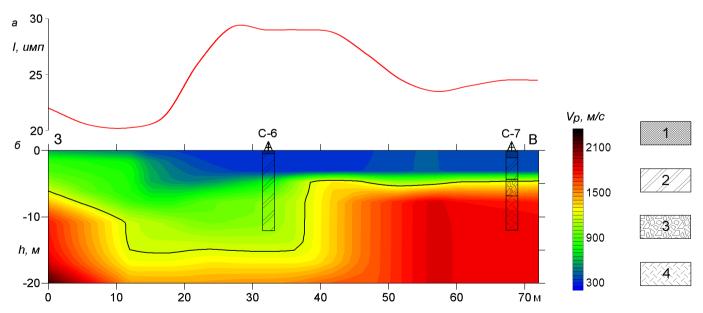


Рисунок 2. Результаты инженерно-геологических и геофизических работ в районе старых горных выработок Березовского месторождения. a – график интенсивности гамма-излучения; b – скоростной сейсмический разрез и геологические колонки скважин (по результатам бурения); b – насыпной грунт; b – суглинок элювиальный; b – щебенистый грунт с супесью; b – базальты. Figure 2. Results of engineering-geological and geophysical works in the area of old mine workings of Berezovsky deposit.

По графику гамма-съемки можно уверенно выделить область выхода дайки на поверхность в интервале отметок 23–49 м (рис. 2, a). Следовательно «депрессия» на скоростном разрезе в интервале 12–40 м (рис. 2, b) обусловлена горными работами, а не природными процессами. Следует напомнить, что до революции отрабатывались только верхние горизонты месторождения, сведения о которых не сохранились. Скважина С-6, пробуренная в районе аномалии, не дошла до коренных пород, но вскрыла мощный слой характерных светлых суглинков («беликов») с гранитной дресвой, указывающих на присутствие отработанной дайки. В месте, где аномалия отсутствует, скважиной С-7 вскрыт типичный разрез с базальтами в основании (рис. 2, b).

Утечки из промышленных отстойников

Геофизические исследования часто включают в состав работ при инженерно-геологических изысканиях крупных промышленных объектов с экологически опасным производством. Обычное целевое назначение таких изысканий заключается в оценке инженерно-геологических условий в границах исследуемой территории: изучение геолого-литологического разреза, гидрогеологии, физико-механических свойств грунтов, определение химизма и агрессивных свойств грунтов и воды, выявление неблагоприятных физико-геологических явлений.

В соответствии с планируемой реконструкцией шламохранилища Среднеуральской ГРЭС необходимо было определить места фильтрационных утечек из существующих секций шламоотвала. Естественный рельеф площадки изысканий нарушен и представляет собой 2 секции шламоотвала № 1, заполненные водой, с ограждающими дамбами и дорогами вокруг. Высота существующих ограждающих дамб 2,5–3,0 м. В геоморфологическом отношении площадка находится на левом берегу р. Лебяжка. На расстоянии примерно 1,5 км от участка изысканий находится оз. Исетское. В процессе выполнения инженерно-геологических изысканий, опасных склоновых процессов, таких, как осыпи и обвалы, не выявлено. В гидрогеологическом отношении территория расположена в пределах развития подземных вод трещинного типа. Условный водоупор определяется глубиной распространения региональной трещиноватости и находится на глубине ориентировочно 50 м (по фондовым материалам). Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, основной объем питания – в осенне-весенний период, разгрузка – в местные базисы дренирования. При проведении изысканий уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине 2,2–3,0 м. По данным химического анализа, подземные воды имеют преимущественно сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-магниевый состав. Минерализация подземных вод составляет 693,14 мг/л. По данным бурения в пределах исследованного разреза выделены следующие элементы (сверху вниз).

Техногенный грунт tQ_4 представлен щебнем, дресвой, суглинками и обломками скального грунта (сланцы). Встречен повсеместно во всех скважинах мощностью 1,8-3,2 м. Содержание и состав компонентов меняется незакономерно в плане и по глубине. Техногенные грунты сформировались при строительстве и обустройстве существующих секций шламоотвала. Возраст отсыпки предположительно более 20 лет, и насыпь относится к слежавшимся грунтам.

Элювиальные грунты eMZ представлены суглинком тугопластичной консистенции желто-коричневого цвета. Имеют широкое распространение в разрезе, пройдены на полную мощность.

Скальные грунты сланцев βO_3 залегают в основании разреза, от малопрочных (сильнотрещиноватых) до прочных. Встречены во всех скважинах.

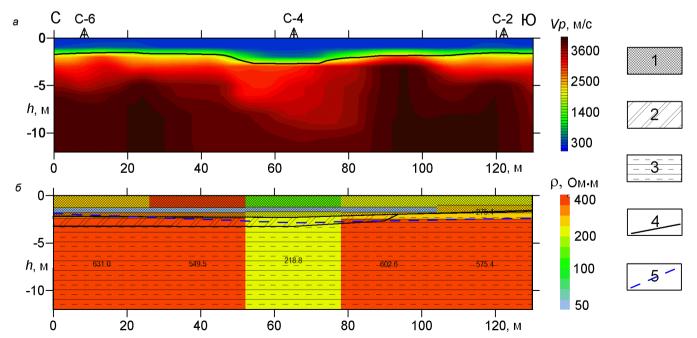


Рисунок 3. Результаты инженерно-геологических и геофизических изысканий на дамбе шламоотвала № 1 СУГРЭС. а — скоростной сейсмический разрез; б — геоэлектрический разрез на геологической основе (по результатам бурения). 1 — насыпной грунт; 2 — суглинок элювиальный; 3 — кристаллические сланцы; 4 — преломляющая граница; 5 — уровень грунтовых вод.

Figure 3. The results of engineering-geological and geophysical surveys on the dam of sludge pit No. 1 (SUGRES – Sredneural'sk hydro recirculation power station).

Геофизические исследования были проведены по всем дамбам, ограждающим секции шламоотвала. Использовались ВЭЗ с дипольно-осевой измерительной установкой и малоглубинная сейсморазведка. Сложная интерференция поверхностных волн, обусловленная геометрией рельефа, не позволила получить качественные дисперсионные кривые. Вследствие этого при интерпретации использованы только результаты по преломленным волнам. Полученные годографы позволяют проследить одну сейсмическую границу и выделить два основных структурных горизонта. Верхний слой (от 1,7 до 3 м) относится к рыхлым отложениям (насыпной грунт) с низкими сейсмическими скоростями $v_{_{p}} = 200-400$ м/с. Сейсмическая преломляющая граница проходит по промежуточному маломощному слою элювиальных суглинков, либо в случае их отсутствия – по коренным (скальным) породам, скорость продольных волн в которых составляет 3000-4000 м/с. Электрические зондирования позволяют уверенно выделить все инженерно-геологические элементы разреза, довольно контрастные по УЭС. Результаты обработки геофизических работ оформлены в виде сейсмических и геоэлектрических разрезов с нанесенными на них преломляющими границами и геологической основой (рис. 3).

Значения скоростей продольных сейсмических волн в сланцах довольно высокие ($v_p = 2000-4000 \text{ м/c}$), так как коренные породы относятся преимущественно к прочным и среднепрочным скальным грунтам. Явных нарушений структуры грунтов по сейсмическим данным не наблюдается, однако заметно некоторое снижение скорости продольных волн в интервале отметок 50–80 м профиля. Здесь же фиксируется уменьшение довольно стабильного удельного сопротивления скальных грунтов от 550–600 до 200 Ом \times м, что может свидетельствовать о повышении трещиноватости горных пород и заполнении пор кислотными водами шламоотстойника. Таким образом, утечки из прудков-отстойников связаны с повышенной фильтрацией через зоны трещиноватости коренных пород. Дополнительным подтверждением положения аномалии послужила георадарная съемка, где на временном разрезе наблюдаются интенсивные интерференционные отражения в указанном месте, свидетельствующие о высокой обводненности выделенной зоны.

Заключение

Представленные результаты позволяют сделать вывод о востребованности геофизических исследований при изучении опасных геологических процессов природного и техногенного происхождения. Эффективным методом по выявлению подземных пустот, образовавшихся в результате действия процессов карстообразования или за счет горных работ, следует признать малоглубинную сейсморазведку. Это связано с резким изменением упругих свойств в районе пустотного пространства и зон разуплотнения грунтов, что выражается в появлении контрастных аномалий пониженных значений на фоне относительно однородного распределения в окружающих породах. Электроразведка помогает в структурном и литологическом расчленении грунтов по электрическим свойствам, а также позволяет выделять трещиноватые и обводненные зоны. Радиометрия дает возможность уточнить области распространения и границы коренных пород разного состава. Комплексирование разных геофизических методов позволяет получить больше данных об изменениях физических свойств грунтов, что дает возможность распознать и выделить области воздействия опасных геологических процессов.

Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проекты № 15-2-5-31 и № 18-5-5-38.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Сенин Л. Н., Сенина Т. Е. Сейсмическая станция «Синус» // Приборы и техника эксперимента. 2005. № 5. С. 162–163.
- 2. Park C. B., Miller R. D., Xia J. Multichannel analysis of surface waves // Geophysics. 1999. Vol. 64 (3). P. 800-808.
- 3. Socco L. V., Foti S., Boiero D. Surface-wave analysis for building near-surface velocity models Established approaches and new perspectives // Geophysics. 2010. Vol. 75 (5). P. 75A83–75A102.
- 4. Интерпретация данных сейсморазведки: справочник / под ред. О. А. Потапова. М.: Недра, 1990. 448 с.
- 5. Ivanov J., B. Leitner, W. T. Shefchik, T. J. Schwenk, Peterie S. L. Evaluating hazards at salt cavern sites using multichannel analysis of surface waves // The Leading Edge. 2013. № 32. P. 289–305.
- 6. Sloan S. D., Peterie S. L., Miller R. D., Ivanov J., Schwenk J. T., McKenna J. R. Detecting clandestine tunnels using near-surface seismic techniques // Geophysics. 2015. Vol. 80 (5). P. EN127–EN135.
- 7. Овсюченко А. Н., Калинина А. В., Аммосов С. М., Вакарчук Р. Н., Новиков С. С., Ларьков А. С., Мараханов А. В. Использование сейсморазведки методом MASW в сейсмотектонических исследованиях (на примере Дальнего Востока России) // Инженерные изыскания. 2013. № 2. С. 38–48.
- 8. Антипов В. В., Офрихтер В. Г. Современные неразрушающие методы изучения инженерно-геологического разреза // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2016. Т. 7, № 2. С. 37–49.
- 9. Каминский A. E. Zond-программы для геофизики. URL: http://zond-geo.ru/software
- 10. Жуков А. А., Пригара А. М., Пушкарева И. Ю., Царев Р. И. Опыт применения комплекса геофизических методов для выявления карстовых полостей в отвалах калийных рудников // ГИАБ. 2015. №. 5. С. 120–130.
- 11. Pisetski V. B., Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Savintsev I. A., Serkov V. A. The Study of Karst Processes According to the Electromagnetic and Seismic Observations // 12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2016 (25–29 April 2016). Anapa, Russia, 2016. P. 161–164. 12. Катаев В. Н., Кадебская О. И. Геология и карст города Кунгура. Пермь: Перм. гос. ун-т; Горный ин-т УрО РАН. 2010. 231 с.
- 13. Давыдов В. А. Применение малоглубинной сейсморазведки для изучения подработанных территорий // Изв. вузов. Горный журнал. 2010. № 4. С. 111–116.
- 14. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А., Поленов Ю. А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГГА, 1999. 570 с.
- 15. Давыдов В. А. Обнаружение подземных пустот антропогенного характера с помощью геофизических методов // Инженерные изыскания. 2013. № 7. С. 52–57.

Статья поступила в редакцию 26 января 2018 г.

УДК 550.8.028 : 550.834 : 550.837

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-65-71

Study of hazardous natural and man-made geological processes using geophysical methods

Vadim Anftol'evich Davydov¹, davyde@yandex.ru Vladislav Anatol'evich Shchapov¹, vlad-shchapov@yandex.ru Grigoriy Aleksandrovich Tsay², tsai.grigory@gmail.com ¹Bulashevich Institute of Geophysics of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences Ekaterinburg, Russia ²Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is conditioned by the need to prevent damage to the modern infrastructure of dangerous geological processes and phenomena.

The purpose of the work is to show the principal possibility of studying dangerous natural and man-made geological processes with the help of complex geophysical studies.

Research methodology: electrical and low-water seismic explorations were used as the main methods; radiometry was used on one of the objects. Electric prospecting works were carried out by method of vertical electric sounding (VES). Seismic exploration was carried out by the method of refracted waves (IWS) in combination with multi-channel analysis of surface waves (MASW).

Results. The low-depth seismic exploration was recognized as an effective method for identifying underground voids formed as a result of the action of the processes of karst formation or due to mining operations. This is connected with a sharp change in the elastic properties in the area of the void space and areas of soil desalinization. This is expressed in the appearance of contrast anomalies of lower values against the background of a relatively homogeneous distribution in the surrounding rocks. Electrical testing helps with the structural and lithological subdivision of the soil electric properties, and also allows you to highlight the fractured and flooded areas. Radiometry makes it possible to specify the areas of distribution and boundaries of indigenous breeds of different compositions.

Conclusion. The integration of geophysical methods allows getting more information about the changes of physical properties of soils. This gives the opportunity to identify and highlight areas of exposure to hazardous geological processes. The results of the work indicate the high efficiency of geophysical research in the study of dangerous geological processes of natural and man-made origin.

Keywords: underground cavities; karst; suffusion; subsidence; fluid leakage; shallow seismics; electromagnetics.

The work has been done at a partial assistance of the fundamental research program UB RAS, projects No. 15-2-5-31 and No. 18-5-5-38.

REFERENCES

- 1. Senin L. N., Senina T. E. 2005, Seysmicheskaya stantsiya «Sinus» [A seismic station called "Sinus"]. Pribory i tekhnika experimenta [Instruments and Experimental Techniques], no. 5, pp. 162–163.
- 2. Park C. B., Miller R. D., Xia J. 1999, Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, vol. 64 (3), pp. 800–808.
- 3. Socco L. V., Foti S., Boiero D. 2010, [Surface-wave analysis for building near-surface velocity models Established approaches and new perspectives. *Geophysics*, vol. 75 (5), pp. 75A83–75A102.
- 4. 1990, Interpretatsiya dannykh seysmorazvedki: spravochnik [Interpretation of seismic data: A handbook], pod red. O. A. Potapova [edited by O. A. Potapov]. Moscow, 448 p.
- 5. Ivanov J., B. Leitner W., Shefchik T., Schwenk T. J., Peterie S. L. 2013, Evaluating hazards at salt cavern sites using multichannel analysis of surface waves. *The Leading Edge*, no. 32, pp. 289–305.
- 6. Sloan S. D., Peterie S. L., Miller R. D., Ivanov J., Schwenk T. J., McKenna J. R. 2015, Detecting clandestine tunnels using near-surface seismic techniques. *Geophysics*, vol. 80 (5), pp. EN127–EN135.
- 7. Ovsyuchenko A. N., Kalinina A.V., Ammosov S. M., Vakarchuk R. N., Novikov S. S., Larkov A. S., Marakhanov A.V. 2013, *Ispol'zovaniye seysmorazvedki metodom MASW v seysmotektonicheskikh issledovaniyakh (na primere Dal'nego Vostoka Rossii)* [The use of seismic exploration by the MASW method in seismotectonic studies (on the example of the Russian Far East)]. *Inzhenernyye izyskaniya* [Engineering Survey], no. 2, pp. 38–48.
- 8. Antipov V. V., Ofrichter V. G. 2016, Sovremennyye nerazrushayushchiye metody izucheniya inzhenerno-geologicheskogo razreza [Modern methods of NDT study of engineering-geological section]. Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura [PNRPU Construction and Architecture Bulletin], vol. 7, no. 2, pp. 37–49.
- 9. Kaminsky A. E. Zond-programmy dlya geofiziki [Zond-programs for Geophysics]. URL: http://zond-geo.ru/software
- 10. Zhukov A. A., Prigara A. M., Pushkareva I. Yu., Tsarev R. I. 2015, *Opyt primeneniya komplexa geofizicheskikh metodov dlya vyyavleniya karstovykh polostey v otvalakh kaliynykh rudnikov* [An attempt to apply geophysical methods to detect karstic cavities in the dumps of potassic mines]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 5, pp. 120–130.
- 11. Pisetski V. B., Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Savintsev I. A., Serkov V. A. 2016, The Study of Karst Processes According to the Electromagnetic and Seismic Observations. *12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2016* (from 25 to 29 April 2016). Anapa, Russia, pp. 161–164.
- 12. Katayev V. N., Kandebskaya O. I. 2010, Geologiya i karst goroda Kungura [Geology and karst of the Kungur city]. Perm', 231 p.
- 13. Davýdov V. A. 2010, *Primeneniye maloglubinnoy seysmorazvedki dlya izucheniya podrabotannykh territori*y [Applying shallow seismic exploration for the study of developed areas]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 4, pp. 111–116. 14. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Polenov Yu.A. 1999, *Mestorozhdeniya zolota Urala* [Gold deposits of the Urals]. Ekaterinburg, 570 p.
- 15. Davydov V. A. 2013, Obnaruzheniye podzemnykh pustot antropogennogo kharaktera s pomoshch'yu geofizicheskikh metodov [Detecting underground cavities of anthropogenic nature with the help of geophysical methods of engineering surveying], no. 7, pp. 52–57.

The article was received on January 26, 2018

УДК 519.6 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-72-78

СТОХАСТИЧЕСКОЕ ИНТЕРПОЛИРОВАНИЕ ВОДОНОСНЫХ СВОЙСТВ НЕОДНОРОДНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Олег Александрович Дышин, engakadem@gmail.com Фуад Фархад оглы Магеррамов oilqazgeology@gmail.com Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности Азербайджан, Баку

Актуальность работы обусловлена необходимостью использования при описании процесса фильтрации потока флюидов в нефтеносных пластах и грунтовых водах случайных процессов, основанных на Леви-распределении, более точно описывающих процесс фильтрации, чем фрактальное броуновское движение *fВm* и фрактальный гауссовский шум *fGn*, особенно при резких изменениях геологической среды.

Шель работы: показать преимущества использования в геостатистике стохастических методов интерполирования по сравнению с детерминистскими методами (в частности, кригинг-метода).

Методология исследования: теоретический анализ и экспериментальное исследование методов вероятностного моделирования водоносных свойств геологических сред в условиях неопределенности и ограниченности доступной информации о проницаемости и пористости пластов.

Результаты. Показано, что для моделирования дисперсионных характеристик неоднородных геологических формаций наиболее подходящим является стохастическое интерполирование. Использование при описании процесса фильтрации флюидов предположение о гауссовском распределении является необоснованным, особенно при наличии резких изменений, присуших геологическим стратификациям. Такие изменения более адекватно описываются фрактальным Леви-движением fl.m. Устойчивое Леви-распределение прирашений исследуемых фильтрационных характеристик нефтенасыщенных залежей показало хорошее совпадение с эмпирическими данными многочисленных физических изменений геологических структур в широком диапазоне пространственных переменных по вертикали и горизонтали.

Выводы. Использование fl.m-моделей представляет принципиально новый подход в геостатистике. Наличие «тяжелых хвостов» Леви-распределения приращений фильтрационных характеристик пластов и скейлинговое распределение параметров данного распределения позволяет реагировать на внезапные и резкие изменения свойств породы, эффективно воспроизводя напластования и осадочные отложения на поверхности пласта, характеризуя неоднородности в широком диапазоне распределения пространственных переменных.

Ключевые слова: гидравлическая проводимость; пористость; проницаемость; фрактальные процессы в геологии; стохастическое интерполирование; фрактальное броуновское движение; фрактальный гауссовский шум; фрактальное Леви-движение; показатель Херста; тяжелые хвосты распределения.

Ведение

Систематическое изучение и разработка методов вероятностного моделирования водоносных свойств геологических сред является важной и актуальной проблемой. Построение прогнозных моделей фильтрации потока флюидов требует, прежде всего, использования информации о проницаемости и пористости пластов, в то время как возможность измерения этих свойств ограничена небольшим количеством пробных значений в некоторых доступных участках исследуемой пространственной области. В условиях такой неопределенности информации использование классического подхода, связанного с применением гладкого сглаживания (например, кригинг-метода), становится неудовлетворительным, поскольку в этом случае глобальный перенос свойств гидравлической проводимости (водоносности) дает строго детерминированное описание фильтрационного потока, которое не может предвидеть интервалы с высокой проницаемостью потока и барьеры с низкой проницаемостью. Оценка наиболее вероятного значения проницаемости в каждой точке области просто недостаточна, так как правдоподобное интерполирование должно учитывать экстремумы распределения проницаемости. Эта проблема становится еще более сложной при высокой вариабельности, присущей седиментарным геологическим образованиям. Проницаемость не является гладко изменяющейся функцией пространственной точки, она может увеличиваться или уменьшаться скачками с разными амплитудами. В силу указанных причин геостатистические оценки, полученные с помощью гладкого сглаживания, не могут выявлять внутренние неоднородности.

Для моделирования дисперсионных характеристик неоднородных геологических формаций стохастическое интерполирование является наиболее подходящим методом. Стохастический подход к интерполированию связан с вычислением значений процесса между его измеренными значениями и использованием случайной функции, имеющей структуру вариации, близкую к исходной.

Раньше стохастическое интерполирование, используемое при описании процессов фильтрации потоков флюидов в нефтеносных пластах и грунтовых водах, было основано на фрактальном броуновском движении (fractal Brownian motion – fBm) или на его приращениях – фрактальном гауссовском шуме (fractal Gaussian noise – fGn) [1, 2]. Эти модели определяются с помощью гауссовского распределения и могут в некоторых случаях хорошо описывать геологические формации. Однако в общем случае предположение о гауссовском распределении является необоснованным, особенно при наличии резких изменений свойств, присущих геологическим стратификациям. Наиболее адекватно такие изменения описываются фрактальным Леви-движением (fractal Levi motion – fLm), основанным на устойчивом Леви-распределении, которое только в частном случае совпадает с гауссовским (нормальным) распределением [3, 4]. fВm-модель является частным случаем более широкого класса fLm-моделей [5].

1. Фрактальные процессы в геологии

При моделировании процесса фильтрации потока флюидов в резервуарах нефтегазовых залежей возникает проблема исследования фрактальных свойств временных рядов, представляющих наблюдаемые значения показателей пористости и проницаемости [6–9]. Такого рода исследования связаны с понятием фрактального (самоподобного) случайного процесса.

Фрактальным (в широком смысле) случайным процессом называется процесс, корреляционная функция $R_x(t_1, t_2)$ которого равна с точностью до множителя a' корреляционной функции процесса, сжатого в a раз:

$$R_{x}\left(t_{1},t_{2}\right) = E\left[X\left(t_{1}\right)X\left(t_{1}\right)\right] = a'R_{x}\left(at_{1},at_{2}\right). \tag{1}$$

В случае стационарного фрактального процесса выражение (1) имеет вид:

$$R_{x}(\tau) = E \left[X(t+\tau)X(t) \right] = a'E \left[X(a(t+\tau))X(at) \right] = a'R_{x}(a\tau), \tag{2}$$

где E – знак математического ожидания.

Выражение (2) можно рассматривать как уравнение самоподобия, решением которого является степенная функция

$$R_{x}(\tau) = C_{0}\tau^{\alpha}, \ \alpha > 0.$$

Фрактальными процессами такого типа являются, в частности:

1) классическое броуновское движение (classic Brownian motion – cBm), характеризующее процесс случайного блуждания (random walk), или так называемый винеровский процесс. Математическое ожидание этого процесса определяется выражением

$$E\left[\left|X\left(t_{2}\right)-X\left(t_{1}\right)\right|\right]=\sqrt{2/\pi}\cdot\sigma\left|t_{2}-t_{1}\right|^{1/2}$$
,

где σ – стандартное отклонение процесса.

Любое приращение реализации сВт-процесса обладает свойством статистической самоаффинности

$$X(t + \Delta t) - X(t) \triangleq 1 / \sqrt{r} (X(t + r\Delta t) - X(t)),$$

так как статистическая идентичность в этом случае достигается различным масштабированием сигнала по оси абсцисс и по оси ординат (соответственно в r и \sqrt{r} раз). Символ \triangleq означает, что две случайные величины имеют одинаковое распределение и, в частности, одни и те же математическое ожидание и дисперсию;

2) обобщенное (фрактальное) броуновское движение (fractional Brownian motion – fBm), для которого

$$E\left[\left|X\left(t_{2}\right)-X\left(t_{1}\right)\right|\right]=\sqrt{2/\pi}\cdot\sigma\left|t_{2}-t_{1}\right|^{H}$$
,

где 0 < H < 1 – параметр Херста. Приращение этого процесса обладает свойством статистической самоаффинности:

$$X(t + \Delta t) - X(t) \triangleq 1 / H(X(t + r\Delta t) - X(t)),$$

для любого r > 0. При H = 1/2 fBm совпадает с cBm.

3) производная фрактального броуновского движения, называемая фрактальным гауссовским шумом (fractional Gaussian noise – fGn).

Корреляционная функция фрактального гауссовского шума описывается выражением

$$R_{x}(\tau) \sim \begin{cases} H(2H-1)|\tau|^{2^{H-2}} \text{при } H \neq 0.5, \\ \delta(\tau) \text{ при } H = 0.5, \end{cases}$$

где $\delta(\tau)$ – функция Дирака.

При 0.5 < H < 1 процесс X(t) характеризуется спектральной мощностью (СМ), которая описывается выражением

$$S_{x}(f) \sim 1/2^{\beta}, \ 0 < \beta < 1,$$

где $\beta = 2H - 1$ для fGn и $\beta = 2H + 1$ для fBm.

Наряду с ковариационной и корреляционной функциями случайного процесса g важным его показателем является вариограмма (variogram) или полувариограмма (semivariogram), которая определяется как

$$\gamma(l) = \langle \left\{ \left(g_{j}(k) - g_{j+l}(k) \right) \right\} \rangle / 2,$$

где g_j – значение k-й реализации процесса в j-й точке; l – лаг независимой переменной; $<\cdot>$ – усреднение по ансамблю траекторий случайного процесса g.

При 0 < H < 0.5 ($-1 < \beta < 0$) процесс не имеет конкретной СМ, а при H = 0.5 ($\beta = 0$) он превращается в белый гауссовский шум.

Процессы fBm и fGn взаимосвязаны. Если $m_1, m_2, m_3, m_4, \ldots$ представляют собой последовательность с шагом Δt по времени значений fBm-процесса, то последовательность $[(m_2-m_1), (m_3-m_2), (m_4-m_3), (m_5-m_4) \ldots]/\Delta t$ представляет последовательность значений fGn-процесса. И наоборот, если $n_1, n_2, n_3, n_4, \ldots$ есть последовательность значений fGn-процесса с шагом Δt по времени, то $[n_1, n_1+n_2, n_1+n_3, \dots]\Delta t$ образует последовательность значений fBm-процесса.

Вопросы моделирования распределения пористости и проницаемости в двух- и трехмерном пространстве с применением фрактальных процессов типа *fGn* и *fBm* рассмотрены подробно в работе [10].

2. Геостатистические методы интерполирования

В геостатистике используются два подхода к интерполированию: детерминистский и стохастический. Наиболее распространенным детерминистским методом является процедура, называемая кригинг-методом, которая основана на вариограмме и используется при оценке показателей резервуара в случае условного моделирования потока флюидов для предсказания наиболее правдоподобного значения концентрации флюида в рассматриваемой окрестности [11]. Данная процедура осуществляет сглаженную интерполяцию, обеспечивая наилучшую оценку значения исследуемого процесса в заданной окрестности, и приводит к более гладкой структуре вариации, чем у исходного распределения процесса.

В случае присутствия тренда (т. е. систематического изменения наблюдаемой величины с изменением координаты) в данных измерений предположение о стационарности наблюдений величины неправомерно. Систематический пространственный тренд должен быть промоделирован и удален из данных измерений до построения вариограмм. Иначе вариограммы будут воспроизводить крупномасштабный тренд, что приведет к потере собственной корреляции наблюдаемой величины на более мелком масштабе. Более того, вариограмма данных, имеющих систематический тренд, будет нестационарна и потому не может быть использована в геостатистических моделях кригинга.

После моделирования пространственного тренда m(x) и корреляционной структуры невязок R(x) = Z(x) - m(x) к полученной интерполяционной оценке невязок добавляется пространственный тренд для получения итогового значения Z(x).

Для моделирования дисперсионных характеристик неоднородных геологических формаций наиболее подходящим методом является стохастическое интерполирование.

Для интерполирования пористости скважин обычно используется процедура, основанная на использовании фрактального броуновского движения *fВm*, которая состоит из следующих шагов [1].

- 1. Проводят статистический анализ данных измерения пористости в вертикальном направлении и проверяют возможность использования для их описания процесса *fGn*.
 - 2. В случае положительного результата на основе этих данных вычисляют значение показателя Херста Н.
- 3. На основе полученного значения H строят процесс fBm для значений пористости, распределенных в горизонтальном направлении.
- 4. Вычисляют значения пористости скважин на каждой глубине z, генерируя процесс fBm по этим значениям пористости с учетом значения величины H, определенного на шаге 2.

На шаге 2 процедуры вычисляются значения показателя Херста с использованием так называемого анализа ремасштабирования размаха (rescaled range (R/S) analysis).

Первоначально R/S-анализ был применен к ряду F_1, F_2, F_3, \dots годовых объемов притока в резервуар, который аппроксимировался fGn-процессом.

Обозначим через $\mathit{CF}_i = \sum_{i=1}^t F_j$ кумулятивную (накопленную) к году i сумму этого ряда.

Пусть известна предыстория этого процесса за n предыдущих лет, начиная с времени t, когда запас резервуара равнялся S, и кончая временем t_n , когда запас снова стал равным S. Трендовая линия эмпирических данных $CF(t_n)$, $t_n = t + n\Delta t$ (обозначим ее TL) задается уравнением

$$TL = CF(t) + \frac{u}{n\Delta t} \left[CF(t_n) - CF(t) \right], u = 0, 1, 2, ..., n.$$

Пусть M и |m| – максимальное положительное (выше TL) отклонение CF(t) и максимальное отрицательное (ниже TL) отклонение и R=M+|m|. Пусть далее, z – независимая переменная (высота над уровнем моря), описываемая fBm-или fGn-процессом; Δz – расстояние между двумя значениями z; $n\Delta z$ ($n=3,4,\ldots$) – лаг, c которым вычислены значения R и S, равные R (z, $n\Delta z$) и S (z, $n\Delta z$) соответственно. При условии, что исследуемый ряд $\{F_j\}$ описывается fBm-процессом, выполняется предельное соотношение [12]

$$\lim_{n \to \infty} \left[\left(n \Delta z \right)^{-H} R \left(z, n \Delta z \right) \middle/ S \left(z, n \Delta z \right) \right] = \text{const.}$$
 (3)

Из (3) следует, что при достаточно большом n зависимость $\ln(R/S)$ от $\ln(n\Delta z)$ будет изображаться прямой линией с углом наклона φ , таким, что $\operatorname{tg} \varphi = H$.

Если исследуемый ряд описывается fBm-процессом, то R/S-процедура выполняется непосредственно. Если же этот ряд описывается fGn-процессом, то до вычисления значений R/S необходимо редуцировать его в fBm-процесс, производя простое численное интегрирование последовательности n_1, n_2, n_3, \ldots значений fGn-процесса в последовательность $[n_1, n_1 + n_3, \dots]\Delta t$, представляющую fBm-процесс.

Таким образом, сначала ряд тестируется на fBm или fGn-процесс путем проверки линейной зависимости ($\ln (R/S)$, $\ln (n\Delta z)$), после чего определяется коэффициент H по углу наклона графика этой зависимости.

Значения величины R/S, полученные для каждого лага $n\Delta z$, вычисляются по формулам:

$$R(z, n\Delta z) = \max_{0 \le u \le n\Delta z} \left\{ GF(z+u) - \left[GF(z) + \frac{u}{n\Delta z} (GF(z+u) - GF(z)) \right] \right\} -$$

$$- \min_{0 \le u \le n\Delta z} \left\{ GF(z+u) - \left[GF(z) \right] + \frac{u}{n\Delta z} (GF(z+u) - GF(z)) \right\},$$

$$S(z, n\Delta z) = \left\{ \frac{1}{n\Delta z - 1} \sum_{u} GF^{2}(z+u) - \frac{1}{(n\Delta z)^{2} - n\Delta z} \left[\sum_{u} GF(z+u) \right]^{2} \right\}^{1/2}.$$

Здесь $GF(z_i)$, i = 1, 2, ..., m (m - число точек по вертикали, т. е. число рассматриваемых уровней глубины <math>z) означают кумулятивные суммы ряда $\{F\}$ на глубинах z, которые вычисляются по формулам

$$GF(z_{i}) = \sum_{j=1}^{n} \left[\frac{\ln(K_{ij}) - \mu_{in}}{\sigma_{in}} \right], i = 1, 2, ..., m,$$

где K_{ii} – заданное значение гидравлической проводимости на глубине z_{i} в горизонтальных точках j между двумя разве-

дочными скважинами; μ_{in} , σ_{in} – средние и дисперсия ряда K_{ij} , j=1,...,n. Для интерполирования значения K_{ij} применим метод стохастической интерполяции. Наиболее распространенным является метод последовательных случайных дополнений (Successive Random Additions – SRA) [13]. В этом методе значения процесса гладко интерполируются в промежуточных точках между скважинами, при этом ко всем проинтерполированным значениям добавляются случайные числа так, чтобы вариация приращений удовлетворяла свойству

$$E\left[\Delta m_{_{H}}\left(r\Delta t\right)\right]^{2} = r^{^{2H}}E\left[\Delta m_{_{H}}\left(\Delta t\right)\right]^{2}.$$
(4)

Случайные вариации, удовлетворяющие уравнению (4), добавляются ко всем значениям. Для того чтобы проинтерполировать значения с корреляционной структурой, присущей fBm-процессу, начинают с известной дисперсии σ_0^2 между двумя скважинами и добавляют к гладко интерполируемым значениям случайное число, генерируемое датчи-ком независимых значений с распределением $N\left(0,\sigma_{1}^{2}\right)$, где $\sigma_{1}^{2}=\sigma_{0}^{2}/2^{2H}$. Эта процедура повторяется до тех пор, пока интерполируемые значения будут описываться fBm-процессом. На n-м шаге этой рекурсивной процедуры случайная вариация, добавляемая к каждому интерполируемому значению, равна

$$\sigma_{_{n+1}}^{^{2}} = \sigma_{_{n}}^{^{2}} / 2^{^{2H}} = \sigma_{_{0}}^{^{2}} / 2^{^{2nH}}.$$

3. Стохастическое интерполирование на основе фрактального Леви-движения

Раньше стохастические методы интерполирования фильтрационных характеристик нефтегазовых залежей проводились в основном с использованием фрактального броуновского движения fBm, являющегося обобщением классического броуновского движения cBm, и фрактального гауссовского шума fGn – производной от fBm, которые основаны на гауссовском (нормальном) распределении [12]. В последнее время в геостатистике широко применяются более общие методы интерполирования с использованием фрактального движения Леви (fractional Levy motion – fLm), основанного на негауссовском устойчивом распределении Леви, частным случаем которого является гауссовское распределение. Анализ геологических данных осадочных пород показывает, что изменения свойств их поверхностных слоев с большой точностью описываются масштабно-инвариантными моделями на основе fLm, приводя к тому же к состоятельным оценкам, т. е. точечным оценкам, сходящимся по вероятности [3, 4].

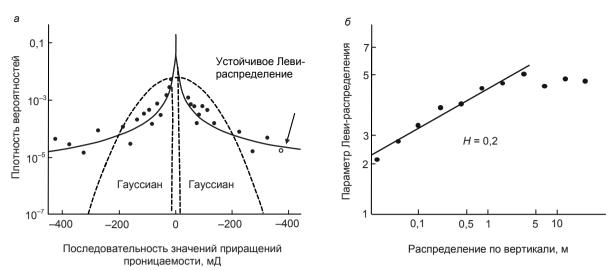
Устойчивые Леви-распределения параметризуются с помощью индекса Леви 0 < α ≤ 2 и включают как частный случай гауссовы распределения при α = 2. При α ≠ 2 устойчивые Леви-распределения имеют медленно и далеко простирающиеся (так называемые «тяжелые») хвосты $(P_{s}(|x| \ge s)) \propto s^{-\alpha}$ для больших s и бесконечные моменты второго (и более

К тому же устойчивые Леви-распределения являются предельными распределениями сумм независимых одинаково распределенных (н. о. р.) случайных величин с бесконечной дисперсией, что является обобщением центральной предельной теоремы, которая справедлива в случае *н. о. р.* случайных величин с конечной дисперсией. Симметрическое Леви-распределение центрировано относительно начала координат и имеет функцию плотности распределения (proba*bility density function – PDF)*

$$f(x) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \exp(-|C_k|^\alpha) \cos(kx) dk.$$

В fLm-модели процесса X(t) его приращения X(t+l)-X(t) имеют симметрическое Леви-распределение с индексом α и шириной $C=C_0|l|^H$. В случае независимых приращений масштабный параметр $H=1/\alpha$. При $H
eq 1/\alpha$ приращения имеют бесконечно-временную корреляцию, при этом в случае $1/\alpha < H < 1$ имеет место персистентность (сохранение возрастающей тенденции), а в случае 0 < H < 1/lpha – антиперсистентность (смена возрастающей тенденции убывающей).

Характерная гистограмма приращения последовательных значений проницаемости K дана на рис. 1[14].



Гистограмма приращения последовательных значений проницаемости *К. а* – гистограмма приращений ΔK для последовательных значений проницаемости, описываемых устойчивым Леви-распределением с α = 0,65 и C = 2,12. Значения K, измеренные в горизонтальном направлении между скважинами Е7 и Е8 на слоях 2, 4 и 6 с шагом I = 0,025 м. Две разрывные линии соответствуют гауссовой аппроксимации. G — зависимость структурной функции Леви G (I) от I для измеренных значений проницаемости. Прямая линия, характеризующая график этой зависимости в двойных логарифмических координатах, указывает наличие степенного закона $C(I) \propto I^H$ и иллюстрирует хорошую аппроксимацию в достаточно широком диапазоне пространственного масштаба, подчеркивая скейлинговое поведение. Наклон этой прямой I = 0,2 показывает антиперсистентность процесса. **Histogram of increment of successive values of permeability** K.

Квантильные оценки параметров С и а получены Фама и Роллем [15].

fLm-модели могут быть обобщены на случай двух и трех измерений. По существу, такое обобщение получается заменой переменной t на вектор позиции \vec{r} , введением вектора \vec{l} расстояния. Используя растяженное евклидово расстояние $|\vec{l}| = [(S_x l_x)^2 + (S_y l_y)^2 + l_z^2]^{1/2}$ с факторами растяжения $S_x S_y < 1$, получим распределение приращений с большей шириной C в вертикальном направлении по сравнению с горизонтальными направлениями, согласованное с вариациями процесса на поверхностях напластования породы пласта. Такой подход предполагает одно и то же значение параметра H в оценке C(l) по всем трем направлениям координатных осей и приводит к простейшей модели, согласованной с геологическими данными, которая рассмотрена Паинтером [14]. Однако эту модель можно обобщить на случай различных значений H в разных направлениях.

Полученные результаты и их применение

В результате проведенных исследований дано обоснование необходимости применения устойчивого Леви-распределения для стохастического интерполирования фильтрационных характеристик нефтенасыщенных сред. Показано, что фрактальное Леви-движение более адекватно описывает резкие изменения геологических стратификаций.

Заключение

Использование fLm-моделей представляет принципиально новый подход к описанию фильтрационных характеристик нефтенасыщенных залежей. Существенно важное преимущество этих моделей состоит в том, что устойчивое Леви-распределение приращений исследуемых характеристик и их скейлинговое поведение показало хорошое совпадение с эмпирическими данными [16, 17]. Немаловажную роль здесь играет наличие «тяжелых» хвостов Леви-устойчивого распределения приращений, которые реагируют на резкие внезапные изменения свойств породы, эффективно воспроизводя геологические стратификации. Кроме того, скейлинговое поведение параметров данного распределения в вертикальном и горизонтальном направлениях характеризует присутствие неоднородностей в широком диапазоне пространственных переменных, которые часто визуально наблюдаются в виде осадочных отложений на поверхности пласта. Значения скейлинговых параметров, отражающие антиперсистентное поведение процесса, позволяют модели регистрировать случайные пики спектра или «псевдоциклы», выявляя тем самым ритмический характер наслоений породы.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Hewett T. A. Fractal distributions of reservoir heterogeneity and their influence on fluid transport // Proceeding of the 61st Annual Tecnnical Conference of the Society of Petroleum Engineers. Richardson: Soc. Pet. Eng., Tex., 1986.
- 2. Moltz F. J., Boman G. K. A fractal-based stochastic interpolation scheme in subsurface hydrology // Water Resources Research. 1993. Vol. 29(11). P. 3769–3774.
- 3. Painter S., Paterson L. Fractional Levy motion as a model for spatial variability in sedimentary rock // Geophysical Research Letters. 1994. Vol. 21(25). P. 2857–2860.
- 4. Painter S. Evidence for non-Gaussian scaling behavior in heterogeneous sedimentary formations // Water Resources Research. 1996. Vol. 32(5). P. 1183–1195.
- 5. Taqqu M. S. Random processes with long-range dependence and high-variability // Journal of Geophysical Research. 1987. Vol. 92(D8). P. 9683–9686.
- 6. Bird N., Diaz M. C., Saa A., Tarquis A. M. Fractal and multifractal analysis of pore-scale images of soil // Journal of Hydrology. 2006. Vol. 322. P. 211–219.
- 7. Сулейманов Б. А., Исмайлов Ф. С., Дышин О. А., Гусейнова Н. И. Анализ состояния разработки нефтяного месторождения на основе мультифрактального подхода // Нефтяное хозяйство. 2011. № 2. С. 92–96.

- 8. Сулейманов Б. А., Исмайлов Ф. С., Дышин О. А., Гусейнова Н. И. Определение фрактальной размерности фронта вытеснения нефти водой на основе данных нормальной эксплуатации скважин // Нефтяное хозяйство. 2011. № 12. С. 84–88.
- 9. Курбанов Р. А., Дышин О. А., Панахова Н. Д. Колебания на фрактальной дефектной структуре упругого твердого тела // Вестник Азербайджанской инженерной академии. 2015. Т. 7, № 1. С. 17–28.
- 10. Hardy H. H., Beier R. A. Fractals in reservoir engineering. Singapore; N. Y.; London; Hong Kong: World Scientific, 1994. 359 p.
- 11. Демьянов В. В., Савельева Е. А. Геостатистика: теория и практика. М.: Наука, 2010. 327 с.
- 12. Mandelbrot B. B. Limit theorems on the self-normalized range for weakly and strongly dependent processes // Zeitschrift fur Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete. 1975. Vol. 31. P. 271–285.
- 13. Molz E. J., Boman G. K. A Fractal-Based Stochastic Interpolation Scheme in Subsurface. Hydrology // Water Resources Research. 1993. Vol. 29. № 11. P. 3769–3774.
- 14. Painter S. Stochastic interpolation of aquifer properties using fractional Levy motion // Water Resources Research. 1996. Vol. 32, № 5. P. 1323–1332.
- 15. Fama E., Roll R. Parameter estimates for symmetric stable distributions // Journal of the American Statistical Association. 1971. Vol. 66. P. 331–338
- 16. Смирнов В. В., Спиридонов Ф. Ф. Фрактальные модели стохастических процессов // Южно-Сибирский научный вестник. 2013. № 1(3). С. 99–102.
- 17. Bianchi A., Cristadoro G., Lenci M., Ligab M. Random walks in a one-dimensional Levy Random Environment // Journal of Statistical Physics. 2016. № 163. P. 22–40.

Статья поступила в редакцию 30 января 2018 г.

УДК 519.6 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-72-78

Stochastic interpolation of aquifer properties of heterogeneous geologic media using fractal processes

Oleg Aleksandrovich Dyshin, engakadem@gmail.com Fuad Farkhad ogly Magerramov, oilgazgeology@gmail.com

Azerbaijan State University of Oil and Industry Baku. Azerbaijan

The relevance of the work is conditioned by the need to use random processes based on Levi-distribution in describing the process of filtration of fluid flow in oil reservoirs and groundwater. These processes describe the filtration process more accurately than the fractal Brownian motion (fBm) and fractal Gaussian noise (fGn), especially with sharp changes in the geological environment.

The purpose of the work is to show the advantages of using stochastic interpolation methods in geostatistics as compared to deterministic methods

Research methodology: theoretical analysis and experimental study of methods for probabilistic modeling of aquifer properties of geological media under conditions of uncertainty and limited availability of information on permeability and porosity of reservoirs.

Results. It is shown that stochastic interpolation is most suitable for modeling dispersion characteristics of heterogeneous geological formations. The use of the assumption of Gaussian distribution in describing the process of fluid filtration is unreasonable. It is especially unreasonable in the presence of abrupt changes inherent in geological stratifications. Such changes are more adequately described by fractal Levi-motion (fLm). Stable Levidistribution of increments of the studied filtration characteristics of oil-saturated deposits showed a good coincidence with empirical data of numerous physical changes of geological structures in a wide range of spatial variables vertically and horizontally.

Conclusions. The use of fl.m - models represents a fundamentally new approach in geostatistics. The presence of heavy tails of the Levi-distribution of increments of the filtration characteristics of the layers and scaling the distribution parameters of this distribution allows us to react to sudden and sharp changes in rock properties. This effectively reproduces the strata and sedimentary deposits on the reservoir surface and characterizes heterogeneity in a wide range of distribution of spatial variables.

Keywords: hydraulic conductivity; porosity; permeability; fractal processes in geology; stochastic interpolation; fractal Brownian motion; fractal Gaussian noise; fractal Levy-motion; Hurst exponent; heavy distribution tails.

REFERENCES

- 1. Hewett T. A. 1986, Fractal distributions of reservoir heterogeneity and their influence on fluid transport. Proceeding of the 61st Annual Technical Conference of the Society of Petroleum Engineers. Richardson, Soc. Pet. Eng., Tex.
- 2. Moltz F. J., Boman G. K. 1993, A fractal-based stochastic interpolation scheme in subsurface hydrology. Water Resources Research, vol. 29, pp. 3769-3774.
- 3. Painter S., Paterson L. 1994, Fractional Levy motion as a model for spatial variability in sedimentary rock. Geophysical Research Letters, vol. 21, pp. 2857-2860.
- 4. Painter S. 1996, Evidence for non-Gaussian scaling behavior in heterogeneous sedimentary formations. Water Resources Research, vol. 32, no. 5, pp. 1183-1195.
- 5. Taggi M. S. 1987, Random processes with long-range dependence and high variability. Journal of Geophysical Research, vol. 92, pp. 9683-9686
- 6. Bird N., Diaz M. C., Saa A., Tarquis A. M. 2006, Fractal and multifractal analysis of pore-scale images of soil. Journal of Hydrology, vol. 322,
- 7. Suleimanov B. A., Ismailov F. S. Dyshin O. A., Huseynova N. I. 2011, Analiz sostoyaniya razrabotki neftyanogo mestorozhdeniya na osnove multifraktal'nogo podkhoda [Analysis of development of oil deposits on the basis of the multifractal approach]. Neftyanoye khozyaystvo [Oil Industry], no. 2, pp. 92-96.
- 8. Suleimanov B. A., Ismailov F. S, Dyshin O. A., Huseynova N. I. 2011, Opredeleniye fraktal'nov razmernosti fronta vytesneniya nefti vodov na osnove dannykh normal'noy ekspluatatsii skvazhin [Determining the fractal dimension of the displacement front of oil by water on the basis of the normal operation of wells]. Neftyanoye khozyaystvo [Oil Industry], no. 12, pp. 84-88.
- 9. Kurbanov R. A., Dyshin O. A., Panahov, Head N. D. 2015, Kolebaniya na fraktal'noy defektnoy strukture uprugogo tvyordogo tela [Fluctuations in the fractal defective structure of elastic solids]. Vestnik Azerbaydzhańskoy inzhenernoy akademii [Herald of the Azerbaijan Engineering Academy],
- 10. Hardy H. H., Beier R. 1994, Fractals in reservoir engineering. Singapore; N. Y.; London; Hong Kong, 379 p.
- 11. Demyanov V. V., Savelyeva E. A. 2010, Geostatistika: teoriya i praktika [Geostatistics: theory and practice], Moscow, 327 p.
- 12. Mandelbrot B. B. 1975, Limit theorems on the self-normalized range for weakly and strongly dependent processes. Zeitschrift fur Wahrscheinlichkeitstheorie und verwandte Gebiete, vol. 31, pp. 271-285.
- 13. Molz E. J., Boman G. K. 1993, A Fractal-Based Stochastic Interpolation Scheme in Subsurface. Hydrology. Water Resources Research, vol. 29, no. 11, pp. 3769–3774.

 14. Painter S. 1996, Stochastic interpolation of aquifer properties using fractional Levy motion. *Water Resources Research*, vol. 32, no. 5, pp.
- 15. Fama E., Roll R. 1972, Parameter estimates for symmetric stable distributions. Journal of Statistical Physics, vol. 66, pp. 331–338.
- 16. Smirnov V. V., Spiridonov F. F. 2013, Fraktal'nyye modeli stokhasticheskikh protsessov [Fractal models of stochastic processes]. Yuzhno-Sibirskij nauchnyj vestnik [South-Siberian Scientific Bulletin], no. 1(3), pp. 99-102.
- 17. Bianchi A., Cristadoro G., Lenci M., Ligab M. 2016, Random walks in a one-dimensional Levy Random Environment. Journal of Statistical Physics, no. 163, pp. 22-40.

The article was received on January 30, 2018

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УЛК 622 278

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-79-84

TREND ANALYSIS OF THE ROCK MASS PROPERTIES ON THE BASIS OF FRACTAL REPRESENTATION OF SPATIAL RANGES

Oleg Georgievich Latyshev, gtf.shs@ursmu.ru Ol'ga Olegovna Kazak dozlat1@rambler.ru

Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

Evaluation of rock mass characteristics is the basis for designing the technology of mineral deposits development, which indicates **the relevance of the work**.

The purpose of the present work is to establish the laws of spatial distribution of rock mass properties. Their establishment requires the solution of the following problems: determination of the probability of a trend; identification and elimination of emissions (local component) and construction of a trend line.

The research methodology consists of using the tools of fractal geometry to determine the properties of a random spatial series. The use of the apparatus of classical trend analysis, based on purely statistical analysis, in relation to the specifics of research data does not provide an adequate solution to these problems. This paper discusses the results of implementing the fractal representation of the spatial series in case of the rock mass strength distribution in the Yubileynoye deposit (Bashkortostan). The quantitative estimation of the trend line as a fractal object is to determine its fractal dimension by the method of "fractal lengths". Step-by-step implementation of this method allowed identifying areas of the rock mass with natural variability of properties by depth. The variation of the values of a number (the random component) obeys an equation of the fractal Brownian motion (FBM). Determination of the parameters of this equation makes it possible to predict the characteristics of the rock mass in those areas where engineering-geological testing was not carried out. For this purpose, a statistical model of variability of the characteristics of the array, based on the Monte Carlo method was developed. Implementation of the model allows us to add the spatial series (replicate sample), i.e., to predict the properties of the array between the points of sampling.

Summary. The proposed techniques and software that forms the methodology of fractal analysis of variability of a rock mass at depth and along strike of the deposit. The methodology provides additional information for engineering and geological studies of deposits, especially with a limited amount of sample data. It allows increasing the reliability of the forecast of mining conditions for the construction of mines and mining operations.

Keywords: rocks; rock mass strength; fractal trend analysis.

ntroduction The tech

The technology of mineral deposits development is largely determined by the properties of rocks, which compose the rock mass. One of the most important goals of engineering-geological substantiation of design solutions is the prediction of variability of rock properties along the stretch and depth of the deposit. This forecast is based on trend analysis. The classical trend analysis solves the following problems [1]: assessment of the presence of regularity in the variability of the parameters studied; identification and elimination of the local component of the series; establishment of the trend line; determination of its natural and random component. The solution of these problems with the help of the correlation analysis does not provide a reliable picture of the trend due to the natural variability of the array, which causes the presence of values that do not fit into the framework of the accepted statistical function of the distribution of "popping up" meanings. Classical methods of estimation of such local values using Bayesian regression analysis [1] or Hoeke-Brown criterion [2] are overly formalized. They do not take into account the geological history of rock formation. Trend analysis based on the classification of rocks by properties [3] is a too rough approximation. This analysis does not provide a high-quality design of mining technology. Consideration of the spatial trend of rock strength from fractal positions provides additional opportunities.

Results

Let us consider the possibility of trend analysis on the example of the variability of rock strength by the depth of the Yubileynoye deposit (Bashkortostan). Strength characteristics of rocks were determined by means of the laboratory studies of cores extracted from exploratory wells. To assess the rock mass strength, corrections for rock pressure, humidity, scale effect and fractured rock mass structure were introduced to the laboratory data [5–7]. Fig. 1 shows the spatial range of the strength of the rock mass variability based on depth.

The appropriate computer software was developed for the classical trend analysis procedure. The first goal is to assess the probability of a trend. The analysis of quite numerous methods of solving this problem [5] showed that the Wald criterion [1, 8] was the most informative and reliable for spatial series of variability of rock properties. To test the hypothesis about the existence of a trend according to this criterion is determined by the number of crossings of the graph of the variability of the index in its median value. The computer program determines deviations from the median ("+1" or "-1") and the number of intervals greater than the median $-n_1$ and less than the median n_2 . The value of the criterion Z is calculated based on the mathematical expectation and variance of deviations. The probability of trend absence is determined with the help of the normal distribution function. For the given series, this probability is 0.077. Therefore, the probability of a trend (P = 0.923) is quite high.

Another goal is to determine the trend equation (line). Our experience in analyzing the spatial series of rock properties has shown that even higher order polynomials were not able to reliably describe the natural variability of rock properties. The use of

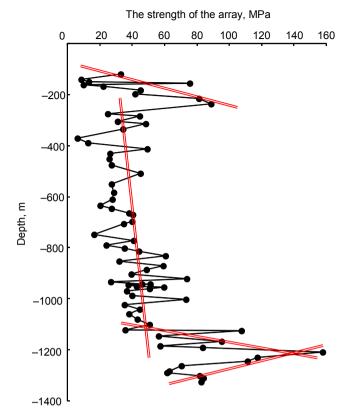


Figure 1. A chart of the strength of the rock mass according to the depth of the Yubileynoye deposit. Рисунок 1. Диаграмма прочности породного массива по глубине Юбилейного месторождения.

different methods of "alignment" is also associated with an unacceptable loss of information about the distribution of properties. Additional important information is given by considering spatial series from fractal positions.

If a spatial series has fractal properties, the dependence of its length $L(\delta)$ on the measurement step δ is subject to the power law (Richardson's law) [7, 8]:

$$L(\delta) \sim \delta \phi$$
 at $\beta < 0$. (1)

There are several ways to calculate the fractal dimension of a series. The method of fractal lengths is one of the most informative and amenable to computer formalization [9, 10]. It determines the procedure for calculating L (δ). In this case, the whole series, consisting of Ni members, is divided into intervals of [$i\delta$ – (i + 1) δ]. Within each interval, the value of the $\langle Y(i\delta) \rangle$ function is defined as the arithmetic mean of all points within that interval. The curve length at a given step δ is calculated as the sum of the function increments by the formula:

$$L(\delta) = \sum_{i=1}^{N} \left| \langle Y(i\delta) \rangle - \langle Y((i-1)\delta) \rangle \right|. \tag{2}$$

The fractal dimension of the series is determined on the basis of linear approximation of the dependence (1) in double logarithmic coordinates. From this equation follows:

$$ln L(\delta) = \beta ln \delta + ln \alpha,$$
(3)

where $\ln \alpha = \text{const.}$

Here β is the angular coefficient of the equation graph (3) associated with the fractal dimension of the series: $d_f = 1 - \beta$. Then, ignoring the constant, you can write $\log L \sim (1 - d_f) \log \delta$. Thus, to determine the fractal dimension of the d_f series, it is necessary to find the dependence of the length of the l series on the measurement step δ . If in logarithmic coordinates this dependence turns out to be linear, then the series will be a fractal, i. e., it will have the property of self-similarity. The parameters of equation (3) will be determined by the method of "least squares".

For Fig. 2 the trajectories of the considered trend are shown at successive change of the measurement step. The results obtained (Fig. 3) are a good match with the linear dependence (3). The coefficient of reliability of approximation is $R^2 = 0.94$. Therefore, the considered series of variability of strength of the massif by the depth is a fractal object. Its total fractal dimension is d = 1.82.

The obtained data refer to the entire strength chart. A step-by-step fractal trend analysis allowed identifying the intervals of depths with a steady pattern of strength changes. For the purposes of mining technology design it is sufficient to determine

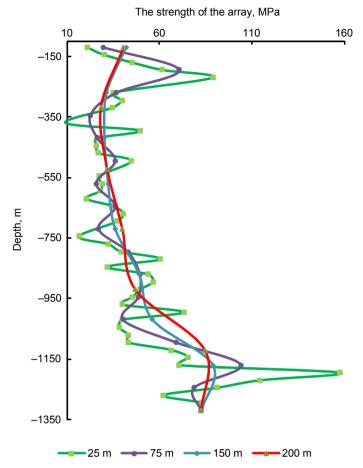


Figure 2. The trajectory of the trend line with different measurement step. Рисунок 2. Изменение траектории линии тренда при различном шаге измерений.

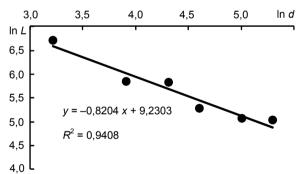


Figure 3. The graph of the trend equation (2). Рисунок 3. График уравнения (2) тренда.

Parameters of the trend line of different depths. Параметры линии тренда различных участков глубин.

Depth intervals, m	Parameters $\sigma_{cx} =$	Correlation - coefficient	
	k	a, MPa	- coemcient
120–360	0.58	-59	0.692
360-1100	0.02	20	0.453
1100-1200	0.62	-634	0.604
1200–1330	-0.61	868	-0.758

the tendency of strength change with depth in these areas, i. e. to use a linear equation of the form: $\sigma_{cx} = kH + a$ [11, 12]. The parameters of the equation in the selected areas are shown in the Table. These areas are marked with red lines in the Fig. 1.

While exploration drilling extraction of cores for testing rocks is extremely uneven. In particular, for the considered series testing intervals reached 30–50 meters in depth [5]. At these intervals, the strength values of the pattern remain unknown. In order to form a reliable trend of variability of rock mass strength in depth, such intervals should be filled in, i. e. to give a forecast of strength at these depth intervals. As shown earlier, the considered strength series is a fractal object, therefore, it has invariance to scale transformation (self-similarity) [13, 14]. Then for the solution of the specified problem it is necessary to use methods of fractal geometry.

In this case, the variability of rock strength can be described by the process of fractal Brownian motion [15]. Its implementation can serve as a method of the "middle displacement" [11]. The idea of this method is to calculate the random displacement of a point located in the middle of a line segment connecting the nodal points. Then, the mean displacement of the obtained data is determined 2, 4, 8, ..., $2^{(n+1)/2}$ segments, where n is the number of steps (iterations) required. With each modeling step, the length of the considered segments decreases, and in this regard, the median displacements Δy should also decrease in proportion:

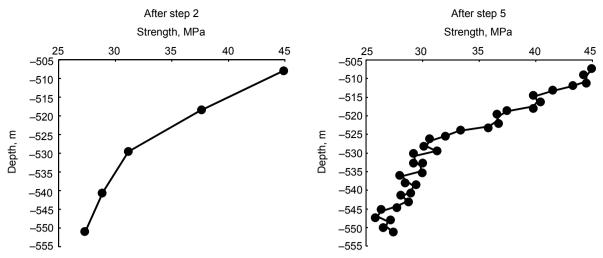


Figure 4. Implementation of the "mean displacements" method. Рисунок 4. Реализация метода «срединных смещений».

$$\Delta y(t) = \frac{1}{2^{kH}} \sigma \sqrt{1 - 2^{2H-2}} g.$$

$$t = k/2^n \text{ when } k = 0, 1, \dots, 2^n.$$
(4)

where *H* is the index of the Gelder, $H = 2 - d_{\dot{p}} g$ is the normally distributed random numbers generated by the computer program Microsoft Excel. The magnitude of the scale factor σ is determined by the variance of the original series $S^2 = 770 \text{ MPa}^2$:

$$\sigma = \sqrt{\frac{S^2}{\left|t_2 - t_1\right|^{2H}}},\tag{5}$$

where $|t_2 - t_1|$ is a forecast step (distance between node points).

To implement this procedure, a statistical (simulation) model based on the Monte Carlo method was developed [18]. By averaging the multiple implementation of the model, the most probable points of the series are determined. Let us consider the implementation of the program on a specific example. In the depth interval of 508–551 meters there are no experienced points. Sequential replenishment (replication) of the sample in this interval is illustrated by graphs in Fig. 4.

The left graph shows the probabilistic strength values after two iterations of the model. After the fifth step, there is sufficient information about the probable strength of the array in a given depth interval. In principle, you can get a smooth curve of strength for any part of the array. At the same time, it should be noted that the zones of rock crushing, clearly fixed in exploration drilling, should be excluded from consideration.

The next goal of the analysis is to assess the reliability of the forecast, i.e. to determine the natural and random components of the trend. The variance of the trend's natural component is determined as the difference between the total variance S_0^2 and its random component S_a^2 : $S_3^2 = S_0^2 - S_a^2$. For the series considered, the total variance as a measure of the variation in strength relative to the total average is $S_0^2 = 1972$ MPa². The random variance is determined by the sum of squares of deviations of experimental values from trend lines in the selected areas (Fig. 1). The value of the random dispersion is $S_a^2 = 118$ MPa². In this case a natural component of variance defined as the difference $S_3^2 = 1854$ MPa². Therefore, it can be affirmed that the strength of rocks naturally varies with the depth of their occurrence. Indeed, the natural component in the total variance exceeds 94 %. The average coefficient of variation of experimental values from the trend line is 8.2 %.

Conclusion

Thus, fractal studies of spatial series allow predicting the measure of variability of rock properties expressed in their fractal dimension. They allow allocating depth intervals with different trends of property changes with depth. They also make it possible to replicate the sample by using a simulation model based on the method of "average displacement". All of this allows us to obtain additional information that increases the reliability of the design of mining processes.

REFERENCES

- 1. Latyshev O. G., Kazak O. O. 2013, Matematicheskiye metody v gornom dele [Mathematical methods in mining]. Ekaterinburg, 146 p.
- 2. Contreras L. F., Edwin T., Brown M. 2018, Bayesian data analysis to quantify the uncertainty of intact rock strength. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, no. 10, pp. 11–31.
- 3. Hoek E., Brown E. T. 1997, Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, no. 34 (8), pp. 1165–1186.
- 4. Miranda T., Sousa L. R., Gomes A. T., Tinoco J., C. Ferreira C. 2018, Geomechanical characterization of volcanic rocks using empirical systems and data mining techniques. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, no. 10, pp. 138–150.
- 5. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. 2013, Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, no. 60, pp. 345–352.
- 82 Латышев О. Г., Казак О. О. Тренд-анализ свойств породного массива на основе фрактального представления пространственных рядов // Известия УГГУ. 2018. Вып. 2(50). С. 79-84. DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-79-84

- 6. Latyshev O. G., Karasev K. A., Martyushov K. S. 2013, *Fraktalnyy trend-analiz izmenchivosti vremennykh i prostranstvennykh ryadov svoystv gornykh porod i massivov* [The fractal trend-variability analysis of the temporal and spatial series properties of rocks and arrays]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2, pp. 73–79.
- 7. Martyushov K. S. 2013, *Prognoz prochnosti porodnogo massiva* [Prediction of strength of rock mass]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 1, pp. 44–47.
- 8. Kobzar' A. I. 2006, *Prikladnaya matematicheskaya statistika: dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied mathematical statistics: for engineers and scientists]. Moscow, 816 p.
- 9. Mandelbrot B. 2002, Fraktal'naya geometriya prirody: per. s nem. [Fractal geometry of nature: Translated from German]. Moscow, 656 p.
- 10. Feder E. 1991, Fraktaly: per. s angl. [Fractals: Translated from English]. Moscow, 262 p.
- 11. Krylov S. S., Bobkov N. Yu. 2004, Fraktaly v geofizike [Fractals in Geophysics]. Saint Petersburg, 138 p.
- 12. Kronover R. 2006, Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh: per. s angl. [Fractals and chaos in dynamic systems: Translated from English]. Moscow, 488 p.
- 13. 2007, Teoreticheskiye osnovy prognoza i upravleniya svoystvami geologicheskoy sredy pri podzemnykh tekhnogennykh vozdeystviyakh. pod red. O. G. Latysheva [Theoretical bases of forecasting and management of properties of the geological environment upon underground anthropogenic influences. Edited by O. G. Latyshev]. Ekaterinburg, 216 p.
- 14. Walter Wittke. 2014, Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM). Wilhelm Ernst & Sohn. 865 p.
- 15. Sadovsky, M. A., Golubeva T. V., Pisarenko V. F., Schnierman M. G. 1984, *Kharakternyye razmery gornoy porody i iyerarkhicheskiye svoystva seysmichnosti* [Characteristic dimensions of rock and hierarchical properties of seismicity]. *Izv. AN SSSR. Fizika Zemli* [News of the USSR. Academy of Sciences. Physics of the Earth], no. 2, pp. 3–15.
- 16. Sadovsky M. A. 2004, Izbrannyye trudy: geofizika i fizika vzryva [Selected works: Geophysics and physics of explosion]. Moscow, 440 p.
- 17. Potapov A. A. 2005, Fraktaly v radiofizike i radiolokatsii: topologiya vyborki [Fractals in Radiophysics and radiolocation: topology of sample. Moscow, 848 p.
- 18. Sobol' I. M. 1978, Metod Monte-Karlo [The Monte-Carlo method]. Moscow, 64 p.

The article was received on November 12, 2017

УДК 622.278

Тренд-анализ свойств породного массива на основе фрактального представления пространственных рядов

Олег Георгиевич Латышев, gtf.shs@ursmu.ru Ольга Олеговна Казак dozlat1@rambler.ru Уральский государственный горный университет Россия, Екатеринбург

Оценка характеристик породного массива является основой проектирования технологии разработки месторождений полезных ископаемых, что свидетельствует об **актуальности работы**.

Шелью работы является установление закономерностей пространственного распределения свойств породного массива. Для их установления требуется решение следующих задач: определение вероятности наличия тренда; выявление и исключение выбросов (локальной составляющей); построение линии тренда.

Методология исследований заключается в использовании инструментария фрактальной геометрии для определения свойств случайного пространственного ряда. Применение аппарата классического тренд-анализа, основанного на чисто статистическом анализе, применительно к специфике данных исследований не дает адекватного решения указанных задач.

Результаты и их применение. В работе обсуждаются результаты реализации фрактального представления пространственных рядов на примере распределения прочности породного массива Юбилейного месторождения (Башкортостан). Количественная оценка линии тренда как фрактального объекта заключается в определении ее фрактальной размерности методом «фрактальных длин». Пошаговая реализация метода позволила выявить участки породного массива с закономерной изменчивостью свойств по глубине. Вариация значений ряда (случайная составляющая) подчиняется уравнению фрактального броуновского авижения (ФБД). Определение параметров этого уравнения алет возможность прогнозировать характеристики породного массива на тех участках, где инженерно-геологического опробования не проводилось. Для этого разработана статистическая модель изменчивости характеристик массива, основанная на методе Монте-Карло. Реализация модели позволяет дополнять пространственные ряды (тиражировать выборку), т. е. прогнозировать свойства массива между точками опробования.

Выводы. Совокупность предложенных методов и компьютерных программ формирует методику фрактального анализа изменчивости характеристик породного массива по глубине и простиранию месторождения. Методика дает дополнительную информацию при инженерногеологических исследованиях месторождений, особенно при ограниченном объеме выборочных данных, и позволяет повысить надежность прогноза горнотехнических условий строительства шахт и добычи полезных ископаемых.

Ключевые слова: горные породы; прочность породного массива; фрактальный тренд-анализ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Латышев О. Г., Казак О. О. Математические методы в горном деле. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. 146 с.
- 2. Contreras L.F., Edwin T., Brown M. Bayesian data analysis to quantify the uncertainty of intact rock strength // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2018. No 10. pp. 11–31.
- 3. Hoek E, Brown E. T. Practical estimates of rock mass strength // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 1997. No. 34 (8). pp. 1165–1186.
- 4. Miranda T., Sousa L. R., Gomes A. T., Tinoco J., C. Ferreira C. Geomechanical characterization of volcanic rocks using empirical systems and data mining techniques // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2018. No. 10. pp. 138–150.
- 5. Khani A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass // International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 2013. No. 60. pp. 345–352.
- 6. Латышев О. Г., Карасев К. А., Мартюшов К. Č. Фрактальный тренд-анализ изменчивости временных и пространственных рядов свойств горных пород и массивов // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 2. С. 73–79.
- 7. Мартюшов К. С. Прогноз прочности породного массива // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 1. С. 44–47.
- 8. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика: для инженеров и научных работников. М.: Физматлит. 2006. 816 с.
- 9. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы: пер. с нем. М.: Изд-во ИКИ, 2002. 656 с.
- 10. Федер Е. Фракталы: пер. с англ. М.: Мир, 1991. 262 с.
- 11. Крылов С. С., Бобков Н. Ю. Фракталы в геофизике. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. 138 с.
- 12. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах: пер. с англ. М.: Техносфера, 2006. 488 с.
- 13. Теоретические основы прогноза и управления свойствами геологической среды при подземных техногенных воздействиях / под ред. О. Г. Латышева. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. 216 с.
- 14. Wittke W. Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM). Wilhelm Ernst & Sohn. 2014. 865 p.
- 15. 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.
- 16. Садовский М. А. Избранные труды: геофизика и физика взрыва. М.: Наука, 2004. 440 с.
- 17. Потапов А. А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: топология выборки. М.: Университетская книга, 2005. 848 с.
- 18. Соболь И. М. Метод Монте-Карло. М.: Наука, 1978. 64 с.

Статья поступила в редакцию 12 ноября 2017 г.

УДК 622.2 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-85-94

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ РАЗДРОБЛЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ОСАДОЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Сергей Николаевич Шабаев shabaev81@rambler.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева Россия, Кемерово

Актуальность работы обусловлена тем, что качество автомобильных дорог открытых горных разработок оказывает значительное влияние на эффективность работы карьерного автотранспорта, при этом использование вскрышных и вмещающих горных пород может снизить капитальные и эксплуатационные затраты на устройство и содержание путей сообщения.

Шель работы: определить факторы, оказывающие значительное влияние на несущую способность раздробленных горных пород.

Методология исследования. На основе анализа ранее выполненных исследований дедуктивными методами выявляются факторы, влияющие на модуль упругости раздробленных горных пород осадочного происхождения, и определяются те из них, которые играют наибольшую роль в формировании несущей способности. Лабораторными экспериментами определяются зависимости объемной массы и статического модуля упругости раздробленных горных пород различного гранулометрического состава в зависимости от их влажности.

Результаты. Определено, что наибольшее влияние на несущую способность оказывают размер и плотность упаковки частиц раздробленной горной породы, ее влажность, а также содержание в ней пылевидных и глинистых частиц, при этом значительная роль последних трех факторов доказана экспериментальным путем. Факторами, которыми можно пренебречь, являются форма, шероховатость, прочность и сжимаемость частиц. Выводы. При использовании раздробленных горных пород осадочного происхождения для устройства конструктивных слоев дорожной одежды технологических автомобильных дорог для правильного прогнозирования несущей способности необходимо учитывать не только степень (коэффициент) уплотнения и (или) остаточную пустотность, но также и их физические параметры, а именно гранулометрический состав и влажность, в том числе оптимальную. В противном случае получаемые результаты характеризуют лишь частные случаи достижения того или иного модуля упругости и могут дать совершенно иные результаты в случае изменения любого из оказывающих значительное влияние факторов.

Ключевые слова: горные породы; модуль упругости; несущая способность; факторы; дороги; открытые горные разработки.

В современных условиях на эффективность работы карьерного автотранспорта значительное влияние оказывает качество автомобильных дорог открытых горных разработок [1]. При этом для сокращения капитальных и эксплуатационных затрат на строительство и содержание путей сообщения целесообразно использовать вскрышные и (или) вмещающие раздробленные горные породы карьеров (разрезов) для строительства земляного полотна и дорожных одежд [2].

Для устройства автомобильных дорог открытых горных разработок различные авторы предлагают использовать раздробленные горные породы, фракционированный щебень, асфальтобетонные и цементобетонные смеси [3–9]. Однако в проектной документации наибольшее распространение получил однофракционный (сортовой) щебень. В то же время дорожные одежды из щебня быстро разрушаются [1], поэтому целесообразно определить параметры раздробленных горных пород, определяющие возможность и эффективность их применения для устройства карьерных дорог.

Постановка цели и задач

Для повышения надежности прогнозирования несущей способности раздробленных горных пород, от которой зависит срок службы и качество технологических дорог, необходимо учесть максимальное количество факторов, влияющих на нее. В то же время, в соответствии с теорией планирования эксперимента, учет большого количества факторов, в том числе мало влияющих на параметр оптимизации (отклик), чрезмерно увеличивают трудоемкость эксперимента (число опытов). Следовательно, необходимо определить тот минимальный набор факторов, который позволит всесторонне охарактеризовать объект исследования без уточнения его некоторых менее значимых или не всегда проявляющихся особенностей.

Определение факторов

Для определения факторов, влияющих на несущую способность раздробленных горных пород, целесообразно обратиться к основам структурообразования зернистых сред, рассматриваемых в механике грунтов. Так, в работе [10] грунт рассматривается как совокупность зерен (частиц), связей (контактов), пор (пустот) и отношений. При этом под контактами понимается множество точек, которыми одна частица соприкасается с другими, а отношение – это возможность следования от одной частицы к другой через контакты. В соответствии с приложенной схемой свойства частиц характеризуются их размером, формой, площадью поверхности, шероховатостью, плотностью, сжимаемостью и прочностью.

Размер частиц – величина, обусловливающая несущую способность раздробленных горных пород, так как известно, что прочностные и деформационные характеристики грунта зависят от содержания частиц того или иного размера [11].

Форма частиц так же, как и их размер, оказывает влияние на физико-механические свойства грунтов, особенно на их прочностные показатели [10, 12]. Это особенно проявляется, когда одни частицы имеют четкую угловатую форму (например, щебенистые), а другие – максимально окатанную (например, гравийные). Так как в дальнейшем будут рассматриваться только частицы, полученные путем дробления (измельчения) вскрышных и вмещающих скальных и полускальных горных пород, то форма частиц во внимание принята не будет.

Площадь поверхности частиц, несмотря на выделение данного показателя в качестве отдельного свойства, зависит от размера частиц и их формы [10, 13]. Таким образом, правильнее рассматривать площадь поверхности частиц как производную от их формы и размера, а значит, данный фактор должен быть исключен при дальнейшем анализе.

При рассмотрении шероховатости поверхности частиц различные типы шероховатости обычно относят к двум группам – стекловидной с малым значением коэффициента трения и шероховатой с коэффициентом трения, значительно отличающимся от нуля [10]. Действительно, имеются горные породы, например кварцит, дробление которой

позволяет получить обломочный материал, который чрезвычайно сложно уплотнить, так как в ходе уплотняющего воздействия из-за малой шероховатости частиц они легко выдавливаются из-под уплотняющего органа. Подобное поведение характерно и для частиц, имеющих окатанную форму. Так как рассматриваются раздробленные горные породы преимущественно осадочного происхождения, состоящие из угловатых частиц с шероховатой поверхностью, то показатель шероховатости рассмотрен не будет.

Прочность осадочных горных пород может колебаться в очень широких пределах – от 1-2 до 250 МПа и более [11]. Данный фактор, с одной стороны, необходимо учитывать, так как накопленный практический опыт показывает, что обломочные материалы делят на легкоуплотняемые и трудноуплотняемые [14]. Деление выполнено с учетом прочности исходной горной породы, из которой получен обломочный материал в соответствии с ОДН 218.046-01, однако необходимо понимать, что прочность горной породы определяет и прочность частиц. Прочность частиц, оцениваемая, как правило, через марку по прочности по ГОСТ 8267-93*, обуславливает их измельчаемость в процессе уплотнения и многократных нагружениях в ходе эксплуатации, что, конечно, важно учитывать при устройстве земляного полотна и дорожных одежд технологических дорог в соответствии с СП 37.13330-2012 и СП 34.13330-2012. Однако при построении математической модели формирования несущей способности на этапе конструирования принимать во внимание это свойство очень затруднительно, так как интенсивность процесса измельчения зависит как от прочности частиц, так и от соотношения частиц различных размеров, числа приложений и величины расчетной нагрузки [14, 15]. В то же время именно через данный показатель можно отнести раздробленную горную породу к легкоуплотняемой или трудноуплотняемой. При этом к трудноуплотняемым раздробленным горным породам относят те, которые получены из изверженных и метаморфических горных пород марки по прочности на раздавливание в цилиндре в водонасыщенном состоянии (марки по прочности) 1000 и более, а к легкоуплотняемым – полученные из изверженных и метаморфических горных пород марки по прочности менее 1000 и осадочных горных пород независимо от марки по прочности [16]. Так как вскрышные и вмещающие горные породы преимущественно либо осадочного происхождения, либо изверженного или метаморфического, но с низкой маркой по прочности, то прочность частиц принята во внимание не будет.

В зернистых системах при воздействии внешней нагрузки сжиматься (деформироваться) будут как сами частицы, так и деформация будет происходить за счет сближения отдельных частиц. Но если модуль упругости осадочных горных пород составляет около 15 000–36 000 МПа [17, 18], то для зернистых сред этот показатель приблизительно в 100 раз меньше [14, 19]. В связи с этим сжимаемость частиц настолько мала по сравнению со сжимаемостью, обусловленной сближением частиц, что ею можно пренебречь.

Плотность частиц – показатель, обуславливающий объемную массу раздробленной горной породы, и его, безусловно, важно учитывать при прогнозировании и оценке плотности упаковки частиц, как известно, влияющей на несущую способность [20, 21].

Поры (пустоты) характеризуются видом их заполнения [10]. И если в наиболее общем варианте поры могут быть заполнены воздухом, жидкостью, а также быть свободными от всего этого, в условиях земной атмосферы они заполнены воздухом, водой (не принимая во внимание примеси, содержащиеся в воде), либо и тем и другим. При этом необходимо учитывать, что воздух и вода могут быть как защемленными (не сообщающимися с атмосферой), так и нет [21]. Для учета данных особенностей в качестве факторов логично использовать показатели влажности и пористости раздробленных горных пород, при этом существует оптимальная влажность, обуславливающая достижение максимальной объемной массы при заданном режиме уплотняющего воздействия, и предельная (минимальная) пористость, достигаемая при уплотнении при оптимальной влажности. Учет данных факторов должен быть обязателен, так как многочисленные исследования показывают, что именно от них в большей степени зависит несущая способность грунтов и дорожно-строительных материалов [20, 21 и др.].

Все образующиеся контакты между частицами условно делят на те, которые могут воспринимать растягивающие усилия, и те, которые их не воспринимают [10]. Из основ механики грунтов известно, что способностью воспринимать растягивающие усилия обладают пылевато-глинистые грунты, и она определяется преимущественно частицами, имеющими размер менее 0,05 мм (пылевидными) и особенно менее 0,005 (0,002) мм (глинистыми) [11]. Таким образом, если в раздробленной горной породе содержатся пылевидные и глинистые частицы, то необходимо это учитывать при прогнозировании ее несущей способности. Несмотря на то, что размер частиц рассматривается в качестве фактора и на первый взгляд формируется его дубликат, все же необходимо данный показатель рассмотреть в качестве независимого фактора, так как механика поведения таких мелких частиц отлична от механики поведения частиц большего размера.

Все факторы, а также их роль в формировании несущей способности раздробленных горных пород осадочного происхождения сведены в табл. 1.

Таблица 1. Факторы, влияющие на несущую способность раздробленных горных пород осадочного происхождения. Table 1. Factors affecting the bearing capacity of crushed rocks of sedimentary origin.

Фактор	Степень влияния фактора
Размер частиц D	Значительная
Форма частиц Ф	Незначительная
Шероховатость частиц Ш	Незначительная
Прочность частиц R	Незначительная
Сжимаемость частиц ψ	Незначительная
Плотность частиц р	Значительная
Пористость <i>п</i>	Значительная
Влажность W	Значительная
Содержание пылевидных и глинистых частиц п	Значительная

Для сокращения числа факторов два из них, а именно, плотность частиц и пористость раздробленной горной породы, заменим одним – плотность упаковки частиц. Данную замену можно сделать, так как плотность упаковки частиц является той величиной, которая одновременно учитывает и плотность частиц, и пористость раздробленной горной породы.

Таким образом, зависимость модуля упругости раздробленных горных пород осадочного происхождения от влияющих факторов можно записать в общем виде:

$$E = f(D, v, W, \eta).$$

Исследования

Для проверки данных, полученных по результатам выполненного обзора, был поставлен лабораторный эксперимент, заключающийся в определении объемной массы и статического модуля упругости раздробленных горных пород осадочного происхождения (прочный мелкозернистый песчаник, преимущественно на кварцевом цементе) различного гранулометрического состава в зависимости от их влажности и метода уплотняющего воздействия. При статическом методе уплотняющего воздействия раздробленная горные породы уплотнялись на прессе под давлением 2,5 МПа, а при вибрационном – путем уплотнения на виброплощадке при амплитуде колебаний 0,40 ± 0,05 мм и частоте колебаний 48 ± 3 Гц с постоянным пригрузом, обеспечивающим давление 4 кПа. Гранулометрические составы раздробленных горных пород приведены в табл. 2, их параметры – в табл. 3, результаты эксперимента – в табл. 4–6 и на рис. 1–6.

Таблица 2. Гранулометрические составы раздробленных горных пород. Table 2. Granulometric compositions of crushed rocks.

Памасана 0/				Размер с	тверстий (яч	еек) сит, мм			
Показатели, %	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,05	Поддон
			Гранулом	етрический	состав № 1				
Частный остаток	35,8	11,2	11,0	11,0	7,0	5,0	5,0	6,0	8,0
Полный остаток	35,8	47,0	58,0	69,0	76,0	81,0	86,0	92,0	100,0
Полный проход	64,2	53,0	42,0	31,0	24,0	19,0	14,0	8,0	0,0
			Гранулом	етрический	состав № 2				
Частный остаток	55,8	6,9	6,1	5,9	5,1	3,2	3,0	5,2	8,8
Полный остаток	55,8	62,7	68,8	74,7	79,8	83,0	86,0	91,2	100,0
Полный проход	44,2	37,3	31,2	25,3	20,2	17,0	14,0	8,8	0,0
			Гранулом	етрический	состав № 3				
Частный остаток	35,8	7,9	7,1	6,9	6,1	3,9	4,1	7,4	20,8
Полный остаток	35,8	43,7	50,8	57,7	63,8	67,7	71,8	79,2	100,0
Полный проход	64,2	56,3	49,2	42,3	36,2	32,3	28,2	20,8	0

Таблица 3. Параметры раздробленных горных пород. Table 3. Parameters of crushed rocks.

Параметры	Значение параметра для раздробленной горной породы гранулометрического состава							
_	1	2	3					
Средневзвешенное значение размера частиц, мм	6,937	9,304	6,455					
Удельная поверхность частиц, м²/кг	2,329	2,359	5,085					
Плотность частиц, кг/м³		2620						
Оптимальная влажность, %, при статическом методе уплотняющего воздействия, %	7,10	7,13	9,69					
Оптимальная влажность, %, при вибрационном методе уплотняющего воздействия, %	5,46	5,48	7,14					

Таблица 4. Результаты эксперимента по определению объемной массы и статического модуля упругости раздробленной горной породы гранулометрического состава 1.

Table 4. The results of the experiment to determine the volume mass and static modulus of elasticity fractured rock particle-size composition 1.

Метод уплотняю-	Определяемый			Зна	чение	парам	етра п	ри вла	жност	и разд	роблен	ной го	рной і	породь	ı, %		
щего воздействия	параметр	3,50	4,00	4,50	4,75	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00
	Объемная мас- са, кг/м³	2120	2130	2120	2180	2260	2330	2330	2350	2320	_	_	_	_	_	_	_
Вибрационный	Статический модуль упруго- сти. МПа	266	250	235	235	258	262	251	238	263	_	_	_	_	_	_	
	Объемная мас- са, кг/м³	_	_	_	_	_	_	_			2100	2140	2130	2170	2160	2180	2170
Статический	Статический модуль упруго- сти, МПа	_	_	_	_	_	_	_	168	150	167	150	142	156	143	141	140

Таблица 5. Результаты эксперимента по определению объемной массы и статического модуля упругости раздробленной горной породы гранулометрического состава 2.

Table 5. The results of the experiment to determine the volume mass and static modulus of elasticity crushed rock of granulometric composition 2.

Метод уплотняю- щего воздействия	Определяе-	Значение параметра при влажности раздробленной горной породы, %														
	мый параметр	3,50	4,00	4,25	4,50	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,50	8,00
	Объемная масса, кг/м³	2090	2080	2090	2100	2140	2180	2230	2240	2230	_	_	_	_	_	_
Вибрационный	Зибрационный Статический модуль упру- гости, МПа	310	250	251	209	212	235	206	210	205	_	_	_	_	_	_
O	Объемная масса, кг/м³	_	-	-	-	-	-	2060	2060	2100	2140	2200	2230	2250	2230	2240
Статический	Статический модуль упру- гости, МПа	_	_	_	_	_	_	195	167	185	170	157	177	160	167	152

Таблица 6. Результаты эксперимента по определению объемной массы и статического модуля упругости раздробленной горной породы гранулометрического состава 3.

Table 6. The results of the experiment to determine the volume mass and static modulus of elasticity crushed rock of granulometric composition 3.

Метод уплотняю-	Определяемый		Значение параметра при влажности раздробленной горной породы, %													
щего воздействия	параметр	4,75	5,25	5,75	6,25	6,75	7,25	7,75	8,25	8,50	8,75	9,25	9,50	9,75	10,00	10,25
	Объемная масса, кг/м³	2130	2130	2130	2140	2150	2260	2310	2320	2320	_	_	_	_	_	_
Вибрационный	ий Статический модуль упруго- сти, МПа 282	282	303	282	264	270	277	270	271	271	_	_	_	_	_	_
	Объемная масса, кг/м³	_	_	_	_	_	2110	2120	2160	_	2150	2180	2200	2210	2220	2210
Статический	Статический модуль упруго- сти. МПа	_	_	_	_	_	165	163	148	_	129	108	124	120	130	125

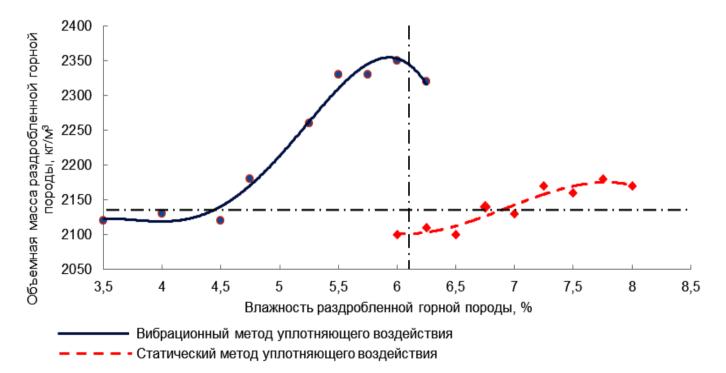


Рисунок 1. Зависимость объемной массы раздробленной горной породы гранулометрического состава 1 от ее влажности и метода уплотняющего воздействия.

Figure 1. The dependence of the volume mass of the crushed rock of granulometric composition 1 on its moisture content and the method of compaction.

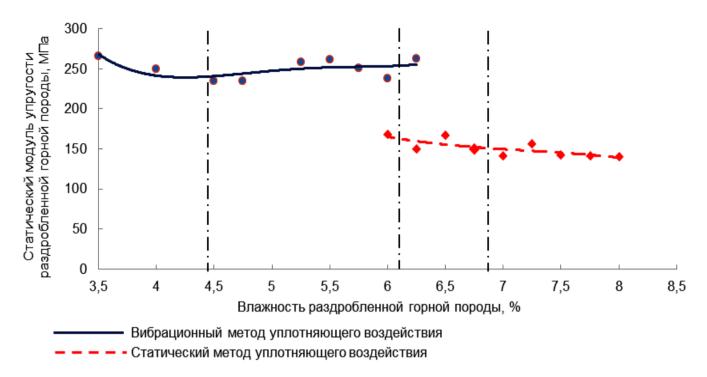


Рисунок 2. Зависимость статического модуля упругости раздробленной горной породы гранулометрического состава 1 от ее влажности и метода уплотняющего воздействия.

Figure 2. Dependence of the static modulus of elasticity of the fractured rock granulometric composition 1 of its moisture and the

Figure 2. Dependence of the static modulus of elasticity of the fractured rock granulometric composition 1 of its moisture and the method of sealing action.

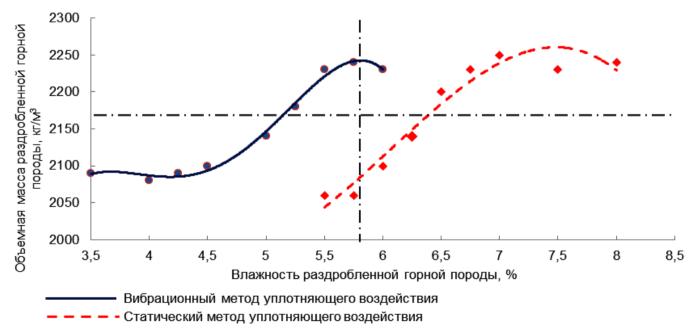


Рисунок 3. Зависимость объемной массы раздробленной горной породы гранулометрического состава 2 от ее влажности и метода уплотняющего воздействия.

Figure 3. The dependence of the volume mass of crushed rock of granulometric composition 2 on its moisture content and the method of compaction.

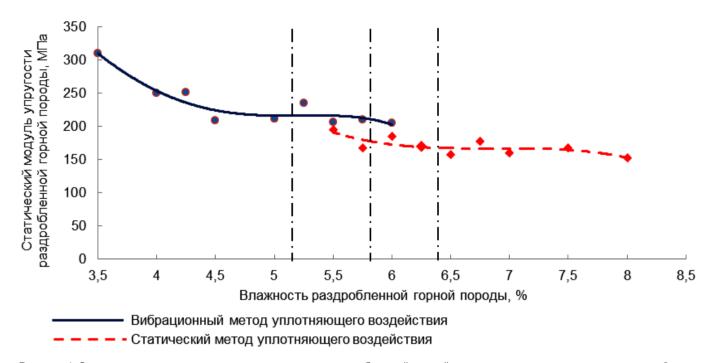


Рисунок 4. Зависимость статического модуля упругости раздробленной горной породы гранулометрического состава 2 от ее влажности и метода уплотняющего воздействия.

Figure 4. Dependence of the static modulus of elasticity of the fractured rock granulometric composition 2 from its moisture and the method of sealing action.

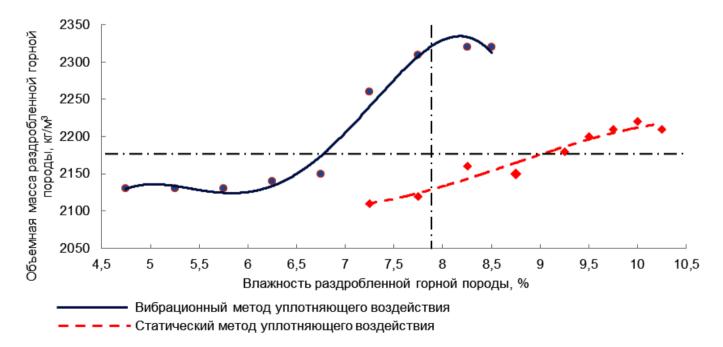


Рисунок 5. Зависимость объемной массы раздробленной горной породы гранулометрического состава 3 от ее влажности и метода уплотняющего воздействия.

Figure 5. The dependence of the volume mass of the crushed rock of granulometric composition 3 on its moisture content and the method of compaction.

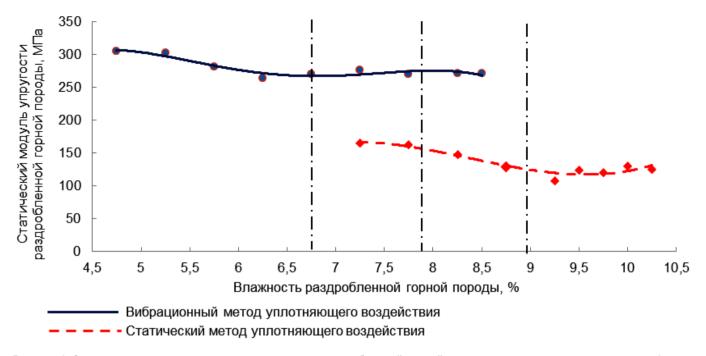


Рисунок 6. Зависимость статического модуля упругости раздробленной горной породы гранулометрического состава 3 от ее влажности и метода уплотняющего воздействия.

Figure 6. Dependence of the static modulus of elasticity of the fractured rock granulometric composition 3 from its moisture and the method of sealing action.

Результаты

При анализе полученных результатов установлено следующее.

- 1. Во всех случаях при одной и той же влажности раздробленной горной породы одного гранулометрического состава (например, для состава 1 – 6,1 %, состава 2 – 5,8 %, состава 3 – 7,9 %) объемная масса и статический модуль упругости выше при вибрационном методе уплотнения, чем при статическом. Так как средневзвешенный размер частиц, влажность и содержание пылевидных и глинистых частиц в пределах раздробленной горной породы одного состава являются константами, то отличие статического модуля упругости объясняется различием в плотности упаковки частиц, причем чем больше плотность упаковки частиц, тем больше статический модуль упругости, что подтверждается результатами всех предыдущих исследований. В то же время для раздробленной горной породы состава 1 увеличение плотности упаковки частиц на 11–12 % привело к росту статического модуля упругости на 50–60 %, для раздробленной горной породы состава № 2 плотность упаковки возросла на 7–8 %, при этом статический модуль упругости увеличился на 15–20 %, для раздробленной горной породы состава 3 увеличение плотности упаковки на 8,5–9,5 % привело к увеличению статического модуля упругости на 75-80 %. Это свидетельствует о том, что рост модуля упругости с увеличением плотности упаковки для раздробленных горных пород отличающихся составов имеет различную тенденцию, что обусловлено одновременным влиянием других факторов, о чем в ранее опубликованных работах не отмечалось. Так, например, по данным С. А. Арефьева и Ю. И. Леля, модуль упругости слоя из щебня фракции 40–80 мм, устроенного по способу заклинки после уплотнения карьерными автосамосвалами при увеличении объемной массы приблизительно на 30 %, возрастает от 150 до 270 МПа, а результаты исследований А. Ю. Дедюхина, В. Н. Дмитриева, И. Н. Кручинина, Д. Г. Неволина и других показывают, что такое же увеличение объемной массы ведет к росту модуля упругости от 120 до 500 МПа и более.
- 2. Для каждой из рассмотренных раздробленных горных пород характерно при одной и той же объемной массе снижение статического модуля упругости с увеличением влажности. В этом случае средневзвешенный размер частиц, плотность упаковки частиц и содержание пылевидных и глинистых частиц в пределах раздробленной горной породы одного состава есть величины постоянные, следовательно, чем больше влажность раздробленной горной породы, тем меньше статический модуль упругости. Для раздробленной горной породы состава 1 увеличение влажности на 2,4 % (по абсолютной величине) снизило статический модуль упругости на 35–40 %, для раздробленной горной породы состава 2 увеличение влажности на 1,2 % дало снижение на 20–25 %, а для раздробленной горной породы состава 3 возросшая на 2,2 % влажность привела к падению статического модуля упругости приблизительно в два раза. К сожалению, в проведенных ранее С. А. Арефьевым, С. В. Богомоловым, И. В. Зыряновым, А. Г. Колчановым, Ю. И. Лелем, Ю. В. Стениным и другими исследованиях в области проектирования и строительства карьерных автомобильных дорог отсутствует информация об оптимальной влажности применяемых зернистых сред, а также фактической влажности, при которой определялись физико-механические характеристики. При этом известно, что оптимальная влажность зависит от вида и интенсивности уплотняющего воздействия, а значит, является переменной величиной, т. е. фактором. Таким образом, данный фактор не принимался во внимание, что является существенным упущением.
- 3. Раздробленная горная порода гранулометрического состава 1 имеет средневзвешенное значение размера частиц 6,937 мм, а раздробленная горная порода гранулометрического состава 2 9,304 мм, т. е. состав 2 является более круп-

ным по сравнению с составом 1. При этом содержание пылевидных и глинистых частиц в обоих случаях приблизительно одинаковое и составляет 8,0 % и 8,8 %. Следовательно, раздробленная горная порода состава 2 в соответствии с проведенным обзором должна иметь более высокое значение статического модуля упругости по сравнению с раздробленной горной породой состава 1. Однако, как видно из результатов эксперимента, это не так. Объяснить данное противоречие можно, если дополнительно проанализировать плотность упаковки частиц раздробленных горных пород обоих составов. Максимальная плотность упаковки частиц раздробленной горной породы гранулометрического состава 1 равна 0,90, а состава 2 – 0,86. Таким образом, плотность упаковки частиц раздробленной горной породы состава 1 приблизительно на 5 % больше, чем состава 2, а из первого вывода понятно, что такое увеличение плотности упаковки частиц приводит к значительному росту статического модуля упругости. Если рассмотреть одну и ту же плотность упаковки частиц в раздробленных горных породах обоих составов, то объемная масса при вибрационном методе уплотнения раздробленной горной породы гранулометрического состава 2, равная 2200 кг/м³, достигается при влажности приблизительно 5,4 %, а для раздробленной горной породы состава 1 – при влажности приблизительно 4,9 %. Значит, раздробленная горная порода состава 2 имеет по абсолютной величине влажность на 0,5 % большую, чем раздробленная горная порода состава 1. В этом случае логично, что статический модуль упругости при составе 2 приблизительно на 15 % ниже, чем при составе 1, что в целом соответствует выводу 2. Можно сказать, что данными экспериментами подтвердить влияние крупности частиц раздробленной горной породы на ее статический модуль упругости не удалось, так как на несущую способность кроме крупности частиц также оказывали влияние плотность упаковки частиц и влажность, а другие результаты исследований, посвященных изучению этого вопроса, отсутствуют.

4. Если оценить несущую способность раздробленной горной породы состава 3 по сравнению с составом 1, то можно отметить, что при вибрационном методе уплотняющего воздействия статический модуль упругости раздробленной горной породы состава 3 несколько выше, а при статическом методе уплотняющего воздействия несколько ниже, чем раздробленной горной породы состава 1. При этом с учетом приблизительно одинакового средневзвешенного размера частиц при вибрационном методе уплотняющего воздействия плотность упаковки частиц при составе 1 несколько выше, чем при составе 3, а при статическом методе уплотняющего воздействия, наоборот, несколько ниже. В то же время влажность раздробленной горной породы состава 3 значительно выше, чем состава 1, следовательно, несущая способность должна быть значительно ниже. Однако этого не наблюдается, так как содержание пылевидных и глинистых частиц в составе 3 на 12,8 % (по абсолютной величине) больше, чем в составе 1, т. е. проявился фактор содержания пылевидных и глинистых частиц, который и увеличил статический модуль упругости, даже несмотря на негативное влияние других факторов. Из обзора литературных источников ясно, что специальных исследований, посвященных этому вопросу, нет, однако, как показывают приведенные результаты, данный фактор необходимо учитывать при оценке модуля упругости раздробленных горных пород.

Выводы

Результаты проведенного эксперимента подтвердили влияние трех факторов на несущую способность раздробленных горных пород – плотности упаковки частиц, влажности и содержания пылевидных и глинистых частиц. Влияние крупности частиц выявить не удалось из-за совместного влияния других факторов, в связи с чем требуются дополнительные исследования.

Таким образом, при использовании раздробленных горных пород осадочного происхождения для устройства конструктивных слоев дорожной одежды технологических автомобильных дорог для правильного прогнозирования несущей способности необходимо учитывать не только степень (коэффициент) уплотнения и (или) остаточную пустотность, но также и их физические параметры, а именно гранулометрический состав и влажность, в том числе оптимальную. В противном случае получаемые результаты характеризуют лишь частные случаи достижения того или иного модуля упругости и могут дать совершенно иные результаты в случае изменения любого из оказывающих значительное влияние факторов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Арефьев С. А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2015. 179 с.
- 2. Афиногенов О. П., Шаламанов В. А., Шабаев С. Н. и др. Карьерные автомобильные дороги: совершенствование методов проектирования земляного полотна и дорожных одежд. Кемерово: ООО «Офсет», 2015. 222 с.
- 3. Du C.-F., Li L. Development and characterization of formulation of dust-suppressant used for stope road in open-pit mines // Journal of Coal Science and Engineering. 2013. Vol. 19, issue 2. P. 219–225.
- 4. Moldovan D. V., Chernobai V. I. The rock pile quality control during the blasting operations at the construction materials open-cast mines // Journal of Industrial Pollution Control. 2017. Vol. 33, issue 1. P. 1007–1012.
- 5. Khristoforova A. A., Sokolova M. D., Filippov S. E., Semenova S. M., Gogolev I. N. Perspectives of technogenic raw stuff and nanomodifiers at career roads building // Chemical technologies and nanomaterials: the materials of the international conference (Yakutsk, February 11–12, 2014). Ставрополь: Изд-во «Центр научного знания «Логос», 2014. Р. 41–46.
- 6. Khristoforova A. A., Sokolova M. D., Zarovnyaev B. N., Akishev A. N. Prospects for modified bitumen in construction of semi-steep pit roads // Mining Journal. 2016, issue 3. P. 47–50.
- 7. Solovyev G. V., Vatchnadze K. I. Improving of Performance Characteristics During Mechanical Stabilization of Quarry Haul Roads with Stiff Polymeric Tensar Triax Hexagonal Geogrid // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. P. 666–672.
- 8. Jackson S. L. Dusty roads and disconnections: Perceptions of dust from unpaved mining roads in Mongolia's South Gobi province // Geoforum. 2015. Vol. 66. P. 94–105.
- 9. King B., Goycoolea M., Newman A. Optimizing the open pit-to-underground mining transition // European Journal of Operational Research. 2017. Vol. 257. P. 297–309.
- 10. Кандауров И. И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве. 2-е изд., испр. и перераб. Л.: Стройиздат, Ленингр. отдние, 1988. 280 с.
- 11. Лысенко М. П. Состав и физико-механические свойства грунтов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1980. 272 с.

- 12. Иванов П. Л., Шульц Л. В. Влияние формы частиц на свойства песков намывных сооружений // Гидротехническое строительство. 1972. № 11. С. 47–49.
- 13. Королев И. В. Пути экономии битума в дорожном строительстве. М.: Транспорт, 1986. 149 с.
- 14. Применение местных каменных материалов и отходов промышленности для строительства оснований дорожных одежд: сб. науч. тр. / под ред. В. М. Юмашева. М.: Союздорнии, 1987. 320 с.
- 15. Юмашев В. М., Туренк К. Применение малопрочных каменных материалов // Автомобильные дороги. 1990. № 7. С. 17–18.
- 16. Васильев, А. П., Марышев Б. С., Силкин В. В. и др. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: справ. энциклопедия дорожника (СЭД). М.: Информавтодор, 2005. Т. І. 646 с.
- 17. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: справочник / Г. Г. Штумпф [и др.]. М.: Недра, 1994. 447 с.
- 18. Особенности открытой добычи и переработки углей сложноструктурных месторождений Кузбасса / И. А. Паначев [и др.]. Кемерово: Кузбассвузиздат, 1997. 220 с.
- 19. Добров Э. М., Каменецкая Л. Б., Иванова Т. М. Влияние состава крупнообломочных грунтов на их физико-механические свойства // Тр. Союздорнии. 1972. Вып. 80. С. 107–128.
- тр. Союздорнии. 1972. Бын. 60. С. 107-126. 20. Калужский Л. А., Батраков О. П. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд. М.: Транспорт, 1971. 158 с.
- 21. Авакян Л. А. Уплотнение крупнообломочных грунтов трамбованием и вибрацией // Изв. ТНИСГЭИ. 1966. Т. 16 (50). С. 409-413.

Статья поступила в редакцию 2 апреля 2018 г.

УДК 622.2 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-85-94

The factors which influence the bearing capacity of the fractured rocks of sedimentary origin

Sergey Nikolaevich Shabaev shabaev81@rambler.ru

T. F Gorbachev Kuzbass State Technical University Kemerovo, Russia

The relevance of the work is conditioned by the fact that the quality of open-pit mining roads has a significant impact on the efficiency of quarry vehicles. At the same time, the use of overburden and host rocks can reduce capital costs as well as operating costs for the arrangement and the maintenance of communication routes.

The purpose of the work is to determine the factors that have a significant impact on the bearing capacity of crushed rocks.

Research methodology is based on the analysis of previously performed studies by deductive methods. The factors which affect the modulus of elasticity of fractured rocks of sedimentary origin are identified. Those, which play the greatest role in the formation of the bearing capacity, are determined. Laboratory experiments determine the dependence between the volume mass and static modulus of elasticity of crushed rocks of different particle size distribution. This depends on their humidity.

Results. It is determined that the greatest influence on the bearing capacity is the size and density of the packaging of the crushed rock particles. Its moisture content, as well as the content of dust and clay particles in it are also important. The significant role of the last three factors was proved experimentally. Factors that can be neglected are shape, roughness, strength and compressibility of the particles.

Summary. When using crushed rocks of sedimentary origin for the device of structural layers of road pavement technological roads for the correct prediction of the bearing capacity we must not only take into account the degree (coefficient) of compaction and (or) residual voidness. We should also consider their physical parameters, namely the grain size distribution and humidity, including the optimal one. Otherwise, the results obtained characterize only particular cases of achieving a particular elastic modulus. They will give completely different results in case of changes in any of the factors which have a significant impact.

Keywords: rocks; modulus of elasticity; bearing capacity; factors; roads; open mining.

REFERENCES

- 1. Arefyev S. A. 2015, Otsenka i obosnovaniye ratsional'nykh dorozhnykh usloviy ekspluatatsii kar'yernykh avtosamosvalov bol'shov 1. Areiyev S. A. 2015, Otsenka i obosnovaniye raisional nykn doroznnykn usloviy ekspluatatsii kar yernykn avtosamosvalov bol snoy gruzopod'yomnosti: dis. ... kand. tekhn. nauk [Estimation and substantiation of rational road conditions of exploitation of quarry dump trucks with large carrying capacity: dissertation of the Candidate of technical Sciences]. Ekaterinburg, 179 p.
 2. Afinogenov O. P., Shalamanov V. A., Shabayev S. N. and others. 2015, Kar'yernyye avtomobil'nyye dorogi: sovershenstvovaniye metodov proyektirovaniya zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Pit roads: improvement of methods of designing the roadbed and road clothes].
- Kemerovo, 222 p.
 3. Du C.-F., Li L. 2013, Development and characterization of formulation of dust-suppressant used for stop road in open-pit mines. *Journal of Coal*
- Science and Engineering, vol. 19, issue 2, pp. 219–225.

 4. Moldovan D. V., Chernobai V. I. 2017, The rock pile quality control during the blasting operations at the construction materials open-cast mines.

 Journal of Industrial Pollution Control, vol. 33, issue 1, pp. 1007–1012.

 5. Khristoforova A. A., Sokolova M. D., Filippov S. E., Semenova S. M., Gogolev I. N. 2014, Perspectives of technical raw stuff and nanomodifiers at career roads building. Chemical technologies and nanomaterials: the materials of the international conference (Yakutsk, February 11–12, 2014).
- Stavropol, pp. 41–46.
 6. Khristoforova A. A., Sokolova M. D., Zarovnyaev B. N., Akishev A. N. 2016, Prospects for modified bitumen in construction of semi-steep roads pit. *Mining Journal*, issue 3, pp. 47–50.
 7. Solovyev G. V., Vatchnadze K. I. 2017, Improving of Performance Characteristics During Mechanical Stabilization of Quarry Haul Roads with
- Stiff Polymeric Tensar Triax Hexagonal Geogrid. *Procedia Engineering*, vol. 189, pp. 666–672.

 8. Jackson S. L. 2015, Dusty roads and disconnections: Perceptions of dust from unpaved mining roads in Mongolia's South Gobi province. *Geoforum*, vol. 66, pp. 94–105.
- 9. King B., Goycoolea M., Newman A. 2017, Optimizing the open pit-to-underground mining transition. *European Journal of Operational Research*, vol. 257, pp. 297–309.
- vol. 257, pp. 297–309.

 10. Kandaurov I. I. *Mekhanika zernistykh sred i yeye primeneniye v stroitel'stve. Izd. 2-e. ispr. i dop.* [Mechanics of granular media and its application in construction]. Ed. 2nd, corr. and rev. Leningrad, 1988. 280 p.

 11. Lysenko M. P. 1980, *Sostav i fiziko-mekhanicheskiye svoystva gruntov. Izd. 2-e. pererab. i dop.* [Composition and physical and mechanical properties of soils. Ed. 2nd, rev. and add.]. Moscow, 272 p.

 12. Ivanov P. L., Shultz L. V. 1972, *Vliyaniye formy chastits na svoystva peskov namyvnykh sooruzheniy* [The influence of particle shape on the properties of the sand alluvial structures]. *Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo* [Power Technology and Engineering], no. 11, pp. 47–49.

 13. Korolev I. V. 1986, *Puti ekonomii bituma v dorozhnom stroitel'stve* [Ways to save bitumen in road construction]. Moscow, 149 p.

- 14. 1987, Primeneniye mestnykh kamennykh materialov i otkhodov promyshlennosti dlya stroiteľ stva osnovaniy dorozhnykh odezhd: sb. nauch. [The use of local stone materials and industrial waste for the construction of foundations of road clothes], edited by V. M. Yumashev. Moscow,

- tr. [The use of local stone materials and industrial waste for the construction of foundations of road clothes], edited by V. M. Yumashev. Moscow, 320 p.

 15. Yumashev V. M., Turek K. 1990, Primeneniye maloprochnykh kamennykh materialov [Applying the low-strength masonry materials] Automobil'nyye dorogi [Highways], no. 7, pp. 17–18.

 16. Vasil'yev, A. P., Maryshev B. S., Silkin V. V. and others. 2005, Stroitel'stvo i rekonstruktsiya automobil'nykh dorog: sprav. entsiklopediya dorozhnika (SED) [Construction and reconstruction of roads: reference. Encyclopedia of road builders]. Moscow, vol. I, 646 p.

 17. 1994, Fiziko-tekhnicheskiye svoystva gornykh porod i ugley Kuznetskogo basseyna: spravochnik. G. G. Shtumpf [i dr.] [Physical and technical properties of rocks and coals of the Kuznetsk basin: reference. G. G. Stumpf [and others]]. Moscow, 447 p.

 18. Panachev I. A. and others. 1997, Osobennosti otkrytoy dobychi i pererabotki ugley slozhnostrukturnykh mestorozhdeniy Kuzbassa [Features of open mining and processing of coal deposits of complex structure Kuzbass]. Kemerovo, 220 p.

 19. Dobrov E. M., Kamenetsky L. B., Ivanova T. M. 1972, Vliyaniye sostava krupnooblomochnykh gruntov na ikh fiziko-mekhanicheskiye svoystva. [The influence of the composition of coarse-grained soils in their physical and mechanical properties]. Trudy Soyuzdornii [Proceedings of the Soyuzdornii], issue 80, pp. 107–128.

 20. Kaluzhsky L. A. Batrakov O. P. 1971, Uplotnenive zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Compaction of subgrade and road payement].
- 20. Kaluzhsky L. A., Batrakov O. P. 1971, Uplotneniye zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd [Compaction of subgrade and road pavement], Moscow, 158 p.
- 21. Avakyan L. A. 1966, Uplotneniye krupnooblomochnykh gruntov trambovaniyem i vibratsiyey [Compaction of coarse-grained soils compaction and vibration]. Izv. TNISGEI [Bullettin of Tbilisi Research Institute of buildings and hydropower], vol. 16 (50), pp. 409-413.

The article was received on April 2, 2018

УДК 504.55.054:622(470.6) DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-95-101

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ В ПРИГОТОВЛЕНИИ ТВЕРДЕЮЩИХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Владимир Иванович Голик¹, v.i.golik@mail.ru Юрий Витальевич Дмитрак¹, Чжун Чан² Станислав Александрович Масленников³ ¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) Россия, Владикавказ ²Китайский геологический университет Китай, Пекин ³Донской государственный технический университет, ИСОиП Россия, Ростовская обл., Шахты

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения полноты использования извлекаемого из недр металлического минерального сырья и комплексности его использования путем увеличения области применения новых природоохранных и ресурсосберегающих технологий, использующих малоисследованные резервы производства.

Шель работы: обоснование технологической возможности и целесообразности использования отходов обогатительного и металлургического производств для изготовления твердеющих закладочных смесей с повышением их активности в активаторах типа «дезинтегратор» одновременно с извлечением остаточных металлов.

Методология исследования: анализ теории и передового опыта, промышленный и лабораторный эксперимент, интерпретация результатов исследований.

Результаты. Природо- и ресурсосберегающие тенденции развития горнодобывающих отраслей реализуются в условиях, когда в перспективе многих горнодобывающих предприятий России наметилась тенденция перехода к подземной разработке рудных месторождений с использованием камерных вариантов технологии с заполнением технологических пустот твердеющими смесями. Сформулирована проблема обеспечения горных работ сырьем для изготовления твердеющих смесей, добыча которого открытым способом в связи с разрушением земной поверхности экологически некорректна. Показано, что решение проблемы обеспечения сырьем для приготовления твердеющих смесей в виде хвостов обогашения и металлургии связано с необходимостью извлечения из них редких и благородных металлов. Приведены результаты промышленного эксперимента использования механохимической активации металлосодержащего некондиционного сырья, позволяющей извлекать металлы и повышать активность хвостов до состояния, когда они проявляют вяжущие свойства. Описаны направления совершенствования активаторов для достижения целей механохимической технологии.

Заключение. Предлагаемая технология является реальной возможностью решать проблемы обеспечения сырьевой базы и облегчения нагрузки на окружающую природную среду. Горно-геологические условия и тенденции природосбережения делают предпочтительными варианты технологий с заполнением техногенных пустот твердеющими смесями. Перспективным направлением утилизации металлосодержащего некондиционного сырья, позволяющим не только извлечь металлы, но и повысить активность хвостов, является механохимическая активация процессов выщелачивания в дезинтеграторе.

Ключевые слова: металл; минеральное сырье; отходы переработки; бетонная смесь; дезинтегратор; механохимическая активация; вяжущие свойства.

Ведение
На современной стадии развития горного производства увеличивается актуальность проблем полноты извлечения сырья из недр и комплексности его использования. Объективными критериями полноты использования недр являются потери и разубоживание руд, а результирующим критерием – извлечение металлов на заключительном этапе перед отправкой потребителю. Эколого-экономическая эффективность горнопромышленного комплекса характеризуется материальными, энергетическими и прочими затратами на производство продукции при условии сохранения земной поверхности и природных экосистем.

Приобретает права гражданства положение, что при определении прибыли от добычи полезных ископаемых должны учитываться и те ресурсы, которые не извлечены из недр, или же извлечены, но оказались неиспользованными.

Предметом исследований становится поиск неиспользуемых ресурсов совершенствования горного производства, в том числе нетрадиционные технологии добычи и переработки минерального сырья [1–2].

Темой многих исследований последнего времени становится поиск возможности объединения нередко противоборствующих направлений в развитии горного производства: ускорение темпов и увеличение объемов добычи руд из недр и сохранение экологии на земной поверхности. Такое противостояние объясняется отставанием возможностей переработки руд от возможностей их добычи, свидетельством чего является непрерывное увеличение объемов переработки руд.

Целью настоящей работы является обоснование возможности увеличения диапазона природо- и ресурсосберегающих технологий разработки с закладкой техногенных пустот твердеющими смесями, изготовленными на основе утилизируемых хвостов переработки руд. Отличительной особенностью исследования является экспериментальное доказательство возможности извлечения металлов из хвостов обогащения выщелачиванием в активаторе, что позволяет использовать конечный продукт переработки без ограничений по санитарным условиям.

Методология исследований подобного рода включает в себя анализ проблемы и опыта применения технологических решений в практике развитых предприятий, экспериментальные исследования и выдачу обоснованных рекомендаций по использованию в практической хозяйственной деятельности горных предприятий.

Результаты

Текущая обеспеченность базовых отраслей экономики России разведанными запасами рудных полезных ископаемых представляется удовлетворительной. В то же время наметились или обострились проблемы МСБ цветных металлов. Не обеспечен собственным сырьем ряд медеплавильных заводов Урала: Красноуральский, Среднеуральский, Карабашский, Медногорский. В сложном положении находятся металлургические комбинаты «Печенганикель» и «Североникель». Без достаточной сырьевой базы работают свинцово-цинковые рудники Читинской области, Приморья и Северного Кавказа, оловянные – в Хабаровском и Приморском краях, вольфрамовые – в Приморском крае.

Среди прочих руд выделяют химически вскрываемые руды цветных металлов, которые перерабатываются гидрометаллургическими методами: меди, золота, цинка и др.

К настоящему времени большинство запасов рудных месторождений не может извлекаться открытым способом не только по экономическим соображениям, но еще и потому, что они вступают в конфликт с обеспечением жизненных условий для живого вещества. Поэтому горным предприятиям предстоит освоение технологий разработки месторождений подземным способом [3–6]. Большинство научных работ в области повышения эффективности разработки месторождений полезных ископаемых посвящены проблеме обеспечения предприятий сырьем для изготовления закладочных твердеющих смесей [7–8].

Очевидно, что таким сырьем могут быть накопленные запасы хвостов переработки руд, но препятствием для их использования является наличие в них металлов. Современная практика свидетельствует, что прогресс техники позволит извлекать теряемые ныне металлы, ценность которых может превышать стоимость извлеченных металлов.

Доля неизвлеченных компонентов в хвостах обогащения руд цветных металлов составляет в средних и максимальных значениях, %: олова - 35 и 58; вольфрама - 30 и 50; цинка - 26 и 47; свинца - 23 и 39; молибдена - 19 и 53; меди - 13 и 36; никеля - 10 и 25. Показатель извлечения основных элементов в цветной металлургии России составляет 65-78 %, а попутных элементов - от 10 до 30 %. Извлечение Мо, Cd, Sb, Se, Te, Re колеблется в достаточно широком диапазоне значений. Практически полностью остаются в хвостах флотации In, Ga, Tl, Bi, Hg.

В медной подотрасли Урала накоплено 220 млн т хвостов обогащения, в которых содержание меди (0,34-0,37%) близко к кондиционному (0,35-0,5%). Наибольшую ценность в хвостах обогащения уральских руд представляют сера (30-50%) общей стоимости хвостов), драгоценные металлы (25-45%), медь (10-20%) и цинк (10-15%).

Хвосты обогащения медно-никелевых руд Норильского рудного узла содержат промышленные даже для современных технологий переработки концентрации платиноидов, золота и серебра.

При обогащении вольфрамо-молибденовых руд не извлекаются до 60 % меди, до 81 % висмута, до 62 % тантала, золото, серебро и другие элементы. На Тырныаузском комбинате кондиционными считались руды с содержанием 0,1 % WO₃. На долю кондиционных руд приходилось всего 14 % добытой горной массы. В этих рудах содержится лишь 34,6 % полезного компонента. Некондиционные руды 86,5 % добытой горной массы уходят в отвал, унося 65,4 % металла. Отвалы некондиционной руды представляют собой техногенные месторождения, пригодные для отработки с меньшими затратами, чем месторождения коренных руд.

В отходах медной, свинцово-цинковой, никель-кобальтовой, вольфрамо-молибденовой, оловянной, алюминиевой подотраслей промышленности содержится более 8,0 млн т меди, 9,0 млн т цинка, 1,0 млн т свинца, 2,5 млн т никеля, 33,5 млн т Al_2O_3 , 600 тыс. т олова, 200 тыс. т молибдена, около 1 тыс. т золота и 12 тыс. т серебра. Резервы полезных компонентов в хвостах переработки равноценны результату эксплуатации многих новых месторождений.

К наиболее крупным техногенным месторождениям относятся хвосты обогащения Гайского, Норильского, Салаирского, Учалинского и Солнечного ГОКов; шлаки металлургических заводов – Среднеуральского, «Электроцинк», «Печенганикель», «Североникель»; некондиционные руды Гайского, Сибайского и других ГОКов Урала.

Суммарная ценность металлов в хвостах обогащения сопоставима с ценностью потенциальных ресурсов минерального сырья в недрах и более чем в 4 раза превышает ценность идентифицированных ресурсов недр, которые пока не используются.

За рубежом из отходов первичной переработки с помощью нетрадиционных технологий получают более 40 % годового объема меди, 35 % золота и значительную долю других металлов.

В России ежегодно образуется от 2,5 до 4,8 млрд т отходов добычи и обогащения, а в отвалах и хранилищах горнодобывающей отрасли страны накоплено 1 млрд т твердых отходов. Накопленные отходы представляют собой ресурсную ценность: среднее содержание меди в хвостохранилищах составляет 0,37 %, цинка – 0,39 %, серы – 21,9 %, что нередко выше бортового их содержания на вовлекаемых в разработку месторождениях. Так, в Свердловской области утилизировано $26,2\cdot 10^6$ т отходов добычи и обогащения руд с реализацией продукции.

Наиболее распространенный метод очистки хвостов переработки от металлов и солей заключается в переводе их в твердую фазу и разделении жидкой и твердой фаз с утилизацией образующегося осадка [9–10].

Например, этот принцип лежит в основе электрохимической технологии с изменением свойств раствора под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах с использованием селективных мембран. Под действием электрического поля из камер обессоливания ионы Na^+ и $SO_4^{\ 2^-}$ переходят в камеры образования щелочи и кислоты, где соединяются с генерируемыми мембраной ионами OH^- и H^+ и образуют нейтрализующие соли щелочь и кислоту. Кроме металлов из осадка извлекаются вещества, являющиеся ценным сырьем для промышленности.

Уран, медь, цинк, золото и некоторые другие металлы из хвостов переработки добывают преимущественно путем выщелачивания, решая одновременно проблему упрочнения сырьевой базы и улучшения экологии.

Экономическая эффективность и экологическая безопасность разработки месторождений обеспечивается путем применения для изготовления твердеющих смесей хвостов обогащения в рамках комбинирования традиционных технологий и технологий с выщелачиванием. Такая технология противопоставляется технологиям с неуправляемым выщелачиванием потерянных руд в недрах и хвостохранилищах.

Она включает в себя элементы:

- выемка богатых руд с минимальными потерями и разубоживанием за счет заполнения пустот твердеющими смесями с выдачей на поверхность для переработки;
- выщелачивание металлов из хвостов переработки в активаторах с использованием активированных фракций в качестве вяжущих и инертных заполнителей.

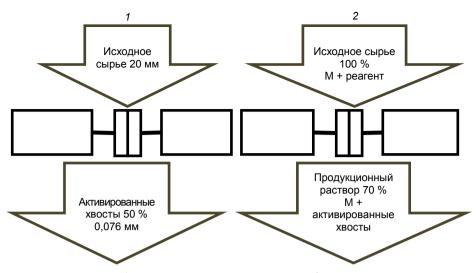
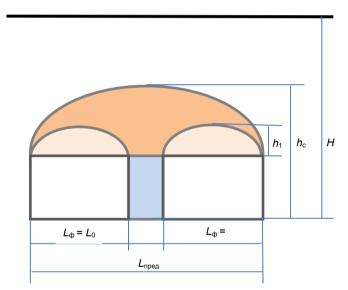


Рисунок 1. Использование активаторов. 1 – для улучшения качества смесей; 2 – для извлечения металлов и улучшения качества смесей.

Figure 1. Use of activators.



4

Рисунок 3. Схема модернизации дезинтегратора. 1 — дезинтегратор; 2 — вибровозбудители; 3 — основание; 4 — виброизолирующие опоры.

Рисунок 2. Схема к разделению массива на безопасные участки. $L_{\rm npeq}$, $L_{\rm d}$, $L_{\rm 0}$ – предельный по условию образования свода естественного равновесия пролет, фактический и плоской кровли соответственню; H – глубина работ; $h_{\rm c}$ – высота свода естественного равновесия предельного пролета; $h_{\rm q}$ – высота нового свода. Figure 2. The scheme to the division of the array into safe areas.

Figure 3. Scheme of modernization of the disintegrator.

В зависимости от состава хвостов обогащения активатор или только повышает активность компонентов смеси или, кроме этого, обеспечивает извлечение металлов из утилизируемого сырья (рис. 1).

Недостаток твердеющих смесей из утилизированных хвостов обогащения – сравнительно малая прочность –может быть уменьшен путем рационального использования горного давления. Если выработанное пространство находится под защитой заклинившихся структурных породных блоков, то безопасность работ может быть обеспечена при меньшей прочности из твердеющих смесей. Это положение реализуется путем разделения рудного поля на участки, где обеспечивается заклинивание пород в пределах возникающего свода (рис. 2).

Глубокая переработка металлосодержащего сырья возможна с ускорением процессов извлечения металлов в активаторах.

Механохимическая технология использует два вида энергии, например, в дезинтеграторе выщелачивающий раствор запрессовывается в трещины разрушающихся кристаллов и извлекает до 80 % от исходного содержания металлов в хвостах. А после извлечения металлов и солей хвосты обогащения могут быть использованы без ограничений по технологическим и санитарным свойствам.

Экологический контент состоит в том, что утилизацией снижается объем переходящих в мобильное состояние и влияющих на экосистемы тяжелых металлов [11-14].

Использование твердеющих смесей на основе хвостов обогащения включает этапы:

- разделение рудного поля на безопасные участки выемкой богатых руд камерами первой очереди с закладкой прочными смесями:
 - выемка балансовых руд с закладкой твердеющими смесями в условиях разгрузки;
 - выщелачивание металлов из бедных и забалансовых руд с использованием феномена твердения хвостов выщелачивания.

В горной практике промышленное использование дезинтегратора осуществлено в 1980-х гг. в цепи закладочного комплекса с закладкой около $100~000~\text{m}^3$ пустот в год. Установка ДУ-65 была оборудована четырех- и трехрядными роторами и двигателями мощностью 250~kBr и располагалась в трех уровнях с площадью основания $5\times7~\text{m}$.

В течение 10 лет установка обеспечивала приращение прочности на 30 % больше, чем базовая обработка в шаровой мельнице. Выход после ДУ 55 % активного класса с доработкой в вибромельнице до выхода 70 % активной фракции позволил свести расход цемента до 30 кг/м³.

Сырьем служили гранулированные кислые хвосты Карагандинского металлургического завода. По вяжущей способности эквивалентом 1 кг стандартного цемента М-400 были 4 кг активированных хвостов.

Экспериментальное исследование параметров перевода металлов в раствор осуществлено на хвостах обогащения цветных и черных металлов и углей с использованием дезинтегратора ДУ-11, изготовленного в Центре прикладной механохимии «Гефест».

Выщелачивание в дезинтеграторе с последующим выщелачиванием вне его, по сравнению с агитационным выщелачиванием, увеличивает извлечение из хвостов обогащения по свинцу – в 1,4 раза, по цинку – в 1,2 раза, а из забалансовой руды по свинцу – в 1,7 раза, по цинку – в 2,1 раза и делает это на два порядка быстрее.

В раствор выщелачивания извлекаются практически все содержащиеся в исходном сырье металлы. Путем увеличения циклов переработки металлов в хвостах содержание может быть понижено до норм ПДК.

Новая технология нуждается в решении кластера технологических проблем, например, повышение стойкости рабочего органа дезинтегратора, селективизация извлечения металлов и солей из комплексного раствора; нейтрализация маточников и т. п., которые получат решение по мере развития этого направления [15–18].

Совершенствование процесса выщелачивания в дезинтеграторе заключается в усилении слагающих его компонент (табл. 1).

Для профилактики слипания зерен металлосодержащего сырья и повышения степени контакта реагента с сырьем на него воздействуют вибрацией в горизонтальной плоскости и подбрасыванием с колебаниями от 30 до 1500 Гц при амплитуде горизонтальных колебаний от 2 до 50 мм и амплитуде до 30 мм.

Виброплощадка состоит из вибровозбудителя, короба и виброизолирующих опор. Короб, установленный на упругую систему, совершает возвратно-поступательные колебания. Процессы механохимической активации и выщелачивания дополняются подбрасыванием, в результате чего рудные частицы лишаются возможности слипаться между собой и прилипать к рабочим поверхностям (рис. 3).

Эффективность извлечения металлов из хвостов обогащения увеличивается при их предварительной обработке раствором серной и азотной кислот в смеси с элементарной серой. Хвосты в виде пульпы при отношении твердой фазы к жидкой 1 : 2 измельчают в смеси с элементарной серой в количестве 12 % до крупности 100 % фракции 0,01 мм. Обработку хвостов смесью кислот осуществляют при массовом соотношении последних 2 : 1 с повышением водородного показателя рН до 3. В результате упорные минералы металлов переводятся в растворимые комплексы.

Поликристаллическое сырье в дезинтеграторе разрушается по поверхностям спаек кристаллов и по границе разделов фаз, в результате чего процессы сепарирования фаз под воздействием вибрации и других методов упрощаются, а выход металлов в раствор за счет более глубокой проработки структурных компонентов увеличивается.

При совмещении процессов выщелачивания в дезинтеграторе и в штабеле возникает синергетический эффект, поскольку активированная в дезинтеграторе масса продолжает отдавать содержащиеся в ней металлы, увеличивая извлечение металлов по сравнению с выщелачивание обоими способами в отдельности.

Для этого хвосты обогащения крупностью 200 меш репульпируют до содержания твердой фазы 30 %, сначала выщелачивают в дезинтеграторе, а затем укладывают в штабели, обрабатывают раствором серной кислоты, промывают водой и выщелачивают растворами, например, сульфидотриоксосульфата натрия с концентрацией 10–20 г/л.

Эколого-экономическая эффективность интенсификации процессов выщелачивания в дезинтеграторе достигается тем, что из добытого сырья извлекается большее количество металла [19].

Извлечение из хвостов обогащения металлов до уровня санитарных требований с возможностью использования без ограничений радикально повышает полноту использования ресурсов [20].

Принципиальные отличия новой технологии заключаются в следующем:

- использование нового вида воздействия на минеральное сырье большой энергии;
- возможность извлечения металлов до безопасных значений.

Вовлечение в производство омертвленных, практически неисчерпаемых минеральных ресурсов создает новую ми-

Таблица 1. Типизация процессов выщелачивания металлов. Table 1. Typification of metal leaching processes.

Процессы	Цель совершенствования	Способ осуществления
Механическая дезинтеграция частиц с образованием новых рабочих плоскостей	Увеличение рабочих плоскостей и предупреждение слипания частиц	Повышение частоты вибрации рабочего органа дезинтегратора
Химическая обработка сырья перед подачей в дезинтегратор	Ускорение процесса перевода ингредиентов в раствор	Предварительная обработка раствором реагентов
Выщелачивание хвостов после дезинтегратора	Увеличение полноты использования упорного сырья	Последующая обработка раствором реагентов

Таблица 2. Техногенные и разрабатываемые выщелачиванием месторождения. Table 2. Man-made and developed by leaching deposits.

Металл	Месторождение, технология	Регион
Медь	Техногенные месторождения	Свердловская обл.
		Мурманская обл.
		Красноярский край
	Гумешевское, подземное выщелачивание	Свердловская обл.
Никель-кобальт	Аллареченское	Мурманская обл.
	Хвостохранилище № 1	Красноярский край
	Озеро Барьерное	
Цинк	Шлакоотвал	Свердловская обл.
Олово	Техногенные месторождения	_
Вольфрам	Барун-Нарынское	Бурятия
	Спокойнинское	Забайкальский край
Молибден с ураном	Стрельцовское, подземное и кучное выщелачивание	Читинская обл.
Титан	Кручининское, перспектива скважинного выщелачивания	Забайкальский край

нерально-сырьевую базу для промышленности и избавляет от необходимости вовлечения в эксплуатацию новых месторождений.

В 2017 г. увеличился объем добычи запасов техногенных месторождений выщелачиванием металлов из руд цветных металлов (табл. 2).

Концепция глубокой утилизации отходов переработки металлических руд отвечает принципам взаимодействия человека и биосферы и особенно актуальна для решения проблем диверсификации горного производства в условиях рынка.

Заключение

Горнодобывающие предприятия в целом завершают этап открытой добычи богатых руд и приступают к подземной разработке месторождений. Условия локализации рудных тел, масштабы производства и тенденции природосбережения обязывают применять варианты технологий с заполнением техногенных пустот твердеющими смесями.

Это повышает актуальность проблемы обеспечения горных работ сырьем для изготовления твердеющих смесей. Добыча сырья для бетонных смесей экологически некорректна, поэтому решение проблемы связано с использованием хвостов обогащения и металлургии. Для этого предстоит разработать технологию извлечения из них редких и благородных металлов.

Одним из направлений глубокой утилизации хвостов обогащения является механохимическая активация металлосодержащего некондиционного сырья, позволяющая не только извлечь металлы, но и повысить активность хвостов до состояния, когда они проявляют вяжущие свойства.

Использование в составах бетонных твердеющих смесей отходов обогатительного и металлургического передела улучшает прочность и реологические свойства твердеющих смесей на их основе. Предлагаемая технология позволяет повысить полноту использования ресурсов недр, возвращая ранее омертвленное сырье, содержащее пока еще теряемые металлические компоненты.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Дмитрак Ю. В., Камнев Е. Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – путь длиной в 65 лет // Горный журнал. 2016. № 3. С. 6–12.
- 2. Brzovica A., Villaescusa E. Rock Mass Characterization and Assessment of Block-Forming Geological Discontinuities during Caving of Primary Copper Ore at the El Teniente Mine, Chile // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2007, Vol. 44, P. 565-583
- 3. Полухин О. Н., Комащенко В. И. Природоохранная концепция добычи и переработки минерального сырья в Центральном федеральном округе России на примере Белгородского региона // Науч. ведомости БелГУ. Сер. «Естественные науки». 2014. Т. 29, № 23 (194). С. 180–186. 4. Перспективы экологически безопасного использования отходов производства на территориях горнодобывающих регионов / Н. М. Качурин [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2014. № 9. С. 81–84.
- 5. Polukhin O. N., Komashchenko V. I., Golik V. I., Drebenstedt C. Substantiating the possibility and expediency of the ore beneficiation tailings usage in solidifying mixtures production // Geology, Mining, Processing, Economics, Safety and Environmental Management: sci. Reports on Resource Issues Innovations in Mineral Resource Value Chains. Freiberg, 2014. C. 402-412.
- 6. Голик В. И., Страданченко С. Г., Масленников С. А. Экспериментальное обоснование возможности утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов // Цветная металлургия. 2011. № 3. С. 19-27.
- 7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use
- // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 3. Р. 49–52. 8. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Проблема использования возобновляемых источников энергии в ходе разработки месторождений твердых полезных ископаемых // ФТПРПИ. 2015. № 1. С. 88–96.
- 9. Mwase J. M., Petersen J., Eksteen J. J. A conceptual flowsheet for heap leaching of platinum group metals (PGMs) from a low-grade ore concentrate // Hydrometallurgy. 2012. Vol. 111-112. P. 129-135.
- 10. Chen T., Lei C., Yan B., Xiao X. Metal recovery from the copper sulfide tailing with leaching and fractional precipitation technology // Hydrometallurgy. 2014. Vol. 147-148. P. 178-182.
- 11. Рыльникова М. В. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России // ГИАБ. Спец. вып. 2014. Т. 2. C. 25-32.
- 12. Ляшенко В. И. Повышение экологической безопасности в зоне влияния уранового производства // Изв. вузов. Геология и разведка. 2015. № 1. C. 43-52.

- 13. Ястребинский М. А. Разработка эколого-экономической классификации техногенных вторичных ресурсов, содержащих цветные, драгоценные металлы и редкоземельные элементы // ГИАБ. 2013. № 1. С. 78–84.
- 14. Комащенко В. И., Ерохин И. В. Концепция минимизации опасного загрязнения окружающей среды железорудных регионов КМА // ГИАБ. 2014. № 2. С.134–138.
- 15. Авдеев П. Б., Овешников Ю. М. Опыт применения кучного выщелачивания на рудных карьерах Забайкалья // ГИАБ. 2014. № 4. С. 90–95.
- 16. Яшкин И. А., Овешников Ю. М., Авдеев П. Б. Повышение эффективности технологии кучного выщелачивания золотосодержащих руд // ГИАБ. 2014. № 4. С. 90–95.
- 17. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 4. P. 321–324.
- 18. Волков Ю. В., Соколов И. В. Оптимизация подземной геотехнологии в стратегии освоения рудных месторождений комбинированным способом // Горный журнал. 2011. № 11. С. 41–44.
- 19. Комащенко В. И., Васильев П. В., Масленников С. А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА надежную сырьевую основу // Изв. ТулГУ. Науки о Земле. 2016. № 2.С. 101–114.
- 20. Golik V. I., Hasheva Z. M., Economical Efficiency of Utilization of Allied Mining Enterprises Waste // The Social Sciences. 2015. № 10 (5). P. 682–686.

Статья поступила в редакцию 22 января 2018 г.

УДК 504.55.054:622(470.6) DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-95-101

The use of tailings while preparing hardening filling mixtures

Vladimir Ivanovich Golik1, v.i.golik@mail.ru Yuriy Vital'evich Dmitrak1, Chzhun Chan². Stanislav Aleksandrovich Maslennikov³ ¹North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) Vladikavkaz. Russia ²China University of Geosciences Beijing, P. R. China

Don State Technical University, Institute of service and business (Branch) DSTU Shakhty, Rostov region, Russia

The relevance of the work is conditioned by the need to increase the completeness of the use of metal mineral raw materials extracted from the depths. The complexity of its use by increasing the scope of new environmental and resource-saving technologies is also important. Unfortunately, the resource-saving technologies use little-studied reserves of production.

The purpose of the work is to substantiate the technological possibility and expediency of the use of waste from processing and metallurgical industries. This is done for the manufacture of hardening mixtures with an increase in their activity in the activators of the "disintegrator" type simultaneously with the extraction of residual metals.

Research methodology: analysis of theory and best practices, industrial and laboratory experiment, and interpretation of research results.

Results. Natural and resource-saving trends are implemented in the development of the mining industries. This happens under the conditions when many mining enterprises of Russia may switch to underground mining of ore deposits. There is a tendency of using chamber versions of technology with filling technological voids with hardening mixtures. The problem of providing mining operations with raw materials for the manufacture of hardening mixtures was formulated. The production of raw materials is open. It is environmentally incorrect in connection with the destruction of the earth's surface. The solution to the problem of providing raw materials for preparing hardening mixtures in the form of enrichment tails and metallurgy is associated with the need to extract rare and noble metals from them. The results of an industrial experiment using mechanochemical activation of metal-containing substandard raw materials, are described. This activation allows to extract metals and increases the activity of the tailings to the state

when they exhibit binding properties. The directions of activators improvement to achieve the goals of mechanochemical technology.

Conclusion. The technology proposed is a real opportunity to solve the problem of providing raw materials and ease the load on the environment. Mining and geological conditions and trends in nature conservation make the preferred technology options with filling man-made voids with hardening mixtures. A promising line of utilizing metal-containing substandard raw materials. This not only allows to extract metals, but also to increase the activity of tails, is the mechanochemical activation of leaching processes in the disintegrator.

Keywords: metal; minerals; waste recycling; concrete mix; disintegrator; mechanochemical activation; binding properties.

- 1. Dmitrak Yu. V., Kamnev E. N. 2016, *AO «Vedushchiy proyektno-tzyskatel'skiy in auchno-issledovatel'skiy institut promyshlennoy tekhnologii»-put' diinoy v 65 fet IJSC "Leading design and survey and research institute of industrial technology" a path of 65 years]. <i>Gornyi zhumal* [Mining Journal], no. 3, pp. 8–12. B. 2007. Rock Mess Characterization and Assessment of Block-Forning Geological Discontinuities during Caving of 2. Brzovica A. Wilesesch Program of the State of the Characterization and Assessment of Block-Forning Geological Discontinuities during Caving of 2. Brzovica A. Wilesesch Program of the Elementation of the Research of the Characterization and Assessment of Block-Forning Geological Discontinuities during Caving of 2. Polukhin O. N., Komashchenko V. J. 2014. *Prirodookinamaya kontesptisy adobych i pererabdok mineral raw* materials in the Central Federal district of Russia on the example of the Belgord region]. *Nauch. vedomosti BelCUS. Ser. «Vestestware naukii*, Blegordor State University Scientific Bulletin, Natural Sciences), vol. 29, no. 23 (1941, pp. 180–186.

 4. Kachum N. M. and others. 2014. *Perspektivy ekologichesik bezopsknog ispol zovaniya otkhodov proizvodstva na territoriyakh gornodobyvay-lennosti Joccupational safety in Industry), no. 9, pp. 81–84.

 5. Polukhin O. N., Komashchenko V. I. Colik U. I., Drebenstedt C. 2014. Substances the possibility and expediency of the ore benefit tallings usage in solidifying mixes production. Geology, Mining, Processing, Economics, Safety and Environmental Management: sci. reports on Resource Issues Innovations in Minieral Resource Valide Chains. Freiberg, pp. 402–419. 20bsonovaniye vozmozhnosti utilizatsii khvostov obogashcheniya usage in solidifying mixes production. Geology, Mining, Processing, Economics, Safety and Environmental Management: sci. reports on Resource Issues Innovations in Minieral Resource Valide Chains. Freiberg, pp. 402–419.

 6. Golik V. I., Stradanchenko S. G., Mastiennikov S. A. 2011. Experimental noye obsorovaniye vozmo*

УДК.622.621.926 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-102-106

РЕЗУЛЬТАТЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ МЕЛЬНИЦ ТИПА SAG, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ ГОРНОДОБЫВАЮШЕЙ КОМПАНИИ

Ибрагим Абульфас оглы Габибов¹, h.ibo@mail.ru
Фамил Мейхош оглы Гамидов², Famil.hamidov@aimc.az
Парта Пратим Чакраборти³
Partha.chakraborty@tegaindustries.com

¹Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности Азербайджан, Баку ²Азербайджанская международная горнодобывающая компания Азербайджан, Баку ³Tega Industries Limited Индия, Западная Бенгалия, District Nadia, Кальяни

Актуальность работы обусловлена полной реконструкцией горнодобывающей промышленности Азербайджана. Введение в эксплуатацию в 2007 г. в западном регионе Азербайджана компании AIMC (Azerbaijan International Mining Company) стало серьезным шагом в деле реабилитации и переоборудования горнодобывающей промышленности страны. В настоящее время здесь установлены и работают 4 шаровые мельницы типа SAG и Ball, отличающиеся простотой эксплуатации и высокой эффективностью измельчения. В результате исследовательских работ было установлено, что основными причинами отказа оборудования являются износ и излом мелющих шаров, а также преждевременное разрушение рабочих поверхностей лифтеров. Следовательно, повышение износостойкости лифтеров и механических показателей мелющих шаров для мельниц является актуальной задачей.

Шелью работы является обоснование выбора материала для футеровки рабочих поверхностей лифтеров и их толшины, определения эффективного значения угла подъема лифтеров, а также режимных параметров эксплуатации мельницы.

Методология исследования. Подробно изучена схема расположения подъемных лифтеров и геометрических параметров на эффективность работы мельницы, оценено влияние расстояния между подъемными площадками на эксплуатационные характеристики мельницы, так как большое расстояние приводит к быстрому истиранию футеровок при работе с твердой рудой.

Результаты. На основании многочисленных опытов и теоретических расчетов установлено, что угол размешения подъемных лифтеров, рекомендованных заводом-изготовителем, не всегда обеспечивает высокую производительность, поэтому было сделано предложение о его пересмотре. Установлено, что существующий материал для футеровки может быть применен при измельчении высокотвердых руд. Авторами для измельчения сульфидных руд с высокой твердостью предложено рабочие поверхности лифтеров футеровать специальным композиционным материалом на основе металлорезины.

ВЫВОЛЫ. Для обеспечения высокой эффективности измельчения руды предлагается угол подъемного лифтера установить в пределах 18–20°. В качестве футерованного материала для покрытия рабочих поверхностей предложен новый металлорезиновый композитный материал.

Ключевые слова: мелющие шары; долговечность футеровки; лифтеры; угол подъема; интенсивность износа; скорость мельницы; руда; измельчение; шлифование; программа симуляции.

Основанная в 2007 г., компания AIMC (*Azerbaijan International Mining Company Limited* – Азербайджанская международная горнодобывающая компания, –АМГДК) занимает первое место в стране по производству золота и медного концентрата, а также по их поставке. Компания функционирует в Гедебеке – западном регионе Азербайджана. Схема измельчения имеет тип SABC (SAG Mill/Ball Mill/Crusher). Обеспечение в основном состоит из щековой дробилки, мельницы типа SAG с диаметром 5 м, длиной 2,5 м и типа Ball с диаметром 4 м, длиной 5,82 м [1, 2].

Известно [3–5], что процессы дробления и измельчения отличаются высокими затратами электрической энергии. В некоторых случаях их доля составляет более половины (около 60–80 %) от общих затрат на обогатительных предприятиях. Следовательно, все работы, направленные на совершенствование техники и технологии процессов измельчения, снижение энергопотребления, являются актуальными.

Мельница SAG имеет переменный скоростной двигатель и открытую циркуляцию, а шаровая мельница имеет замкнутую циркуляцию и соединена с гидроциклоном. Производительность мельницы составляет 80–90 т/ч, а их рабочие поверхности покрыты резиновыми прокладками.

В 2013 г. на основе соглашения о взаимном сотрудничестве, подписанного с компанией Tega (Индия), АМГДК поставил вопрос о разработке путей улучшения производственного цикла в процессе измельчения. До этого времени индекс долговечности и продуктивности мельниц типа SAG был следующим (табл. 1).

Как видно из табл. 1, футерованные (резиновые) лифтеры функционировали соответственно 973 и 904 ч. Анализ проблемы

В результате совместного анализа на мельнице SAG специалистами АМГДК и Tega определены следующие отказы.

1. Изнашивание лифтеров мельницы SAG интенсивное и неравномерное. В течение периода наблюдения (сроком 6

Таблица 1. Производительность мельницы SAG и долговечность футеровок. Table 1. The performance of the SAG mill and the durability of the linings.

-			
Производитель	Время работы, ч	Производительность, т	Твердость по шкале Мооса
<u>Турция</u> ФКК	973	80 855	3
<u>Турция</u> ФКК	904	79 092	3

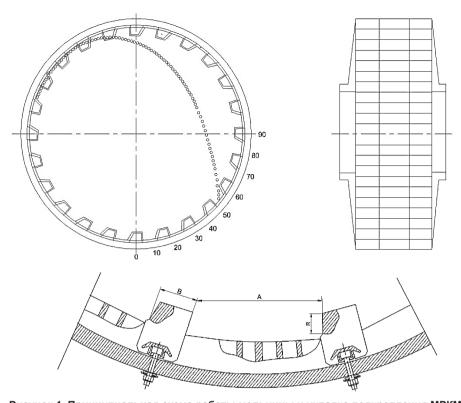


Рисунок 1. Принципиальная схема работы мельницы и укладка подкрепления MPKM.

Figure 1. Schematic diagram of the operation of the mill and laying reinforcement metal rubber composite material (MRCM).

недель) было установлено, что износ первых рядов футерованных поверхностей составлял 55-60 %, второй ряд – 45-50 %, а третий – 75-80 %. Эти факторы приводят к частой замене лифтеров и, как следствие, к возникновению перерывов.

- 2. Очень важен правильный выбор посадочного угла подъемника мельницы SAG. Угол позиционирования на базе используемой мельницы конструктивно принимается 0°. Однако в результате непрерывных наблюдений, которые были определены в этом случае при перемещении траектории шаров, они не обеспечивают максимальной энергии удара в нужной точке.
 - 3. Измельчение на мельницах SAG вообще не является удовлетворительным.
- 4. Отсутствие механизированных или автоматизированных средств для смены лифтеров затрудняет ручную обработку процесса. Это подтверждает важность ограничений веса при проектировании и подготовке лифтеров.
- 5. В соответствии с настоящей технологией мельницы типа SAG перерабатываемая руда после дробления отправляется в камеру хранения и смешивается с каменистыми и землистыми частицами. В Гедебеке руда подается непосредственно на мельницу SAG от щековой дробилки. Было определено, что золотосодержащие руды имеют большой Бондиндекс (15–17 кВт/т), а основой запасов руды являются твердые сульфидные руды [6, 7].
- 6. Соотношение между расстоянием подъемных лифтеров и их высотой варьируется в интервале 1,85–2,01 в соответствии с действующими стандартами, и в зависимости от природы руды подкладка может быть В–В (высокой–высокой) и В–Н (высокой–низкой) вдоль конструкции. Было определено, что количество подъемных прокладок в мельнице SAG должно быть 28–30 шт. однако оно составляет 24 шт. С другой стороны, расчетное соотношение между соседними подъемниками и высотой A/B = 3,16, а то и выше.
- 7. Подъемные лифтеры на мельницах SAG также выполняют задачу по подъему шаров с орбиты, защищают и не позволяют им быстро изнашиваться. Расстояние между подъемной площадкой эксплуатационной SAG мельницы A = 427 мм. Это большое расстояние для мельницы SAG и оно приводит к быстрому истиранию футеровок при работе с твердой рудой.

Цель работы

Работа посвящена выбору материала для футеровки рабочих поверхностей лифтеров, определению оптимального значения угла их подъема.

Методы решения проблем

Обычно для защиты рабочих поверхностей мельниц применяются различные резины [8–10]. С целью решения этих проблем специалистами Tega и АМГДК была предложена новая технология производства металлорезинового композиционного материала (MPKM) и ее применение для футеровки лифтеров мельницы SAG.

В настоящее время компания Tega Industries limited обслуживает более 500 промышленных мельниц по всему миру. С учетом применения нового композиционного материала были внесены изменения в конструкции лифтеров: на первом этапе была рассмотрена проблема регулировки толщины футеровок. Резиновые футеровки толщиной 75 мм были заменены композитным материалом МРКМ (металлорезиновый композиционный материал) с толщиной 90 мм.

Исследования проводились с учетом положительных результатов экспериментальной работы, вначале толщина покрытий MPKM увеличена до 100 мм, а затем до 130 мм.

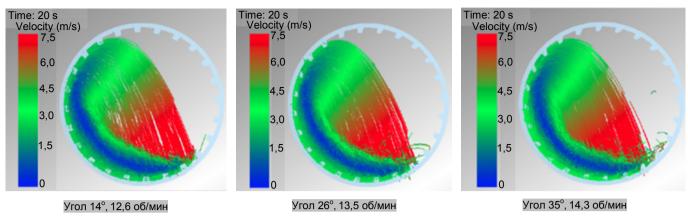


Рисунок 2. Моделирование процесса измельчения. Figure 2. Modeling of grinding process.

В результате испытаний было установлено, что эффективность процесса измельчения в значительной степени зависит от правильного определения угла подъемных лифтеров.

Согласно рекомендациям завода-изготовителя, размеры подъемного лифтера были приняты 210×250 мм (толщина и высота), размер угла, создаваемого вдоль радиуса, – 26° . Далее с целью улучшения условия эксплуатации и увеличения выхода продукции нами были сделаны некоторые корректировки. В частности, на втором этапе ширина и степень подъема лифтеров были оставлены без изменения, а высота увеличена с 250 до 275 мм, чтобы повысить производительность и снизить затраты на энергию. На третьем этапе ширина была зафиксирована, высота поднята с 275 до 325 мм, степень была изменена с 26° до 14° . В этом случае наблюдалось увеличение производительности, продолжительности эксплуатации мельницы и снижение затрат на энергию. Наилучшие результаты были получены при значениях угла подъемного лифтера в пределах $18^{\circ}-20^{\circ}$.

С целью уменьшения неравномерности износа лифтеров во время разгрузки площадь сетки во вставках была со временем изменена. Согласно долгосрочным результатам, было предложено использовать 210–325 YESP для подъемного лифтера и PM 130 (толщина 130 мм) для самого лифтера. Когда угол, образованный вдоль радиуса подъемного лифтера, составляет 26°, соотношение между расстоянием А между лифтером и высотой подъемного лифтера В уменьшается до A/B = 2,4.

Принципиальная схема работы мельницы и укладка подкрепления МРКМ приведена на рис. 1.

В одном направлении улучшение работы было связано с определением угла позиционирования подъемного лифтера. Здесь был установлен градус размещения подъемного лифтера серии 210 YTSP до 14°, а их монтажная система идеально настроена. В результате исследований было установлено, что три ряда расположения на оболочке носят дифференциальный характер износа. По этой причине было предложено и реализовано разнообразие конструкций футеровки над оболочкой. В то же время были применены новые выходные решетки.

Известно, что в процессе эксплуатации степень размещения подъемных лифтеров играет важную роль в правильном определении траектории удара шаров. С этой точки зрения скорость мельницы определялась при 12,6 циклах в минуту для идеального хранения траектории удара на первой стадии подъемных лифтеров с угла 14°. В ходе работы 24 ряда подъемных лифтеров мельницы в каждом цикле интенсивно ударяют продукт, двигаясь по траектории и поднимая шары. Однако, поскольку производительность не была полностью реализована во время прокатки, количество периодов увеличилось на 13,1 раза/мин, когда размер подъемного лифтера был увеличен до 20°. В нормальных условиях эксплуатации, в результате продолжительных исследований для поддержания стабильной траектории удара, соответствующей износу, цикл вращения мельницы увеличивался до 14,3 об/мин. Оптимальность процесса была показана на программе симуляции (рис. 2). При этом использовали методику, приведенную в [11, 12].

На рис. 3 показаны эффективность производительности во время наблюдения (01.05.2015–31.05.2017) и изменение энергии [13], используемой для измельчения 1 т руды на установке типа SAG. Из-за снижения производительности за счет сульфидных руд в минеральных ресурсах предлагается, чтобы работа второй мельницы SAG осуществилась в технологических мерах предосторожности [14]. Вначале SAG-1 был оснащен 100-миллиметровыми шарами, а в SAG-2 имеются шары 125 мм, изготовленные в соответствии с технологией [15].

Работая с этой же рудой, он предоставил возможность сравнения работы шаров 100 и 125 мм на SAG мельницах, а сравнительные результаты приведены в табл. 2.

Как показано в табл. 2, количество продукта тонкого измельчения в мельнице с размером шаров 100 мм выше, чем у другого. Если измельчительная способность мельницы (80 % конечного продукта меньше 75 мкм) после SAG является удовлетворительной, то для увеличения производительности рекомендуется использовать SAG мельницу с шарами 125 мм.

Таблица 2. Сравнение показателей эффективности работы шаров. Table 2. A comparison of the performance of the balls.

Мельница	Производительность,	Твердость по	Мощность,	Размеры	Размер выходного продукта SAG, мкм				
ічісльница	т/ч	шкале Мооса	кВт ∙ ч	шаров, мм	x > 500	150 < <i>x</i> < 500	x < 150		
SAG-1	80	4 и 5	554	100	19,08	28,82	52,1		
SAG-2	87	4 и 5	550	125	31,17	24,67	44,16		

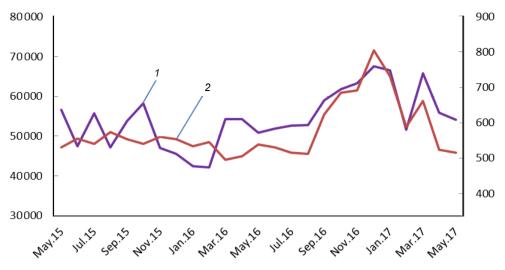


Рисунок 3. Плодовитость из-за изменения коэффициента жесткости руды во время наблюдения, график изменения энергии, используемый для измельчения 1 т руды на мельнице. 1 – количество сухой руды, т; 2 – количество энергии, потребляемой для измельчения, кВт/ч.

Figure 3. Fertility due to changes in ore hardness factor during observation, the energy change graph used for grinding 1 ton of ore at the mill.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований было определено следующее:

- целесообразно в качестве футеровки на мельницах использовать металлорезиновый композитный материал (МРКМ) для измельчения сульфидных руд с высокой твердостью;
- для обеспечения высокой эффективности измельчения руды предлагается угол подъемного лифтера установить в пределах 18–20°.
- использование шаров 100 и 125 мм на мельницах SAG одинакового размера и параметров определило, что производительность шаровой мельницы 125 мм на 9 % выше, чем шаровой мельницы 100 мм. Однако процентная ставка руды до 150 мкм была на 8 % меньше.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Гамидов Ф. М., Габибов И. А. Анализ интенсивности износа частей мельниц, используемых в горнодобывающей промышленности Азербайджана. Баку: НИИ «Геологические проблемы нефти, газа и химия», 2015. Ч. XVI. С. 282–287.
- 2. Cho H., Kwon J., Kim K., Mun M. Optimum choice the make-up ball sizes for maximum throughput in tumbling ball mills // Powder technology. 2013. Vol. 246. P. 625–634.
- 3. Шевчук В. П. Обеспечение работоспособности электрических машин в горнодобывающей промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2005. 23 с.
- 4. Cleary P. W. Axial transport in dry ball mill // Applied Mathematical Modelling. 2006. Vol. 30. P. 1343-1355.
- 5. Katubilwa F. M., Moys M. H. 2009, Effect of ball Isize distribution on milling rate // Minerals Engineering. Vol. 22, issue 15. P. 1283–1288.
- 6. Абдуллаева Ш. Ф., Исмаилова А. М., Керимли У. И. Типы золоторудных и золотосодержащих месторождений и их основные особенности // Вестник Бакинского университета. 2010. № 2. С. 129–132.
- 7. Баба-заде В. М., Мусаев Ш. Д., Насибов Т. Н. и др. Золото Азербайджана. Баку: Азербайджан Милли Энциклопедия, 2003. 434 с.
- 8. Стихин А. Ю., Ялухин В. А. Резиновая футеровка современный материал для защиты сырьевых мельниц от износа // Цемент и его применение. 2013. № 4. С. 85–86.
- 9. Масленников В. Г., Стихин А. Ю. Применение резиновой футеровки для сырьевых и цементных мельниц // Цемент и его применение. 2011. № 3. С. 126.
- 10. Хахалев П. А., Богданов В. С., Ельцов М. Ю. Влияние конструктивных параметров лифтеров футеровки ТШМ на процесс измельчения // Мир цемента. 2013. № 3. С. 60–63.
- 11. Mishra B. K. A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method. Part I. Contact mechanics // International Journal of Mineral Processing. 2003. Vol. 71. P. 73–93.
- 12. Mishra B. K. A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method. Part II. Practical applications // International Journal of Mineral Processing. 2003. Vol. 71. P. 95–112.
- 13. Weerasekara N. S., Powell M. S. The New Energy Logging from the Discrete Element Method // Proceedings CSRP'08 2nd annual conference. November. Brisbane, Queensland, Australia, 2008. P. 18–19.
- 14. Боярских Г. А., Боярских К. Г. Надежность горных машин и оборудования. Екатеринбург: УГГУ, 2009.116 с.
- 15. Бабанлы М. Б., Гусейнов Б. Г., Гафаров Н. А., Габибов И. А., Гамидов Ф. М. Способ производства стальных мелющих шаров: пат. 0064 Азербайджанской Республики. № 1. 2017.

Статья поступила в редакцию 30 февраля 2018 г.

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-102-106 УДК.622.621.926

Results of improvements of the type SAG mills, used in the Azerbaijan International Mining Company

Ibragim Abul'fas ogly Gabibov1, h.ibo@mail.ru Famil Meykhosh ogly Gamidov², Famil.hamidov@aimc.az Partha Pratim Chakraborty³ Partha.chakraborty@tegaindustries.com

¹Azerbaijan State University of Oil and Industry Baku, Azerbaijan ²Azerbaijan International Mining Company Limited Baku, Azerbaijan ³Tega Industries Limited Kalyani, District Nadia, West Bengal, India

The relevance of the work is conditioned by the complete reconstruction of the mining industry in Azerbaijan. The commissioning of the AIMC (Azerbaijan International Mining company) in the Western region of Azerbaijan in 2007 was a significant step in the rehabilitation and re-equipment of the country's mining industry. Nowadays the 4 ball mill type SAG and Ball have been installed and are in operation. They are easy to operate and possess a high grinding efficiency. As a result of research it was found that the main causes of equipment failure are wear and tear grinding balls, as well as premature destruction of the working surfaces of lifters. Therefore, improving the wear resistance of lifters and mechanical performance of grinding balls for mills is an urgent task.

The purpose of this work is to substantiate the material selection for lining of working surfaces of the lifters and their thickness. To determine the effective value of the angle of elevation of the lifters, as well as the operating parameters of the operation of the mill is also one of the goals of the

Research methodology. The scheme of location of the lifting elevators and geometrical parameters on the efficiency of the mill has been studied in detail. The influence of the distance between the lifting pads on the performance of the mill has been evaluated. Large distances lead to rapid abrasion of the linings in hard ore.

Results. On the basis of numerous experiments and theoretical calculations it was found that the angle of placement of lifting elevators, recommended by the manufacturer, does not always provide a high performance. Therefore, a proposal was made to revise it. It is established that the existing lining material can be used in the grinding of high-hard ores. The authors for the grinding of sulphide ores with high hardness of the working surface of the lifters to line special composite material with refractory bricks on the basis of the metal rubber.

Summary. To ensure high efficiency of ore grinding, it is proposed to install the angle of the lifting elevator within 18–20ε. A new metal-rubber composite material is proposed as a lined material for covering working surfaces.

Keywords: grinding balls; lining durability; lifters; lifting angle; wear intensity; mill speed; ore grinding; grinding; simulation program.

REFERENCES

- 1. Gamidov F. M., Gabibov I. A. 2015, Analysis of wear rate of parts of mills used in mining industry of Azerbaijan. Part XVI. Baku, pp. 282–287. 2. Cho H., Kwon J., Kim K., Mun M. 2013, Optimum choice the make-up ball sizes for maximum throughput in tumbling ball mills. Powder technology, vol. 246, pp. 625-634.
- 3. Shevchuk V. P. 2005, Obespecheniye rabotosposobnosti elektricheskikh mashin v gornodobyvayushchey promyshlennosti: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Ensuring the efficiency of electrical machines in the mining industry: a synopsis of the dissertation of a candidate of technical
- 4. Cleary P. W. 2006, Axial transport in dry ball mill. Applied Mathematical modeling, vol. 30, pp. 1343-1355.
- 5. Katubilwa F. M., Moys, M. H. 2009, Effect of ball Isize distribution on the milling rate. Minerals Engineering, vol. 22, issue 15, pp. 1283–1288.
- 6. Abdullayeva Sh. F., Ismailova A. M., Kerimli U. I. 2010, Tipy zolotorudnykh i zolotosoderzhashchikh mestorozhdeniy i ikh osnovnyye osobennosti [Types of gold ore and gold deposits and their main features]. Vestnik Bakinskogo universiteta [Baku University bulletin], no. 2, pp. 129-132.
- 7. Baba-Zadeh V. M., Musayev Sh. D., Nasibov T. N. and others. 2003, Zoloto Azerbaijana [Gold of Azerbaijan]. Baku, 434 p.
- 8. Stikhin A. Yu., Yalukhin V. A. 2013, Rezinovaya futerovka sovremennyy material dlya zashchity syryevykh mel'nits ot iznosa [Rubber lining is a modern material for the protection of raw mills against deterioration]. Tsement i yego primeneniye [Cement and its applications], no. 4, pp. 85–86. 9. Maslennikov V. G., Stikhin A. Yu. 2011, Primeneniye rezinovoy futerovki dlya syryevykh i tsementnykh mel'nits [Application of rubber lining for raw mills and cement]. Tsement i yego primeneniye [Cement and its applications], no. 3, p.126.
- 10. Khakhalev P. A., Bogdanov V. S., El'tsov M. Yu. 2013, Vliyaniye konstruktivnykh parametrov lifterov futerovki TShM na protsess izmel'cheniya [The influence of structural parameters of the lifters of the lining of tee shaft couplings on grinding process]. Mir tsementa [The world of Cement], no. 3, pp. 60-63
- 11. Mishra B. K. 2003, A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method. Part I. Contact mechanics. International Journal of Mineral Processing, vol. 71, pp. 73-93.
- 12. Mishra B. K. 2003, A review of computer simulation of tumbling mills by the discrete element method. Part II. Practical applications. International Journal of Mineral Processing, vol. 71, pp. 95-112.
- 13. Weerasekara N. S., Powell M. S. 2008, The New Energy Logging from the Discrete Element Method. Proceedings CSRP'08 2nd annual conference. November. Brisbane, Queensland, Australia, pp. 18–19.

 14. Boyarskikh G. A., Boyarskikh K. G. 2009, Nadyozhnost' gornykh mashin i oborudovaniya [Reliability of mining machinery and equipment].
- 15. Babanly M. B., Huseynov B. G., Gafarov N. A., Gabibov I. A., Gamidov F. M. 2017, Sposob proizvodstva stal'nykh melyushchikh sharov [Method of producing steel grinding balls]. Patent AZ no. 0064.

The article was received on February 30, 2018

УДК 622.6:621.436.1 DOI 10.21440/2307-2018-2-107-113

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНКИ, ОБРАЗУЮЩЕЙ КАМЕРУ СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ГОРНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ

Евгения Владимировна Рябко

railroader@yandex.ru

Донецкий национальный технический университет Украина, Донецк

Актуальность. Поверхность крышки цилинара дизеля горно-транспортной машины со стороны камеры сгорания испытывает переменные во времени воздействия температуры рабочих газов. Изменение во времени температуры рабочих газов вызывает в цилинаровой крышке переменные во времени градиенты температур, вследствие чего возникают механические напряжения. Перспективным направлением является исследование параметров и процессов, протекающих в деталях силовой дизельной установки и оказывающих влияние на бесперебойную работу эксплуатируемых горно-транспортных машин.

Шелью статьи является разработка методики расчета температурных полей стенки, образующей камеру сгорания дизеля горно-транспортной машины.

Методология исследований основывается на применении численных методов решения задач нестационарной теплопроводности.

Результаты работы и область их применения. Исследование температурных полей в деталях силовой дизельной установки позволит улучшить условия эксплуатации горнотранспортных машин. Для выполнения исследований разработана математическая модель процесса изменения температуры в слоях огневого дниша крышки цилиндра дизеля горно-транспортной машины, которая учитывает средний коэффициент теплоотдачи в течение цикла и градиент температурь, изменяющийся во времени. С помощью математической модели определено изменение температуры в слоях крышки цилиндра. Рассмотренная методика может применяться для оценки теплонапряженного состояния деталей дизельных двигателей горно-транспортных машин. Область применения математической модели не ограничивается только крышками цилиндров, при необходимом количестве исходных данных можно решать сложные задачи теплопроводности в силовой дизельной установке горно-транспортной машины. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают адекватность математической модели процесса изменения температуры в огневом днише крышки цилиндра дизельного двигателя горно-транспортной машины.

Ключевые слова: горно-транспортная машина; силовая дизельная установка; цилиндро-поршневая группа; крышка цилиндра; температурное поле; теплоотдача; математическая модель.

В настоящее время силовой дизельный привод все чаще применяется среди горно-транспортных машин. Применением силовых дизельных установок на горнотранспортных машинах, проведением разработок и исследований занимаются такие организации, как ДонУГИ, Донгипроуглемаш, Дружковский машиностроительный завод, Александровский машиностроительный завод, международные компании Ferrit, Becker, Sharf и др. [1–4]. Безотказная работа силовой дизельной установки горно-транспортной машины (СДУ ГТМ) зависит, прежде всего, от правильной эксплуатации, технического обслуживания и исправности деталей цилиндро-поршневой группы. Также существенное влияние на работоспособность СДУ ГТМ оказывают качество дизельного топлива и его строгое соответствие летним или зимним периодам года, что особо актуально при эксплуатации горнотранспортных машин в карьерах. Детали цилиндро-поршневой группы являются наиболее нагруженными частями СДУ ГТМ и подвержены влиянию множества факторов [5].

Актуальность исследования

Несмотря на значительный объем исследований в области создания и повышения эффективности работы силовых дизельных установок, одной из ключевых проблем является совершенствование характеристик горно-транспортных машин, в том числе и экологических [6], недостаточное внимание уделено обоснованиям параметров и режимам работы дизельного привода горно-транспортной машины. Поэтому одним из перспективных направлений является исследование параметров и процессов, протекающих в деталях силовой дизельной установки и оказывающих влияние на бесперебойную работу эксплуатируемых горно-транспортных машин.

В зоне повышенных температур и механических нагрузок находится цилиндровая крышка (головка цилиндра) – сложная по конструкции и нагруженная деталь цилиндрового комплекта СДУ ГТМ. Поверхность крышки цилиндра дизеля горнотранспортной машины со стороны газов испытывает переменные во времени воздействия температуры рабочих газов. Изменение во времени температуры рабочих газов вызывает в цилиндровой крышке переменные во времени градиенты температур, вследствие чего возникают механические напряжения в металле крышки [7–10]. Переменные во времени механические напряжения вызывают процесс усталостного разрушения металла, которое выражается в постепенном развитии трещин усталости, что приводит на практике к появлению сквозных трещин и разрушению крышки.

Постановка цели и задач

Для разработки мероприятий, направленных на снижение температурной напряженности дизельных двигателей горно-транспортных машин, за счет снижения вероятности усталостного разрушения металла необходимо на первом этапе исследовать динамику температурных полей, а на втором этапе исследований установить динамику переменных механических напряжений в огневой поверхности крышки цилиндра, связанную с динамикой температурных полей в нем [11–13].

Одной из поставленных в исследованиях задач является разработка математической модели расчета температурных полей в металле крышки, выбор исходных данных для расчета температурных полей и градиентов температур. При решении этих вопросов может быть решен также вопрос теплоаккумулирующего эффекта крышки цилиндра и влияния этого эффекта как на температурное поле в металле, так и на перенос теплоты через стенку крышки от отработавших газов к охлаждающей жидкости. Результаты этих исследований позволят уточнить методику теплопереноса через стенки цилиндра дизеля [14].

Расчеты

Имеется стенка, образующая камеру сгорания дизельного двигателя горно-транспортной машины, толщиной δ, с одной стороны которой воздействуют рабочие газы с изменяющейся во времени температурой $f(\tau)$, с другой стороны стенки – охлаждающая жидкость с температурой $t_{.}$, задается начальная температура стенки $t_{.}$. Стенку по толщине разобьем на т слоев, при этом толщину крайних слоев примем в два раза меньше по сравнению с соседними слоями, что позволит считать температуру крайних слоев равной температуре поверхности стенки. Величина шага по времени определяется длительностью цикла работы дизельного двигателя. Для разбивки цикла на шаги по времени удобной может быть замена времени в секундах на углы поворота ф коленчатого вала дизеля.

При выводе формул для определения температуры в разных слоях стенки после некоторого числа шагов по времени принимаются следующие обозначения:

- $t_{\Delta \tau, \Delta \chi}$ температура в первом слое стенки после одного шага по времени, К (°C);
- $-t_{\Delta \tau, 2\Delta \chi}^{-}$ то же во втором слое после первого шага по времени, К (°С);
- $-t_{_{2\Delta\tau,\,2\Delta\chi}}^{_{\Delta\tau,\,2\Delta\chi}}$ то же во втором слое после второго шага по времени, К (°C); $-t_{_{i\Delta\tau,\,j\Delta\chi}}$ температура в j-м слое после i-го шага по времени, К (°C);

- $-t_{\rm r.o}$ температура газов в цилиндре в начальный момент времени, К (°C); $-t_{\rm r.i}$ температура газов в цилиндре после i-го шага по времени, К (°C);
- $-\alpha_{\rm r.o}^{\prime}$ суммарный коэффициент теплоотдачи от газов в цилиндре к огневому днищу в начальный момент времени, ${\rm Br/}({\rm m}^2\cdot {\rm K});$
 - $\alpha_{_{\Gamma,\,i}}$ то же после i-го шага по времени, $\mathrm{Bt/(m^2\cdot K)};$
 - $-\alpha_{_{B}}$ коэффициент теплоотдачи от охлаждающей воды к стенке крышки, $Bt/(M^{2}\cdot K)$;

 - $-t_{_{\rm B}}^-$ температура охлаждающей воды, К (°C); $-\lambda$ коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м · K).

Далее рассмотрим вопрос о температурах в отдельных слоях стенки цилиндровой крышки после каждого шага по времени. Для углов поворота коленчатого вала в пределах от 330° до 380° принимаем $\Delta \phi = 2^{\circ}$; для углов поворота коленчатого вала от 380° до 540° – $\Delta \phi = 5^{\circ}$; для углов поворота коленчатого вала в пределах от 550° до 270° – $\Delta \phi = 10^{\circ}$; в пределах от 275° до $330^{\circ} - \Delta \phi = 5^{\circ}$.

Температура в слоях после первого шага по времени. В соответствии с основными положениями метода элементарных балансов после первого шага по времени температура будет изменяться только в крайних слоях стенки.

Количество теплоты (Дж), подводимой от горячих газов к огневому днищу, определяем по закону Ньютона–Рихмана [15]:

$$Q_{1} = \alpha_{r,0}(t_{r,0} - t_{w})F\Delta\tau_{1},\tag{1}$$

где t_{ij} – начальная температура стенки, К (°C); F – площадь поверхности теплообмена, м²; $\Delta \tau_{ij}$ – длительность первого шага по времени, с.

Количество теплоты, отводимой от первого слоя ко второму слою, будет равным нулю, поскольку определяется по температурам предшествующего шага по времени, т. е. по начальным температурам слоев. Поскольку начальные температуры слоев приняты одинаковыми, то передача теплоты теплопроводностью от первого слоя ко второму после первого шага по времени будет отсутствовать.

Количество накопленной теплоты в первом слое за время теплообмена в течение времени Δau_1 будет иметь вид:

$$\Delta Q_{1} = \frac{1}{2} \Delta \chi_{2} F \rho c \left(t_{\Delta_{T, \Delta_{\chi}}} - t_{_{H}} \right). \tag{2}$$

По уравнениям (1) и (2) записываем:

$$\alpha_{r.o}(t_{r.o}-t_{H})F\Delta\tau_{1}=\frac{1}{2}\Delta\chi_{2}F\rho c(t_{\Delta\tau,\Delta\chi}-t_{H}), \qquad (3)$$

где $\Delta \chi_2$ – толщина слоя, м; ρ – плотность материала стенки, кг/м³; c – удельная массовая теплоемкость материала стенки, Дж/(кг · К); $t_{\Delta_{\rm t},\Delta_{\rm Y}}$ – ожидаемая температура первого слоя через один интервал времени, К (°С).

Из уравнения (3) находим ожидаемое значение температуры первого слоя $t_{_{\Lambda_{7},\Lambda_{7}}}$, одновременно являющейся температурой поверхности стенки:

$$t_{\Delta\tau, \Delta\chi} = t_{r.o} \frac{2\alpha_{r.o}\Delta\tau_{1}}{\Delta\chi, \rho c} + t_{ss} \left(1 - \frac{2\alpha_{r.o}\Delta\tau_{1}}{\Delta\chi, \rho c}\right). \tag{4}$$

После первого шага по времени температура последующих слоев, начиная со второго, остается неизменной и рав-

Температура в слоях после второго шага по времени. После второго шага по времени температура изменится в двух слоях стенки. Температуру первого слоя рассчитываем так же, как и в предыдущем слое – по балансу теплоты, принятой этим слоем и отданной им.

Количество теплоты, поступающее к первому слою со стороны газов после второго шага по времени, определяется по формуле, аналогичной формуле (1):

$$Q_{1} = \alpha_{r,1} \left(t_{r,1} - t_{\Delta \tau, \Delta \chi} \right) F \Delta \tau_{2}, \tag{5}$$

где $t_{{}_{\mathrm{r},1}}$ – температура газов после первого шага по времени.

Количество теплоты, которое отдается первым слоем второму, определяется по формуле:

$$Q_{2} = \frac{t_{\Delta\tau, \Delta\chi} - t_{\Delta\tau, 2\Delta\chi}}{\Delta\chi} \lambda F \Delta \tau_{2}.$$
 (6)

В формуле (6) температура во втором слое после первого шага по времени $t_{_{\Delta \tau,\,2\Delta \chi}}$, как показано выше, равна $t_{_{\rm H}}$, т. е.:

$$Q_{2} = \frac{t_{\Delta\tau, \Delta\chi} - t_{_{\rm H}}}{\Delta\chi_{_{2}}} \lambda F \Delta\tau_{_{2}}.$$
 (7)

Количество накопленной теплоты в первом слое после второго шага по времени определяется по разности теплоты Q_1 и Q_2 , и это количество теплоты будет израсходовано на изменение температуры первого слоя. Уравнение баланса теплоты в этом случае будет аналогичным уравнению (3). Используя соотношения (5) и (7), можно записать:

$$\alpha_{r,1}(t_{r,1} - t_{\Delta \tau, \Delta \chi}) F \Delta \tau_2 - \frac{t_{\Delta \tau, \Delta \chi} - t_{H}}{\Delta \chi_2} \lambda F \Delta \tau_2 = \frac{1}{2} \Delta \chi_2 F \rho c \left(t_{2\Delta \tau, \Delta \chi} - t_{\Delta \tau, \Delta \chi} \right), \tag{8}$$

где $t_{2\Delta^{\intercal},\,\Delta\chi}$ – ожидаемая температура первого слоя после второго шага по времени.

 $\overline{\Pi}$ осле некоторых преобразований из уравнений (8) находим искомую величину $t_{2\Lambda_{1},\Lambda_{2}}$:

$$t_{2\Delta\tau, \Delta\chi} = t_{\Delta\tau, \Delta\chi} \left(1 - \frac{2\alpha_{r,1}\Delta\tau_{2}}{\Delta\chi_{2}\rho c} - \frac{2\lambda\Delta\tau_{2}}{\Delta\chi_{2}^{2}\rho c} \right) + t_{r,1} \frac{2\alpha_{r,1}\Delta\tau_{2}}{\Delta\chi_{2}\rho c} + t_{r} \frac{2\lambda\Delta\tau_{2}}{\Delta\chi_{2}^{2}\rho c}.$$

Температура второго слоя после второго шага по времени определяется по балансу теплоты, поступающей ко второму слою от первого, и отводимой теплоты от второго слоя к третьему. При этом температура третьего слоя после второго шага по времени $t_{2\Delta\tau 3,\; 2\Delta\chi}$ и температура второго слоя после первого шага по времени $t_{\Delta\tau,\; 2\Delta\chi}$ равны начальной температуре стенки t_{μ} .

Количество подведенной теплоты от первого слоя ко второму запишется уравнением:

$$Q_{1} = \frac{t_{\Delta\tau, \Delta\chi} - t_{H}}{\Delta\chi_{2}} \lambda F \Delta\tau_{2}.$$

Количество отведенной теплоты от второго слоя к третьему после второго шага по времени будет иметь вид:

$$Q_{2} = \frac{t_{H} - t_{H}}{\Delta \chi_{3,2}} \lambda F \Delta \tau_{2} = 0.$$

Уравнение теплового баланса в этом случае запишется в виде:

$$\frac{t_{\Delta\tau, \Delta\chi} - t_{\Delta\tau, 2\Delta\chi}}{\Delta\chi} \lambda F \Delta\tau_{2} = \Delta\chi_{2} F \rho c \left(t_{2\Delta\tau, 2\Delta\chi} - t_{\Delta\tau, 2\Delta\chi}\right).$$

Тогда после некоторых преобразований из последнего уравнения находим искомую температуру второго слоя после двух шагов по времени $t_{2\Delta t, 2\Delta \gamma}$:

$$t_{_{2\Delta\tau,\,2\Delta\chi}} = t_{_{\rm H}} \left(1 - \frac{\lambda \Delta \tau_{_2}}{\Delta \chi_{_2}^2 \rho c} \right) + t_{_{\Delta\tau,\,\Delta\chi}} \frac{\lambda \Delta \tau_{_2}}{\Delta \chi_{_2}^2 \rho c}.$$

Температура третьего и последующих слоев после второго шага по времени равна начальной температуре стенки $t_{_{
m H}}$. Дальнейшее построение уравнений для определения температуры в отдельных слоях стенки крышки цилиндра, образующей камеру сгорания силовой дизельной установки горнотранспортной машины, после каждого шага по времени производится аналогично уравнениям, изложенным ранее.

Выполнив необходимые преобразования, можно записать ряд общих формул для расчета температуры в отдельных слоях.

1. Температура в первом слое при разном числе шагов по времени $i \ge 1$:

$$t_{i\Delta\tau, \Delta\chi} = t_{(i-1)\Delta\tau, \Delta\chi} \left(1 - \frac{2\alpha_{r,(i-1)}\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi, \rho c} - \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi^{2}_{\rho c}} \right) + t_{(i-1), 2\Delta\chi} \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi^{2}_{\rho c}} + t_{r,(i-1)} \frac{2\alpha_{r,(i-1)}\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi, \rho c}.$$

$$(9)$$

При этом следует принимать значение температуры с индексом $t_{_{i\Delta\tau,\,j\Delta\chi}}$, в котором i < j, равным начальной температуре в слое, такой, какой она была в начале «прогонки». При этом понятие «прогонка» включает в себя совокупность расчета температур в слоях после одного шага по времени.

2. Температура во втором слое при разном числе шагов i по времени ($i \ge 1$):

$$t_{_{i\Delta\tau,2\Delta\chi}} = t_{_{(i-1)\Delta\tau,2\Delta\chi}} \left(1 - \frac{\lambda \Delta\tau_{_{i}}}{\Delta\chi_{_{2}}^{2}\rho c} - \frac{2\lambda \Delta\tau_{_{i}}}{\Delta\chi_{_{2}}\left(\Delta\chi_{_{2}} + \Delta\chi_{_{3}}\right)\rho c} \right) + t_{_{(i-1)\Delta\tau,3\Delta\chi}} \frac{2\lambda \Delta\tau_{_{i}}}{\Delta\chi_{_{2}}\left(\Delta\chi_{_{2}} + \Delta\chi_{_{3}}\right)\rho c} + t_{_{(i-1)\Delta\tau,\Delta\chi}} \frac{\lambda \Delta\tau_{_{i}}}{\Delta\chi_{_{2}}^{2}\rho c}.$$

$$(10)$$

Как и в предыдущем случае, в выражении температуры $t_{_{i\Delta\tau,\,j\Delta\chi}}$ при i < j значение температуры $t_{_{i\Delta\tau,\,j\Delta\chi}}$ принимается равным начальной температуре предыдущей прогонки. Это условие можно выразить следующим образом:

$$t_{_{i\Delta\tau,\, i\Delta\chi}} = t_{_{\scriptscriptstyle H}},$$
если $i < j$. (11)

3. Температура в слоях, начиная с третьего до двух предпоследних, определяется по формуле:

$$t_{i\Delta\tau_{i}j\Delta\chi} = t_{(i-1)\Delta\tau_{i}j\Delta\chi} \left(1 - \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{j} \left(\Delta\chi_{j} + \Delta\chi_{j-1}\right)\rho c} - \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{j} \left(\Delta\chi_{j} + \Delta\chi_{j+1}\right)\rho c} \right) + t_{(i-1)\Delta\tau_{i} (j+1)\Delta\chi} \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{j} \left(\Delta\chi_{j} + \Delta\chi_{i+1}\right)\rho c} + t_{(i-1)\Delta\tau_{i} (j-1)\Delta\chi} \Delta\chi \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{j} \left(\Delta\chi_{j} + \Delta\chi_{i-1}\right)\rho c}.$$
(12)

При расчетах по формуле (12) учитывается условие (11). Ограничение по числу слоев к формуле (11) можно выразить соотношением:

$$3 \le i < (m-2),$$

где m – число выделенных слоев в стенке.

Уравнения, приведенные ранее, справедливы для расчета температуры в слоях стенки, начиная с первого от поверхности крышки цилиндров, образующей камеру сгорания. Одновременно с этим осуществляется процесс теплообмена со стороны охлаждающей жидкости. При этом расчетные зависимости для определения температуры будут отличаться от предыдущих только для двух слоев, примыкающих к полости охлаждения. Далее излагаются эти расчетные зависимости.

Для построения расчетных зависимостей определения температуры в двух слоях со стороны охлаждающей воды принимаются два условия:

- температура охлаждающей воды $t_{\rm s}$ не изменяется во времени;
- толщина последнего (*m*-го) слоя принимается равной половине толщины предпоследнего слоя.

Уравнение для определения температуры последнего слоя после i-го шага по времени $t_{i \wedge \tau_i}$ "

$$t_{i\Delta\tau, m} = t_{(i-1)\Delta\tau, m} \left(1 - \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{(m-1)}^{2}\rho c} - \frac{2\alpha_{s}\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{(m-1)}\rho c} \right) + t_{(i-1)\Delta\tau, (m-1)} \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{(m-1)}^{2}\rho c} + t_{s} \frac{2\alpha_{s}\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{(m-1)}\rho c}.$$
(13)

Уравнение для определения температуры предпоследнего слоя после i-го шага по времени $t_{i \wedge \tau_{i} (m-1)}$:

$$t_{i\Delta\tau,(m-1)} = t_{(i-1)\Delta\tau,(m-1)} \left(1 - \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{(m-1)} \left(\Delta\chi_{(m-1)} + \Delta\chi_{(m-2)} \right) \rho c} - \frac{\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{(m-1)}^{2} \rho c} \right) + t_{(i-1),(m-1)} \frac{2\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{(m-1)} \left(\Delta\chi_{(m-1)} + \Delta\chi_{(m-2)} \right) \rho c} + t_{(i-1)\Delta\tau,m} \frac{\lambda\Delta\tau_{i}}{\Delta\chi_{(m-1)}^{2} \rho c}.$$
(14)

Таким образом, уравнения (9), (10) (12), (13) и (14) составляют систему уравнений для определения температуры в слоях стенки после ряда шагов по времени.

При этом уравнения (9) и (10) – система уравнений A – определяют температуру в двух слоях огневого днища со стороны газов в цилиндре; уравнения типа (12) – система уравнений В – определяют температуру в слоях от третьего со стороны горячих газов до предпоследнего слоя после ряда шагов по времени. Уравнения (13) и (14) – система уравнений С – определяют температуру в предпоследнем и последнем слоях огневого днища при разном числе шагов по времени.

Для проведения расчетов по приведенным формулам задаются следующие исходные данные: значения шагов по времени $\Delta \tau_i$, толщины слоев $\Delta \chi_j$, значения температуры газов $t_{{}_{\rm R},i}$ и суммарного коэффициента теплоотдачи от охлаждающей воды к стенке $\alpha_{{}_{\rm B}}$, значение температуры охлаждающей воды $t_{{}_{\rm B}}$, а также начальные температуры в слоях стенки $t_{{}_{\rm B}}$

Результаты

С помощью математической модели определено изменение температуры в слоях крышки цилиндра (рис. 1). При известных температурах определены градиенты между слоями. Зная градиенты температур, используя классические

110 Рябко Е. В. Математическая модель и результаты расчета температуры стенки, образующей камеру сгорания дизельного двигателя горно-транспортной машины // Известия УГГУ. 2018. Вып. 2(50). С. 107-113. DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-107-113

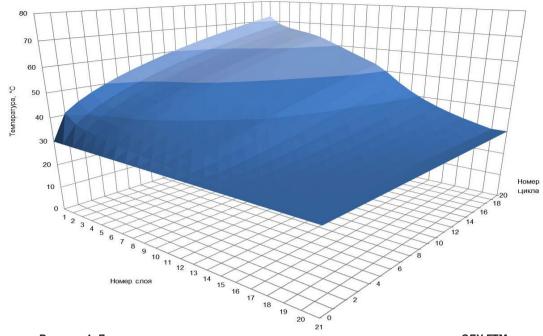


Рисунок 1. Диаграмма распределения температуры в слоях крышки цилиндра СДУ ГТМ.

Figure 1. Diagram of the temperature distribution in the layers of the cylinder cover of the power diesel engine of mining machine.

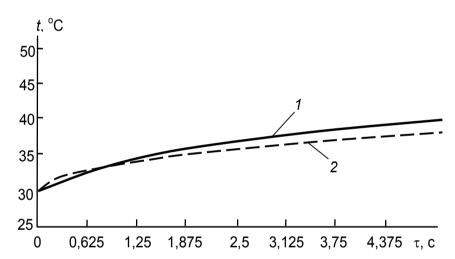


Рисунок 2. Результаты экспериментальных исследований и сравнение с данными моделирования. *1* – экспериментальные значения, *2* – теоретические значения.

Figure 2. Experimental results and comparison with simulation data.

методы расчета теплонапряженности материалов [16], можно определить температурные напряжения на поверхности цилиндровой крышки.

Для проверки адекватности математической модели проведены экспериментальные исследования температурных полей крышки цилиндра дизеля горно-транспортной машины с последующим анализом и сопоставлением полученных результатов с теоретическими исследованиями.

В качестве объекта исследований использовалось огневое днище крышки цилиндра дизеля Д49. В эксперименте предусмотрено постоянство температуры окружающей среды $t_{\rm o.c}$ = 22 °C. Эксперимент планируется и реализуется при одновременном варьировании двух факторов – температуры поверхности нагревательного прибора и времени нагрева материала крышки цилиндра дизеля горнотранспортной машины. Для измерения температуры в различных слоях крышки цилиндра использовались термоэлектрические методы измерения при помощи термоэлектрических термометров (термопар). При этом величина температуры определялась по показаниям АЦП/ЦАП ZET Sigma 16/16 USB. При измерениях использовалось три термопары, которые помещались на различную глубину и находились в нескольких точках материала огневого днища. Данные точки соответствовали характерным слоям, в которых рассчитывалась температура по приведенной математической модели. Опрос термопар осуществляется со скоростью 0,01 с, что обеспечивает достаточную точность измерений, для построения кривой 1 (рис. 2) было использовано 582 точки. Погрешность термопар ТХА при проведении измерений не превышала \pm 2 °C, что соответствует допустимым паспортным значения \pm 2,5 °C. В процессе проведения экспериментальных исследований было установлено, что вне зависимости от слоя

крышки цилиндров характер изменения температуры имеет одинаковую закономерность. Изменение температуры имеет логарифмический характер, по этой причине опытным путем установлено необходимое время измерений. Среднее квадратическое отклонение экспериментальных и теоретических данных составило 0,8, среднее отклонение модели от фактических значений – 0,9, среднее процентное отклонение – 2,4, что является достаточным для практического использования результатов эксперимента.

На рис. 2 приведены полученные данные.

Полученные результаты свидетельствуют об адекватности математической модели, что позволяет применять полученные результаты моделирования для разработки комплекса мероприятий, направленных на повышение надежности дизельных силовых установок горно-транспортных машин.

Выволы

Разработана математическая модель процесса изменения температуры в слоях огневого днища крышки цилиндра дизеля горно-транспортной машины с учетом среднего коэффициента теплоотдачи в течение цикла и градиента температур, изменяющегося во времени.

Рассмотренная методика может применяться для оценки теплонапряженного состояния деталей дизельных двигателей горно-транспортных машин. Область применения математической модели не ограничивается только крышками цилиндров, при необходимом количестве исходных данных можно решать сложные задачи теплопроводности в силовой дизельной установке горно-транспортной машины. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают адекватность математической модели процесса изменения температуры в огневом днище крышки цилиндра дизельного двигателя горно-транспортной машины.

Приведенная методика может быть использована:

- для оценки времени прогрева силовой дизельной установки горнотранспортной машины и ввода ее в эксплуатацию после «холодного пуска»;
 - анализа переходных процессов, протекающих в деталях камеры сгорания силовой дизельной установки;
 - оценки времени нахождения дизеля в горячем резерве после его остановки в холодное время года;
 - разработки мероприятий, направленных на улучшение условий работы деталей камеры сгорания;
 - решения задач усовершенствования системы охлаждения;
- расчетного моделирования оптимального теплового состояния деталей силовой дизельной установки горнотранспортной машины.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Ferrit. Global Mining Solution. 2015. URL: http://ferrit.cz/ru/produkty/podvesnoj-transport
- 2. Becker Mining Systems. 2018. URL: http://becker-mining.com
- 3. Гнайдинг Э. Пре́зентация фирмы «СМТ Шарф» и новые разработки. Дальнейшее расширение производственной программы // Глюка-уф. 2011. №1. С. 24–27.
- 4. Pieczora E., Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K., Suffner H. Development of underground diesel transportation machines // Mining machinery. 2016. Vol. 34, № 2. P. 20–32.
- 5. Рябко Е. В. Анализ факторов, влияющих на надежность дизельных силовых установок карьерных и рудничных локомотивов // Вестник ДонНТУ. 2017. № 3 (9). С. 44–51.
- 6. Гутаревич В. О., Рябко К. А., Рябко Е. В. Проблемы и направления совершенствования экологических характеристик горно-транспортных машин с дизельной установкой // Вестник ДонНТУ. 2018. № 1 (11). С. 12–17.
- 7. Чайнов Н. Д., Заренбин В. Г., Иващенко Н. А. Тепломеханическая напряженность деталей двигателей. М.: Машиностроение, 1977. 152 с.
- 8. Попов В. М. Теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. М.: Энергия, 1971. 214 с.
- 9. Ролле И. А. Повышение ресурса крышек цилиндров тепловозных дизелей: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: ПГУПС, 2006. 130 с.
- 10. Barchenko F. B., Bakulin V. N. Calculation of the Thermal Loading of the Cylinder-Piston Group of the Automobile Engine // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. Vol. 90, № 3. P. 657–664.
- 11. Jahangirian S., Srivastava A., Hosseini S., Ballard S. A Multi-Physics 3D Modeling Methodology for Multi-Cylinder Diesel Engine Thermal Management and Fatigue Life Prediction // SAE Int. J. Mater. 2015. № 8 (3). P. 893–904. DOI: 10.4271/2015-01-0671.
- 12. Zhang H., Lin Z., Xing J. Temperature field analysis to gasoline engine piston and structure optimization // Journal of Theoretical & Applied Information Technology. 2013. Vol. 48, №. 2. P. 904–910.
- 13. Menacer B. Thermodynamic Analysis of a Turbocharged Diesel Engine Operating under Steady State Condition // Journal of Applied Fluid Mechanics. 2016. Vol. 9, № 2. P. 573–585.
- 14. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979. 416 с.
- 15. Yusha V. L. The estimation of thermal conditions of highly-cooled long-stroke stages in reciprocating compressors // Procedia Engineering. 2015. Vol. 113. P. 264–269.
- 16. Коваленко А. Д. Основы термоупругости. Киев: Наук. думка, 1970. 308 с.

Статья поступила в редакцию 3 апреля 2018 г.

УДК 622.6:621.436.1 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-107-113

Mathematical model and calculation results of the temperature of the wall forming the combustion chamber of the diesel engine mining machine

Evgeniya Vladimirovna Ryabko railroader@yandex.ru

Donetsk National Technical University Donetsk, Ukraine

Urgency of the work. The surface of the cylinder cover of the diesel mining machine experiences influences variable in time of exposure. These influences come from the temperature of the working gases in the combustion chamber. This change in the temperature of the working gases in time causes temperature gradients in time in the cylinder cover. This results in mechanical stresses. A promising line of research is studying the parameters and processes occurring in the details of the power diesel engine. These processes affect the smooth operation of the mining transport machines being used.

The purpose of the work is to develop a method of calculating the temperature fields of the wall forming the combustion chamber of the diesel mining transport machine.

Research methodology is based on the application of numerical methods for solving the problems of non-stationary thermal conductivity.

The results of the work and the field of their application. The study of temperature fields in the details of the power diesel engine will improve the operating conditions of mining vehicles. To carry out the research, a mathematical model of the temperature change process in the layers of the bottom of the cylinder cover of the diesel mining machine has been developed. It considers the average heat transfer coefficient during the cycle and the temperature gradient varying in time. Using a mathematical model, the temperature change in the layers of the cylinder cover is determined. The method considered can be used to assess the heat-stressed state of the diesel engine parts of mining transport machines. The field of application of the mathematical model is not limited to the cylinder covers, with the required amount of initial data. It is possible to solve complex problems of thermal conductivity in the power diesel engine of mining transport machines. The experimental studies confirm the adequacy of the mathematical model of the temperature change process in the bottom of the cylinder cover of the diesel engine of mining transport machines.

Keywords: mining transport machine; power diesel installation; cylinder-piston group; cylinder head; temperature field; heat transfer; mathematical model.

REFERENCES

- 1. 2015, Ferrit. Global Mining Solution. URL: http://ferrit.cz/ru/produkty/podvesnoj-transport
- 2. 2018, Becker Mining Systems. URL: http://becker-mining.com
- 3. Gneiding E. 2011, Prezentatsiya firmy «SMT Sharf» i novyye razrabotki. Dal'neysheye rasshireniye proizvodstvennoy programmy [Presentation of the company "SMT Scarf" and new developments. Further expansion of the production program]. Glyukauf [Gluckauf], no. 1, pp. 24–27.
- 4. Pieczora E., Dobrzaniecki P., Kaczmarczyk K., Suffner H. 2016, Development of underground diesel transportation machines. *Mining machinery*, vol. 34, no. 2, pp. 20–32.
- 5. Ryabko Ye. V. 2017, Analiz faktorov, vliyayushchikh na nadyozhnosť dizeľnykh silovykh ustanovok karyernykh i rudnichnykh lokomotivov [Analysis of factors affecting the reliability of diesel power plants in the quarrying and mining locomotives]. Vestnik DonNTU [Vestnik Donetsk National Technical University], no. 3 (9), pp. 44–51.
- 6. Gutarevich, V. A., Ryabko, K. A., Ryabko E. V. 2018, *Problemy i napravleniya sovershenstvovaniya ekologicheskikh kharakteristik gornotransportnykh mashin s dizel'noy ustanovkoy* [The problems and directions of improving the environmental performance of the mining vehicles with diesel plant]. *Vestnik DonNTU* [Vestnik Donetsk National Technical University], no. 1 (11), pp. 12–17.
- 7. Chinov N. D., Serebin V. G., Ivashchenko N. A. 1977, Teplomekhanicheskaya napryazhyonnost' detaley dvigateley [Mechanical tension parts of engines]. Moscow, 152 p.
- 8. Popov v. M. 1971, Teploobmen v zone kontakta raz'yomnykh i neraz'yomnykh soyedineniy [Heat exchange in the contact zone of detachable and all-in-one connections]. Moscow, 214 p.
- 9. Rolle I. A. 2006, *Povysheniye resursa kryshek tsilindrov teplovoznykh dizeley: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving resource covers of cylinders of diesel engines: Dissertation of the Candidate of technical sciences]. Saint Petersburg, 130 p.
- 10. Barchenko F. B., Bakulin V. N. 2017, Calculation of the Thermal Loading of the Cylinder-Piston Group of the Automobile Engine. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, vol. 90, no. 3, pp. 657–664.
- 11. Jahangirian S., Srivastava A., Hosseini S., Ballard S. 2015, A Multi-Physics 3D Modeling Methodology for Multi-Cylinder Diesel Engine Thermal Management and Fatigue Life Prediction. SAE International Journal of Materials and Manufacturing, no. 8 (3), pp. 893–904. DOI: 10.4271/2015-01-0671
- 12. Zhang H., Lin Z., Xing J. 2013, Temperature field analysis to gasoline engine piston and structure optimization. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, vol. 48, no. 2, pp. 904–910.
- 13. Menacer B. 2016, Thermodynamic Analysis of a Turbocharged Diesel Engine Operating under Steady State Condition. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, vol. 9, no. 2. pp. 573–585.
- 14. Kutateladze S. S. 1979, Osnovy teorii teploobmena [Fundamentals of heat transfer theory]. Moscow, 416 p.
- 15. Yusha V. L. 2015, The estimation of thermal conditions of highly-cooled long-stroke stages in reciprocating compressors. *Procedia Engineering*, vol. 113, pp. 264–269.
- 16. Kovalenko A. D. 1970, Osnovy termouprugosti [Fundamentals of thermoelasticity]. Kiev, 308 p.

The article was received on April 3, 2018

УДК 622.277;621.927

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ НЕПОЛВИЖНЫХ ГРОХОТОВ

Аркадий Васильевич Юдин, Виктор Степанович Шестаков, Shestakov.v.s@mail.ru Магомед Казбекович Абдулкаримов Уральский государственный горный университет Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена потребностью предприятий строительной отрасли в более качественной подготовке сырья, в повышении эффективности работы оборудования. Проблемой, с которой сталкиваются на предприятиях, является разделение на фракции заглинистой горной массы. Установленные грохоты забиваются и перестают выполнять свою функцию.

Шель работы: анализ рабочего процесса неподвижного колосникового грохота и разработка технических предложений по повышению эффективности грохочения трудногрохотимой горной массы.

Методология исследования: моделирование рабочего процесса неподвижного колосникового грохота.

Результаты. В технологических комплексах неподвижные грохоты выполняют операции предварительного разделения горной массы (часто перед первичным дроблением). При простоте конструкции они имеют низкую эффективность грохочения, требуют повышенной площади просеивающей поверхности, имеют значительные высотные габариты. Опыт эксплуатации показал, что просеивающая поверхность колосниковых грохотов с открытой шелью часто забивается и требует чистки. При расстоянии между колосниками 40–50 мм разделение заглинистой горной массы особенно затруднительно. Одной из причин этого обстоятельства является отсутствие методики выбора параметров грохота. Практически основное исполнение неподвижных грохотов выполняется в двухопорном варианте с поперечным расположением связь-балок и с заниженной высотой колосников. Просеивающие поверхности выполняются линейными.

Выводы. Рассмотренные в статье математическая модель и методика позволяют определять основные параметры неподвижных грохотов. Предложен вариант совершенствования неподвижных грохотов путем изменения конструкции ПП и придания ей свободных и вынужденных разноамплитудных колебаний, это позволит повысить эффективность разделения трудногрохотимой горной массы на 5–10 %, расширить область применения грохотов для разделения глинистых фракций 40–100 мм; снизить строительную высоту и угол установки грохота на 20 %.

Ключевые слова: грохот; бортовина; просеивающая поверхность; колосник; балка; шарнир; упругая опора; мотор-виборатор; математическая модель; амплитуда; частота колебаний.

Ведение Исследования по совершенствованию конструкций грохотов проводятся уже длительное время [1–8], но выпускаемые в настоящее время недостаточно эффективны для всех условий эксплуатации. На кафедре горных машин и комплексов УГГУ проводятся исследования по совершенствованию конструкций грохотов и по определению их параметров для условий эксплуатации с трудногрохотимым материалом [9–11]. Рассмотрены две схемы усовершенствования неподвижных грохотов.

Неприводные колосниковые грохоты применяются для предварительного грохочения. Они представляют собой набор колосников, устанавливаемых под углом к горизонту. Для условий загрузки грохотов из транспортных сосудов в карьерах или шахтах расстояние между колосниками T_i выбирается в зависимости от требований технологии. Колосниковая просеивающая поверхность (ПП) показана на рис. 1 [9]. Щели колосниковой решетки до ходу движения горной массы постепенно увеличиваются от значения T_i на загрузочном конце грохота до T_2 — на разгрузочном конце. Угол наклона колосников составляет 45–50° для сухих руд и пород. Исследования грохочения руд Криворожского бассейна показали, что на жестких двухопорных грохотах руда устойчиво движется при угле наклона не менее 35°. При наличии в руде или породе повышенного количества влаги и возможности слипания кусков угол наклона увеличивается на 5–10°. На грохотах с жестким двухопорным закреплением колосников при расстоянии между колосниками до 0,05 м перерабатывать влажные и липкие материалы практически невозможно.

Неподвижные колосниковые грохоты, загружаемые при помощи питателей, на практике получили самое широкое применение. Общий недостаток работающих на предприятиях двухопорных грохотов – это застревание кусков клинообразной формы над поперечными связь-балками. Если застрявшие куски не удалить сразу, при дальнейшей работе происходит полная забутовка межколосникового пространства, снижается эффективность работы грохота. Основная причина отмеченного недостатка заключается в том, что в практике горного машиностроения не отработана методика проектирования и расчета ПП колосникового типа. Некоторые рекомендации по расчету параметров колосниковых ПП неподвижных и вибрационных грохотов приведены в работе [2, 3, 5, 8].

В результате исследований нами выявлена наиболее рациональная конструкция неприводных колосниковых грохотов – консольные и подпружиненные грохоты [9].

Конструкции консольных подпружиненных грохотов имеют преимущества перед грохотами с жестким закреплением колосников – выше на 15–20 % эффективность разделения, в 2–2,5 раза меньше динамические нагрузки и соответственно ударно-абразивный износ колосников. Промышленная эксплуатация новых конструкций грохотов на шахтах Кривбасса и на карьерах горно-обогатительных комбинатов ИНГОКа и НКГОКа (Украина) показала их более высокую пропускную способность.

На рис. 2 приведена конструкция грохота, ПП которого выполнена с подпружиненными колосниками. Грохот разработан ИГТМ (Украина) и был применен на НКГОКе перед конусной дробилкой. Отличием грохота является то, что его ПП сформирована с веерообразным расположением колосников, колосники 2 выполнены из толстостенной трубы диаметром 0,152 м, длиной около 9 м и усилены продольным ребром жесткости. Футеровка 1 колосников имеет капле-

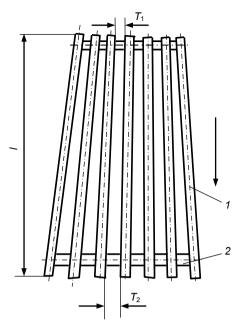


Рисунок 1. Колосниковая просеивающая поверхность грохота. 1 – колосник; 2 – поперечная связь-балка; 3 – стойка колосника; 4 – головка колосника; 5 – футеровочная накладка; T_1 , T_2 – расстояние между колосниками в загрузочной и разгрузочной части грохота. **Figure 1. Grate sifting surface of the screen.**

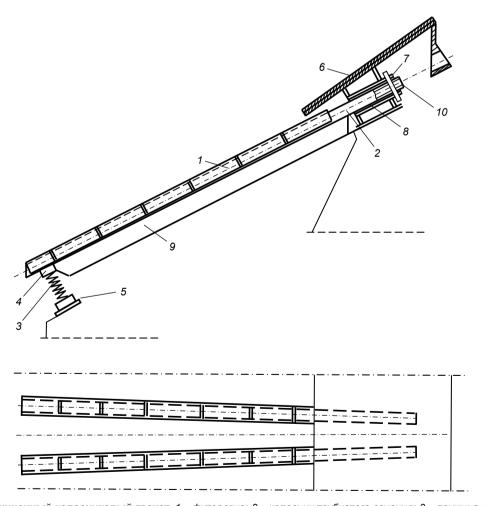


Рисунок 2. Подпружиненный колосниковый грохот. 1 – футеровка; 2 – колосник трубчатого сечения; 3 – пружина винтовая цилиндрическая; 4 – стакан пружины; 5 – опора пружины; 6 – приемная плита; 7 – вертикальная ось; 8 – обойма крепления колосника; 9 – стойка колосника; 10 – пазы.

Figure 2. Spring-loaded bar screen.

видную форму и крепится на колосниках при помощи горизонтальных болтов. В передней части трубы снизу каждого колосника приварены стаканы 4, в которые вставляются цилиндрические винтовые пружины 3 диаметром 0,16 м. Другим концом пружина 3 насажена на наконечник опоры 5. Второй опорой колосников является обойма 8. В концах труб колосников 2 выполнены пазы под ось 7, которые позволяют поворачиваться колосникам как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Грохот оборудован приемной плитой 6. Крепежные элементы и обойма 8 позволяют устанавливать колосники веерообразно с различным расстоянием между колосниками.

Характеристика грохота: производительность по исходной ГМ составляет 1500 т/ч; одно место разгрузки автосамосвалов; наибольший размер принимаемого куска равен 1 м; размеры в плане 9,9 × 4,5 м; длина грохотильной секции равна 7 м; угол наклона колосников 31°; общая масса 5 т.

Для повышения эффективности и совершенствования неподвижных грохотов в УГГУ разработано техническое решение грохота, который классификационно можно характеризовать как неподвижный грохот с каскадной и колеблющейся ПП. Ввиду новизны решения в статье дано только реферативное описание конструкции грохота, приведена методика расчета параметров ПП.

Грохот загружается питателем. Просеивающая поверхность грохота включает два или несколько каскадов и размещается между бортовинами. Каждый каскад опирается на связь-балки и включает два типа смежных колосников: двухопорные - опираются на обе связь-балки, консольные - закреплены только на задней связь-балке. Концы связьбалок вынесены за пределы бортовин, задняя - неподвижна и через шарнир опирается на раму, передняя связь-балка подвижна и опирается на упругую опору, закрепленную на раме. Таким образом, колосники ПП имеют возможность взаимного перемещения. При ударном взаимодействии с горной массой (ГМ) смежные колосники совершают свободные вертикальные колебания с различной амплитудой. При взаимном перемещении смежных колосников проявляется эффект изменения щели между колосниками, что способствует условиям выделения «трудных» фракций в подгрохотный продукт и увеличению эффективности грохочения, снижает вероятность забиваемости ПП.

При разделении трудногрохотимой ГМ появляется необходимость придания ПП дополнительных колебаний с заданной амплитудой [10-12]. Для получения дополнительных колебаний предлагается устанавливать на концах передних связь-балок каждого каскада синхронизирующиеся мотор-вибраторы с обеих сторон грохота. При этом двухопорные колосники совместно с передней связь-балкой выполняют расчетные вынужденные колебания в зарезонансном режиме, эффект изменения щели между смежными колосниками усиливается, следовательно, эффект грохочения возрастает.

В соответствии с предлагаемой методикой расчета определяются параметры ПП (площадь грохочения, объемная производительность, параметры колосниковой ПП, частоты собственных и вынужденных колебаний каскадов, амплитуда колебаний колосников и др.).

Если подача ГМ на грохот осуществляется питателем тяжелого типа (пластинчатыми, вибрационными, качающимися), то ширина грохота В определяется шириной рабочего органа питателя Вп и составляет

$$B = B_{\pi} + (0.3-0.5) \text{ M}; B > (2.0-2.5)D_{\text{max}},$$

где D_{\max} – наибольший размер куска.

Ширину грохота в карьерных условиях при загрузке автосамосвалами определяют в зависимости от ширины кузова автосамосвала B_{2} и количества мест разгрузки Z. При Z=1 ширина грохота составит, м:

$$B = B_3 + (1,5-2,0).$$

При принятой ширине должно соблюдаться условие $B > 4D_{\max}$.

Площадь грохота F определяется в зависимости от необходимой производительности и эффективности грохо-чения. В. А. Олевским предложена формула определения объемной производительности неприводного колосни-кового грохота [1]:

$$Q_{o} = q_{o}F = q_{1}TF, \tag{1}$$

где q_1 – объемная нагрузка, м³/(м² · ч) на 1 мм щели; T – расстояние между колосниками, мм; F – площадь колосниковой решетки, м2; q_0 – удельная объемная производительность, м³/(м² · ч), $q_0 = q_1 T$.

Формула (1) справедлива при условии, что питание грохота осуществляется непрерывным потоком и ширина питателя не превышает 2,0–2,5 м. Например, при загрузке грохота шириной B=2,5 м и длиной l=7,5 м при помощи питателя с полотном шириной 2,4 м часовая производительность грохота при T=0,2 м, $q_0=38$ м³/м²ч и насыпной плотности материала 1,6 т/м^3 по формуле (1) составит 1140 т/ч.

В условиях загрузки грохота из транспортных сосудов, например, из автосамосвалов, подача материала осуществляется порциями. Время подъема кузова большегрузных автосамосвалов колеблется от 24 до 27 с, а время опорожнения кузова составляет не более 8-12 с. Таким образом, на грохот в течение 10 с поступает объем материала, соответствующий вместимости кузова автосамосвала: для БелАЗ-7540 – 19 м³, для БелАЗ-7548 – 26 м³. Период поступления ГМ на грохот составляет от 90 до 120 с. Установлено, что объемная нагрузка на площадь грохота превышает расчетную по выражению (1) более чем в 10 раз.

При порционной загрузке грохота автосамосвалами производительность рекомендуется рассчитывать по формуле [1] $Q_{\rm o} = \frac{1}{K^*} q_{\rm o} F,$

$$Q_{o} = \frac{1}{K^{*}} q_{o} F_{o}$$

где К – коэффициент, характеризующий увеличение площади грохота при порционной загрузке автосамосвалами, К = 6,0–8,0; q_0 – удельная объемная производительность, м³/(м² · ч), q_0 = 16 при расстоянии между колосниками 0,05 м, q_0 = 38 при расстоянии между колосниками 0,2 м.

Площадь колосниковой решетки грохота F для грохотов с ограниченной производительностью и расстоянием между колосниками T = 0.05 - 0.06 м может быть определена по эмпирической формуле [3]:

$$F = \frac{Q_{o}}{2,4T_{co}},$$

где $T_{_{\rm CP}}$ – среднее расстояние между колосниками. К основным параметрам ПП относятся: среднее расстояние между колосниками $T_{_{\rm CP}}$, ширина колосников b, количество колосников n, длина колосника l, расстояние между бортовинами грохота B и др.

Количество колосников n определяется в зависимости от ширины рабочего органа грохота B при задаваемых значениях параметрам b и T_{cp} :

$$n = \frac{B - T_{cp} - 2B_{o}}{b + T_{cp}},$$

где B_{0} – размер бортового бруса.

Колосниковые ПП набирают из отдельных колосников, связанных между собой поперечными связями или жестко защемленных одним концом, а другой конец осуществляет колебания. Сечение колосников выполняется самой разнообразной формы (рис. 1).

Для ПП наиболее целесообразное сечение колосника Т-образной формы. При такой форме исключается заклинивание кусков между стойками колосников. Соотношение ширины головки колосника к толщине стойки $B_1/B_2 = 2,5-4$. Наибольшее соотношение следует принимать при значительных расстояниях между колосниками – $T_{\rm cn}$. Во избежание заклинивания кусков щели просеивающей поверхности должны быть полностью открытыми. Расстояния между колосниками T_{\cdot} и от верхнего края головки колосника до поперечных связей колосниковой решетки h должно быть выбрано из соотношения T:h=1:(2,5-2,0). Несоблюдение этого соотношения при эксплуатации неизбежно приводит к полному забиванию щели просеивающей поверхности грохота. Для расчета размера h рекомендуется формула

$$h = 2(T_i + 0.017 l_i),$$

где T_i , l_i – текущие координаты параметров. Расстояние $T_{\rm cp}$ между колосниками зависит от заданного размера выхода подколосниковых фракций, от свойств перерабатываемой ГМ, от принятой конструкции ПП. Показатель характеризуется как вероятностный процесс. Рекомендации по определению параметра $T_{_{\rm CD}}$ в увязке со средним размером куска приведены в работе авторов [1].

В ПП с консольными колосниками их свободные затухающие колебания возникают при ударном воздействии ГМ. Свободные колебания консольного колосника постоянного поперечного сечения рассматриваются как колебания стержня с одним заделанным и другим свободным концом (рис. 3, а) [7, 10]. На рис. 3, а показана первая (основная) из трех форм колебаний, которая принята для расчета параметров ПП. Круговая частота собственных колебаний р и соответствующий период колебаний т определяются по формулам [4, 7, 13–15]:

$$\rho = \left(\frac{1,875}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EJg}{A\gamma}}; \quad \tau = \frac{2\pi l^2}{3525} \sqrt{\frac{A\gamma}{EJg}},\tag{2}$$

где l – длина каскада грохота; γ – плотность материала, из которого изготовлен колосник; A – площадь поперечного сечения колосника, A = bh (b – ширина просеивающей поверхности, h – длина просеивающей поверхности); E – модуль упругости $E = 2 \cdot 10^6$ кг/см²; J – осевой момент инерции; g – ускорение свободного падения, g = 9,81 м/с⁻².

Круговая частота собственных колебаний:

$$\rho = \left(\frac{1,875}{l}\right)^2 \sqrt{\frac{EJg}{A\gamma}}.$$

Соответствующий период колебаний равен

$$\tau = \frac{1}{f} = \frac{2\pi l^2}{3525} \sqrt{\frac{A\gamma}{EJg}}.$$

Из выражения (2) видно, что частота собственных колебаний колосника в соответствии со схемой на рис. 3, a зависит от параметров b,h и от длины консоли l; меняя значения этих параметров, можно подобрать требуемое значения частоты для соответствующей горной массы.

Для определения амплитуды колебаний колосника при падении горной массы применима формула, составленная для консольной балки определения прогиба по длине от единичной силы. Получив амплитуду для единичной силы и умножив ее на силу тяжести кусков горной массы в соответствующей точке, получим фактический прогиб и соответственно амплитуду. Прогиб для консольной балки меняется по длине, зависит точки приложения силы и будет равен [5]:

$$y_i = \frac{a}{6EI} \Big(3x_i - a \Big) \quad \text{при } a \le x_i \le l,$$

где x_{i^*} a – расстояние от закрепленного конца колосника до i-го сечения и до точки приложения единичной силы соответственно.

Частота собственных колебаний консольной системы зависит не только от параметров колосника (2), но и от располагаемых на нем дополнительных грузов. На рис. 3, δ приведена расчетная схема для вывода частоты с учетом массы груза. На свободном конце консоли закреплена масса $m_{_{\rm I}}$, изгибная жесткость колосника EJ, длина консоли l, масса единицы длины колосника $m_{_{\rm O}}$.

Если не учитывать массу колосника, то частота собственных колебаний рассчитывается по формуле:

$$\rho = \sqrt{\frac{3EJ}{m_0 l^3}}.$$

Прогиб колосника с учетом массы при колебаниях можно представить в виде решения системы

$$y(t, x) = y_1(x) \sin \rho t$$
.

rge x – расстояние от начала колосника до рассматриваемого сечения; t – текущее время.

Для колосника грохота текущий прогиб $y_1(x)$ можно определить из уравнения прогибов колосника под действием некоторой силы Q, приложенной к массе m_z . Выражение прогиба $y_1(z)$ принимает вид [8]:

$$y_{l}(z) = \frac{Ql^{3}}{3EJ} \left[\frac{3}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^{3} \right].$$

По методу Релея, приравнивая максимальные значения кинетической и потенциальной энергии, для консервативной системы получили выражение для расчета частоты собственных колебаний системы:

$$\rho = \sqrt{\frac{C}{m_{\rm r} + \mu m_0 l}},$$

где m_r , m_0 – масса груза и единицы длины колосника; C – жесткость колосника; μ – коэффициент приведения массы,

$$\mu = \frac{1}{l} \int_{0}^{l} \left[\frac{3}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^{3} \right] dx = \frac{33}{140}.$$

В процессе исследования вынужденных колебаний при использовании вибратора было выявлено, что воздействие на шарнирную опору поперечной связь-балки, к которой консольно закреплены колосники, может быть уменьшено подбором параметров.

Рассмотрим устройство и процесс колебаний двухопорных колосников. Неподвижная опора закреплена в шарнире, другая опора опирается на пружину с жесткостью $C_{\rm np}$. Масса подвижной части каскада равна $m_{\rm n}$. На расстоянии $l_{\rm s}$ от оси вращения O на этой подвижной части каскада закреплен вибратор линейных колебаний с массой $m_{\rm s}$ и возмущающей силой, меняющейся по закону $P(t)=P_{\rm max}$ соз ωt , где $P_{\rm max}$ – амплитуда силы; ω – частота вращения ротора вибратора; t – текущее время. Система под действием возмущающей силы совершает угловые колебания относительно оси неподвижного шарнира. Схема приведена на рис. 3, s.

Установим, при каких условиях возмущающая сила вибратора P_{\max} , воздействующая на суммарную массу системы $M=m_{\pi}+m_{\mathfrak{p}}$, не передается на подшипниковый шарнир. Из теории удара известно, что если система имеет неподвижную ось вращения и если ударный импульс приложен в точку тела, именуемую «центром удара», то удар не оказывает действия на опору, в которой эта ось закреплена. Центр удара лежит на расстоянии $l_{\mathfrak{p}}$ от оси вращения, которое определяется по формуле:

$$l_{y} = \frac{J_{o}}{Ml_{u}} = l_{u} + \frac{l_{u}}{Ml_{u}} = \frac{2}{3}l,$$

где J_{o} , J_{u} – моменты инерции относительно оси O и центральный момент инерции; l_{u} – расстояние от оси O до центра тяжести системы при $l_{u} = l/2$; $J_{o} = Ml^{2}/3$; $J_{u} = Ml^{2}/12$.

Для уменьшения воздействия на опору требуется, чтобы возмущающая сила вибратора P_{\max} была приложена на расстоянии 2l/3 от оси вращения O. Нужно, чтобы реакция на неподвижную опору была R=0, для этого необходимо исключить влияние момента $m_{\pi}gl_{\pi}$ на значение реакции опоры R. Для этой цели целесообразно расстояние l_{π} до центра тяжести совместить с расстоянием l_{π} до центра удара. Тогда

$$l_{y} = \sqrt{\frac{J_{o}}{M}} = \sqrt{\frac{l^{2}}{3}} = 0,57l.$$

Расчетная эквивалентная схема приводится к виду на рис. 3, arepsilon. Полагаем, что суммарная масса M системы сосредоточена в центре тяжести и располагается на расстоянии $l_{\rm s}$ от оси вращения O. Без учета возмущающей силы вибратора P(t) на движение системы оказывают действие сила тяжести Mg и восстанавливающая сила пружинной опоры $C_m l_s^{-2} \varphi$. Обе силы приложены в центре тяжести системы. Сумма моментов относительно оси О составит:

$$Mgl_{v} - C_{m}l_{v}^{2}\varphi = 0. \tag{3}$$

Откуда

$$\varphi = \frac{Mg}{C_{n}l_{n}},$$

восстанавливающая сила пружины равна $C_{mn}l_{v}(\phi + \phi_{1})$, дифференциальное уравнение системы записывается в виде:

$$Mgl_{y} - C_{np_{y}}l_{y}^{2} - C_{np_{y}}l_{y}^{2} = J_{0} \frac{d^{2}(\varphi + \varphi_{1})}{dt^{2}},$$
 (4)

где J_{\circ} – момент инерции системы.

Согласно уравнению (3), сумма двух первых членов уравнению равна нулю. Тогда уравнение (4) примет вид

$$J_{o}\ddot{\varphi}_{1} + C_{np}l_{v}^{2}\varphi = 0. \tag{5}$$

Уравнение (5) соответствует основному уравнению свободных колебаний консервативных систем типа $aq + \ddot{b}q = 0$, инерционный коэффициент $a = J_0$, коэффициент жесткости $b = C_{\text{mp}} l^2$.

Частота собственных колебаний массы М:

$$\rho = \sqrt{\frac{C_{np_y}^{l^2}}{J_o}} = \sqrt{\frac{C_{np_y}^{l^2}}{(m_n + m_B)l_y^2}} = \sqrt{\frac{C_{np}}{m_n + m_B}}.$$

При приложении к массе M возмущающей силы, изменяющейся по гармоничному закону $P(t) = P_{max}$ cos ωt , уравнение движения системы примет вид

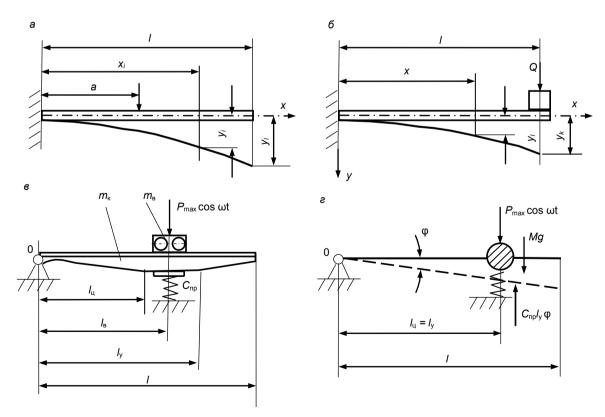


Рисунок 3. Схемы к расчету параметров колебаний просеивающей поверхности колосникового грохота. а - стержень с одним заделанным и другим свободным концом; δ – то же с дополнительным грузом на свободном конце; ε – вынужденные колебания двухопорных колосников; г – то же, эквивалентная расчетная схема. Figure 3. Scheme for calculating the parameters of oscillation of the sifting surface of the bar screen.

$$J_{\alpha}\ddot{\varphi}_{1} + C_{\alpha \alpha}l_{\alpha}^{2}\varphi = P_{\alpha \alpha}\cos\omega t$$

или в общем виде

$$\ddot{\varphi}_{1} + \rho \varphi = \frac{P_{\text{max}} \cos \omega t}{J_{o}}.$$
 (6)

Амплитуда колебаний определяется решением уравнения (6):

$$\varphi = \frac{P_{\text{max}}\cos\omega t}{J_{o}\left|\rho^{2} - \omega^{2}\right|} = \frac{P_{\text{max}}}{\left|C_{n}J_{v}^{2} - J_{o}\omega^{2}\right|},\tag{7}$$

где ω – частота вынужденных колебаний вибратора.

Для анализа динамического процесса сравним амплитуду вынужденных колебаний с отклонением при статическом воздействии силы P_{\max} . Для сравнения уравнение (7) представим в виде

$$\varphi = \mu \varphi_{-}$$

где μ – коэффициент динамичности системы, показывающий, во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний больше отклонения $\phi_{\rm cr} = P_{\rm max}/C_{\rm mp}$, вызываемого статическим приложением силы $P_{\rm max}$,

$$\mu = \left| 1 - \frac{\omega^2}{\rho^2} \right|^{-1}.$$

Выводы

- 1. Методика позволяет определять основные параметры неподвижных грохотов.
- 2. Предложен вариант совершенствования неподвижных грохотов путем изменения конструкции ПП и придания ей свободных и вынужденных разноамплитудных колебаний.
- 3. Приведенные схемы и методика расчета позволяют определять параметры грохота с защемленными и двухопорными колосниками.
- 4. Реализация предложенного технического решения грохота позволит повысить эффективность разделения трудногрохотимой горной массы: на 5–10 % при обеспечении свободных разноамплитудных колебаний каскадных ПП с консольно защемленными колосниками; до 80–90 % при обеспечении вынужденных колебаний каскадных ПП двухопорного типа.
- 5. Обеспечение колебаний ПП позволит расширить область применения грохотов для разделения глинистых фракций 40–100 мм; снизить строительную высоту и угол установки грохота на 20 %.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Справочник по обогащению руд. Т. 1. Подготовительные процессы / под ред. В. А. Олевского. М.: Недра, 1972. 448 с.
- 2. Вайсберг Л.А., Коровников А.Н., Трофимов В.А. Модернизация технологических циклов грохочения на основе инновационного оборудования (к 100-летию института «Механобр») // Горный журнал. 2017. № 1. С. 11–17.
- 3. Картавый А. Н. Вибрационные агрегаты для переработки минерального и техногенного сырья. Моделирование и элементы расчета по критериям энерго- и ресурсоэффективности. М.: МГГУ, 2013. 328 с.
- 4. Газалеева Г. И., Цыпин Е. Ф., Червяков С. А. Рудоподготовка, дробление, грохочение, обогащение. Екатеринбург, 2014. 914 с.
- 5. Назаров К. С., Фет Ш. Анализ современных конструктивных решений, повышающих эффективность виброклассификации трудногро-хотимых материалов // ГИАБ. 2009. Т. 16. № 12. С. 383–393.
- 6. Волков Е. Б., Ляпцев С. А. Влияние угла наклона рабочей поверхности вибрационного грохота на эффективность грохочения // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. С. 8. URL: www.science-education.ru/110-9642
- 7. Волков Е. Б., Ляпце́в С. А. Компьютерное моделирование процесса грохочения // Международный журнал экспериментального образования. 2012. № 4. С. 49–50.
- 8. Вайсберг Л. А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов. М.: Недра, 1986. 144 с.
- 9. Юдин А. В. Моделирование вынужденных колебаний просеивающей поверхности инерционного грохота с консольно защемленными колосниками // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 6. С. 63–70.
- 10. Юдин А. В. Оценка параметров свободных колебаний просеивающей поверхности инерционного грохота с консольно защемленными колосниками // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 5. С. 52–59.
- 11. Сладковский А. В., Юдин А. В., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Ахметова М., Столповских И. H. Calculation of parameters and design of the movable transfer station with vibrating screen feeder for the conveyor system of deep queries. International journal of Engineering and Technology (UAE), 7(2). C.148–151.
- 12. Шишкин E. А., Лебедев А. И. Исследование параметров вибрационного грохота с применением инструментов имитационного моделирования // Ученые заметки ТОГУ. 2016. Т. 7. С. 281–286. URL: http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/ejournal@pnu.edu.ru
- 13. Ferrara G., Preti U., Schena G. D. Modelling of screening operations // International Journal of Mineral Processing. 1988. Vol. 22, № 1–4. P. 193–222.
- 14. Rumyantsev S., Tarasov D. Numerical Simulation of Non-linear Dynamics of Vibration Transport Machines in Case of Three Independently Rotating Vibration Exciters // Recent Advances in Applied Mathematics: Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (AMERICAN-MATH'10), Harvard University, USA, January 27–29, 2010. P. 191–194.
- 15. Subasinghe G. K. N. S., Schoap W., Kelly E. G. Modelling screening as a conjugate rate process // International Journal of Mineral Processing. 1990. Vol. 28. P. 289–300.

Статья поступила в редакцию 21 марта 2018 г.

УДК 622.277:621.927 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-114-121

Improving the screening surface and the efficiency of the split rock mass of stationary screens

Arkadiy Vasil'evich Yudin, Viktor Stepanovich Shestakov, Shestakov.v.s@mail.ru Magomed Kazbekovich Abdulkarimov

Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is conditioned by the need of the construction industry in better preparation of raw materials, and to improve the equipment efficiency. The problem faced by enterprises is the division of the stale rock mass into fractions. The screens installed are clogged and cease to perform their function.

The purpose of the work is to analyze the working process of fixed grate screen and to develop technical proposals to improve the efficiency of the screening of hard rock mass.

Research methodology: workflow modeling of stationary bar screen.

Results. In technological complexes fixed screens perform operations of preliminary separation of rock mass (often before the primary crushing). With the simplicity of the design, they have a low efficiency of screening, they require an increased area of the sifting surface, have a significant high-altitude dimensions. Operating experience has shown that the sifting surface of grate screens with an open slit is often clogged and requires cleaning. At a distance between the screen 40–50 mm separation of the curved rock mass is particularly difficult. One of the reasons for this is the lack of methods for selecting the parameters of the screen. Practically the main execution of fixed screens is performed in a two-support version with a transverse arrangement of the connection-beams and with a low height of the screens. Sifting surfaces are made linear.

Summary. The mathematical model and technique considered in the article allow to determine the basic parameters of fixed screens. An option of improving fixed screens by changing the design of the PP gives it free and forced multi-amplitude oscillations. This will improve the efficiency of the separation of hard rock mass 5-10 %, expand the scope of screens for the separation of clay fractions 40-100 mm. This will also reduce the construction height and installation angle of the screen by 20 %.

Keywords: screen; side; the screening surface; a screen; a beam; a hinge; an elastic bearing; motor-vibrator; mathematical model; amplitude; oscillation frequency.

REFERENCES

- 1. 1972, Spravochnik po obogashcheniyu rud. Tom 1. Podgotovitel'nyye protsessy. Pod. red. V. A. Olevskogo [Guide to ore dressing. Vol. 1.
- Preparatory processes. Edited by V. A. Olevsky]. Moscow, 448 p. 2. Vaisberg L. A., Korovnikov A. N., Trofimov V. A. 2017, Modernizatsiya tekhnologicheskikh tsiklov grokhocneniya na osnove innovatsionnogo oborudovaniya (k stoletiyu instituta "Mekhanobr" [Innovative re-equipment of screening circuits (to commemorate the 100th anniversary of the Mekhanobr Institute)]. Gornyi zhurnal [Mining journal], no. 1, pp. 11-17.
- 3. Kartavyy A. N. 2013, Vibratsionnyye agregaty dlya pererabotki mineral'nogo i tekhnogennogo syr'ya. Modelirovaniye i elementy raschyota po kriteriyam energo- i resursoeffektivnosti [Vibration units for processing of mineral and man-made raw materials. Modeling and calculation elements according to the criteria of energy and resource efficiency]. Moscow, 328 p.
- 4. Gazaleyeva G. I., Tsypin E. F., Chervyakov S. A. 2014, Rudopodgotovka, drobleniye, grokhocheniye, obogashcheniye [Ore preparation, crushing, screening and beneficiation]. Ekaterinburg, 914 p.
- 5. Nazarov K. S. 2009, Analiz konstruktsiy vibratsionnykh grokhotov dlya klassifikatsii trudnogrokhotimykh materialov [Analysis of vibration screens structures for classification of hard materials]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 6, pp. 383-393.
- 6. Volkov E. B., Lyaptsev S. A. 2013, Vliyaniye ugla naklona rabochey poverkhnosti vibratsionnogo grokhota na effektivnosť grokhocheniya [Effect of angle of inclination of the working surface of the vibrating screen on the effectiveness of screening]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education], no. 4, p. 8. URL: www.science-education.ru/110-9642
- 7. Volkov E. B., Lyaptsev S. A. 2012, Kompyuternoye modelirovaniye protsessa grokhocheniya [Computer simulation of the process of screening] Mezhdunarodnyy zhurnal experimental'nogo obrazovaniya [International journal of experimental education], no. 4. pp. 49-50.
- 8. Weisberg L. A. 1986, Proyektirovaniye i raschyot vibratsionnykh grokhotov [Designing and calculation of vibrational screens], Moscow, 144 p. 9. Yudin A. V. 2016, Modelirovaniye vynuzhdennykh kolebaniy proseivayushchey poverkhnosti inertsionnogo grokhota s konsol'no zashchemlyonnymi kolosnikami [Modeling forced vibrations of sifting surfaces of the inertial screen from the console caught in the grate]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 6, pp. 63-70.
- 10. Yudin A. V. 2016, Otsenka parametrov svobodnykh kolebaniy proseivayushchey poverkhnosti inertsionnogo grokhota s konsol'no zashchemlyonnymi kolosnikami [Estimating the parameters of free vibrations of sifting surfaces of the inertial rumble from the console caught in the grate]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 5, pp. 52-59.
- 11. Sladkovskiy, Yudin A. V., Komissarov A. P., Lagunova Yu. A., Akhmetova M., Stolpovskikh I. N. Calculation of parameters and design of the movable transfer station with vibrating screen feeder for the conveyor system of deep queries. International journal of Engineering and Technology (UAE), 7(2), pp. 148-151.
- 12. Shishkin E. A., Lebedev A. I. 2016, Issledovaniye parametrov vibratsionnogo grokhota s primeneniyem instrumentov imitatsionnogo modelirovaniya [Investigation of parameters of the vibrating screen using tools of simulation modeling]. Uchyonyye zametki TOGU [Scientists notes PNU], vol. 7, pp. 281–286. URL: http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/ejournal@pnu.edu.ru
- 13. Ferrara G., Preti U., Schena G. D. 1988, Modeling of screening operations. International Journal of Mineral Processing, vol. 22, no. 1–4, pp.
- 14. Rumyantsev S., Tarasov D. 1990, Numerical Simulation of Non-linear Dynamics of Vibration Transport Machines in Case of Three Independently Rotating Vibration Exciters. Recent Advances in Applied Mathematics: Proceedings of the American Conference on Applied Mathematics (AMERICAN-MATH'10), Harvard University, USA, January 27-29, 2010, pp. 191-194.
- 15. Subasinghe G. K. N. S., Schoap W., Kelly E. G. 1990, Modeling screening as a conjugate rate process. International Journal of Mineral Processing, vol. 28, pp. 289-300.

The article was received on March 21, 2018

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 332.3 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-122-129

CONSIDERING THE CURRENT CHALLENGES AND RISKS IN THE SUSTAINABLE LAND USE FOR MINING TERRITORIES

Yuriy Vladimirovich Lebedev, taranova@ukr.net Tatyana Anatol'evna Lebedeva, Petr Aleksandrovich Kokovin, kpa57@mail.ru Nina Sergeevna Ivanova Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

The relevance of this work is conditioned by the growing challenges and risks arising in the mining areas, and the need to counteract them. **The purpose of the work** is to develop methodology of a sustainable land use under the conditions of modern changes in the environment under the influence of anthropogenic stress. The authors propose to interpret the concept of "sustainable land use" as a long-term, multi-purpose and cost-effective relationship between society and land resources.

Results. The issues of methodology of sustainable land use in industrial regions are considered. The levels of sustainable land use management within the framework of the concept of biotic regulation of the environment are substantiated. The features of management on each of them are revealed, and the scientific and technical principles of sustainable land use are formulated. The strategic priorities and indicators of sustainable land use are defined. Methodological approaches to ecological and economic assessment of land resources are formulated both by components and by integrated assessment. The widespread, long-term changes of land resources and transformation of ecosystems are taken into account. The parameters according to which the "corridors" of acceptable land use are determined, including environmental parameters. The level of natural ecosystems conservation, the balance of natural and anthropogenic energy flows, the degree of extraction of natural resources, as well as social parameters are among them. The procedure of coordinating individual interests and social preferences on the basis of search of optimum effective options of sustainable land use. It is recommended to perform a multi-criteria optimization of sustainable land use by means of the lexicographical method in relatively simple situations. In more complex cases this can be attained by the method of successive concession. The options of the discount rate and the discount factor depending on the value of the discount period (according to the model of complex processes) are proposed.

Applying the results. The implementation of the developed methodological provisions allows to provide conditions for sustainable land use, counteracting risks associated with environmental challenges arising in the mining areas.

Keywords: sustainable land use; methodology of sustainable land use; levels of management; individual and public interests; multi-criteria optimization.

The world community has come (Rio 92; Johannesburg, 2002; Rio+20) to understand the importance of correcting the development of society in relations with the natural environment. the need to develop the principles of economic activity taking into account the emerging and emerging challenges and risks has also been realized [1–3]. Nowadays, the most obvious challenges and risks are environmental threats (without reducing the importance of social ones) [4]. They are implemented in the form of various negative consequences. First, they are applicable to the natural environment, and then they are also topical for various sectors of the economy. Such sectors include land use, subsoil use, and forest management. Environmental threats are negative consequences caused by natural factors and those determined mainly by the characteristics of global climate change and anthropogenic (including technogenic) factors. They manifest themselves in the form of pollution of environmental components (air, vegetation, soil, water), in the form of accumulated industrial waste, and in the form of destruction of natural ecosystems. The main environmental risks in land use are the age-related frequency and intensity of extreme weather and climate events.

Further development of land use should be carried out in accordance with the Concept of sustainable development of territories, principles of environmental safety of the society [5] and green economy [6, 7]. This development should be based on methodologies that consider land resources are the basis of biological life [8]. The sequential relevant principles, taking into account the long-term and multi-value land resources, are also an important thing the land use should be based on. Sustainable land use is a long-term (maintenance of biotic regulation of the environment), multi-purpose (meeting the diverse needs of people) and cost-effective (optimal according to relevant indicators and criteria) relationship of society and land resources.

The purpose of the study is to develop a methodology of sustainable land use in the conditions of modern environmental changes under the influence of anthropogenic stress.

Results

Methodological provisions of sustainable land use in industrial regions, according to the authors' opinion, include the following steps:

- maintaining the necessary level of biotic regulation of the environment;
- hierarchy of sustainable land use management levels: conceptual, ideological, political and economic;
- substantiation of scientific and technical principles of sustainable land use in industrial areas [9].

Biotic regulation of the environment in mining areas under the conditions of modern challenges and risks, expressed in the emergence of environmental threats, reflects the transformation of the biological energy-biomass. This happens in natural and anthropogenic channels and it reflects changes in the cycle of biogenic elements (C, O, H, K, etc.). In the natural ecosystems, before the start of a wide industrial production, people consumed from the environment 1–2 % of biological energy [8] and no changes were observed. In the early twentieth century, anthropogenic influence led to the removal of biological energy from the nature up to 5 %. As a result, there were significant negative changes in the environment. Nowadays, the increasing anthropogenic impact has formed a set of environmental threats, which are caused by the removal of more than 10% of bioenergy from nature.

In some industrial regions (for example, in Ekaterinburg or in Nizhny Tagil) this figure raised up to 30 %. Visually, this is reflected in the increase in the area of disturbed areas (built-up, contaminated), in the increase in the proportion of areas of semi-destroyed territories (agricultural land, derived forests). The deterioration of environmental conditions takes place. Modern challenges and risks determine the corresponding features of the levels of sustainable land use management, among which there are conceptual, ideological, political, and economic.

The conceptual level of management defines the main target settings for a long period of land use. From the ecosystem position, the concept of sustainable land use supposes the management of owners within the limits of the permissible change of biotic regulation of the environment. This means transformation of bioenergy in natural and anthropogenic channels and change of turnover of biogenic elements. Reasonable satisfaction of the needs of society in the results of land use is also supposed by this position. This refers to all types of land use: as a means of production (agricultural land and forest land), as a spatial basis (land settlements, industrial land and transport), and as a storeroom of minerals (subsoil use areas).

The ideological level of sustainable land use management determines the main direction and ways of implementation of conceptual guidelines. The greening of public consciousness and the economy of land use is expressed in a deeper processing of grown and extracted natural resources. The conscious formation and regulation of consumer demand for products from them is also very important.

The political level of sustainable land use management determines the formation of an appropriate conceptual legal framework to the ideological level. Its essence is to improve the legal documents; as well as the issue of differentiation of the concepts of "land" and "soil". Land is a broader concept than soil; it is a socio-economic phenomenon. The soil is a basic component of the natural environment. In the legislation of the Russian Federation there is no distinction of these concepts. In some countries (USA, China, Germany, France, Canada) they have already concluded that soil protection can be carried out only at the state level in the legislation of the legal term "soil".

The economic level of sustainable land use management determines the mechanism of practical action of the company in the field of land relations through the assessment, cost, expenses, and profit. This can also be fulfilled through the implementation of the interaction of individual land users and society with land resources (soil, territory, vegetation, and underground resources). The solution of problems of the economic level of sustainable land use management is based on modern principles of inclusion legislative and executive bodies. Business communities also participate in the search for effective options based on the use of local and global information resources in the field of land use. This is done through the analysis of associative and causal relationships between different forms and types of land use, implementation of conceptual attitudes and ideological positions.

The scientific and technical principles of sustainable land use in mining areas are proposed to include:

- justification of strategic priorities and indicators of sustainable land use [10];
- comprehensive (ecological and economic) assessment of land resources with consideration of the peculiarities of the territories [11];
 - definition of "corridors" of acceptable land use in specific climatic and socio-economic conditions [12];
 - aligning the individual interests of land users with public preferences [13];
 - multi-criteria optimization of land use on the basis of ecological, economic and social indicators [14].

We believe that the strategic priorities and indicators of sustainable land use have a clear priority: environmental, social and, finally, economic. In the old industrial regions of Middle and Southern Urals, they reflect the negative consequences of accumulated industrial waste [15], the nature of morbidity [7] and the need to maintain increasingly complex use of the subsoil [16]. In the Northern and polar Urals, the strategic priorities have a direct interest in maintaining the traditional summary advantage from small nations of the North [17], [18] and sustainable subsoil use [19, 20]. In the regions of Western Siberia, this is a multi-purpose land use: subsoil use, development of industrial facilities and residential areas, forestry.

Methodological tools for ecological-economic evaluation of land resources both component and integrated, is based on the natural characteristics (biometric and bioproduction). It is also based on technological and technical parameters, economic equivalents of these indicators, and defining comprehensive criteria taking widespread parameters into account. Transformation of lands under anthropogenic and natural impacts and long-term changes (natural resource use processes, the effect of accumulated damage), as well as the risks of various situations due to climate change, are presented in this work [11].

Assessment of the impact of global climate change on various forms and types of land use in the Urals and Western Siberia [21] based on the obvious results in the sectors of land use. For these sectors, first, the impact of climate changes the most critical (the amount of precipitation and river flow distribution to surface and groundwater component in the catchment). Second, the conclusions about the impact of climate change have acceptable validity. The examples of such changes can be changing the carbon-reducing role of land [22], a shift in the boundaries of plant formations to the North on the plains and up in the mountainous areas [23]. Other examples include thawing areas of permafrost [24] and the transformation of the Northern forest-swamp systems [25].

As experience shows, the definition of "corridors" of acceptable land use is most often made by environmental parameters which include the level of conservation of natural ecosystems, the balance of natural and anthropogenic energy flows-biomass in the environment, the degree of withdrawal of natural resources and objects-vegetation, soil, land) [9, 12]. Social parameters include employment in the economy of the region, health status of the population is mentioned less often. Preservation of social functions of natural landscapes and economic parameters (technological, technical, cost, income) are also important. A number of specific goals of territorial planning in the industrial regions of the Urals (the goals of the branch of planning) have historically been solved within the framework of land and forest management, implementation of transport projects, solving problems of mining or hydraulic engineering construction. Environmental planning principles in these works were ignored or decided narrowly in the interests of industry planning. As a result, many of the industry projects have received a high-profile anti-ecological glory (Plant called "Uralasbest", Kachkanarsky ore mining and processing enterprise, etc.).

The principle of consistency in the development of ore deposits is expressed in the developed technological platform (the author would like to emphasize the word *technological*). It includes many technological operations on the territory of administrative establishment. This is the system in the field of the subsoil use. It is considered here as "the organization of enterprises … consuming resources from the outside…". We describe the system of subsoil use enterprises at the present stage not only by the

"external consumption of resources", but also by the technological, economic consequences of such consumption for the enterprise itself. This is also the case for the surrounding natural environment (violation of biotic regulation in the regions), for the society (the need to harmonize the interests of individual subsoil users with public preferences), and in the conditions of modern challenges and risks. A valid value of anthropogenic pressures in such areas greatly exceeds the theoretically allowed limits. The definition of acceptable "corridors" is determined through the value of the indicator called "environmental footprint". This indicator shows the number of conventional hectares of land needed to support a person's life with the current level of consumption and waste management, including the area needed to deposit CO₂ emissions. This indicator provides a simultaneous assessment of the environmentally sustainable development of the region (country); compares the development of production with the assimilation potential of the biosphere; it allows to determine the deviation from the "norm" in the socio-ecological and economic development of the region (country).

The practical meaning of the indicator shows what it is necessary to strive for in order to implement sustainable land use on this territory. In practice, this means that it is necessary to close down existing enterprises, which cannot be done at the same time. Under these conditions, the authors propose fixing the state at the time of assessment, which is already determined by the mountain allotment or other types of land use, and the implementation of landscape planning of the entire administrative territory. Landscape planning (in all the variety of definitions) in this case is understood by us as a set of methodological tools and procedures used to build this spatial organization of activity in particular landscapes that would ensure sustainable nature management and preservation of the basic functions of the landscape as the life support systems [26]. The estimated stage of landscape planning allows to obtain an objective assessment of the state of the existing natural conditions of the planning territory. The criteria recommended for such an assessment should meet the following requirements:

- to be focused on the main objectives of the use of the territory in the conditions of equal priorities of preservation of ecological balance and sustainable socio-economic development;
- to reflect the current state of the natural environment in both natural and modified ecosystems under the impact of economic activity;
- to give an idea of possible changes in the state of individual natural components in the implementation of the main directions of use of the territory and the permissible level of such use [27].

The requirements are embodied in the categories of "values" and "sensitivity" of individual components of the natural environment. As a result of processing of all information at the output, a set of maps of industrial use of the territory is created, in which zoning of the territory by types of use is carried out. There are three types of goals:

- conservation;
- development;
- improvement.

After that, a map-concept of the use of the territory is created on the basis of the analysis of socio-economic problems (including maps of the real use of the territory). It identifies areas recommended for the preservation of the natural environment and socio-economic development. It also defines territories with the most acute environmental problems, for which specific measures are planned for the restoration of the landscape. Moreover, it specifies the directions of development of the territory. All the systems broken during the use are combined into one zone for the purpose of their improvement and restoration. The duration and technology of landscape restoration may vary depending on the nature and degree of degradation [27].

Coordinating interests in land usage in industrial Western Siberia and the Urals is an issue which holds a special position in methodology. In this region, the interests of public and private landowners often overlap. This overlap is apparent in the subsoil use areas.

Here, the individual interests of subsoil users are manifested in relatively short periods of time (the duration of deposits development), and public preferences require the preservation of permanent, long-term subsoil use. The main features of the ratios of individual and public interests in subsoil use are shown in the Table 1.

The procedure of individual interests' coordination and public preferences consists of:

- consistent greening of the subsoil use economy: from its existing form in the form of income maximization (by reducing own expenses), first to accounting and discounting of external costs, and then to the economy of sustainable development ("green" economy) [6, 7] with maximum consideration of environmental consequences and minimization of negative impacts (Table 2);
 - justification of the ratios of market discount rates for subsoil users and discount rates of social preferences [28];
- the study (definition) of concessions to the interests of individual subsoil users and the public preferences on the basis of the dependence criteria analysis from the options of deposits development [13].

In the current economic system, the market discount rates for subsoil use systematically exceed the public discount rate, which is due to the following reasons. First, individual subsoil users discount their economic income taking into account risks (economic, socio-political, and environmental). At the same time, the unreliability of ownership of the subsoil object (license areas) increases risks. Some risks of subsoil users are not risks for the company. They are associated with transfers within the company (transfer of rights, transfer of payments, etc. [29]). Subsoil users (private capital) are very reluctant to take risks in the implementation of scientific and technical projects characterized by unpredictability and uneven results [30]. Secondly, subsoil users are guided by considerations of a limited (often relatively short) period of operation of the deposit [31] and they use high discount rates. General preferences deny differences in attitude to different periods (generations), so the discount period is long [32]. The society should act as if the discount rate (reflecting the norm of temporary preferences) is at a minimum. Table 3 shows the values of rates and the discount rate (by the formula of compound interest) depending on the duration of the period of use of the subsoil plot [11]. The search for optimal (effective) options for sustainable land use begins with the determination of optimal options for all particular criteria with the disclosure of the uncertainty of single-criterion solutions. For this purpose, a matrix of land use options in the zone of uncertainty of optimal solutions is compiled (Table 4).

Disclosure of uncertainties is performed using specific criteria. The criterion of "average costs" in land use is determined by the maximum of the average values of the indicator *P* for each set of state parameters (vertical matrix):

$$\max_{j} \left(\frac{P_{1j} + \dots P_{ij} + \dots + P_{6j}}{6} \right) + \max_{j} \overline{P}_{j}. \tag{1}$$

Table 1. The ratio of individual and public interests in subsoil use. Таблица 1. Соотношение индивидуальных и общественных интересов при недропользовании.

Interests (preferences) of the individual subsoil users and their consequences	Interests (preferences) of the society in the field of natural resources
Interest – a maximum profit for a relatively short period of subsoil use	Considering the long-term nature of subsoil use in the interests of existence in the society
Interest – maximum use of the most accessible types of useful resources; minimization of internal expenses	Optimal use of all natural and resource potential of the territory (resources, environmental functions, and social role)
Consequences – low efficiency of certain types of mineral resources in the market conditions	Improving the efficiency of certain types of subsoil use that are little relevant to the market through the use of a set of natural resources
Consequences – side and indirect effects of subsoil use are ignored	Secondary and indirect effects are considered or are required to be considered
Interest – lack of interest in using the profits of subsoil use for environmental protection and technical improvement of production	Society's interest in the preservation of the natural environment, in the use of subsoil use profits in the creation and development of infrastructure for deep processing of extracted resources
Consequences – high risks of adverse environmental and economic situations	Reducing the impact of negative risks in the subsoil due to the change of species of wildlife, due to the summation of protective measures
Interests (preferences) of individual subsoil users and their consequences	Interests (preferences) of the society in the field of nature management
Consequences – high risks for the development of breakthrough technologies, inability to overcome the threshold of synchronous costs for breakthrough technologies	Taking risks and costs through guarantees, through budget financing, through targeted programs. The state is a major subject in the market of new technologies –
Consequences – "conservation of natural benefits" – are not taken into account or taken into account to a small extent	Interests assume: - employment in the region's economy; - long-term stabilization of the natural resource potential of the territory; - preservation of certain types of natural benefits (natural ecosystems)

Table 2. The sequence of greening the economy for the conditions of subsoil use (the use of parts of subsoil). Таблица 2. Последовательность экологизации экономики для условий недропользования (с использованием участков недр).

Type of discounted income	Determination of the discounted income		
Present value of \Im with internal cost for the period \mathcal{T} , years	$\Im = \sum_{t=1}^{T} \frac{R_{t} - (3_{t} + 3_{et})}{(1 + P_{t})^{t}} \to \max$		
Present value based on the total amount of the costs	$\Im = \sum_{t=1}^{T} \frac{R_{t} - (3_{t} + 3_{et} + C_{t})}{(1 + P_{t})^{t}}$		
Discounted income, taking into account long-term environmental and economic consequences	$\Im = \sum_{t=1}^{T} \frac{R_t - (3_t + 3_{et} + C_t)}{(1 + P_t)^t} \pm \sum_{t=T+1}^{>T} \frac{Y_t}{(1 + P_t)^t}$		

Note: R_t value of subsoil use products; 3_t – expenses; T – time; t – discounting period; 3_{et} – environmental costs of production, including costs of prevention of harm to the environment (for treatment facilities) and economic damage from environmental pollution (payment for emissions of polluting substances); P – a discount indicator; C_t – external expenses; Y_t – amount of long-term ecological and economic impacts over the period, much larger than T.

When using the "minimax cost" criterion, choose a land-use option for which the worst result is better than the worst for any other option:

$$\max_{i} P_{j}^{\min} = \min_{i} \max_{i} P_{ij}. \tag{2}$$

Criterion (2), compared to criterion (1), insures against negative consequences in the most unfavorable implementation of the land-use management system.

For particularly complex cases of land use organization, the rational option is chosen according to the "minimax risk" criterion. The difference P_{ij} is converted into the risk matrix R_{ij} according to the ratio:

$$R_{ij} = P_{ij} - P_i^{\max} = P_{ij} - \max \overline{P}_{ij}.$$

The purpose of this criterion is to eliminate the risk of too much loss when extreme conditions of land use objects (climate change, flood risks, natural fires) appear.

Multi-criteria optimization of sustainable land use is performed in relatively simple situations by lexicographical method, and in more complex cases – by successive concessions [14, 33]. For Figure the graphical interpretation of the justification of concessions α_p and α_3 to the max P criteria (maximum land use efficiency – the level of resource potential) and min 3 (minimum total costs) is given.

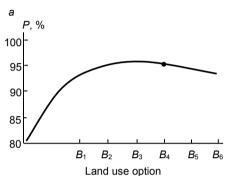
Table 3. Values of discount rate and discount rate depending on the value of the period of discounting (on the model of complex processes).

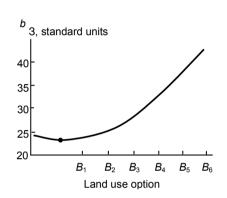
Таблица 3. Значения ставки дисконта и коэффициента дисконтирования в зависимости от величины периода дисконтирования (по модели сложных процессов).

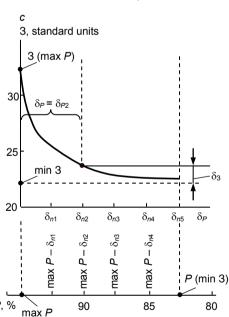
Discount period, years	Discount rate, ρ	Discount factor	Discount period	Discount rate, ρ	Discount factor
15–19	0.0820 - 0.0755	0.277-0.263	50-74	0.0346-0.0264	0.172-0.153
20–29	0.0667-0.0570	0.251-0.230	75–100	0.0249-0.0196	0.150-0.138
30–49	0.0502-0.0375	0.213-0.179	_	_	-

Table 4. The scheme of the matrix of land use options in the zone of uncertainty of optimal solutions. Таблица 4. Схема матрицы вариантов землепользования в зоне неопределенности оптимальных решений.

Conditions of multipurpose use – condition parameters $X = \{a; b; c; g; p; f\}$					
<i>X</i> ₁		X,		X ₆	
P ₁₁	•••	P_{1j}		P ₁₆	
 Р _и		 P _{ij}		P _{i6}	
 P	•••	 P	•••	 P ₆₆	
	X ₁ P ₁₁ P _n	X ₁ P ₁₁ P _R	$egin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$egin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	







Graphical interpretation of the justification of concessions on the criteria of $\max P$ and \min 3. a – dependence of criterion P, %, on land use options; b – dependence of the total cost criterion 3, standard units from land use options; c – the dependence between the criteria of total costs of 3 and P.

Графическая интерпретация обоснования уступок по критериям $\max P$ и $\min 3$.

The optimal option of land use is the solution of a two-criterion problem, solved in the following sequence:

- 1) Find max $P(X_1; Y_2)$.
- 2) Find min 3 $(X_{2}^{1}; Y_{2}^{2})$ at $P(X; Y) \le \max P(X_{1}; Y_{1}) \alpha_{p}$. Summary

Concern about the current challenges and risks of sustainable land use is an important social goal for land use planning with all the diversity of land use. By attention to this, the issue of land use management should become one of the priorities of environmental, social and economic policy. The practical solution of methodological support of sustainable land use should be solved on the basis of the fundamental scientific base and the latest achievements of science and practice. Thus, the account of modern challenges and risks (accumulation of environmental harm increasing frequency of intensity of extreme weather and climate events) in sustainable land use in mining areas is to implement the proposed methodological regulations. The enterprises planning and

management of land resources should be carried out on the basis of the sustainable land use management levels hierarchy within the concept of bio-environmental regulation and landscape planning of the territory within the administrative boundaries.

This article was prepared with the support and within the framework of RFBR grant № 17-06-00433.

REFERENCES

- 1. 1989, Nashe obshcheye budushcheye. Dokl. Mezhdunar komissii po okruzhayushchey srede i razvitiyu: per. s. angl. [Our common future. The Report of the International Commission on environment and development. Translated from English]. Moscow, 376 p.
- 2. Zubakov V. A. 2003, Yokhannesburgskiy sammit OON: analiz itogov [The Johannesburg UN summit: analysis of results]. Vestnik RAN [Herald of the Russian Academy of Sciences], no. 11, pp. 1010–1015.

 3. 2012, Budushcheye, kotorogo my khotim. Itogovoy dokument Konferentsii OON po ustoychivomu razvitiyu [The future we want. The outcome
- document of the UN Conference on sustainable development]. Rio de Janeiro, 62 p.
- 4. Strategiya nauchno-tekhnicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii: utv. Ukazom prezidenta RF ot 01.12. 2016. № 642 [Strategy of scientific and technical development of the Russian Federation: app. Decree of the President of the Russian Federation from 01.12. 2016, no. 642
- 5. Lebedev Yu. V. 2015, Obespecheniye ekologicheskoy bezopasnosti pri nedropolzovanii na severnykh territoriyakh Urala i Zapadnoy Sibiri [Ensuring environmental safety during subsoil use in the Northern territories of the Urals and Western Siberia]. Vestnik Mezhparlamentskoy assamblei [Bulletin of the Interparliamentary Assembly], no. 4 (77), pp. 196–197.
 6. Gusev A. A. 2014, *Puti formirovaniya «zelyonoy» ekonomiki v Rossii* [Ways of formation of "green" economy in Russia]. *Ekonomika prirodo-*
- 6. Gusev A. A. 2014, Puti formirovaniya «zelyonoy» ekonomiki v Rossii [ways of formation of "green" economy in Russia]. Ekonomika prirodopol'zovaniya [Economics of nature management], no. 1, pp. 28–36.
 7. Anufriev V. P., Lebedev Yu. V., Starchenko M. G., Yachmeneva A. I. 2014, Zelyonaya ekonomika i kachestvo zhizni [Green economy and quality
 of life]. Vestnik UrFU. Voprosy ekonomiki [Bullettin of UrFU. Economic issue], no. 5, pp. 73–82.
 8. Gorshkov V. G. 1995, Fizicheskiye i biologicheskiye osnovy ustoychivosti zhizni [Physical and biological bases of life stability]. Moscow, 472 p.
- 9. Kokovin, P. A., Lebedeva T. A., Lebedev Yu. V., Arefiev S. A. 2017, Nauchnyye osnovy ustoychivogo zemlepol'zovaniya v promyshlennykh regionakh [Scientific basis for sustainable land use in industrial regions]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining
- Journal], no. 4, pp. 19–27.

 10. Lebedev Y., Krupinin N., Belov V., Kokarev K. 2015, System of strategic priorities and indicators of environmentally sustainable subsoil use. 4th International Conference on Mechanics and Control Engineering (ICMCE 2015). November 23–25. Lisbon, Portugal.
- 11. Lebedev Yu. V. 2011, Otsenka lesnykh ekosistem v ekonomike prirodopol'zovaniya [Assessment of forest ecosystems in the economy of na-
- ture management]. Yekaterinburg, 583 p.
 12. Lesonen M. V., Sen' M. S. 2010, Obosnovaniye granits vedeniya otkrytykh gornykh rabot s uchetom interesov gosudarstva i nedropol'zovaniya [Substantiation of conduct of open mining works taking into account the interests of the state and mineral resources]. Gornyy zhumal [Mining journal], no. 1, pp. 69–71. 13. Lebedev Yu. V., Kokarev K. V., Arefiev S. A., Friesen V. G. 2016, *Individual'nyye interesy i obshchestvennyye predpochteniya v sfere*
- nedropol'zovaniya [Individual interests and preferences in the sphere of subsoil use]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 8, pp. 21–26.

 14. Podinovski V. V., Gavrilov V. M. 1975, Optimizatsiya po posledovatelno primenyayemym kriteriyam [Optimization according to consistently]
- applied criteria]. Moscow, 192 p.
- 15. Perepelitsyn, V. A., Koroteev V. A., Rytvin V. M., Makarov A. B. 2011, *Ekologicheskiye problemy tekhnogennykh obrazovaniy* [Environmental problems of man-made structures]. *Lesa Urala i khozyaystvo v nikh: sb. trudov* [Forests of the Urals and farm them: collected works]. Ekaterinburg, lssue 2 (39), pp. 9–12.
 16. Pakhomov V. P. 2011, «*Ural promyshlennyy* – *Ural Polyarnyy*»: *problemy i resheniya* ["Industrial Urals – Polar Urals" Project: problems and
- solutions]. Ekaterinburg, pp. 47-54
- 17. 2015, Razvitiye sistemnosti v osvoyenii prirodnogo potentsiala severnykh maloizuchennykh territoriy. Pod red. A. I. Tatarkina [The development of a systematic development of the natural potential of neglected areas of North. Ed. by of A. I. Tatarkin]. Ekaterinburg, 317 p.
- 18. Lebedev Yu. V., Lebedeva T. A., Gagarin A. I. 2015, Osobennosti mnogotselevogo zemlepol'zovaniya na severnykh territoriyakh [Features of multi-purpose land use in the Northern territories]. Izv. vuzov. Geodeziya i aerofotosyomka [Geodesy and aerophotosurveying], no. 5, pp. 110–122. 19. Kaplunov D. R. 2014, *Teoreticheskiye osnovy proyektirovaniya osvoyeniya nedr: stanovleniye i razvitiye* [Theoretical bases of design of development of mineral resources: formation and development]. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], no. 4, pp. 49–51.
 20. Puchkov L. A. 2014, *Prognoz mineral'no-syryevogo potrebleniya pri beskrizisnom razvitii ekonomiki* [Forecast of raw mineral consumption in
- the crisis-free economic development]. Gornyi zhurnal [Mining journal], no. 4, pp. 45-48.
- 21. 2008, Otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [Assessment report on climate change and its impacts on the territory of the Russian Federation]. Moscow, 28 p.
- 22. Zamolodchikov D. G. 2013, Antropogennyye i estestvennyye komponenty dinamiki temperatury na territorii Rossii [Natural and Anthropogenic components of the temperature dynamics in Russia]. Ispol'zovaniye i okhrana prirodnykh resursov v Rossii [Use and Protection of Natural Resources in Russia], no. 1, pp. 36-42.
- 23. Grigor'ev A. A., Moiseev P. A., Nagimov. Z. Ya. 2013, Dinamika verkhney granitsy drevesnoy rastitel'nosti v vysokogoriakh Pripolyarnogo Urala pod vliyaniyem sovremennogo izmeneniya klimata [Dynamics of the upper limit of woody vegetation in the mountains of the polar Urals under the
- influence of modern climate change]. *Ekologiya* [Ecology], no. 4, pp. 284–295.

 24. Shpolyanskaya N. A. 2013, *Ustoychivost' vechnoy merzloty k globalnym izmeneniyam klimata* [Stability of permafrost to global climate change]. *Ispol'zovaniye i okhrana prirodnykh resursov v Rossii* [Use and Protection of Natural Resources in Russia], no. 6, pp. 37–41.
- 25. Glebov F. Z. 1988, Vzaimootnosheniya lesa i bolota v tayozhnoy zone [Relationship of forest and swamp in the taiga zone]. Novosibirsk, 184 p. 26. 2006, Landshaftnoye planirovaniye i okhrana prirody: nemetsko-russko-angliyskiy slovar'-spravochnik. Red.-sost. A. N. Antipov, A. V. Drozdov [Landscape planning and nature protection: German-Russian-English dictionary-reference. Ed.-comp. A. N. Antipov, A.V. Drozdov]. Irkutsk, 191 p. 27. 2002, Landshaftnoye planirovaniye: printsipy, metody, evropeyskiy i rossiyskiy opyt. Red. A. N. Antipov, A. V. Drozdov [Landscape planning: principles, methods, European and Russian experience. Ed. Antipov, A.V. Drozdov]. Irkutsk, 141 p
- 28. Solow Robert M. 1999, Ekonomicheskaya teoriya resursov ili resursy ekonomicheskoy teorii (lektsiya v chest' Richarda T. Eli) [Economic theory of resources or resources of economic theory (lecture in honor of Richard T. Eli)]. Saint Petersburg, 20 p. 29. Zaichenko V. Yu. 2010, *O pravovom nigilizme v sfere prirodopol'zovaniya* [On legal nihilism in the sphere of nature] Gornyy zhurnal [Mining
- journal], no. 1, pp. 10–12.

 30. Shevchuk A.V. Shcherbakov E. T. 2015, *Innovatsii v ispol'zovanii nefti i gaza* [Innovations in the use of oil and gas]. *Prirodno-resursnyye ve*-
- domosti [Natural resource statements], no. 2, pp. 7–19.
- 31. Vlokh Yu. V. 2016, Perspektivy razvitiya Kachkanarskogo GOKa [Prospects of development of the Kachkanarsky ore mining and processing enterprise]. Gornyi zhurnal [Mining Journal], no. 7, pp. 46-50.
- 32. Hotelling H. 1931, The Economics of Expensive Resources. Journal of Political Economy, vol. 39 (2), pp. 137–175.
- 33. Anufriev V., Belon V., Lebedev Yu. 2015, Multi-objective optimization of complex subsoil use issues. 5th International Conference on the political, technological, economic and social processes (23-29 August 2015). London, pp. 16-25.

The article was received on February 12, 2018

УДК 332.3 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-122-129

УЧЕТ СОВРЕМЕННЫХ ВЫЗОВОВ И РИСКОВ В УСТОЙЧИВОМ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ НА ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Юрий Владимирович Лебедев, taranova@ukr.net
Татьяна Анатольевна Лебедева, Петр Александрович Коковин, kpa57@mail.ru
Нина Сергеевна Иванова

Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

Актуальность данной работы обусловлена ростом вызовов и рисков, возникающих на горнопромышленных территориях, и необходимостью противодействовать им.

Целью исследования является разработка методологии устойчивого землепользования в условиях современных изменений окружающей среды под влиянием антропогенных нагрузок. Понятие устойчивого землепользования авторы предлагают трактовать как долговременное, многоцелевое и экономически выгодное взаимоотношение общества и земельных ресурсов.

Результаты и их применение. Рассмотрены вопросы методологии устойчивого землепользования в промышленных регионах. Обоснованы уровни управления устойчивым землепользованием в рамках концепции биотической регуляции окружающей среды, раскрыты особенности управления на каждом из них, сформулированы научно-технические принципы устойчивого землепользования. Определены стратегические приоритеты и индикаторы устойчивого землепользования, сформулированы методические подходы к эколого-экономической оценке земельных ресурсов как по компонентам, так и по комплексной оценке, с учетом широкопространственных, долговременных изменений земельных ресурсов и трансформации экосистем. Выявлены параметры, согласно которым определяются «коридоры» допустимого землепользования, в их числе: экологические параметры, уровень сохранения естественных экосистем, баланс природных и антропогенных потоков энергии, степень изъятия природных ресурсов, а также социальные параметры. Предложена процедура согласования индивидуальных интересов и общественных предпочтений на основе поиска оптимальных эффективных вариантов устойчивого землепользования. Рекомендуется выполнение многокритериальной оптимизации устойчивого землепользования лексикографическим методом в относительно простых ситуациях, а в более сложных случаях – методом последовательных уступок. Предложены варианты значений ставки дисконта и коэффициента дисконтирования в зависимости от величины периода дисконтирования (по модели сложных процессов). Реализация разработанных методологических положений позволяет обеспечить условия для устойчивого землепользования, противодействующего рискам, связанным с экологическим вызовами, возникающими на горнопромышленных территориях.

Ключевые слова: устойчивое землепользование; методология устойчивого землепользования; уровни управления; индивидуальные и общественные интересы; многокритериальная оптимизация.

Статья подготовлена при поддержке и в рамках гранта РФФИ № 17-06-00433.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Наше общее будущее. Докл. Междунар комиссии по окружающей среде и развитию: пер. с. англ. М.: Прогресс, 1989. 376 с.
- 2. Зубаков В. А. Йоханнесбургский саммит ООН: анализ итогов // Вестник РАН. 2003. № 11. С. 1010–1015.
- 3. Будущее, которого мы хотим. Итоговой документ Конференции ООН по устойчивому развитию. Рио-де-Жанейро, 2012. 62 с.
- 4. Стратегия научно-технического развития Российской Федерации: утв. Указом президента РФ от 01.12. 2016, № 642.
- 5. Лебедев Ю. В. Обеспечение экологической безопасности при недропользовании на северных территориях Урала и Западной Сибири // Вестник Межпарламентской ассамблеи. 2015. № 4 (77). С. 196–197.
- 6. Гусев А. А. Пути формирования «зеленой» экономики в России // Экономика природопользования. 2014. № 1. С. 28–36.
- 7. А́нуфриев В.́ П., Лебедев Ю. В., Старченко М. Г., Ячменева А. И. Зеленая экономика и качество жизни // Вестник УрФУ. Вопросы экономики. 2014. № 5. С. 73–82.
- 8. Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНИТИ,1995. 472 с.
- 9. Коковин П. А., Лебедев Т. А., Лебедев Ю. В., Арефьев С. А. Научные основы устойчивого землепользования в промышленных регионах // Изв. вузов. Горный журнал. 2017. № 4. С. 19–27.

 10. Lebedev Y., Krupinin N., Belov V., Kokarev K. System of strategic priorities and indicators of ecologically sustainable subsoil use // 4th Interna-
- 10. Lebedev Y., Krupinin N., Belov V., Kokarev K. System of strategic priorities and indicators of ecologically sustainable subsoil use // 4^m International Conference on Mechanics and Control Engineering (ICMCE 2015). November 23–25. Lisbon, Portugal, 2015.
- 11. Лебедев Ю. В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования. Екатеринбург, 2011. 583 с.
- 12. Лесонен М. В., Сень М. С. Обоснование границ ведения открытых горных работ с учетом интересов государства и недропользования // Горный журнал. 2010. № 1. С. 69–71.
- 13. Лебедев Ю. В., Кокарев К. В., Арефьев С. А., Фризен В. Г. Индивидуальные интересы и общественные предпочтения в сфере недропользования // Изв. вузов. Горный журнал. 2016. № 8. С. 21–26.
- 14. Подиновский В. В., Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Сов. радио, 1975. 192 с.
- 15. Перепелицын В. А., Коротеев В. А., Рытвин В. М., Макаров А. Б. Экологические проблемы техногенных образований // Леса Урала и хозяйство в них: сб. трудов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. Вып. 2(39). С. 9–12.
- 16. Пахомов В. П. Проект «Урал промышленный Урал Полярный»: проблемы и решения. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2011. С. 47–54. 17. Развитие системности в освоении природного потенциала северных малоизученных территорий / под ред. А. И. Татаркина. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2015. 317 с.
- 18. Лебедев Ю. В., Лебедева Т. А., Гагарин А. И. Особенности многоцелевого землепользования на северных территориях // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 5. С. 110–122.
- 19. Каплунов Д. Р. Теоретические основы проектирования освоения недр: становление и развитие // Горный журнал. 2014. № 4. С. 49–51.
- 20. Пучков Л. А. Прогноз минерально-сырьевого потребления при бескризисном развитии экономики // Горный журнал. 2014. № 4. С. 45–48.
- 21. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Росгидромет. Общее резюме. М., 2008. 28 с.
- 22. Замолодчиков Д. Г. Антропогенные и естественные компоненты динамики температуры на территории России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2013. № 1. С. 36–42.
- 23. Григорьев А. А., Моисеев П. А., Нагимов. З. Я. Динамика верхней границы древесной растительности в высокогорьях Приполярного Урала под влиянием современного изменения климата // Экология. 2013. № 4. С. 284–295.
- 24. Шполянская Н. А. Устойчивость вечной мерзлоты к глобальным изменениям климата // Использование и охрана природных ресурсов

- в России. 2013. № 6. С. 37-41.
- 25. Глебов Ф. З. Взаимоотношения леса и болота в таежной зоне. Новосибирск: Наука, 1988. 184 с.
- 26. Ландшафтное планирование и охрана природы: немецко-русско-английский словарь-справочник / ред.-сост. А. Н. Антипов, А. В. Дроздов. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2006. 191 с.
- 27. Ландшафтное планирование: принципы, методы, европейский и российский опыт / ред. А. Н. Антипов, А. В. Дроздов. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2002. 141 с.
- 28. Солоу Р. М. Экономическая теория ресурсов или ресурсы экономической теории (лекция в честь Ричарда Т. Эли). СПб: Экономическая школа, 1999. 20 с.
- 29. Зайченко В. Ю. О правовом нигилизме в сфере природопользования // Горный журнал. 2010. № 1. С. 10–12.
- 30. Шевчук А. В. , Щербаков Е. Т. Инновации в использовании нефти и газа // Природно-ресурсные ведомости. 2015. № 2. С. 7–19.
- 31. Влох Ю. В. Перспективы развития Качканарского ГОКа // Горный журнал. 2016. № 7. С. 46–50.
- 32. Hotelling H. The Economics of Exhaustible Resources // Journal of Political Economy 1931.Vol. 39(2). P. 137–175.
- 33. Anufriev V., Belon V., Lebedev Yu. Multi-objective optimization of complex subsoil use issues // 5th International Conference on the political, technological, economic and social processes (23–29 July 2015). London, 2015. P. 16–25.

Статья поступила в редакцию 12 февраля 2018 г.

УДК 338.32.053.4 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-130-134

ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ирина Вадимовна Ершова¹, eiv.eopm@e1.ru **Ольга Олеговна Подоляк**¹, eltcha@mail.ru **Андрей Викторович Данилов**² dav.82@mail.ru

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина Россия, Екатеринбург ²Компания FANUC (Fanuc Corporation) Россия, Москва

Актуальность исследования обусловлена отсутствием методических проработок по оценке эффективности внедрения роботизированных комплексов (РТК) в условиях роста применения роботов в долгосрочной перспективе.

Шель выполненного исследования – обоснование системы факторов, определяющих эффективность внедрения робототехнических комплексов на российских предприятиях. В статье рассмотрены факторы эффективности «точечного» внедрения роботизированных комплексов на российских промышленных предприятиях в рамках малобюджетных проектов. Выборку исследования составили 10 предприятий, внедривших роботизированное оборудование FANUC, и успешно эксплуатирующих его более года. На основании экспертного опроса специалистов предприятий был получен ранжированный список факторов эффективности: повышение производительности, повышение качества, снижение расходов на оплату труда, ликвилация опасных операций и гибкость производства. Построена корреляционно-регрессионная модель зависимости годовой экономии от выбранных факторов. После проверки факторов на взаимозависимость в модели осталось 4 фактора: повышение производительности (расходов на оплату труда); сокращение брака (повышение качества); вредность работ; разряд работ до внедрения. Проведено сравнение факторов эффективности внедрения комплексов, полученных экспертным опросом специалистов предприятий и методами корреляционно-регрессионной зависимости. По экспертным оценкам, основным фактором является «рост производительности», однако расчеты показали, что на первое место попадает фактор «снижение брака». Для единичного внедрения робототехнических комплексов рост производительности лимитируется пропускной способностью смежных операций, а снижение брака дает ошутимый экономический эффект.

Результаты выполненных исследований показывают, что наибольшая эффективность РТК обеспечивается в тех случаях, когда возникает необходимость снижения уровня брака. На рутинных простых операциях брак может быть снижен в два раза и более, что следует учитывать специалистам, внедряющим РТК и оценивающим их потенциальную эффективность.

Ключевые слова: робототехнические комплексы; тенденции; эффективность; оценка; факторы.

По данным Международной Федерации Роботов (International Federation of Robotics, далее IFR) [1], в мире установлено более 1,4 млн промышленных роботов. Тем не менее потенциал внедрения далеко не исчерпан и может быть увеличен в несколько раз. Бостон Консалтинг Груп (Boston Consulting Group, далее ВСG) [2] оценивает ежегодный прирост установок роботов в 10 % в течение ближайшего десятилетия.

В соответствии с нормальным прогнозом ежегодные отгрузки роботов вырастут с 200 000 (данные по 2014 г.) до 500 000 к 2025 г., а в соответствии с более агрессивным сценарием – до 700 000. Аналитики ВСG предсказывают, что при этих цифрах емкость глобального рынка и различных технологических применений будет заполнена лишь на четверть. В долгосрочной перспективе рост применений роботов будет только увеличиваться.

Такой глобальный тренд диктует свои условия игры и влияет на развитие отрасли робототехники в целом. Близится переломный момент, когда промышленная робототехника и решения на ее основе станут обыденным стандартом для большинства предприятий во всех отраслях промышленности [3–5].

Можно выделить три основных фактора, которые максимально способствуют наступлению такого переломного момента. **Первый** – повышение экономической эффективности роботов по отношению к человеческому труду. Современные промышленные роботы отвечают критерию интеллектуальности, т. е. обладают рядом функций, делающих их внедрение простым и эффективным. Их количество близится к десяткам и сотням у разных производителей. Кроме того, эффективности способствует снижение стоимости разных компонентов и элементов систем. Так, например, стоимость программного обеспечения снизилась более чем на 40 % за последние 10 лет. Аналогично снизилась стоимость инженерных работ и периферийного оборудования, используемого в РТК. **Второй** – внедрение в РТК таких технологических преимуществ, которые позволят эффективно внедрять роботов в ключевых отраслях промышленности. Прежде всего, речь идет о коллаборативных технологиях, мобильных роботах, расширяющих стандартные границы и области внедрения роботов. **Третий** – распространенность бюджетных и простых в эксплуатации роботизированных систем, доступных небольшим предприятиям. Основной движущей силой этого направления являются как новые производители инновационных роботизированных систем (UR, Rethink, Baxter), так и мировые гиганты (Fanuc, Yaskawa, ABB) предлагающие рынку бюджетные модели роботов с низким сроком окупаемости.

В то же время динамика внедрения роботов на российских промышленных предприятиях значительно отстает от мировой [6]. Это связано, прежде всего, с организационно-экономическими условиями производства. Среднее отставание часовой ставки рабочего в России в 4 раза от аналогичного показателя развитых стран замедляет процесс окупаемости роботизации. С другой стороны, существует группа технических ограничений, определяемая уровнем смежных технологий и организации производства.

В связи с последним условием в процессе исследований была поставлена цель обоснования факторов эффективности внедрения робототехнических систем как комплексного продукта.

Тенденции внедрения роботизированных технологических комплексов (РТК)

Роботизированный технологический комплекс (РТК) – совокупность промышленного робота как элемента производственной системы, основного технологического оборудования, вспомогательного оборудования и устройств, рас-

ширяющих эксплуатационные возможности робота по общей программе в конкретных производственных условиях. Похожие взгляды на определение РТК приведены также в [7, 8]. Существует множество классификационных признаков РТК, и ряд авторов приводят свои взгляды на классификацию РТК [9–11].

Согласно промышленному классификатору ISIC (International Standard Industrial Classification – Международный Стандарт Промышленной Классификации) версии 4, в качестве основной предлагается классификация промышленных роботов по применению:

- перемещение (разгрузка/ загрузка, упаковка, укладка и др.);
- сварка (дуговая, контактная, лазерная, пайка и др.);
- нанесение (покраска, грунтовка и др.);
- обработка (резка, гидрорезка, механическая обработка, полировка и др.);
- сборка (вставка, разборка и др.).

Анализ РТК по применению позволяет выделить основные мировые и российские тенденции, оценить степень их совпадения. В развитых станах, выбранных в качестве эталона сравнения (Германия, Италия, Франция), доля РТК по направлению «перемещение» составляет более 50 % от всех внедренных. Следующим видом по частоте внедрения идет направление «сварка» (30 % и более). В России тенденция обратная: более 40 % РТК внедрены по направлению «сварка» и около 30 % – по направлению «перемещение». Преобладание сварочных роботов над применением «перемещение», по мнению авторов, носит временный характер. Объясняется это, прежде всего, тем, что именно со сварочных применений (низкий срок окупаемости) началось формирование рынка роботизированных решений в России [12]. Согласно внутренней статистике продаж промышленных роботов FANUC, начиная с 2015 г. виден тренд на увеличение продаж роботов по направлениям: работа со станком, паллетирование, перемещение, которые входят в состав группы «перемещение». Немногие предприятия в стране способны внедрять разработку, производство и поставку необходимого оборудования.

Экспертная оценка факторов эффективности РТК на российских предприятиях

Проблема оценки эффективности РТК возникла еще с появлением автоматизированной системы управления (АСУ). Первые методические разработки появились в 1965–1969 гг. Впоследствии были опубликованы: «Методы и практика определения эффективности капитальных вложений и новой техники» [13]; «Методика определения экономической эффективности АСУ производством» [14]; «Методика оценки эффективности промышленных роботов» [15].

Для проведения исследования был предложен дополнительный классификационный признак РТК – по степени затратности проектов. Дополнительно к предлагаемым классификационным признакам (по назначению, степени участия человека, степени перемещения и т. п.) предлагается выделять РТК, реализуемые в рамках низко- и среднебюджетных сегментов и в рамках крупных инвестиционных проектов.

Такое деление обусловлено тем, что большие инфраструктурные проекты (например, запуск завода концерна VW в Калуге, более 200 роботов и т. п.) требуют огромных инвестиций, задействуют политические и экономические интересы разных групп, а также оказывают влияние на развитие области и региона в целом. Проекты такого уровня оцениваются по специфическим критериям и методикам, а зачастую могут приниматься по «политической воле». В России большинство внедрений РТК – из низко- и среднебюджетных сегментов. В денежном эквиваленте – это суммы от 40 до 300 тыс. евро. Это обусловлено, прежде всего, состоянием промышленности и общей культуры производства в нашей стране. В дальнейшем будем рассматривать примеры реализованных проектов именно из этого ценового диапазона.

С целью выявления факторов эффективности внедрений РТК, актуальных для российских предприятий, был проведен анкетный опрос компаний с последующим ранжированием экспертных оценок. Выборку исследования составили 10 предприятий, внедривших роботизированное оборудование FANUC и успешно эксплуатирующих его более года. Выбор экспертов осуществлялся среди предприятий, осуществляющих интеграцию и запуск роботизированного оборудования FANUC на промышленных предприятиях России. От каждой компании был выделен эксперт уровня «главный инженер» или «технический директор». Компании имеют свои наработки по работе с производственниками и в большинстве случаев предоставляют опросные листы для заполнения конечному клиенту.

Согласно опыту и пониманию рынка экспертами, им было предложено оценить пять основных факторов, влияющих на эффективность внедрения РТК на промышленных предприятиях России. Число факторов n = 5, число экспертов m = 9. Оценку степени значимости параметров эксперты производят путем присвоения им рангового номера. Фактору, которому эксперт дает наивысшую оценку, присваивается ранг 1. Если эксперт признает несколько факторов равнозначными, то им присваивается одинаковый ранговый номер. Результаты эксперного опроса приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, первоочередным фактором у экспертов является повышение производительности, далее – повышение качества, сокращение персонала, ликвидация опасных операций и повышение гибкости производства.

Таблица 1. Экспертные оценки факторов эффективности роботизации производства. Table 1. Expert evaluations of manufacture robotization efficiency factors.

Фогаст	Эксперты						0			
Факторы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	- Сумма рангов
Сокращение расходов	2	0.5	2.5	4	4.5			4		27.5
на оплату труда	3	2,5	3,5	4	1,5	2	2	4	5	27,5
Повышение качества	5	5	5	2	3	3	5	3	4	35,0
Ликвидация опасных операций	1	2,5	1	3	4	4	4	2	2	23,5
Повышение производитель- ности	4	4	3,5	5	5	5	3	5	3	37,5
Повышение гибкости производства	2	1	2	1	1,5	1	1	1	1	11,5

Каждый руководитель принимает решение относительно того, что считать критерием эффективности на своем производстве при внедрении нового оборудования. Причем определяющим моментом является специфика технологического процесса, реализуемого на предприятии. Так, предприятия, связанные с оборонно-промышленным комплексом, ставят во главу угла фактор качества. Это определяется, во-первых, высокой стоимостью изготовления детали и недопустимостью брака изделия, во-вторых, высочайшими требованиями по ответственности за качество продукции. Никто не ориентируется на высокую производительность, если программа выпуска таких изделий - единицы штук в месяц или год. Решение об инвестировании в РТК происходит из соображений стабильности процесса, 100 %-ного контроля, высокого уровня качества и минимизации человеческого фактора. Для предприятий, работающих с автозаводами или выпускающих изделия крупными сериями, приоритетной является исключительно производительность, затем идет качество [16].

Корреляционно-регрессионная модель влияния частных факторов на эффективность внедрения РТК

Следующим этапом работы была проверка выделенных экспертных факторов на соответствие методам корреляционно-регрессионного анализа. Для анализа были выбраны 10 предприятий, внедривших РТК в период с 2014 по 2016 г. (табл. 2). Все они относятся к малобюджетным проектам различных отраслей промышленности, не связанных с автомобилестроением и оборонно-промышленным комплексом.

Функцией У была выбрана экономия от внедрения РТК, рассчитанная в млн руб. как разность между приведенными затратами по ручному варианту и роботизированному варианту согласно методикам [13]. Поскольку выбранные предприятия уже эксплуатируют данные комплексы, то расчетная экономия являлась фактически достигнутой, а не плановой. В качестве зависимых факторов X, определяющих выбранную функцию Y, были рассмотрены факторы, предложенные экспертами:

- $-X_1$ повышение производительности; $-X_2$ сокращение брака (повышение качества); $-X_3$ сокращение основных рабочих;
- $-X_4^3$ вредность работ;
- $-X_{5}^{4}$ разряд работ до внедрения;
- $-X_{6}^{2}$ устойчивость (отклонение объема от точки безубыточности).

После проверки факторов на взаимовлияние методом парной корреляции для построения модели были выбраны следующие 4 фактора:

- $-X_{1}$ повышение производительности (расходов на оплату труда), %;
- $-X_{3}^{2}$ сокращение брака (повышение качества), %;
- $-X_{4}^{-}$ вредность работ, абсолютное изменение уровня вредности;
- $-X_{5}^{2}$ разряд работ до внедрения;

В табл. 3 приведена информация для расчетов.

Таблица 2. Список исследуемых РТК. Table 2. The list of robotic complexes under study.

№ п/п	Применение	Бюджет PTK	Год покупки РТК		
1	Дуговая сварка	5,86	2014		
2	Дуговая сварка	12,20	2014		
3	Дуговая сварка	21,35	2015		
4	Перемещение	12,20	2016		
5	Перемещение	13,42	2014		
6	Перемещение	18,30	2015		
7	Разгрузка/загрузка	3,90	2016		
8	Разгрузка/загрузка	7,32	2016		
9	Разгрузка/загрузка	3,66	2016		
10	Покраска	3,42	2016		

Таблица 3. Исходные данные для выявления корреляции факторов. Table 3. Initial data for correlation factors placement.

Harran Haffiaganing	Зависимая переменная				
Номер наблюдения	Υ,	X _{1.}	X ₂ ,	X ₄	X ₅
1	1	2	3	5	6
1	0,65	2	0,15	-3	2
2	0,42	2	0,86	-3	2
3	0,06	4	1,08	-3	2
4	10	5	10,32	-1	3
5	-0,48	4	0,25	-1	3
6	-0,82	4	0,40	-2	3
7	0,01	2	0,08	-2	3
8	1,17	2	1,35	-3	3
9	0,05	1	0,27	-1	3
10	0,13	1	0,23	-3	2

Для расчета была выбрана линейная функция.

Полученная модель имеет следующий вид:

$$Y = 6,17 + 2,86 X_1 - 20,48 X_2 - 2,4 X_3 - 2,4 X_4.$$

Модель удовлетворяет критерию Фишера и может считаться достоверной.

В табл. 4 приведено сравнение полученных экспертных оценок и коэффициентов значимости факторов согласно модели.

Таблица 4. Факторы эффективности внедрения РТК. Table 4. Efficiency factors for adoption of robotic complexes.

Факторы	Сумма рангов	Коэффициент значимости
Повышение производительности	37,5	2,86
Повышение качества	35	20,48
Сокращение расходов на оплату труда	27,5	_
Снижение разряда работ	_	2,40
Ликвидация опасных операций	23,5	2,40
Повышение гибкости производства	11,5	_

Заключение

Из полученных результатов, следует, что наибольшую эффективность РТК показывают в ситуациях, когда необходимо снизить уровень брака, обеспечить стабильность производственных процессов. Для единичного внедрения робототехнических комплексов рост производительности лимитируется пропускной способностью смежных операций, а снижение брака на простых операциях (на некоторых в два раза и более) дает ощутимый экономический эффект. Это необходимо учитывать специалистам предприятий, выбирающим РТК и определяющим его потенциальную эффективность. Более точные результаты могут быть получены при расширении массива первичной информации, группировки РТК по применению и группировки предприятий по отраслям. В настоящее время авторы продолжают работу по сбору информации для выявления факторов эффективности в различных производственных условиях и построения уточненных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. IFR Statistical Department: World of Robotics 2015. Industrial robots. URL: http://www.worldrobotics.org
- 2. Boston Consulting Group: The Robotics Revolution. URL: http://www.bcg.com
- 3. Zheng L., Liu S., Wang S. Current situation and future of chinese industrial robot development // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2016. Vol. 5, Issue 4. P. 295–300.
- 4. Luo M., Fang J., Zhao J. The development and the application of the industrial robot technology // Machine Building Automation. 2015. Vol. 44, no. 1. P. 1–4.
- 5. Ren Z. The present situation and development trend of industrial robot // Equipment Manufacturing Technology. 2015. No. 3. P. 166-168.
- 6. Комков Н. Н., Бондарева Н. Н. Перспективы и условия развития робототехники в России // Модернизация. 2016. № 1. С. 8–21.
- 7. Industrial robots definition and classification. URL: https://ifr.org/img/office/Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf
- 8. Козловский В. А. Организационные и экономические вопросы построения производственных систем. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. 281 с.
- 9. Юревич Е. И. Интеллектуальные роботы. М.: Машиностроение, 2007. 325 с.
- 10. Юревич Е. И. Основы робототехники. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 310 с.
- 11. Интегральный робот / под ред. А. И. Галушкина. Сер. «Нейрокомпьютеры и их применение». Кн. 20. М.: Радиотехника, 2006. 146 с.
- 12. Nikitin V. E., Marchenko S. A., Nesterov O. D., Mukhaev A. V. Modern tendencies in the development of automated robotics technological complexes for arc welding // Tyazheloe Mashinostroenie. 1992. Issue 7. P. 27–30.
- 13. Методы и практика определения эффективности капитальных вложений и новой техники: сб. науч. инф. М.: Наука, 1969. Вып. 16. 128 с.
- 14. Методика определения экономической эффективности АСУ производством. М.: ЦНИИКА, 1970. 37 с.
- 15. Мыльник В. В. Методика оценки эффективности промышленных роботов. М.: НИИ экономики МАЛ, 1982. 41 с.
- 16. García de Soto B., Agustí-Juan I., Hunhevicz J., Joss S., Graser K., Habert G., Adey B.T. Productivity of digital fabrication in construction: Cost and time analysis of a robotically built wall // Automation in Construction. 2018. Vol. 92. P. 297–311.
- 17. Расчеты экономической эффективности новой техники: справочник / под общ. ред. К. М. Великанова. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. 448 с.

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2018 г.

УДК 338.32.053.4 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-130-134

The factors of the effectiveness of introducing robotic complex at Russian enterprises

Irina Vadimovna Ershova¹, eiv.eopm@e1.ru Ol'ga Olegovna Podolyak¹, eltcha@mail.ru Andrey Viktorovich Danilov² dav.82@mail.ru ¹Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin Ekaterinburg, Russia ²Company FANUC (Fanuc Corporation) Moscow, Russia

The relevance of the work is conditioned by the lack of methodological studies to assess the effectiveness of the introducing robotic complexes. The use of robots is growing in the long-term perspective.

The purpose of the work is to substantiate the system of factors determining the effectiveness of the introduction of robotic systems at Russian enterprises. The article considers the factors of efficiency of the "point" implementation of robotic systems at Russian industrial enterprises in the framework of low-budget projects. A sample of the study was made by 10 companies that have implemented robotic equipment FANUC, and successfully operating it for more than a year. Based on the expert survey of specialists of enterprises, a ranked list of efficiency factors was obtained: increased productivity, improved quality, reduced labor costs, elimination of hazardous operations and production flexibility. The correlation and regression model of the annual savings dependence on the selected factors was constructed, there are The 4 factors remained after checking the factors for interdependence in the model: productivity increase (labor costs); reduction in defectives (quality improvement); harmfulness of work; category of work before implementation. The comparison of the factors of efficiency of implementation of the complexes was carried out. They were obtained by the expert survey of specialists of enterprises and methods of correlation and regression dependence. According to the expert's estimates, the main factor is "productivity growth", but calculations have shown that the factor of reduction in defectives comes first. For a single implementation of robotic systems, the growth of productivity is limited by the capacity of adjacent operations, and the reduction of marriage gives a tangible economic effect.

The results of the studies show that the highest efficiency of robotic complexes is provided in cases where there is a need to reduce the level of defects. On routine simple operations defectives can be reduced by half or more, which should be taken into account by specialists implementing robotic complexes and assessing their potential effectiveness.

Keywords: robotic complexes; trends; efficiency; evaluation; factors.

REFERENCES

- 1. 2015, IFR Statistical Department: World of Robotics. Industrial robots. URL: http://www.worldrobotics.org
- 2. Boston Consulting Group: The Robotics Revolution. URL: http://www.bcg.com
- 3. Zheng L., Liu S., Wang S. 2016, Current situation and future of Chinese industrial robot development. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 5, Issue 4, pp. 295–300.
- 4. Luo M., Fang J., Zhao J. 2015, The development and the application of the industrial robot technology. *Machine Building Automation*, vol. 44, no. 1, pp. 1–4.
- 5. Ren Z. 2015, The present situation and development trend of industrial robot. Equipment Manufacturing Technology, no. 3, pp. 166–168.
- 6. Komkov N. N. Bondareva N. N. 2016, *Perspektivy i usloviya razvitiya robototekhniki v Rossii* [Prospects and conditions of development of robotics in Russia]. *Modernizatsiya* [Modernization], no. 1, pp. 8–21.
- 7. Industrial robots' definition and classification. URL: https://ifr.org/img/office/Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf
- 8. Kozlovsky V. A. 1981, Organizatsionnyye i ekonomicheskiye voprosy postroyeniya proizvodstvennykh sistem [Organizational and economic issues of production systems construction]. Leningrad, 281 p.
- 9. Yurevich E. I. 2007, Intellektual'nyye roboty [Intelligent robots]. Moscow, 325 p.
- 10. Yurevich E. I. 2005, Osnovy robototekhniki [Fundamentals of robotics]. Saint Petersburg, 310 p.
- 11. 2006, Integral'nyy robot. Pod red. A. I. Galushkina. Seriya «Neyrokomp'yutery i ikh primeneniye». Kniga 20 [Integrated robot. Ed. by A. I. Galushkin. "Neurocomputers and their applications" series. Book 20]. Moscow, 146 p.
- 12. Nikitin V. E., Marchenko S. A., Nesterov O. D., Mukhaev A. V. 1992, Modern trends in the development of automated robotics technological complexes for arc welding. *Tyazheloe Mashinostroyeniye*, issue 7, pp. 27–30.
- 13. 1969, Metody i praktika opredeleniya effektivnosti kapital'nykh vlozheniy i novoy tekhniki: sb. nauch. inf. [Methods and practice of determining the effectiveness of capital investments and new equipment: a collection of scientific information]. Issue 16. Moscow, 128 p.
- 14. 1970, Metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti ASU proizvodstvom [The method of determining the economic efficiency of ACS production]. Moscow, 37 p.
- 15. Myl'nik V. V. 1982, Metodika otsenki effektivnosti promyshlennykh robotov [The methods of evaluating the effectiveness of industrial robots], Moscow, 41 p.
- 16. García de Soto B., Agustí-Juan I., Hunhevicz J., Joss S., Graser K., Habert G., Adey B. T. 2018, Productivity of digital fabrication in construction: Cost and time analysis of a robot built wall. *Automation in Construction*, vol. 92, pp. 297–311.
- 17. 1990, Raschyoty ekonomicheskoy effektivnosti novoy tekhniki: spravochnik. Pod obshch. red. K. M. Velikanova [Calculations of economic efficiency of new equipment: A Handbook. Ed. by K. M. Velikanov]. Leningrad, 448 p.

The article was received on February 10, 2018

УДК 332.14 DOI 10.21440/2307-2018-2-135-141

ПРОМЫШЛЕННАЯ ПОЛИТИКА КАК СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ И СОЦИАЛЬНО ДРУЖЕСТВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

Ольга Александровна Романова econ@uran.ru Институт экономики УрО РАН Россия, Екатеринбург

Актуальность темы статьи определяется тем, что современная промышленная политика становится координирующим, центральным компонентом различного вида государственных политик, формируя ту платформу, на базе которой строится экономическая политика государства в целом. **Целью работы** является обоснование новой роли, которую играет промышленная политика в современном обществе.

Результаты. Показано, что промышленная политика в России должна быть ориентирована не только на целенаправленное изменение структуры экономической деятельности. Проанализированные новые тренды современной технико-экономической парадигмы развития обшества, такие как инклюзивное развитие, импакт-инвестирование (социально ответственное инвестирование), предопределяют необходимость корректировки приоритетов промышленной политики с позиции учета экологических и социальных факторов. Приведены результаты исследований в области формирования теоретических основ современной промышленной политики; установлено, что уровень социально-экономического развития страны во многом определяет приоритеты промышленной политики, обосновано, что современные инструменты промышленной политики должны быть ориентированы на достижение значимых экологических и социальных результатов. Показано, что особую роль в достижении этих результатов играет развитие нового научного направления «экология технологий», что вместе с идеями, заложенными в стратегических приоритетах взаимодействия человека, природы и технологий, обеспечивает формирование экологически дружественного пространства. Выявлена эволюция социальной ответственности бизнеса, что позволяет разработать новую модель корпоративной социальной деятельности, оказывающую положительное влияние на формирование более дружественного социального пространства.

Применение результатов. Полученные результаты применимы при разработке новых или корректировке действующих стратегий социальноэкономического развития страны, ее регионов или хозяйствующих субъектов.

Ключевые слова: промышленная политика; теоретическая платформа промышленной политики; приоритеты; экология технологий; социально-ответственное инвестирование; экологически и социально дружественное пространство.

Ведение
Одной из наиболее дискуссионных проблем в современной экономике является проблема промышленной политики. До сих пор продолжаются активные дискуссии по обсуждению самого понятия промышленной политики, возможных инструментов ее осуществления, которые могли бы привести к целевым результатам. В качестве самостоятельного государственного инструмента промышленная политика сформировалась в период промышленной революции XIX в. Именно в этот период основным инструментом реализации важнейших направлений социально-экономического и политического характера являлись технико-технологические средства. Однако окончательное оформление промышленной политики как самостоятельного инструмента государственного регулирования экономического развития произошло в индустриальном обществе. В современных условиях промышленная политика является обязательной принадлежностью государственного участия в экономическом развитии любой страны. Конечно, применяемые методы и формы такого государственного участия серьезно различаются в зависимости от того, на какой стадии цивилизационного развития находится общество, каков уровень социально-экономического развития страны, насколько прогрессивна сформировавшаяся там институциональная среда, каковы структурные характеристики экономики и особенности менталитета населения страны.

Теоретические основы промышленной политики

Важнейшее значение при определении роли промышленной политики в экономическом и пространственном развитии страны имеет та теоретическая основа, на базе которой она формируется. Систематизация и анализ имеющихся точек зрения по этой проблеме позволяют констатировать наличие диаметрально противоположных взглядов. Наиболее видным представителем авторов, которые считают, что промышленную политику не следует привязывать к определенным теоретическим моделям, является Е. Ясин. Другой точки зрения придерживаются известный ученый, профессор экономики, специализирующийся в области структурных реформ, Гжегож В. Колодко и ряд других авторов. По их мнению, политика должна основываться на теории, объясняющей механизмы функционирования экономики и ее роста. П. Кругман, лауреат Нобелевской премии по экономике, отмечает, что в основе любой экономической политики (а значит, и промышленной. Прим. автора) лежит соответствующая экономическая теория, которая и является основным двигателем экономической политики [1].

Проведенные нами исследования позволяют сделать вывод, что наличие теоретической основы и ее своевременная корректировка являются обязательными при формировании промышленной политики. Основными блоками формирования ее теоретической основы являются, по нашему мнению, понятие промышленной политики, институциональный контур промышленной политики, теоретическая платформа промышленной политики.

Понятие промышленной политики. Понятие промышленной политики остается дискуссионным как в зарубежной, так и в отечественной практике. Имеющиеся достаточно противоречивые взгляды по этой проблеме могут быть систематизированы по пяти основным группам. Одна из них связана с выделением определяющего влияния правительства в области проведения промышленной политики на регулирование работы рынков [2]. Авторы другой группы рассматривают промышленную политику как инструмент создания условий для экономического роста и повышения конкурентоспособности [3, 4]. Авторы следующей группы являются сторонниками рассмотрения промышленной политики с позиции ее определяющего влияния на развитие секторов с высокой добавленной стоимостью [5]. Отличием

специалистов четвертой группы в понимании промышленной политики является обоснованная ими необходимость сочетания поддержки развития новых производств с одновременной модернизацией традиционных [6]. Наиболее многочисленную группу представляют специалисты, которые понимают промышленную политику как политику, связанную с целенаправленным изменением структуры экономики [7-10].

По нашему мнению, именно это понятие в наибольшей степени отражает саму суть и содержание промышленной политики. Кроме того, представляется, что в современных условиях может быть выделена единая теоретическая основа всех перечисленных групп трактовок промышленной политики. Сегодняшний мир является миром, который переживает серьезные геополитические и технологические трансформации, характеризуется высокой степенью неопределенности. С этих позиций нам представляется целесообразным трактовать промышленную политику как систему меняющихся отношений между государством, субъектами хозяйствования и институтами гражданского общества. Такая система отношений оказывает определяющее влияние на создание структурно сбалансированной, конкурентоспособной экономики, но в полной мере соответствующей современным требованиям она может быть признана только в том случае, если создаваемая экономика будет функционировать в рамках экологически и социально дружественного пространства.

Такой подход отличается от традиционного понимания в нашей стране промышленной политики как комплекса мер, направленного на развитие только промышленного потенциала России. Здесь не принимается во внимание ни решение важнейших структурных проблем отечественной экономики, ни повышение значимости в современных условиях социального и экологического факторов. Важно еще раз отметить, что в нашем понимании промышленная политика России должна быть ориентирована не только на целенаправленное изменение структуры экономической деятельности и повышение ее экологичности, не только на обеспечение возрастающих потребностей человека. Все большее значение приобретает промышленная политика как инструмент формирования гуманитарно-технологического, экологически и социально дружественного пространства, что в полной мере соответствует современным требованиям зеленой экономики.

Институциональный контур промышленной политики. Исследования, ранее проведенные в Институте экономики УрО РАН, позволили ввести в научный оборот новое научное понятие «институциональный контур промышленной политики». В данном понятии были выделены наиболее существенные, корреспондирующиеся между собой управляющие воздействия в экономической, политической и идеологической подсистемах государства на разных иерархических уровнях. Эти воздействия направлены на достижение приоритетных целей развития и реализацию структурных преобразований промышленной системы. Однако в приведенном определении отсутствует такая важнейшая подсистема, как социально-экологическая, кроме того, не учитывается фактор воздействия этих систем на формирование дружественного человеку пространства. С учетом этого фактора можно предложить следующее понятие институционального контура промышленной политики. Институциональный контур промышленной политики – это наиболее существенные типы социально-экономической, технологической, экологической, политической и идеологической деятельности в сфере промышленного развития, обладающие высоким потенциалом саморазвития, способствующие интеграции промышленной деятельности в сети тесно взаимосвязанных инновационных и институциональных систем. Это позволяет соотнести указанные типы деятельности не только с приоритетными целями экономического развития страны, но и с формированием экологически и социально дружественного пространства.

Теоретическая платформа промышленной политики. Уточнение понятий промышленной политики, ее институционального контура позволили обосновать теоретическую платформу современной промышленной политики. По нашему мнению, фундаментальной основой такой платформы может быть синтез положений институциональной теории, теории долгосрочного технико-экономического развития и экономической синергетики.

Среди наиболее значимых для формирования промышленной политики положений институциональной теории можно отметить, что в ее рамках экономика рассматривается как органичное целое, которое системно эволюционирует в соответствии с новыми трендами развития. Здесь же подчеркивается, что именно структура власти определяет, чьи интересы могут быть выделены в качестве приоритетов для промышленной политики.

В рамках теории долгосрочного технико-экономического развития, с позиции формирования теоретической основы промышленной политики, наиболее значимыми являются следующие положения. Здесь обосновано, что новые технологические тренды кардинально меняют структуру мировой экономики; показана неопределенность и альтернативность технологических траекторий в начале жизненного цикла соответствующих направлений технико-экономического развития; подчеркнута нелинейность траекторий развития, распространения и замещения технологий.

Среди ряда основных свойств, позволяющих рассматривать синергетику в качестве теоретической основы современной промышленной политики, представляются особо важными три ее свойства. Первое – синергетика представляет собой науку о взаимодействии как универсальном механизме функционирования и развития сложных открытых систем природы и общества. Она выросла из современного нового коммуникативного этапа в развитии общества, что является в сегодняшних условиях, когда формируется так называемая «экономика солидарности», приоритетом номер один. Второе – в рамках синергетики обосновано, что коэволюция – это не просто процесс взаимопроникновения технологий при образовании нового технологического уклада. Общей закономерностью коэволюционного развития является то, что объединение в долгосрочной исторической перспективе выгодно не только слабым элементам в лице устаревающих технологических укладов, но и сильным, высокоразвитым элементам, т. е. элементам, формирующим ядро нового технологического уклада. Третье – важнейшей вытекающей из синергетики идеей, важной для формирования теоретической платформы промышленной политики, является обязательность учета оптимального соотношения определенной доли хаоса, т. е. спонтанности развития и самоуправления с определенной долей внешнего управления. При этом эти две составляющие – самоорганизация снизу и организация сверху – должны быть сбалансированы, что и определяет специфику новой промышленной политики на разных этапах экономического развития страны.

Отмеченные положения институциональной теории, теории долгосрочного технико-экономического развития и синергетики позволили сформировать теоретическую платформу новой промышленной политики, подробное изложение которой содержится в работе [11]. Заложенные здесь идеи являются основой методологии выявления приоритетов, которые должны быть реализованы современной промышленной политикой. При разработке такой методологии нами учтен зарубежный опыт в области промышленной политики, представленный исследованиями таких широко известных авторов, как D. Rodrik, K. Warwick, J. Stiglitz, J. Lin, H. Chang, W. Naude, H. Pack, K. Saggi и др.

Уровень социально-экономического развития страны как индикатор приоритетов промышленной политики

В мировой практике приоритеты промышленной политики во многом определяются уровнем социально-экономического развития страны. Реализация промышленной политики во многом зависит от сбалансированности целей сугубо экономического характера и целей социального развития. Мировая практика свидетельствует, что чем менее развиты экономика и общество, тем меньшее влияние на содержание промышленной политики оказывают социальные аспекты.

Можно выделить три этапа в мировой практике, которые определяют разные, с отмеченной ранее позиции, приоритеты промышленной политики. Первый этап с XIX в. до первых десятилетий XX в. характеризовался тем, что в этот период основной целью промышленной политики являлось поддержка сильной промышленности, прежде всего, оборонного характера, поддержка интересов крупных производств. Социальные факторы в этот период в преобладающей мере не учитывались. Только в таких критически важных областях для любой страны, как гарантия занятости, обеспечение продовольствием и т. д., приоритеты промышленной политики выстраивались с учетом социальных аспектов производственной деятельности.

Второй этап обычно датируется периодом, начиная с первых десятилетий XX в. вплоть до 60-х гг. XX в. В этот период подчеркивается значимость сбалансированности интересов промышленного развития и базовых социальных гарантий, что позволяет рассматривать промышленную политику как один из элементов общеэкономической политики.

Третий этап современной промышленной политики характеризуется в развитых странах равноправием, а зачастую доминированием социальных интересов над экономическими. Социальная сфера в современной промышленной политике высокоразвитых стран является полноправным участником процесса развития национальной промышленности.

Современная промышленная политика России не может игнорировать те новые тренды технологического, экологического и социального характера, которые во все большей мере встраиваются в систему регулирования промышленного развития любой национальной экономики. Известно, что Президентом РФ 2017 г. был объявлен «годом экологии». Это предопределило повышение активности не только органов власти, но и бизнеса в реализации природоохранных мероприятий. Были проведены многочисленные мероприятия, связанные с различными аспектами природоохранной деятельности. Серьезное развитие получили научные основы организации безотходного производства, утилизации техногенных отходов и т. д.

Экологический аспект формирования приоритетов промышленной политики. Проблемы рационального природопользования активно обсуждались на российском инвестиционном форуме в Сочи (2017). Здесь был проведен круглый стол на тему: «Зеленая экономика как вектор развития». Важным направлением, характеризующим становление зеленой экономики, является организация безотходного производства во всех сферах хозяйственной деятельности, в том числе в коммунальном хозяйстве. Ситуация в сфере обращения с коммунальными отходами критическая. Субъекты РФ имеют очень небольшое количество объектов (5–10 % от общего количества) обработки и размещения коммунальных отходов, соответствующих законодательству и обеспечивающих экологическую безопасность.

Значительную роль в снижении экологической перегруженности территорий должен сыграть переход всех промышленных предприятий страны на наилучшие доступные технологии (НДТ) [12]. Это является обязательным требованием всех стран Организации экономического сотрудничества и развития. Наилучшие доступные технологии можно трактовать как свод наиболее приемлемых технологических решений. Принятие таких решений обеспечивается на базе коллективного договора между властью, создающей условия для промышленного развития и осуществляющей экологический надзор, и бизнесом, для которого важно сохранить рентабельность и потенциал развития. В России разработаны и утверждены нормативные акты, регламентирующие требования к поэтапному внедрению НДТ. Основные механизмы по внедрению НДТ должны реально заработать в 2019 г. Этот фактор был учтен еще в 2012 г. при формировании приоритетов промышленной политики. Однако введение антироссийских санкций в 2014 г. потребовало корректировки приоритетов промышленной политики, выдвинув на первый план поддержку импортозамещающих технологий. Объявление Президентом России на заседании Совета по стратегическому развитию и приоритетным проектам (июль 2017 г.) развитие цифровой экономики в качестве важнейшего вопроса национальной безопасности России и конкурентоспособности отечественных компаний сместило приоритеты промышленной политики в сторону поддержки цифровой экономики.

Но в сегодняшних условиях важнейшим критерием успешности экономики становится не только уровень ее технологического развития, не только получение прибыли хозяйствующими субъектами страны, но все большее значение приобретает достижение соответствующего качества жизни. Оно должно обеспечить повышение средней продолжительности активной жизни, максимальный уровень использования творческих возможностей людей и комфортность среды их обитания. При этом возрастает актуальность бережного использования невозобновимых природных ресурсов, поиска эффективных технологий переработки техногенных ресурсов [13].

Особенностью формирующегося шестого технологического уклада является требование не только снижения экологической нагрузки на территорию. Важное значение придается разработке, а также созданию новых материалов, разлагаемых в течение нескольких месяцев, остатки которых не нуждаются в захоронении и не изымаются из биогеохимических циклов. Дальнейшее развитие промышленного производства предопределяется внедрением именно таких новых природосберегающих технологий. Данные технологии не только обеспечивают комфортные условия работы непо-

средственно на производстве, но и являются необременительными для территории их базирования. Такие технологии получили название «природоподобных» технологий. Они становятся определяющими в процессе перехода к седьмому технологическому укладу, который в значительной мере ориентирован на повышение качества жизни, достигаемого в том числе на базе реализации принципиально новых природоподобных технологий.

Процесс формирования технологического пространства как среды обитания человека был вызван интенсивным технологическим развитием. Оно предопределило формирование такого технологического пространства, которое в ряде случаев замещало природную (биологическую) среду. Очевидность многочисленности отрицательных последствий такого развития инициировала появление нового научного направления, связанного с разработкой основ «экологии технологий». Основателем такого направления является акад. В. В. Иванов [14]. Им показано, что положительный эффект от технологического развития может быть получен только при условии, когда общая и профессиональная культура населения, сформированная соответствующим образованием и воспитанием, соответствует высокому технологическому уровню развития экономики.

Методологическую основу научного направления «экология технологий» составляет концепция управления рисками. В настоящее время данная концепция используется при оценке безопасности сложных технических и технологических систем. Востребована она также для решения задач стратегического планирования. Представляется правомерным выделение двух важнейших постулатов экологии технологий. Первый из них определяется тем, что применение технологий, не соответствующих уровню культурного развития, приводит к катастрофам. В рамках второго постулата особое значение имеет тот факт, что любая, даже самая прогрессивная и социально-направленная технология, имеет пределы своего применения. При условии перехода через эти пределы технология может нанести ущерб, сопоставимый с положительным эффектом. Таким образом, нахождение оптимального соотношения между риском и реально существующими возможностями обеспечения безопасности технического и экономического характера является необходимым решением на каждом конкретном этапе технико-экономического развития [14].

Рост чрезвычайных ситуаций во всем мире природного, техногенного и социального характера, непредсказуемость последствий реализации многих новейших продуктов и технологий, в том числе цифровой экономики, предопределили необходимость решения важнейших проблем в области совершенствования систем государственного, корпоративного и общественного управления. В рамках таких систем особая роль отводится промышленной политике, в том числе и с позиции предотвращения чрезвычайных ситуаций в реальном секторе экономики. В 2015 г. ряд стран подписали Сендайскую рамочную программу по снижению риска бедствий на 2015–2030 гг., где актуализируется корпоративная, социальная и этическая ответственность за результаты деятельности компаний.

Однако возрастающее влияние технологий на качественное изменение среды обитания человека, в том числе технологий, не исключающих образование отходов, продолжает оставаться реальной угрозой замещения биологического пространства на технологическое. Значительную роль в исключении этой угрозы может сыграть выполнение Указа Президента РФ № 198 от 06 мая 2018 г. «Об Основах государственной политики РФ в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу»¹. Здесь отмечается возрастание негативного воздействия техногенных факторов на население, окружающую среду, увеличение риска возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций, что представляет собой угрозу не только для жизни и деятельности человека, но и для социально-экономического развития страны в целом. Формирование предусмотренных в Указе механизмов научно-технической и методологической поддержки государственного регулирования в области промышленной безопасности будет способствовать обоснованию дополнительных приоритетов промышленной политики. В рамках таких механизмов может быть обеспечено решение задач прогнозирования рисков возникновения аварий, актуализированы требования к безопасности технологических процессов и, что представляется особо значимым, сближены требования промышленной безопасности в рамках Евразийского экономического союза и межгосударственных объединений, которые формируются при участии РФ.

Можно отметить, что еще ранее, в 2016 г., среди семи приоритетов, сформулированных в «Стратегии научно-технологического развития $P\Phi$ »², был выделен приоритет, связанный с решением проблем взаимодействия человека и природы, человека и технологии. Все сказанное подчеркивает актуальность понимания и формирования экологически дружественного гуманитарно-технологического пространства как одного из важнейших направлений социально-экономического развития страны, поддерживаемого промышленной политикой.

Социальный аспект формирования приоритетов промышленной политики. Формирование экологически дружественного пространства во многом определяет качество жизни населения, а достижение соответствующего качества жизни признается всем мировым научным сообществом бесспорным приоритетом номер один. Очевидно, что реальным конечным объектом высокотехнологичной экономики, развитие которой поддерживается промышленной политикой, являются не новые технологии, товары и рынки, а то, ради чего все это создается и применяется в хозяйственной практике, т. е. главным является человек, условия его жизни, комфортность пребывания в определенном обществе и определенной среде. Безальтернативным также является, по нашему мнению, достижение определенной ранее цели на базе формирования такого технологического пространства, определяющими характеристиками которого являются экологически дружественные технологические решения, не приводящие к образованию отрицательных последствий для населения.

Решение этой задачи во многом будет зависеть от реализации Указа Президента РФ № 204 от 7 мая 2018 г. «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 года»³. В данном указе не только подчеркивается важность создания комфортных условий для проживания граждан России, но и ставится задача повышения уровня жизни, снижения в два раза уровня бедности в РФ, обеспечения устойчивого роста реальных доходов граждан.

¹Указ Президента РФ № 198 от 06 мая 2018 г. «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2015 года и дальнейшую перспективу».

²Указ Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

Предусматривается кардинальное повышение комфортности городской среды, повышение на 30 % индекса качества городской среды, что позволит в соответствии с этим индексом сократить количество городов с неблагоприятной средой в два раза. Качество социального пространства во многом определяется уровнем развития малого и среднего предпринимательства. В соответствии с отмеченным указом к 2024 г. численность занятых в сфере малого и среднего предпринимательства, включая индивидуальных предпринимателей, составит в России 25 млн человек.

Наиболее эффективной окажется поддержка факторов формирования благоприятной социальной среды, если она будет осуществляться инструментами промышленной политики на базе частно-государственного партнерства. Именно бизнес в современных условиях может оказать серьезное воздействие на улучшение всех аспектов социальной жизни населения.

Проблема социальной ответственности бизнеса, которая имеет место как в зарубежной, так и в отечественной практике, в современных условиях имеет важнейшее значение при определении приоритетов промышленной политики. Такая политика все в большей мере поддерживает смешанную модель корпоративной социальной ответственности. Основанием такой модели являются три основных направления социальной инициативы, которые включают экономику, занятость и охрану окружающей среды. Известно, что любое государство регулирует деятельность компаний в рамках социальной ответственности через установление определенных стандартов, норм и законов. Но в то же время в разных странах появляются национальные институты, которые контролируют соответствие бизнеса принципам социальной ответственности. При этом необходимо отметить, что контролируются принципы, относящиеся не только к охране окружающей среды, соблюдению соответствующих условий труда, выпуску качественной продукции, но и особое внимание уделяется предоставлению определенных гарантий занятости для различных категорий работающих. Таким образом, в сферу социальной ответственности бизнеса включаются принципы инклюзивного развития как наиболее значимого современного тренда в развитии мировой экономики. Кроме того, в зарубежной практике все более развивается такой вид инвестиционной деятельности, как импакт-инвестирование. Этот процесс имеет прямое отношение к социальной ответственности бизнеса. Но в отличие от последнего общепринятого понятия импакт-инвестирование, определяемое также как социально ответственное инвестирование, рассматривается как определенная миссия бизнеса в целом или отдельных его акторов в достижении общественно значимых социальных и экологических целей, укреплении духовных ценностей населения при одновременном получении определенного коммерческого результата.

Импакт-инвестирование и инклюзивное развитие как новейшие характеристики современной технико-экономической парадигмы все в большей мере учитываются при формировании промышленной политики любого государства. Представляется, что тенденции роста демократических начал в разнообразных деловых практиках являются попыткой противостояния тенденции безответственного и зачастую хищнического ведения бизнеса, наносящего ущерб как государству, так и обществу в целом. Именно этот факт предопределяет необходимость перехода от социальной ответственности бизнеса, концепцию которой некоторые специалисты определяют как концепцию «вчерашнего дня», к более широкому пониманию этой проблемы, основанному на переходе к принципам импакт-инвестирования и инклюзивного развития.

Происходящие в мире перемены в области повышения значимости социально ответственного инвестирования выдвинули в качестве нового приоритета промышленной политики ее участие в снижении социального неравенства как в рамках отдельных хозяйствующих субъектов, так и на локализованных пространствах их размещения. Сейчас все возрастающую значимость приобретает оценка не просто хозяйственной деятельности предприятий реального сектора экономики, а оценка той эколого-экономической системы, в рамках которой функционирует данное предприятие. Применительно к горной промышленности серьезные исследования в этом плане проводятся в Уральском государственном горном университете [15]. Новый аспект промышленной политики предполагает повышение значимости решения социальных проблем, более активную поддержку социальных инноваций, особенно на региональном уровне [16].

Изменения в формировании приоритетов промышленной политики в области обеспечения социально дружественного пространства в значительной мере объясняются следующим. Происходит трансформация традиционного восприятия корпоративной социальной *ответственности* как деятельности организации, соответствующей экономическим, правовым и этическим ожиданиям, предъявляемым обществом к организации в конкретный период времени, в понятие «корпоративной социальной *восприимчивостии*». Обычно выделяют два подхода, характеризующих эффективное восприятие корпорацией общественных проблем. Первый из них ориентирован на интегрирование вопросов взаимодействия бизнеса и общества в систему стратегического управления. Второй предполагает прямое вовлечение корпорации в эффективное развитие общественных процессов [17]. Необходимо подчеркнуть, что, по нашему мнению, как корпоративная социальная ответственность, так и корпоративная социальная восприимчивость с разных сторон оценивают корпоративную социальную активность и отражают более широкий спектр ее социальной *деятельностии*. Модель корпоративной социальной деятельности основана, с одной стороны, на принципах корпоративной социальной ответственности, с другой – на осуществлении этих принципов в рамках процессов корпоративной социальной ответственности. Кроме того, отмеченная модель включает в себя и результаты корпоративного поведения, что оказывает положительное влияние на общество, на разработку социальных программ, а значит, позволяет формировать более дружественное социальное пространство.

Заключение

Успешность реализации промышленной политики с учетом ее ориентации на достижение таких новых приоритетов, как формирование экологически и социально дружественного пространства, во многом будет зависеть не только от качественных характеристик новейших технологических решений. В конечном счете технологии являются лишь средствами, созданными людьми и для людей. Для их существенного вклада в улучшение жизни человека важнейшее значение

³Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

имеет достижение сотрудничества между всеми акторами промышленной политики. Только сотрудничество позволит адаптироваться к условиям возрастающей сложности политической, экономической и социальной жизни. Как отмечал Мартин Новак, профессор математики и биологии Гарвардского университета, сотрудничество – это «единственное, что спасет человечество» [18].

Статья подготовлена в соответствии с Программой фундаментальных исследований РАН, Проект УрО РАН № 18-6-7-42 «Научно-технологическое развитие регионов на принципах зеленой экономики».

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Crugman P. The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008. N. Y.: W. W. Norton & Company Inc., 2009. 214 p.
- 2. Federico G., Foreman-Peck J. European Industrial Policy: Introduction / J. Foreman-Peck, G. Federico (eds.) // European industrial policy: The twentieth-century experience. N. Y.: Oxford University Press, 1999. P. 1–17.
- 3. Полтерович В. М., Попов В. В. Эволюционная теория экономической политики // Вопросы экономики. 2006. № 7. С. 4–23.
- 4. Beath J. UK Industrial Policy: Old Tunes on New Instruments? // Oxford Review of Economic Policy. 2002. Vol. 18, № 2. P. 221–239.
- 5. Перечнева И. На стратегическое чудо уповаем // Эксперт-Урал. 2017. № 50(752). 11–17 дек. С. 8–12.
- 6. Дементьев В. Е. Структурные факторы технологического развития // Экономика и математические методы. 2013. Т. 49, № 4. С. 33–46.
- 7. Кузнецов Б. В., Сима́чев Ю. В. Эволюция государственной промышленной политики в России // Журнал новой экономической ассоциации. 2014. № 2(22). С. 152–179.
- 8. Татаркин А. И., Романова О. А. Промышленная политика и механизм ее реализации: системный подход // Экономика региона. 2007. № 3. С. 19–31.
- 9. Rodrik D. Industrial Policy for the Twenty-First Century. Cambridge: Harvard University, 2004. 57 p.
- 10. Warwick K. Beyond Industrial Policy: Emerging Issues and New Trends. OECD Science, Technology and Industry Policy Papers No. 2. OECD Publishing. 2013. 56 p. DOI: 10.1787/5k4869clw0xp-en. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5k4869clw0xp-en.pdf?expires=152929954 8&id=id&accname=guest&checksum=166996B881DD096F4AF3BF8BDABE9015
- 11. Романова О. А., Бухвалов Н. Ю. Формирование теоретической платформы как системной основы промышленной политики в условиях новой индустриализации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2014. № 32. С. 58–67.
- 12. Мочалова Л. А., Игнатьева М. Е., Стровский В. Е. Экологическая модернизация технологий горнопромышленного комплекса. Екатеринбург: УГГУ, 2017. 177 с.
- 13. Кубарев М. С., Игнатьева М. Н. Экоприемлемое природопользование одно из условий устойчивого развития // Изв. УГГУ. 2018. № 1. С. 94–100.
- 14. Иванов В. В. Технологическое пространство и экология технологий // Вестник РАН. 2011. Т. 81, № 5. С. 414–418.
- 15. Стровский В. Е., Косолапов О. В. Эколого-экономическая система горного предприятия: структура, взаимосвязи // Изв. УГГУ. 2017. Вып. 4 (48). С. 118–123.
- 16. Яковлева Н. Г. Промышленная политики в экономике XXI века: сравнительный анализ опыта Европейского союза и России // Экономическое возрождение России. 2017. № 3. С. 73–78.
- 17. Штукельбергер К. Социальная и этическая ответственность бизнеса // Экономические стратегии. 2017. № 5. С. 186–191.
- 18. Nowak M., Highfield R. SuperCooperators: Altruism, Evolution, and Why We Need Each Other to Succeed. N. Y.: Free-Press. 2012. 352 p.

Статья поступила в редакцию 5 января 2018 г.

УДК 332.14 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-135-141

Industrial policy as a modern instrument of forming ecologically and socially friendly space

Ol'ga Aleksandrovna Romanova, econ@uran.ru

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

The relevance of the study is determined by the fact that modern industrial policy becomes a coordinating, central component of various types of public policies. It forms the platform; on its basis the economic policy of the state as a whole is based.

The purpose of the work is to justify the new role which industrial policy plays in modern society.

Results. We have shown that the industrial policy in Russia should be focused not only on the purposeful change in the structure of economic activity. The analyzed new trends of the modern technical and economic paradigm of the social development, such as inclusive development, impact investment (socially responsible investment), determine the need to adjust the priorities of industrial policy from the perspective of environmental and social factors. The results of research in the field of forming theoretical foundations of modern industrial policy are presented. We have found that the level of socio-economic development of the country largely determines the priorities of industrial policy. It was proved that modern industrial policy tools should be focused on achieving significant environmental and social results. It is shown that a special role in achieving these results is played by the development of a new scientific concept called "ecology of technologies". This ensures the formation of environmentally friendly space together with the ideas laid down in the strategic priorities of interaction between humans, nature and technology. The evolution of social responsibility of business is revealed. This allows to develop a new model of corporate social activity, which has a positive impact on the formation of a friendlier social space.

Applying the results. The results obtained are applicable in the development of new or adjustment of existing strategies of socio-economic development of the country, its regions or economic entities.

Keywords: industrial policy; theoretical platform of industrial policy; priorities; ecology of technologies; socially responsible investment; environmentally and socially friendly space.

REFERENCES

- 1. Crugman P. 2009, The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008. N. Y., 214 p.
- 2. Federico G., Foreman-Peck J. 1999, European Industrial Policy: Introduction. J. Foreman-Peck, G. Federico (eds.). European industrial policy: the twentieth-century experience. N. Y., pp. 1–17.
- 3. Polterovich V. M., Popov V. V. 2006, *Evolyutsionnaya teoriya ekonomicheskoy politiki* [Evolutionary theory of economic policy]. *Voprosy ekonomiki* [Voprosy Ekonomiki], no. 7, pp. 4–23.
- 4. Beath, J., 2002, UK Industrial Policy: Old Tunes on New Instruments? Oxford Review of Economic Policy, vol. 18, no. 2, pp. 221–239.
- 5. Perechneva I. 2017, We hope for a strategic miracle. Expert-Ural [Expert-Ural], no. 50 (752), 11–17 Dec., pp. 8–12.
- 6. Dement'yev V. Ye. 2013, *Strukturnyye faktory tekhnologicheskogo razvitiya* [Structural factors of technological development]. *Ekonomika i matematicheskiye metody* [Economics and mathematical methods], vol. 49, no. 4, pp. 33–46.
- 7. Kuznetsov B. V., Simachev Y. V. 2014, *Evolyutsiya gosudarstvennoy promyshlennoy politiki v Rossii* [Evolution of the state industrial policy in Russia]. *Zhurnal novoy ekonomicheskoy assotsiatsii* [Journal of the New Economic Association], no. 2 (22), pp. 152–179.
- 8. Tatarkin A. I., Romanova O. A. 2007, *Promyshlennaya politika i mekhanizm yeyo realizatsii: sistemnyy podkhod* [The industrial policy and the mechanism of its realization: the system approach]. *Ekonomika regiona* [Economy of Region], no. 3, pp. 19–31.
- 9. Rodrik D. 2004, Industrial Policy for the Twenty-First Century. Cambridge: Harvard University, 57 p.
- 10. Warwick K. 2013, Beyond Industrial Policy: Emerging Issues and New Trends. OECD Science, Technology and Industry Policy. Papers No. 2. OECD Publishing, URL: http:// dx.doi.org/10.1787/5k4869clw0xp-en
- 11. Romanova O. A., Bukhvalov N. Yu. 2014, Formirovaniye teoreticheskoy platformy kak sistemnoy osnovy promyshlennoy politiki v usloviyakh novoy industrializatsii [The formation of the theoretical platform as a system basis of industrial policy in the new industrialization]. Ekonomicheskiye i sotsialnyye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz [Economic and social changes: facts, trends, forecast], no. 32, pp. 58–67.
- 12. Mochalova L. A., Ignat'eva M. E., Strovskiy V. E. 2017, *Ekologicheskaya modernizatsiya tekhnologiy gornopromyshlennogo kompleksa* [Ecological modernization of mining complex technologies]. Ekaterinburg, 177 p.
- 13. Kubarev, M. S., Ignat'eva M. N. 2018, *Ekopriyemlemoye prirodopol'zovaniye odno iz usloviy ustoychivogo razvitiya* [Ecologically acceptable environmental management is one of the conditions for sustainable development]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], no. 1, pp. 94–100.
- 14. Ivanov V. V. 2011, *Tekhnologicheskoye prostranstvo i ekologiya tekhnologiy* [Technological space and ecology of technologies]. *Vestnik RAN* [Herald of the Russian Academy of Sciences], vol. 81, no. 5, pp. 414–418.
- 15. Strovsky V. E., Kosolapov O. V. 2017, *Ekologo-ekonomicheskaya sistema gornogo predpriyatiya: struktura, vzaimosvyazi* [Ecological and economic system of mining enterprise: structure and interrelations]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], Issue 4 (48), pp. 118–123.
- 16. Yakovleva N. G. 2017, *Promyshlennaya politika v ekonomike XXI veka: sravnitelnyy analiz opyta Evropeyskogo soyuza i Rossii* [Industrial policy in the economy of the 21st century: a comparative analysis of the experience of the European Union and Russia]. *Ekonomicheskoye vozrozhdeniye Rossii* [Economic revival of Russia]. no. 3. pp. 73–78.
- vozrozhdeniye Rossii [Economic revival of Russia], no. 3, pp. 73–78.

 17. Stuckelberger, K. 2017, Sotsial'naya i eticheskaya otvetstvennost biznesa [Social and ethical responsibility of business]. Ekonomicheskiye strategii [Economic strategy], no. 5, pp. 186–191.
- 18. Nowak M., Highfield R. 2012, Super Cooperators: Altruism, Evolution, and Why We Need Each Other to Succeed. N. Y., 352 p.

The article was received on January 5, 2018

УДК 331.103, 331.104.2 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-142-147

ФОРМИРОВАНИЕ СИНЕРГИИ ДЛЯ ИННОВАЦИЙ НА ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Наталья Владимировна Галкина, galkinanv2012@mail.ru
Марина Николаевна Полещук, m poleshuk@mail.ru

ООО «НИИОГР» Россия, Челябинск

Актуальность работы обусловлена возможностью повышения эффективности и безопасности горного производства на основе формирования синергии взаимодействия персонала в воспроизводстве и инновациях.

Шель работы – разработка инструментария, обеспечивающего формирование синергии для инноваций в горном производстве.

Методология исследования. Использован системный подход, позволяющий формировать синергию взаимодействия персонала для решения задач воспроизводства и инновационного развития горного производства.

Результаты. Определено, что решение задач воспроизводства и повышения безопасности труда на горном производстве обусловливает формирование синергии взаимодействия участников специальных рабочих групп для устранения критического состояния производственных факторов; решение задач инновационного развития обусловливает формирование синергии взаимодействия участников инновационных групп для повышения эффективности использования ресурсов и достижения на этой основе более выгодной стратегической позиции предприятия на рынке. Доказано, что в основе концептуального подхода формирования синергии взаимодействующего персонала в воспроизводстве и инновационном развитии должна быть организация взаимодействия персонала и создание условий для их работы, которые позволяют повышать согласованность позиций персонала по отношению к значимости инновационных улучшений в производстве. Предложен инструментарий оценки согласованности позиций персонала, а также схема деятельности руководителя по осуществлению инноваций.

Применение результатов. Использование разработанного управленческого инструментария в практической деятельности позволит руководителю организовать слаженное взаимодействие персонала горного предприятия для решения сложных и масштабных инновационных преобразований.

Ключевые слова: горнодобывающее предприятие; воспроизводство; инновация; синергия; руководитель; рабочая группа; инновационная группа; персонал; взаимодействие; позиции персонала.

Бедение

Порное производство по сути синергично, поскольку в любом технологическом процессе необходимо взаимодействие работников, осуществляющих смежные операции. Но возникающая при этом взаимодействии синергия существенно отличается при решении задач воспроизводства и в инновациях. Воспроизводство отлаженного технологического процесса требует повторения операций и отдельных циклов без изменения всех важных параметров. То есть оно требует повторения действий каждым участником в каждой операции. В случае отклонений в действиях какого-либо участника, либо изменения параметров процесса в силу горно-геологических, физико-технических или химико-технологических факторов необходимо изменение взаимодействия персонала. Наиболее наглядно это положение проявляется в области обеспечения или необеспечения безопасности труда. Анализ несчастных случаев на производстве показывает, что практически каждая травма является следствием неадекватных ситуации действий и взаимодействия работников [1]. Это означает, что синергия взаимодействия работников в производственном процессе не соответствуют реальной обстановке. Для предотвращения травм и надежного обеспечения безопасности труда в установившихся производственных процессах выработана четкая методика формирования необходимой для этого синергии взаимодействия персонала [2–3].

Сущность методики состоит в устранении критического состояния производственных факторов посредством комплектования специальных рабочих групп, возглавляемых наиболее квалифицированным и ответственным работником. Методика формирования синергии взаимодействия персонала для решения задач воспроизводства включает четыре последовательно реализуемых этапа:

первый этап – диагностика технического, технологического, трудового факторов производства, а также условий взаимодействия персонала в конкретном производственном процессе по уровням опасности – безопасный, приемлемый, угрожающий, критический;

второй этап – разработка и принятие управленческого решения в форме наряда-допуска для устранения критического состояния факторов производства или условий взаимодействия персонала, предопределяющих возможность травмирования;

третий этап – формирование рабочей группы из лиц, взаимодействие которых гарантирует безопасность; назначение старшего работника, способного обеспечить личную безопасность и проконтролировать действия других работников, а при необходимости – подстраховать их;

четвертый этап – назначение контролирующего лица за выполнением наряда-допуска, обладающего соответствующими знаниями и опытом.

Результатом формирования синергии взаимодействия персонала в производственном процессе является переход на новый уровень безопасности и операционной эффективности.

Формирование синергии взаимодействия участников инноваций сложнее, поскольку в установившийся, отлаженный производственный процесс вносятся изменения. Опыт развития горнодобывающих предприятий показывает, что во время изменения структуры производственного процесса закономерно происходит снижение устойчивости функционирования объекта, существенно повышается опасность травмирования. Эти временные негативные явления обусловливают необходимость организации такой синергии взаимодействия персонала, которая способствовала бы эффективному использованию в инновациях интеллектуально-делового потенциала персонала.

Результаты

В статье выделены наиболее существенные виды инноваций, которые служат основой понимания сущности синергии взаимодействия персонала горного предприятия на этапах инновационных преобразований. По классификационному признаку, характеризующему сферу применения на предприятии, выделены технические, технологические, организационные, управленческие, комплексные инновации. Инновации можно подразделить на 5 типов [4–6]:

- -- технические инновации вызваны необходимостью изменения свойств технических устройств;
- технологические инновации связаны с необходимостью изменения структуры технологического процесса;
- организационные инновации обусловлены необходимостью изменения качества взаимодействия персонала;
- управленческие инновации связаны с необходимостью изменения целей деятельности предприятия и нормирующих их институтов;
- комплексные инновации вызваны необходимостью стратегических перемен в деятельности предприятия, что связано с осуществлением инноваций различных типов.

Успешность инновации требует определенной синергии взаимодействия персонала на каждом этапе инновационного цикла: поиск идеи, разработка решения, его реализация и последующее освоение. Результаты синергии взаимодействия персонала на этапах инновационного цикла проявляются в возрастании эффективности использования ресурсов и достижении на этой основе более выгодной стратегической позиции предприятия на рынке. Организационным ядром синергии взаимодействия персонала является потребность в инновации у достаточно компетентного для ее осуществления субъекта [5, 6]. Обычно это руководитель. Руководителями могут быть субъекты, осуществляющие различные по масштабу инновации, – бригадиры, мастера, начальники участков и цехов, директора подразделений и предприятий, а также горнодобывающих компаний. Субъектность в данном случае основана на понимании того, что формирование синергии обеспечивается формированием системы отношений и занимаемых позиций, которые следует оценивать при разработке оценочного аппарата и методов управления инновацией. Информационное обеспечение формирования требуемой синергии необходимо осуществлять на основе комплекса показателей, которые позволяют оценить масштаб и эффективность субъектов различных уровней. Нами выделены некоторые примеры повышения эффективности горного предприятия (компании), отличающиеся по признаку субъектности, масштабу преобразований, а также по размеру обеспечивающей их синергии.

Руководитель горнодобывающей компании может проводить очень крупные изменения, содержащие многочисленные инновации всех пяти типов. Например, Сибирская угольно-энергетическая компания построила свой порт «Ванино» и довела его производительность по перегрузке угля из железнодорожных вагонов в морские суда-углевозы до 20 млн т в год; увеличила объем обогащаемого угля с 10,5 до 41,9 млн т в год, реконструировала и построила для этого 5 обогатительных фабрик и установок; реконструировала 13 шахт и разрезов, полностью технически переоснастила их, инвестировав за 16 лет более 250 млрд руб. [7]. На новом оборудовании горняки СУЭК установили более 30 мировых рекордов производительности. И каждый рекорд – результат комплексной инновации, содержащей взаимоувязанные частные инновации всех пяти основных типов [7]. Руководитель крупного предприятия или регионального производственного объединения, входящего в состав горнодобывающей компании (холдинга), может произвести изменение способа добычи полезного ископаемого, полностью технически перевооружить предприятие, изменить технологию добычи и обогащения, режим работы предприятия (объединения), показатели его безопасности и эффективности.

Например, ООО «СУЭК-Хакасия» за 16 лет после вхождения в состав АО «СУЭК» увеличило объем добычи с 4,4 до 13,0 млн т в год. При этом изменилась структура добычи: во времена Минуглепрома СССР предприятия ПО «Красноярскуголь» в Хакасии добывали 5,6 млн т угля в год, около 16 % – подземным способом. В настоящее время уголь добывается только открытым способом, 63 % его обогащается, 94 % сортируется, для чего реконструирована обогатительная фабрика и построена сортировочная установка мощностью около 3,5 млн т. Изменена технология вскрышных работ – из разрезов удален малопроизводительный железнодорожный транспорт, на вывозке вскрышных пород используются

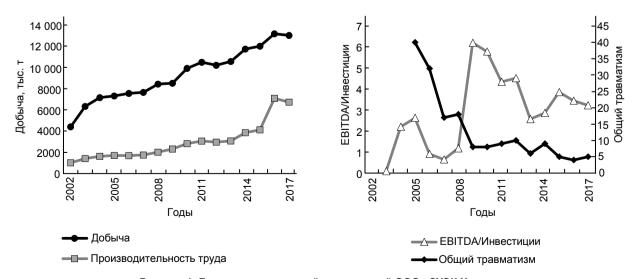


Рисунок 1. Динамика показателей предприятий ООО «СУЭК-Хакасия». Figure 1. Dynamics of the parameters of LLC SUEK-Khakassia enterprises.

автосамосвалы грузоподъемностью 220 т, приобретены гидравлические экскаваторы с ковшом емкостью 22 м³. Крупные инвестиции в развитие объединения окупаются с 2008 г. в размере, превышающем 3 руб. на 1 руб. затрат. Основные показатели работы объединения приведены на рис. 1 [8].

Руководитель небольшого предприятия или производственной единицы в составе регионального производственного объединения может пересмотреть параметры технологической системы, произвести техническое перевооружение, изменить организацию труда. Например, разрез «Изыхский», входящий в состав ООО «СУЭК-Хакасия», за два года повысил производительность труда в 3,5 раза, выполнив для этого большой комплекс организационно-технологических мероприятий [9].

На Восточно-Бейском разрезе в 2008 г. была создана инновационная группа, в которую входили заместитель директора по производству, начальник производственно-технического отдела, машинисты экскаваторов и водители карьерных автосамосвалов, заинтересованные в опробовании в экспериментальном режиме новой системы оплаты труда. Возглавил инновационную группу директор разреза. Для контроля результатов работы водителей была разработана форма учета «светофор». За два месяца среднее количество производительных мото-часов, отработанных экипажами, участвующими в эксперименте, увеличилось на 12 % [10]. Зарплата водителей за этот период повысилась на 6 % [11]. Руководитель цеха может пересмотреть технологические параметры и освоить новые технологические и организационные схемы. Например, на Мазульском руднике Ачинского глиноземного комбината освоили технологию оформления нерабочих бортов с предварительным щелеобразованием, что позволило увеличить ширину транспортных берм без дополнительной вскрыши и создать производительные зоны концентрации горных работ.

Начальник производственного участка может силами участка добиться улучшения состояния технологического комплекса, повышения надежности его работы и соответственно – повышения безопасности труда и его производительности. Сменный горный мастер может повысить ритмичность производства в своей смене. Бригадир может сформировать слаженно работающий коллектив бригады, добиться своевременного ремонта и технического обслуживания оборудования и тем самым повысить социально-экономические и производственно-технические показатели работы бригады. Потребность руководителя в инновациях как насущная необходимость обусловлена либо его внутренней установкой на непрерывное улучшение дела, которым он занимается, либо изменениями среды, делающими невозможным воспроизводственный режим на давно освоенном уровне. Все инновации, за исключением мелких улучшений, требуют большого и слаженного коллективного труда [4, 5, 12, 13].

Формирование коллектива для каждой инновации, требующей взаимодействия персонала, и организация работы этого коллектива, по сути, и является процессом формирования синергии, необходимой для успешной инновации. Кроме руководителя, определяющего цель инновации, ее масштаб и актуальность, в состав инновационной группы должны быть включены специалисты, способные найти или сгенерировать идею улучшения и разработать детальный проект и конкретный план реализации этого улучшения, а также персонал, способный реализовать это улучшение в условиях действующего производства, не ухудшая текущих показателей. При формировании инновационной группы кроме квалификационных и креативных характеристик каждого участника большое значение имеет его коммуникабельность как способность взаимодействовать с высокой степенью единства, уровень вовлеченности в процесс улучшений и занимаемая им личная позиция в отношении достижения цели инновации [4, 5, 14].

Характеристика относительной ценности участников инноваций в зависимости от занимаемой ими личной позиции представлена на рис. 2.

Наименьшую ценность имеет участник инновации, если он чувствует себя принужденным заниматься ею. Вклад участника, занимающего такую позицию, принят за единицу. Если участник нашел привлекательные для себя стороны в улучшении, то ценность его в общем деле растет кратно и достигает 10–15 раз. Если участник непрерывно вовлечен в улучшение и чувствует себя необходимым для общего успеха человеком, то ценность его возрастает еще в 2–3 раза. Если же участник инновации увлечен ею, полностью вкладывает себя в достижение цели, ищет для этого все недостающие решения, ресурсы и резервы, то ценность его для достижения успеха возрастает еще в 3–5 раз и может превысить ценность «принужденного» оператора в 20–30 раз, специалиста – в 30–50 раз, руководителя – в 40–100 раз и более. Данные, приведенные на рис. 2, получены анкетированием более 200 работников горнодобывающих предприятий, в том числе

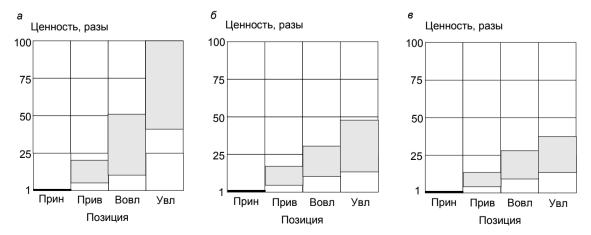


Рисунок 2. Относительная ценность участника инновации в зависимости от занимаемой им позиции. *a* – руководитель; *б* – специалист; *в* – оператор; Прин – принужденный; Прив – привлеченный; Вовл – вовлеченный; Увл – увлеченный. Figure 2. Relative value of an innovation participant depending on its position.



Рисунок 3. Относительные затраты ресурсов при осуществлении инновации. а – материально-технических; б – времени при разработке решений; в – времени при достижении согласия между участниками; Кон – конфликтные взаимоотношения; Комп – компромиссные отношения; ОЕ – органичное единство.

Figure 3. Relative costs of resources in the use of the innovation.

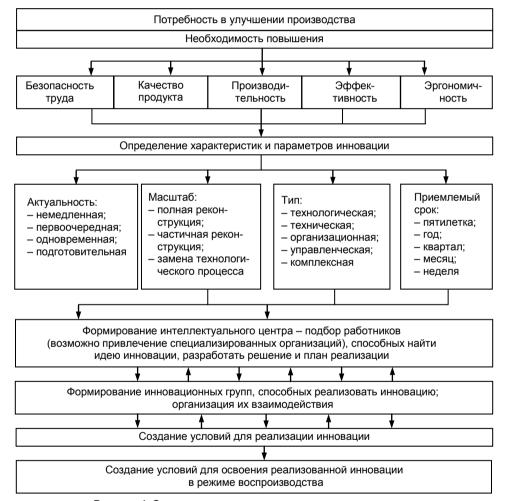


Рисунок 4. Схема деятельности по осуществлению инновации. Figure 4. Innovation use framework.

35 директоров, 30 заместителей директоров, 78 начальников производственных участков, 9 специалистов и 49 горных мастеров, механиков, заместителей начальников участков в Центре самоподготовки руководящего персонала НИИОГР в 2017–2018 гг. [12].

Большое значение для успеха инновации имеет единение участников инновации – согласованность их позиций по отношению к значимости инновационных улучшений в производстве. Существенное расхождение в позициях участников инноваций закономерно приводит к рассогласованию их взаимоотношений и взаимодействий на этапах инновационного цикла, частичное или полное отсутствие расхождений в позициях – к согласованию взаимоотношений и взаимодействия. Следовательно, сближение позиций участников инноваций – это фактор, влияющий на формирование синергии взаимодействия персонала и, как следствие, на величину затрат и эффективность использования производственных ресурсов [4, 5, 13, 15–17].

Сущность методики формирования синергии для инноваций состоит в ориентации ее на создание условий, обеспечивающих переход отношений участников инноваций на новый, более качественный уровень. Уровни сложившихся отношений предлагается оценивать величиной затрат производственных ресурсов (рис. 3).

Снижение затрат материально-технических и временных ресурсов на инновацию достигается посредством перехода от конфликтного типа взаимоотношений к компромиссным и от компромиссных к органичному единству. Это осуществляется на основании консенсуса, т. е. постепенного сближения позиций путем переговоров. При этом важнейшее значение для инициатора и организатора инновации имеет знание мотивов каждого из предполагаемых участников и предложение ему роли, максимально соответствующей его интересам и потребностям. Таким образом, описанная методика формирования синергии инновации горного предприятия базируется на регулировании отношений и оценке эффективности взаимодействия участников инновации. Оценочный аппарат эффективности взаимодействия персонала в инновационном цикле включает методы мониторинга, SWOT-анализа конкурентоспособности предприятия, эффективности использования производственных ресурсов, согласованности позиций и уровня единства участников инновационной группы.

Схема деятельности руководителя предприятия по осуществлению инновации представлена на рис. 4. Как видно из схемы, формирование синергии участников инновационных групп связано с проведением специальных организационных мероприятий, направленных на создание условий для разработки и реализации инновации, а также для освоения реализованной инновации в режиме воспроизводства. Управление процессом формирования синергии для инновации необходимо осуществлять с применением методов, позволяющих оценивать динамику перехода отношений участников на новый, более качественный уровень взаимодействия, а также планировать новые организационные мероприятия, повышающие слаженное взаимодействие правильно сформированных и организованных инновационных групп.

Заключение

Жесткая конкуренция на сырьевых рынках обусловливает необходимость постоянного и устойчивого развития для предприятий и компаний, желающих сохранить и усилить свои конкурентные позиции. Это достигается посредством освоения процесса непрерывных инноваций. Инновация как структурообразующий элемент развития горного предприятия представляет собой результат улучшений в сферах техники, технологии, организации и управления предприятием. Успешность намечаемых инноваций требует определенной синергии взаимодействия персонала предприятия, организационным ядром этой синергии является потребность в инновации у достаточно энергичного и компетентного для ее осуществления субъекта. Им может быть руководитель любого иерархического уровня управления на предприятии. Для успешной деятельности руководителя разработан инструментарий формирования и организации слаженного взаимодействия участников инновационных групп, соответствующего сложности, масштабу, актуальности и срочности решаемых задач.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Галкин В. А., Макаров А. М., Кравчук И. Л. О теории и методологии организации безопасного производства // Уголь. 2016. № 4. С. 39–43. 2. Радионов С. Н., Вавилов Д. В., Гирев Р. А., Галкин А. В. Организация безопасного труда на производственном участке // Уголь. 2016. № 5. С. 83–85.
- 3. Артемьев В. Б., Лисовский В. В., Добровольский А. И., Заньков А. П., Килин А. Б., Кулецкий В. Н., Федоров А. В., Циношкин Г. М., Ютяев Е. П., Галкин В. А., Макаров А. М., Кравчук И. Л., Довженок А. С., Галкин А. В. Надежное обеспечение безопасности труда на предприятиях СУЭК: сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». М.: Изд-во «Горная книга», 2018. Вып. 34. 40 с.
- 4. Галкина Н. В. Социально-экономическая адаптация угледобывающего предприятия к инновационной модели технологического развития. М.: Экономика, 2007. 248 с.
- 5. Полещук М. Н. Управление социально-трудовыми отношениями инновационных групп угледобывающего предприятия: дис. ... канд. экон. наук. Челябинск, 2009. 144 с.
- 6. Волкова В. Н., Козловская Э. А., Логинова А. В., Яковлева Е. А. Развитие теории управления инновациями на основе общесистемных закономерностей // Экономика, Статистика и Информатика. 2013. № 2. С. 13–18.
- 7. Артемьев В. Б. Основные показатели открытой угледобычи в компании СУЭК // Открытые горные работы в XXI веке результаты, проблемы и перспективы развития // ГИАБ. 2017. № 12. Спец. вып. 37. С. 7–13.
- 8. Килин А. Б. Стратегия организационно-технологического и социально-экономического развития ООО «СУЭК-Хакасия» // Открытые горные работы в XXI веке результаты, проблемы и перспективы развития // ГИАБ. 2017. № 12. Спец. вып. 37. С. 44–53.
- 9. Ошаров А. В., Муравьев Ю. В., Натейкин В. Ю. Опыт поэтапного развития ОАО «Разрез Изыхский» // ГИАБ. 2015. № 11. Спец. Вып. 62. С. 58–64. 10. Коркина Т. А. Управление инвестициями в персонал угледобывающего предприятия: цели и средства // Уголь. 2009. № 8. С. 52–55.
- 12. Артемьев В. Б., Килин А. Б., Азев В. А, Костарев А. С., Шаповаленко Г. Н., Янцижин В. М., Ермак Г. П., Канзычаков С. В., Галкин В. А. Планирование и реализация Программы совершенствования производства в условиях финансового кризиса. Опыт ООО «СУЭК-Хакасия»: сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». М.: Изд-во «Горная книга», 2010. Вып. 6. 48 с.
- 13. Артемьев В. Б., Добровольский А. И., Лисовский В. В., Галкин В. А., Макаров А. М., Кравчук И. Л., Каледина Н. О., Воробьева О. В., Галкин А. В. Роль руководителя и персонала в обеспечении безопасности производства: сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». М.: Изд-во «Горная книга», 2017. Вып. 32. 48 с.
- 14. Rangus K., Slavec A. The interplay of decentralization, employee involvement and absorptive capacity on firms' innovation and business performance // Technological Forecasting and Social Change. 2017. Vol. 120, July. P. 195–203.
- 15. Dawit K. Mekonnen, Jeffrey H. Dorfman Synergy and Learning Effects of Informal Labor-Sharing Arrangements // World Development. 2017. Vol. 99, November. P. 1–14.
- 16. Chen H., Qi H., Feng Q. Characteristics of direct causes and human factors in major gas explosion accidents in Chinese coal mines: case study spanning the years 1980–2010 // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2013. Vol. 26. P. 38–44.
- 17. Prange C., Pinho J. C. How personal and organizational drivers impact on SME international performance: The mediating role of organizational innovation // International Business Review. 2017. Vol. 26, Issue 6, December, P. 1114–1123.
- 18. Hamalainen M., Mohajeri B., Nyberg T. Removing barriers to sustainability research on personal fabrication and social manufacturing // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 180, 10 April, P. 666–681.

УДК 331.103. 331.104.2

DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-142-147

Formation of a synergy for the mining industry innovations

Natal'va Vladimirovna Galkina. galkinanv2012@mail.ru Marina Nikolaevna Poleshchuk, m poleshuk@mail.ru

LLC "NIIOGR" Chelyabinsk, Russia

The relevance of the work is conditioned by the possibility of improving the efficiency and safety of mining production on the basis of the formation of synergy of staff interaction in reproduction and innovation.

The purpose of the work is to develop tools ensuring the formation of a synergy for innovation in the mining industry.

Research methodology. The system approach was used. It allows to form synergy of interaction of the personnel in solving problems of reproduction and innovative development of mining production.

Results. It is determined that the task of reproduction and improvement of occupational safety in mining industry leads to the formation of a synergy of interaction of participants of ad hoc working groups. This is done to resolve the critical state of production factors. Solving problems of innovative development leads to the formation of a synergy of interaction of participants of innovative groups. This improves the efficiency of use of resources and achieve on this basis a more favorable strategic position of the enterprise market. It is proved that the basis of the conceptual approach of forming the interactive synergy for the staff in the reproduction and innovative development should be organized with the interaction of staff. The conditions for their work should be created. This will allow to improve the consistency of positions of personnel in relation to the significance of the innovation improvements in manufacturing. The tools for assessing the consistency of staff positions, as well as the scheme of the manager's activities for the implementation of innovations are proposed.

Applying the results. The use of the developed management tools in practice will allow the manager to organize a coordinated interaction of the mining enterprise staff to solve complex and large-scale innovative transformations.

Keywords: mining enterprise; reproduction; innovation; synergy; manager; working group; innovation group; staff; interaction; staff positions.

REFERENCES

- 1. Galkin V. A., Makarov A. M., Kravchuk I. L. 2016, O teorii i metodologii organizatsii bezopasnogo proizvodstva [On the theory and methodology of the organization of safe production]. Ugol' [Coal], no. 4, pp. 39-43.
- 2. Radionov S. N., Vavilov D. V., Girev R. A., Galkin A.V. 2016, *Organizatsiya bezopasnogo truda na proizvodstvennom uchastke* [Organization of safe work at the manufacturing area]. *Ugol'* [Coal], no. 5, pp. 83–85.
- 3. Artem'yev V. B., Lisowski V., Dobrovol'sky A. I., Zan'kov A. P., Kilin A. B., Kalecki, V. N., Fyodorov, A. V., G. M. Tsinoshkin, Yutyayev E. P., Galkin V. A., Makarov A. M., Kravchuk I. L., Dovzhenok A. S., Galkin A.V. 2018, Nadyozhnoye obespecheniye bezopasnosti truda na predpriyatiyakh SUEK [Reliable safety at SUEK coal enterprises]. Seriya "Biblioteka gornogo inzhenera-rukovoditelya" [Series "Library of mining engineermanager"]. Moscow, vol. 34. 40 p.
- 4. Galkina N. B. 2007, Sotsial'no-ekonomicheskaya adaptatsiya ugledobyvayushchego predpriyatiya k innovatsionnoy modeli tekhnologicheskogo razvitiya [Socio-economic adaptation of the coal mining enterprise to the innovative model of technological development]. Moscow, 248 p.
- 5. Poleshchuk M. N. 2009, Upravleniye sotsial'no-trudovymi otnosheniyami innovatsionnykh grupp ugledobyvayushchego predpriyatiya: dis. kand. ekon. nauk [Management of social and labor relations of innovative groups of the coal mining enterprise: dissertation of the Candidate of
- economic sciences]. Chelyabinsk, 144 p.
 6. Volkova V. N., Kozlovskaya E. A., Loginova A.V., Yakovlev E. A. 2013, *Razvitiye teorii upravleniya innovatsiyami na osnove obshchesistemnykh* zakonomernostey [Developing the theory of innovation management on the basis of system-wide patterns]. Ekonomika, statistika i Informatika [Economics, Statistics and Informatics], no. 2, pp. 13-18.
- 7. Artem'yev V. B. 2017, Osnovnyye pokazateli otkrytoy ugledobychi v kompanii SUEK. Otkrytyye gornyye raboty v XXI veke rezul'taty, problemy i perspektivy razvitiya [Main indicators of open coal mining in SUEK. Open mining in the 21st century. Results, problems and prospects of development]. GIAB [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 12. Special issue, 37, pp. 7–13.
- 8. Kilin A. B. 2017, Strategiya organizatsionno-tekhnologicheskogo i sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya OOO «SUEK-Khakasiya». Otkrytyye gornyye raboty v XXI veke – rezul'taty, problemy i perspektivy razvitiya [Strategy of organizational, technological and socio-economic development of LLC "SUEK-Khakassia". Open mining in the 21st century: results, problems and prospects of development]. GIAB [Mining Informational and
- Analytical Bulletin], no. 12. Special issue, 37, pp. 44–53.

 9. Osharov A. V., Murav'yov Yu. V., Nateykin V. Yu. 2015, *Opyt poetapnogo razvitiya OAO «Razrez Izykhskiy»* [Experience gradual development of the JSC "Razrez Izykhskiy"]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 11, Special Issue, 62, pp. 58–64.
- 10. Korkina T. A. 2009, Upravleniye investitsiyami v personale ugledobyvayushchego predpriyatiya: tseli i sredstva [Management of investments in the personnel of the coal mining enterprise: ends and means]. Ugol' [Coal], no. 8, pp. 52-55.
- 12. Artem'yev B. V., Kilin A. B., Azev V. A., Kostarev A. S., Shapovalenko G. N., Yantsyzhin V. M., Ermak G. P., Kaznychakov S. V., Galkin V. A. 2010, *Planirovaniye i realizatsiya Programmy sovershenstvovaniya proizvodstva v usloviyakh finansovogo krizisa. Opyt OOO «SUEK-Khakasiya»* [Planning and implementing a program of improvement in the conditions of financial crisis. The experience of "SUEK-Khakassia" Co. Ltd.]. Seriya
- "Biblioteka gornogo inzhenera-rukovoditelya" [Series "Library of mining engineer-manager"]. Moscow, vol. 6. 48 p.

 13. Artem'yev V. B., Dobrovol'sky A. I., Lisovsky V. V., Galkin V. A., Makarov A. M., Kravchuk I. L., Kaledina N. A., Vorob'yova O. V., Galkin A.V.

 2017, Rol' rukovoditelya i personala v obespechenii bezopasnosti proizvodstva [The role of the leader and staff in ensuring the safe production]

 Seriya "Biblioteka gornogo inzhenera-rukovoditelya" [Series "Library of mining engineer-manager"]. Moscow, vol. 32. 48 p.
- 14. Rangus K., Slavec A. 2017, The interplay of decentralization, employee involvement and absorptive capacity on firms' innovation and business performance. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 120, July, pp. 195–203.

 15. Dawit K. Mekonnen, Jeffrey H. Dorfman 2017, Synergy and Learning Effects of Informal Labor-Sharing Arrangements. *World Development*,
- vol. 99, November, pp. 1-14.
- 16. Chen H., Qi H., Feng Q. 2013, Characteristics of direct causes and human factors in major gas explosion accidents in Chinese coal mines: case study spanning the years 1980-2010. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 26, pp. 38-44.
- 17. Prange C., Pinho J. C. 2017, How personal and organizational drivers impact on SME international performance: The mediating role of organizational innovation. *International Business Review*, vol. 26, issue 6, December, pp. 1114–1123.
- 18. Hamalainen M., Mohajeri B., Nyberg T. 2018, Removing barriers to sustainability research on personal fabrication and social manufacturing. Journal of Cleaner Production, vol. 180, 10 April, pp. 666-681.

The article was received on January 16, 2018

УДК 332.142.4 DDI 10.21440/2307-2091-2018-2-148-152

МЕТОДИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛНОТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕВОЗОБНОВИМЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОМ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

Олег Вениаминович Косолапов¹, nedra1958@mail.ru Алексей Владимирович Душин² dushin.a@list.ru ¹АО «Русская медная компания» Россия, Екатеринбург ²Уральский государственный горный университет Россия, Екатеринбург

Актуальность исследования. Одним из основных условий экологически устойчивого недропользования является минимизация истощения минеральных ресурсов, которая предполагает максимально эффективную и полную отработку запасов эксплуатируемых месторождений полезных ископаемых. В то же время показатели потерь и разубоживания при добыче полезных ископаемых остаются высокими. В среднем по горнопромышленному комплексу размер потерь определяется в 10–50 %. Положительные сдвиги в решении данной проблемы весьма незначительны в силу отсутствия эффективных методических рекомендаций, ориентированных на полноту изучения ресурсов недр.

Шель исследования – разработка методического инструментария обеспечения полноты использования невозобновимых ресурсов.

Результаты, полученные в процессе исследований, сводятся к следующим: выявлена тенденция систематического завышения запасов, что требует уточнения коэффициентов перевода запасов в более высокие категории; доказана необходимость повышения достоверности геологической информации как при геологическом изучении недр, так при эксплуатационной разведке. Обоснована целесообразность постановки опережающего геологического изучения недр (ОГИН) в процессе разработки месторождения и уточнена методика оценки его эффективности, учитывающая эффект, обусловленный повышением полноты использования минеральных ресурсов, эффект, формируемый за счет повышения уровня безопасности ведения горных работ и эффект повышения уровня инвестиционной привлекательности объекта недропользования.

Применение результатов. Разработанный методический инструментарий, ориентированный на минимизацию истошения невозобновимых природных ресурсов, который содержит предложения по детализации величины запасов полезных ископаемых и повышению достоверности геологической информации, позволит недропользователям добиться повышения полноты использования недр, обеспечивающего получение эколого-экономического эффекта.

Ключевые слова: невозобновимые ресурсы; полнота; истощение; потери; достоверность; геологическая информация; эффективность.

Ведение Одним из основных условий, выполнение которого предполагает наличие экологически устойчивого недропользования, является замедление темпов изъятия, а следовательно, и истощения минерально-сырьевого потенциала [1, 2]. В то же время потери при добыче, в первую очередь, при подземной разработке месторождений, продолжают оставаться высокими [3]. Фактические показатели потерь при открытых горных работах возросли до 12–14 %, средний размер потерь по горнопромышленному комплексу – до 10–50 % [4], увеличивается объем добычи выборочной отработки запасов [5]. Велики потери полезных компонентов в отходах, формирующих отвалы забалансовых руд, при обогащении – шламо- и хвостохранилищ. В отходах свинцово-цинковой никелево-кобальтовой, вольфрам-молибденовой, алюминиевой отраслей промышленности содержится, млн т: меди – 8, свинца – 1, цинка – 9, никеля – 2,5, молибдена – 0,1, около 1 тыс. т золота и 12 тыс. т серебра. Велики запасы меди, цинка, серы в хвостах обогащения медных и медно-цинковых руд. Особое место среди техногенных отходов занимают техногенные россыпи золота. Потери минеральных ресурсов усугубляются списанием с баланса предприятий запасов вследствие выявившегося усложнения горно-геологических условий.

Цель исследования – разработка методического инструментария обеспечения полноты использования минеральных ресурсов при эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Анализ коэффициентов перевода

Обобщение и анализ опыта разработки месторождений показали, что причинами формирования ненормируемых потерь является необоснованное списание запасов, выборочная отработка запасов, низкий уровень комплексности использования сырья, использование процедуры нормирования потерь и разубоживания, не отвечающей современным условиям экономического развития, завышение величины запасов полезных ископаемых за счет использования несовершенной системы коэффициентов перевода.

Было установлено систематическое завышение запасов и изменение отношения к степени разведанности запасов месторождения. Согласно степени разведанности полезного ископаемого и получения соответствующего уровня информации, выделяют в порядке убывания степени разведанности:

- запасы категорий A_1 , B_1 , C_1 и C_2 ;
- ресурсы категорий P₁, P₂ и P₃.

Чем выше разведанность, тем надежнее информация и выше уровень подтверждаемости. Достоверность оценок разных категорий различна, что требует коэффициентов перевода прогнозных ресурсов в запасы категории C_2 и C_1 – в запасы более высоких категорий. В свое время Мингео СССР использовало коэффициенты перевода только в отношении запасов, учет ресурсов при выполнении подсчета запасов не осуществлялся. Имело место следующее соотношение:

$$(A + B) : C_1 : C_2 = 3 : 1 : 0,2 = 1 : 0,33 : 0,07.$$

Со временем появляются рекомендации для перевода прогнозных ресурсов в запасы, а величина коэффициентов перевода запасов C_2 в C_3 завышается в ряде случаев до 0.9-0.92 (табл. 1) [6].

Таблица 1. Коэффициенты перевода. Table 1. Coefficients of transfer of reserves.

Категория	31	начения коэфф	рициентов
ресурсов	для местор	ождений разні	ых групп сложности
и запасов	1	II	III
P ₃	0,07	0,10	0,20
P ₂	0,35	0,42	0,50
P_1	0,70	0,75	0,80
C_2	0,90	0,92	0,95
A + B + C ₁	1,00	1,00	1,00

Примечание: І группа – жильные месторождения, ІІ группа – промежуточные, ІІІ группа – пластовые.

Таблица 2. Соотношение запасов различных категорий разведанности, % [7].

Table 2. Ratio of reserves of various exploration categories, % [6].

Группа		Категори	я запасов	
месторождений	Α	В	C ₁	C ₂
I	10	20	70	_
II	_	20	80	_
III	_	_	80	20
IV	-	_	50	50

В работах ЦНИГРИ и ВИЭМС коэффициенты перевода дифференцируются с учетом геолого-промышленных типов месторождений, но их величина остается достаточно большой $P_1 \rightarrow C_1 = 0.6-0.8$; $P_2 \rightarrow P_1 = 0.4-0.5$; $P_3 \rightarrow P_2 = 0.1-0.3$.

В целом достоверность запасов A+B стала уравниваться с достоверностью запасов C_1 , коэффициенты перевода $C_2 \rightarrow C_1$ достигли величины 0,9–0,92. Наибольшие претензии вызывают коэффициенты перевода для прогнозных ресурсов P_3 , которые определяются как гипотетические, и тем не менее их подтверждаемость оценивается в 0,07–0,125, а в отельных случаях даже в 0,2. Еще опаснее ситуация отказа от коэффициентов перевода, что ведет к росту геологических рисков, обусловленных завышением запасов. Завышение запасов месторождения обусловливает появление проблем с неподтверждением конфигурации рудных тел, содержанием полезных ископаемых и др., что приводит к неполноте отработки запасов месторождения. Меняется и отношение к степени разведанности. В первой классификации запасов, разработанной в 1927 г., как и в той, которая была подготовлена в 1933 г., предусматривалось целевое назначение каждой категории. В последующем для постановки проектирования регламентировалось соотношение запасов различных категорий (табл. 2).

Рассматриваемое ограничение уже в классификации (1997) было отменено. Право установления наиболее рационального соотношения было передано самим недропользователям. Отказ от регламентации привел к снижению достоверности геологической информации, служащей основой проектирования и планирования горных работ, и в конечном счете – к недоразведанности участков недр, безвозвратным потерям полезных ископаемых и росту рисков инвесторов.

Повышение достоверности геологической информации

Необходимость постановки дополнительного геологического изучения недр закрепляется в лицензионных соглашениях, однако данное условие зачастую не выполняется при том, что по данным практики лишь 21 % лицензионных соглашений содержат рассматриваемое условие, а со временем их количество только сокращается. Более того, проведенная актуализация лицензий (согласно поручению Президента РФ В. В. Путина, № 17934 от 12.02.2015 г.) вообще минимизировала перечень обязательств по соблюдению основополагающих принципов геологоразведочных работ.

Особую значимость в части повышения достоверности геологической информации имеет постановка опережающего геологического изучения (доизучения) недр (ОГИН) при эксплуатационной разведке. Необходимость постановки ОГИН определена ФЗ «О недрах». Обычно выполнение ОГИН касается участков недр, на которых требуется уточнение геологических условий. На сегодня сущность ОГИН в нормативно-правовых документах не определена, хотя в соответствии с приказом Минприроды России № 227 от 30.10.2009 г. отсутствие работ по ОГИН может служить основанием для отказа в рассмотрении проектной документации. Игнорирование требования по ОГИН приводит к росту ненормированных потерь, обусловленных отсутствием достоверной информации относительно горно-геологических условий, к списанию балансовых запасов (по данным [8], невыполнение условий по ОГИН рассматривается в качестве причины половины всех случаев списания запасов), а также снижению экономической эффективности добычных работ за счет увеличения затрат при отработке «вслепую».

Коммерческий эффект за счет сокращения потерь при повышении достоверности геологической информации выражается в увеличении прибыли в результате роста объема добычи полезного ископаемого. При обосновании величины социально-экономического эффекта учитывается факт торможения сроков освоения новых месторождений, замедления темпов использования минеральных ресурсов в условиях новых объектов недропользования, что определяет экономию затрат по всем процессам производственного цикла, экономию платежей за загрязнение окружающей среды и др. Исходной позицией служит тот факт, что новые месторождения обычно расположены на севере и северо-востоке нашей страны, где затраты на освоение месторождений выше, чем в центральной части, как и экономический ущерб, связанный с загрязнением окружающей среды. В свою очередь, снижение загрязнения – это экономия экологических ресурсов (ассимиляционного потенциала территории). Отсюда социально-экономический эффект предлагается рассчитывать по следующей формуле:

$$\mathfrak{I}_{\mathfrak{I}_{\mathfrak{I},\mathfrak{I}}} = [\Delta \mathfrak{I}_{\mathfrak{I}} + (\Delta \mathfrak{Y}_{\mathfrak{I}_{\mathfrak{I}}} - \Delta \Pi) + \Delta \mathfrak{I}_{\mathfrak{I}_{\mathfrak{I}}} + \Delta R]Q,$$

где $\Theta_{_{3,3}}$ – эколого-экономический эффект, руб.; $\Delta S_{_{\rm I}}$ – экономия на затратах при добыче 1 т полезного компонента, 1/т; $\Delta Y_{_{3}}$ – сокращение величины предотвращаемого экономического ущерба, р/т; $\Delta \Pi$ – экономия платежей за загрязнение окружающей среды р/т; $\Delta S_{_{\rm TP}}$ – экономия затрат, связанных с удаленностью вновь осваиваемого месторождения от центра, р/т; ΔR – экономия рекультивационных работ, р/т; Q – снижение потерь в расчете на полезный компонент, т.

Предлагается методический подход оценки эффекта от сокращения потерь в отличие от существующих учитывает специфику разработки новых месторождений, эксплуатация которых откладывается в связи с полнотой отработки запасов действующих месторождений.

Более упрощенный расчет Э, имеет вид:

$$\Theta_{3.9} = (\Pi_{c} - \Pi_{H})Q,$$

где Π_{c} , Π_{H} – прибыль в расчете на 1 т полезного компонента соответственно в условиях эксплуатируемого месторождения и прогнозируемая прибыль для вновь осваиваемых месторождений, р/т.

Характерной ситуацией для последнего времени является признание факта снижения уровня промышленной безопасности при недостаточной достоверности геологической информации, повышения риска опасных геологических процессов и явлений, служащих причиной аварий и несчастных случаев в связи с недостаточным обоснованием принимаемых технических решений [9]. Величина эффекта, обусловленная повышением уровня безопасности, – Θ_{ϕ} – в этом случае определяется по формуле:

$$\Theta_{d} = \Theta_{T} + \Theta_{c} + \Theta_{o6}$$

где Θ_{r} , Θ_{c} – эффект, обусловленный снижением несчастных случаев, не связанных со смертельным исходом, и эффект, возникающий при снижении смертельных случаев, руб.; Θ_{o6} – эффект, формируемый за счет предупреждения порчи материальных ценностей, руб.

Предотвращаемый ущерб от несчастных случаев, не связанных со смертельным исходом (травм), $\Theta_{_{\rm T}}$ зависит от прогнозируемого числа травм и их вида:

$$\vartheta_{\mathrm{T}} = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(R_{i} \frac{\mathbf{Y}}{1000} \mathbf{I} \mathbf{I}_{i} + \mathbf{Y}_{ni} + \mathbf{Y}_{ri}\right)\right] K_{\mathrm{c}},$$

где R_i – численность травм i-го вида в год в расчете на 1000 человек, ед.; Ч – численность населения, подверженного возможности получения травм, чел.; Ц $_i$ – затраты на ликвидацию i-го вида травмы, руб./ед.; У $_{ni}$ – ущерб, обусловленный наличием травм i-го вида для предприятия, руб.; У $_{ni}$ – ущерб, обусловленный наличием травм i-го вида для общества, руб.; K_c – коэффициент учитывающий субъективный компонент.

Важным моментом является прогноз возможных травм i-го вида с учетом имеющегося опыта в области промышленной безопасности и оценки \coprod_i . Затраты на ликвидацию травм зависят от вида травм и включают в себя: расходы на лечение, медицинские услуги, не предусмотренные системой обязательного медицинского страхования, расходы из средств социального страхования, из фондов социального обеспечения, единовременное пособие, доплаты до среднего заработка [10]. Величина Y_{ni} предполагает учет упущенной выгоды в связи с потерей продукции из-за простоев, обусловленных несчастными случаями, и расходов, необходимых для расследования причин несчастных случаев. Величина Y_{ri} характеризует собой потери валового национального продукта из-за преждевременного выхода на пенсию травмируемого и потерю части налогов. Субъективный коэффициент K_c , величина которого определяется как 1,1–1,2, по мнению исследователей, учитывает моральный ущерб травмируемого [11, 12].

Расчету подлежит и прогнозируемый предотвращаемый ущерб от смертельных случаев Э.:

$$\Theta_{c} = \frac{C_{*}}{B} T_{0} R_{c} \frac{Y}{10000},$$

где C_{*} – стоимостная оценка жизни среднестатистического человека, руб.; B – средняя продолжительность жизни, годы; T_{\circ} – среднее количество потерянных лет в результате смертельного случая, лет,

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^m \left(B - B_i\right)}{m},$$

где B_i – возраст i-го погибшего; m – количество погибших; R_c – численность погибших в год в расчете на 10 000 человек, ед.

При всей неэтичности стоимостной оценки жизни, которая считается бесценной, приходится осуществлять ее выполнение в целях обоснования эффективности ОГИН в данном случае. В литературе известны многочисленные методические подходы к определению стоимости жизни, которые базируются на размере ущерба, причиняемого народному хозяйству от гибели людей, на судебных выплатах по компенсации за потерю жизни, на совокупном доходе в течение жизни, на суммах личного страхования и т. д. [13–15]. Согласно рекомендациям, среднестатистическая жизнь человека в России составляет от 303 тыс. долл. до 1 млн долл. при продолжительности жизни 65 лет. Ущерб материальным ценностям определяется восстановительным методом исходя из возможных затрат на ликвидацию повреждений или восстановление производственного объекта, оборудования, сооружения и т. д.

Рост достоверности геологической информации оказывает положительное влияние и на инвестиционную привлекательность объекта недр, интерес инвестора возрастает по мере уточнения геологической информации и снижения возможного риска в силу неточности знаний о запасах и ресурсах месторождения. Зависимость между достоверностью геологической информации (категорий запасов и прогнозных ресурсов) и премий за риск подтверждается в ряде работ исследователей, в том числе в табл. 3 [16–17].

Таблица 3. Зависимость между достоверностью геологической информации и премией за риск. Table 3. Data reliability – risk premium ratio.

Группа сложности месторождения	Категория запасов и ресурсов	Премия за риск
I	A	0
1	В	0,25
1	C ₁	1,00
I	C_2	3,25
_	P ₁	6,50
_	P ₂	7,75
_	P_3	9,25

При расчетах эффективности полученный суммарный эффект сопоставляется с затратами на ОГИН.

Учитывая, что отдельно взятые горнодобывающие компании не всегда могут иметь собственную хорошо оснащенную геологоразведочную службу, следует обратить внимание на предприятия о создании сервисных центров, выполняющих в том числе услуги по ОГИН по заказу компаний. Подобные центры в части выполнения услуг по нефтегазовой геофизике уже созданы и успешно функционируют. Вопросы создания подобных сервисных центров организации буровых контор, центров по выполнению лабораторных исследований, геологоразведочных работ, геолого-оценочных исследований находятся в стадии обсуждения [18].

Заключение

Экологически устойчивое недропользование предполагает замедление темпов истощения минеральных ресурсов. Исследования авторов показывают, что одной из причин снижения полноты использования невозобновимых природных ресурсов является завышение запасов месторождений в связи с необоснованной величиной коэффициентов перевода и недостоверность геологической информации, в том числе при эксплуатационной разведке. Обосновывается необходимость пересмотра коэффициентов перевода и выполнения ОГИН. Предлагается методика, позволяющая оценить эколого-экономическую эффективность выполнения опережающего геологического изучения недр (ОГИН).

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. Л., Бурцев Л. Н. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. М.: Научтехлитиздат, 2003. 262 с.
- 2. Косолапов О. В. Обеспечение эколого-экономической устойчивости при недропользовании. Абакан: Изд-во ХГУ им. Н. Ф. Катанова, 2016. 280 с.
- 3. Vokhmin S. A., Kytmanov A. A., Kurchin G. S., Trebush Y. P., Kirsanov A. K. Calculation of loss volumes and dilution of mineral deposits in near-contact zones // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, issue 19. P. 5447–5456.
- 4. Мельников Н. Н., Бусырев В. М. Ресурсосбалансированное природопользование: теория и методы. Апатиты, 2007. 110 с.
- 5. Панфилов Е. И. О проблеме повышения эффективности функционирования минерально-сырьевого комплекса России // Маркшейдерия и недропользование. 2010. № 5. С. 8–16.
- 6. Ножинский И. А., Павлов И. Г. Методическая основа оценки стоимости российских недр // Минеральные ресурсы России. 1995. № 4. С. 13–18.
- 7. Мельников Н. Н., Бусырев В. М. Экономические аспекты освоения месторождений Арктики. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. 156 с.
- 8. Шаклеин С. В., Крекова А. В. Списание нецелесообразных к отработке запасов и достоверность геологического изучения недр // Маркшейдерский вестник России. 2009. № 4. С. 35–38.
- 9. Шаклеин С. В., Рогова Т. Б. Направления совершенствования российской системы оценки достоверности запасов твердых полезных ископаемых в контексте обеспечения безопасности горных работ // Минеральные ресурсы России. 2010. № 6. С. 19–24.
- 10. Scuffham P., Chalmers D., O'Hare D., Wilson E. Direct and indirect cost of general aviation crashes // Aviation Space and Environmental Medicine. 2002. Vol. 73, issue 9. P. 851–858.
- 11. Ревич Б. А., Сидоренко В. Н. Методика оценки экономического ущерба здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха. М., 2000. 42 с.
- 12. Игнатьева М. Н., Литвинова А. А., Логинов В. Г. Методический инструментарий экономической оценки последствий воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2010. 168 с.
- 13. Козлова О. А., Нифонтова Р. В., Макарова М. Н. Методические вопросы оценки экономического ущерба от смертности населения, занятого в экономике региона // Экономика региона. 2017. Т. 13. Вып. 2. С. 511–523.
- 14. Коробицын Б. А., Куклин А. А., Манжуров И. Л., Никулина Н. Л. Оценка ущерба от сокращения ожидаемой продолжительности жизни в результате онкологических заболеваний // Экономика региона. 2013. № 3. С. 257–264.
- 15. Yang Z., Liu P., Xu X. Estimation of social value of statistical life using willingness-to-pay method in Nanjing, China // Accident Analysis and Prevention. 2016. Vol. 95. P. 308–316.
- 16. Бойко Ю. А., Максимов И. А. Влияние рисков на финансовую оценку горнорудных проектов // Недропользользование XXI в. 2013. № 1. С. 46–51.
- 17. Плескунов И. В., Кунарев П. Л. От Greenfield до строительства и эксплуатации. Проектные риски на разных этапах освоения месторождения // Недропользование XXI век. 2013. № 1. С. 62–66.
- 18. Бежанов С. К. Роль частного сектора в формировании минерально-сырьевой базы России // Разведка и охрана недр. 2004. № 2. С. 58–62.

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2018 г.

УДК 332.142.4 DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-148-152

Methodological tools to ensure the completeness of the non-renewable resources use in an environmentally sustainable subsoil use

Oleg Veniaminovich Kosolapov¹, nedra1958@mail.ru Aleksey Vladimirovich Dushin² dushin.a@list.ru

¹Russian Copper Company Limited Ekaterinburg, Russia ²Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

The relevance of the study. One of the main conditions for environmentally sustainable subsoil use is to minimize the depletion of mineral resources. It involves the most efficient and complete development of reserves of exploited mineral deposits. At the same time, the loss and dilution rates in mining remain high. On average, in the mining industry, the amount of losses is determined in 10-50 %. Positive changes in solving this problem are very small due to the lack of the effective guidelines aimed at the completeness of the study of subsoil resources. The purpose of the study is to develop methodological tools to ensure the full use of non – renewable resources.

The results obtained in the course of research are as follows: the tendency of systematic overstatement of reserves is revealed. This requires clarification of the coefficients of transfer of reserves to higher categories. The necessity for increasing the reliability of geological information both in geological study of subsoil and in operational exploration is proved. The expediency of the advanced geological study of mineral resources in the process of field development is substantiated. The method of its efficiency evaluation is specified. This method considers the effect due to the increase in the completeness of the use of mineral resources. The effect formed by increasing the level of the mining operations safety and the effect of increasing the level of investment attractiveness of the object of subsoil use are also considered.

Applying the results. The developed methodological tools aimed at minimizing the depletion of non-renewable natural resources, contains proposals for detailing the amount of mineral resources and improving the reliability of geological information. These tools will allow subsoil users to achieve an increase in the completeness of subsoil use, providing an ecological and economic effect.

Keywords: non-renewable resources; completeness; depletion; losses; reliability; geological information; efficiency.

REFERENCES

- 1. Trubetskoy K. N., Galchenko, Y. L., Burtsev L. N. 2003, Ekologicheskiye problemy osvoyeniya nedr pri ustoychivom razvitii prirody i obshchestva
- [Ecological problems of mineral resources development in the sustainable development of nature and society]. Moscow, 262 p. 2. Kosolapov O. V. 2016, Obespecheniye ekologo-ekonomicheskoy ustoychivosti pri nedropol'zovanii [Ensuring environmental and economic stability in the subsoil use]. Abakan, 280 p.
- 3. Vokhmin S. A., Kytmanov A. A., Kurchin G. S., Trebush Y. P., Kirsanov A. K. 2017, Calculation of loss volumes and dilution of mineral deposits in near-contact zones. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, issue 19, pp. 5447–5456.
- 4. Mel'nikov N. N., Busyrev V. M. 2007, Resursosbalansirovannoye prirodopol'zovaniye: teoriya i metody [Resource balanced management of
- 4. Mel'nikov N. N., Busyrev V. M. 2001, Resursosbalansirovannoye prirodopol'zovaniye: teoriya i metody [Resource balanced management of natural resources: theory and methods]. Apatity, 110 p.
 5. Panfilov Ye. I. 2010, O probleme povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya mineral'no-syr'yevogo kompleksa Rossii [On the problem of improving the efficiency of the mineral complex of Russia]. Marksheyderiya i nedropol'zovaniye [Mine Surveying and Subsurface Use], no. 5, pp. 8–16.
 6. Nezhinsky A. I., Pavlov I. G. 1995, Metodicheskaya osnova otsenki stoimosti rossiyskikh nedr [Methodological basis for the valuation of Russian mineral resources]. Mineral'nyye resursy Rossii [Mineral resources of Russia], no. 4, pp. 13–18.
 7. Mel'nikov N. N., Busyrev V. M. 2001, Ekonomicheskiye aspekty osvoyeniya mestorozhdeniy Arktiki [Economic aspects of development of
- deposits of the Arctic]. Apatity, 156 p.

 8. Shaklein S. V., Krekova A. V. 2009, Spisaniye netselesoobraznykh k otrabotke zapasov i dostovernosť geologicheskogo izucheniya nedr [Cancellation of inappropriate performing of stocks and the accuracy of geological exploration of mineral resources]. Marksheyderskiy vestnik
- Rossii [Mine Surveying Bulletin], no. 4, pp. 35–38.

 9. Shaklein S. V., Rogova T. B. 2010, Napravleniya sovershenstvovaniya rossiyskoy sistemy otsenki dostovernosti zapasov tvyordykh poleznykh 9. Snaklein S. V., Rogova T. B. 2010, *Napravieniya soversnenstvovaniya rossiyskoy sistemy otsenki dostovernosti zapasov tvyordykn poleznykn iskopayemykh v kontekste obespecheniya bezopasnosti gomykh rabot* [Directions of improvement of the Russian system of an estimation of reliability of reserves of solid minerals in the context of ensuring safety of mining works]. *Mineral'nyye resursy Rossii* [Mineral resources of Russia], no. 6, pp. 19–24.

 10. Scuffham P., Chalmers D., O'Hare D., Wilson E. 2002, Direct and indirect cost of general aviation crashes. *Aviation Space and Environmental Medicine*, vol. 73, issue 9, pp. 851–858.

 11. Revich B. A., Sidorenko V. N. 2000, *Metodika otsenki ekonomicheskogo ushcherba zdorovyu naseleniya ot zagryazneniya atmosfernogo*
- vozdukha [Methods of assessment of economic damage to public health from air pollution]. Moscow, 42 p.
- 12. Ignat'eva M. N., Litvinova A. A., Loginov V. G. 2010, Metodicheskiy instrumentariy ekonomicheskoy otsenki posledstviy vozdeystviya gornopromyshlennykh komplexov na okruzhayushchuyu sredu [Methodological tools of economic assessment of the impact of mining complexes
- on the environment]. Ekaterinburg, 168 p.

 13. Kozlova O. A., Nifontova R. V., Makarova M. N. 2017, *Metodicheskiye voprosy otsenki ekonomicheskogo ushcherba ot smertnosti naseleniya, zanyatogo v ekonomike regiona* [Methodical questions of an assessment of economic damage from mortality of the population employed in
- economy of the region]. Ekonomika regiona [Economy of region], vol. 13, issue 2, pp. 511–523.

 14. Korobitsyn B. A., Kuklin A. A., Manzhurov I. L., Nikulina N. L. 2013, Otsenka ushcherba ot sokrashcheniya ozhidayemoy prodolzhitelnosti zhizni v rezul'tate onkologicheskikh zabolevaniy [Assessment of damage from reduction of expected lifespan in a result of oncological diseases]
- Ekonomika regiona [Economy of region], no. 3, pp. 257–264.

 15. Yang Z., Liu P., Xu X. 2016, Estimation of social value of statistical life using willingness-to-pay method in Nanjing, China. Accident Analysis and Prevention, vol. 95, pp. 308-316.
- and Prevention, vol. 95, pp. 316–316.

 16. Boyko Yu. A., Maximov I. A. 2013, Vliyaniye riskov na finansovuyu otsenku gornorudnykh proyektov [The impact of risks on financial evaluation of mining projects]. Nedropol'zovaniye XXI vek [Subsoil use 21st century], no. 1, pp. 46–51.

 17. Pleskunov I. V., Kunarev P. L. 2013, Ot Greenfield do stroitel'stva i ekspluatatsii. Proyektnyye riski na raznykh etapakh osvoyeniya mestorozhdeniya [From Greenfield to construction and operation. Project risks at different stages of field development]. Nedropol'zovaniye XXI vek [Subsoil use 21st century], no. 1, pp. 62–66.

 18. Bezhanov S. K. 2004, Rol' chastnogo sektora v formirovanii mineral'no-syr'yevoy bazy Rossii [The role of the private sector in the formation of the private sector of properly received by the private sector of the private sector of priva
- the mineral resource base of Russia]. Razvedka i okhrana nedr [Prospect and protection of mineral resources], no. 2, pp. 58-62.

The article was received on February 20, 2018

История горного дела

УДК 549.000.93 (470.5)

ВКЛАД УРАЛА В МИНЕРАЛЬНОЕ МНОГООБРАЗИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Юрий Алексеевич Поленов fgg.gl@ursmu.ru
Уральский государственный горный университет Россия, Екатеринбург

Yuriy Alekseevich Polenov fgg.gl@ursmu.ru Ural State Mining University Ekaterinburg, Russia

The contribution of the Urals in the mineral diversity of the Farth's crust

The Urals is one of the unique geological formations of the Earth. The duration and complexity of its geological development was the reason that the mineral diversity of the Urals is one of the first places among the major geological formations of the earth's crust. More than 1100 mineral species and their varieties are known in the relatively small area of the Urals. The first mineral in the Urals, which is also the first Russian, was discovered in 1766. It was originally named the new red lead ore. This name was given by I. G. Leman. Nowadays, this mineral has a well-known name – crocoite. From 1766 to 2017 112 new minerals have been discovered in the Urals. The article provides a list of minerals first established in the Urals.

Keywords: Urals; new minerals; crocoite; the Ural Geological Museum; avdoninit; exposure of new minerals.

Урал относится к числу уникальных геологических образований Земли. Длительность и сложность его геологического развития явились причиной того, что по своему минеральному разнообразию Урал занимает одно из первых мест среди крупных геологических образований земной коры. На сравнительно небольшой площади Урала известно более 1100 минеральных видов и их разновидностей. Первый на Урале, он же первый русский, минерал открыт в 1766 г. и был И. Г. Леманом первоначально назван новой красной свинцовой рудой. В настоящее время этот минерал имеет всем известное имя – крокоит. С 1766 по 2017 г. на Урале открыто 112 новых минералов. В статье приведен перечень минералов, впервые установленных на Урале.

Ключевые слова: Урал; новые минералы; крокоит, Уральский геологический музей; авдонинит; экспозиция новых минералов.

инералогия как часть многопрофильной геологической науки богата своей очень развитой и сложной терминологией. Изучение природы названий минералов представляет немалый интерес для широкого круга читателей. К сожалению, память людская ограничена: по истечении небольшого времени труды предшественников быстро забываются. Названные в их честь минералы – это увековеченное свидетельство глубокого уважения к ним современников и учеников. В настоящей статье и продолжающемся проекте «Минералогия в лицах» рассказ о преподавателях СГИ–УГИ–УГГУ и минералах, названных в честь преподавателей Горного.

На начало XXI в. в земной коре достоверно установлено более 5000 минералов, которые утверждены Комиссией по новым минералам и их названиям (КНМ) Международной минералогической ассоциации (ММА) (Николаев, 2000; Кривовичев, 2008).

Урал относится к числу уникальных геологических образований Земли. Длительность и сложность его геологического развития явились причиной того, что по своему минеральному разнообразию Урал занимает одно из первых мест среди крупных геологических образований земной коры. На сравнительно небольшой площади Урала известно более 1100 минеральных видов и их разновидностей (Кобяшев и др., 2007; Маликов и др., 2010).

Первый на Урале, он же первый русский, минерал открыт в 1766 г. и был И. Г. Леманом первоначально назван новой красной свинцовой рудой. В 1832 г. П. Бертье переименовал его в крокоиз, а в крокоит его переделал И. Ф. Брейтгаупт в 1841 г. С этого времени этот минерал имеет всем известное имя – крокоит. Первые сведения об этом минерале содержатся в сочинении М. В. Ломоносова в 1763 г.: «Красная свинцовая руда имеет фигуру брусчатую и слоеватую и серебра в себе не содержит». Месторождение он не указывает. Смерть прервала и скрыла то, что он мог нам дать своевременным изданием «Минералогия России» (Вернадский, 1911). На крокоит обратил внимание ученых в 1766 г. академик И. Г. Леман. Он спешил с публикацией своей работы, «чтобы не лишить пальмы первенства Русскую Акаде-



Кристаллы крокоита (оранжево-красный). Фонды УГМ



Кристаллы самарскита (черный). Фонды УГМ

мию», потому что много материала ушло за границу, и к открытию нового минерала стремились многие иностранные ученые. Луи Никола Вокелен детально исследовал образцы красной свинцовой руды и получил из крокоита доселе неизвестный металл, который назвал хромом. Парижская Академия наук в 1797 г. засвидетельствовала открытие элемента хрома (Авдонин и др., 2004).

Еще одним из редких минералов Урала с интересной историей является самарскит, найденный П. Евреиновым, майором корпуса горных инженеров, в Ильменских горах в начале XIX в., который описан в 1842 г. Густавом Розе как уранотанталит. Химический состав минерала изучался его братом Генрихом Розе, от которого и получил название в честь начальника штаба корпуса горных инженеров полковника В. Е. Самарского-Быховца. Уникальность самарскита в том, что в нем было обнаружено три новых элемента: в 1879 г. самарий – П. Э. Лекоком де Буабодраном, в 1880 г. гадолиний – Ж. Ш. Г. Мариньяком и в 1901 г. европий – Э. А. Демерсе.

Всего в уральских минералах открыто пять элементов. В 1844 г. профессором Казанского университета К. К. Клаусом в платиновой руде был обнаружен рутений, названный так в честь России (Авдонин и др., 2004).

С 1766 по 2017 г. на Урале открыто более 120 новых минеральных видов, но к настоящему времени комиссией по новым минералам и их названиям (КНМ) Международной минералогической ассоциации (ММА) утверждены 112 минералов (Авдонин и др., 2007; Кобяшев и др., 2007). Далее приводится перечень минералов, впервые установленных на Урале (таблица).

Особенно интересными открытиями был богат XIX в. – время триумфа уральской минералогии. Знаменитые исследователи Р. Герман, А. Я. Купфер, Н. И. Кокшаров, Г. Розе, А. Б. Кеммерер, А. Ф. Фольборт, Г. И. Гесс и др. открыли тогда 27 новых минералов: хромит, ильменит, ильменорутил (ныне дискредитирован), фенакит, уваровит, канкринит, а также прекраснейшие разновидности минералов: александрит, демантоид, кеммерерит, кочубеит, пушкинит...

В XX в. уральская природа дала науке 75 новых минеральных видов. Значительная их часть была открыта за последние два-три десятилетия. В этом списке уральские минералы носят имена русских ученых и государственных деятелей или же названы по месту находки (златогорит, исовит, вишневит, уваровит, ферсмит, клерит, юшкинит, сысертскит, невьянскит, ильменит, перовскит, самарскит, канкринит, вернандит, чевкинит и др.).

С середины и особенно в конце XX в. в практику вошли высокочувствительные локальные методы исследования минералов. Все найденные уральские минералы за небольшим исключением принадлежат к редким или очень редким представителям минерального мира. За сравнительно короткий срок, начиная с 1980-х гг., были найдены черновит, родплюмсит, юшкинит, хромферид и др., а при дополнительном изучении ранее найденных или хранящихся в различных музеях образцов были выявлены эмбрейит, касседаннеит, жедвабит, ниобокарбид, гидроксилклиногумит и др. Но вряд ли минералоги или любители-коллекционеры когда-нибудь смогут ими полюбоваться. Все эти минера-

Хронология открытия новых минералов на Урале.

XVIII B.	XIX B.		XX B.		XXI B.
1766 — крокоит	1801 — диаспор	1931 — вишневит	1973 – кафегидроцианит	1993 — царегородцевит	2002 — канонеровит
1777 – вокеленит	1822 — невьянскит	1939 – аурикуприд	1977 – раклиджит	– ушковит	– бушмакинит
1789 – айкинит	1824 — брошантит	1940 – вернадит	1980 — шуйскит	– клинокурчавит	– магнезиотанталит
1798 — хромит	1827 – ильменит	1946 — ферсмит	1982 – ахтенскит	1995 — златогорит	— ВИТИМИТ
	1828 — эшинит	1951 — севергинит	1983 — родплюмсит	1996 — исовит	2003 – торнебомит (La)
	1829 – монацит	1955 — кальциборит	— ушковит	– клерит	2004 — ферривинчит
	– пирофиллит	— везиньевит	– инаглиит	— шуйскит	2005 — авдонинит
	1830 — волконскоит	1956 — карпинскиит	1984 — юшкинит	1997 — жедвабит	– калиймагнезиогастингсит
	1831 – фенакит	1957 — фроловит	– свяженит	– ниобокарбид	2007 — чесноковит
	1832 — уваровит	1961 — нифонтовит	1985 — сребродольскит	1998 — палкановит	2011 – мариинскит
	– хлоритоид	– пентагидроборит	– кашинит	– формикаит	– кобяшевит
	1833 – феникохроит	– уралборит	1986 — гинзбургит	1999 – миассит	2017 — ферроворонцовит
	1834 — сысертскит	1962 — калистронцит	– макарочкинит	– гидроксиклиногумит	2018 — цыганкоит
	– родицит	– танталкарбид	– хромферид	– фтормагнезиоарфедсонит	
	1838 – фольбортит	торнебомит-(La)	– ферхромид	– палладодимит	
	1839 – канкринит	— высоцкит	1987 – баженовит	– калийферрисаданагаит	
	– чевкинит	1963 — глюцин	– флюорэллестадит	2000 — поляковит	
	1840 — перовскит	– коржинскит	1988 – касседаннеит		
	1844 — олово	1964 — уралолит	— годовиковит		
	1846 — хиолит	1965 – фергусонит-бета-(Се)	1989 — клинобехоит		
	1847 – делафоссит	1966 — плюмбопирохлор	– ефремовит		
	– самарскит	– курчатовит	– кочкарит		
	1856 — ильменорутил	1967 — черновит	— святославит		
	1858 — трихальцит	– ниобоэшинит-(Се)	1990 — дмиштейнбергит		
	1861 – гидроксилбастнезит-(Се)	1968 – магнезиоарфедсонит	– рорисит		
	1862 — палыгорскит	— ВИМСИТ	1992 — фторрихтерит		
	– планерит	1972 — эмбрейит			



Экспозиция в Уральском геологическом музее «Минералы, ранее неизвестные в мире, открытые на Урале»

лы найдены в ничтожных количествах или в виде микровключений. Они не принадлежат, как образно заметил бывший председатель комиссии РМО по новым минералам профессор А. Г. Булах, к числу явно осязаемых открытий (Авдонин и др., 2004).

Из общего числа открытых на Урале новых для всего мира минералов в названии восьми увековечена память об ученых СГИ: Н. К. Высоцком, Н. В. Свяжине, А. Ф. Бушмакине, В. Н. Авдонине, Д. С. Штейнберге, В. П. Шуйском, Б. В. Чеснокове, Ю. С. Кобяшеве.

Еще четыре новых минерала, пока не получившие официального утверждения, а именно: малаховит, торбаковит, перковаит, афанасьевит, также названы в память об ученых СГИ – А. Е. Малахове, А. Ф. Торбаковой, Р. И. Перковой, Т. Г. Афанасьевой.

Два минерала, открытых за пределами Урала, – преображенскит и шубниковит – сохраняют память о выдающихся профессорах Уральского горного института, преподававших в первые напряженные годы создания института (1920-1925), – о П. И. Преображенском и А. В. Шубникове.

«Урал... является одаренным природой с безумной щедростью – нигде в целом свете не встретилось такого разнообразия минералов на таком сравнительно ограниченном пространстве и в таких мощных формах», – утверждал Д. Н. Мамин-Сибиряк. Трудно переоценить значение уральской природы в истории развития отечественной, да, пожалуй, и мировой минералогической науки. Конец XVIII в. и почти весь XIX в. был поистине «золотым веком» уральской минералогии. Именно с этого времени в научный обиход, в российские и мировые коллекции вошло много новых минералов с местными названиями и именами государственных деятелей и первооткрывателей минералов.

Богатейшее собрание уральских минералов хранится и экспонируется в замечательном создании уральских геологов – Уральском геологическом музее Уральского государственного горного университета. В отделе минералогии музея создана уникальная экспозиция «Минералы, впервые открытые на Урале», в которой представлены многие минералы, но не все из открытых на Урале, поскольку ряд минералов можно видеть только под микроскопом. В этой экспозиции можно познакомиться с минералами, в названии которых увековечена память о преподавателях Свердловского горного института.

ЛИТЕРАТУРА

Николаев С. М. Статистика современной минералогической информации. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2000. 95 с. Кривовичев В. Г. Минералогический словарь. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2008. 556 с.

Кобяшев Ю. С., Никандров С. Н. Минералы Урала (минеральные виды и разновидности). Екатеринбург: Изд-во «Квадрат», 2007. 312 с. Маликов А. И., Попов М. П. Минералы Урала. Словарь-справочник. Екатеринбург: ИД «Сократ», 2010. 456 с.

Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Очерки об уральских минералах. 2-е изд., доп. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2004. 419 с.

Авдонин В. Н., Поленов Ю. А. Вклад Урала в минеральное многообразие земной коры // Горные, геологические, палеонтологические, минералогические музеи в XXI веке: материалы науч.-практ. конф. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. С. 15-24.

REFERENCES

Nikolayev S. M. 2000, Statistika sovremennoy mineralogicheskoy informatsii [Statistics of modern mineralogical information]. Novosibirsk, 95 p.

Krivovichev V. G. 2008, *Mineralogicheskiy slovar'* [Mineralogical dictionary]. Saint Petersburg, 556 p.
Kobyashev Yu. S., Nikandrov S. N. 2007, *Mineraly Urala (mineral'nyye vidy i raznovidnosti)* [Minerals of the Urals (mineral species and varieties)]. Ekaterinburg, 312 p.

Malikov A. I., Popov M. P. 2010, *Mineraly Urala. Slovar'-spravochnik* [Minerals of The Urals. A reference dictionary]. Ekaterinburg, 456 p. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 2004, *Ocherki ob ural'skikh mineralakh. 2-e izd., dop.* [Essays on Ural minerals. 2nd ed., updated]. Ekaterinburg, 419 p. Avdonin V. N., Polenov Yu. A. 2007, *Vklad Urala v mineralnoye mnogoobraziye zemnoy kory* [A contribution of the Urals to the mineral diversity of the earth's crust]. Gornyye, geologicheskiye, paleontologicheskiye, mineralogicheskiye muzei v XXI veke: materialy nauch.-prakt. konf. [Mining, geological, paleontological, and mineralogical museums in the 21st century: proceedings of the scientific-practical conference]. Ekaterinburg, pp. 15–24. УДК 549.618 + (092)

В. П. ШУЙСКИЙ (1935-2000) И ШУЙСКИТ

Олег Константинович Иванов okivanov@gmail.com Уральский геологический журнал Россия, Екатеринбург Oleg Konstantinovich Ivanov okivanov@gmail.com Uralian Geological Journal Ekaterinburg, Russia

V. P. Shuiskiy (1935-2000) and shuiskite

This paper describes the history of the discovery of shuiskite – a chromium analogue of pumpellyite-(Mg) – and its distinctive features. A small part of the biography of Vadim Prokop'yevich Shuiskiy is revealed, and the paper gives justification why the author named a new mineral in the honor of this professor of the Mining Institute.

Keywords: Vadim Prokop'yevich Shuiskiy; Shuya; pumpellyite; aluminosilicates; Ural.

В работе описана история открытия шуйскита – хромового аналога пумпеллиита-(Mg) – и его отличительные признаки. Раскрыта небольшая часть биографии Вадима Прокопьевича Шуйского и дано обоснование, почему автор назвал новый минерал в честь данного преподавателя Горного института.

Ключевые слова: Вадим Прокопьевич Шуйский; шуйскит; пумпеллиит; алюмосиликаты; Урал.

уйскит – хромовый аналог пумпеллиита-(Mg) – редкий минерал, встречающийся только на Сарановском хромитовом месторождении.

Немного о шуйските

Прежде чем перейти к В. П. Шуйскому, следует немного сказать о самом шуйските. Минералы интересны сами по себе, но также и благодаря их значению – научному, геологическому, практическому, эстетическому, историческому и т. д.

Шуйскит — минерал из группы пумпеллиита, а пумпеллиит, до недавнего времени редкий минерал, — водный кальциевый алюмосиликат, который сначала относили к группе эпидота, а затем выделили в самостоятельную группу.

Пумпеллиит впервые описан в 1925 г. Пэлэчем и Вассаром и назван в честь Р. Пумпелли, детально изучавшего минералогию необычных месторождений самородной меди в лавах полуострова Кивино на озере Верхнее в Северной Америке.

В "Минералогии" Э. С. Дэна, переработанной и дополненной под общей редакцией А. Е. Ферсмана и О. М. Шубниковой и изданной в 1937 г., пумпеллииту отводилось шесть строк мелким шрифтом и указывалось, что он образует мелкие волокна, пластинки и таблички сине-зеленого цвета и широко распространен в миндалевидных медных рудах Куюна (Мичиган). Почти треть страницы уделил пумпеллииту А. Г. Бетехтин в своей знаменитой "Минералогии" 1950 г.

Однако вскоре пумпеллиит стал одним из самых известных минералов, так как он фиксировал определенные параметры температуры и давления вулканогенных пород. На Урале пумпеллиит был установлен Д. С. Коржинским в 1939 г. в скарнах горы Благодать и на Турьинских рудниках, В. А. Заварицким в 1944 г. в вулканитах Левихи, Л. Н. Овчинниковым в скарнах Среднего Урала, В. М. Нечеухиным в вулканитах Сибайского медноколчеданного месторождения и т. д.

Новозеландский геолог Кумбс в 1953 г. охарактеризовал пумпеллиитовую серию минералов и показал, что это типичный минерал, отражающий сравнительно низкотемпературные и низкобарические изменения вулканогенных пород – лав, туфов и туффитов основного состава [1]. Он же выделил пумпеллиитовую фацию метаморфизма. По теперешним представлениям, это пренит-пумпеллиитовая фация, которая образуется при давлении о–о,4 ГПа и температурах 300–400 °С.

Сложность химического состава пумпеллиита также привлекала к нему внимание. В последние годы были выделены или открыты новые виды минералов группы пумпеллиита: пумпеллиит-(Mg), пумпеллиит-(Fe²+), пумпеллиит-(Fe³+), пумпеллиит-(Mn²+), джулголдит-(Mg), джулголдит-(Fe²+), джулголдит-(Fe³+), охотскит, шуйскит, а также ванадиевый аналог пумпеллиита [2]. Идеализированная формула шуйскита — Ca₂(Mg, Al)(Cr, Al)₂[Si₂O₂][SiO₄] (OH)₃ H₃O при содержании Cr больше Al.

Что же такое шуйскит? Это минерал моноклинной сингонии, образует призматически-зернистые, радиальнолучистые и волокнистые агрегаты. Обычны длиннопризматические двойниковые кристаллы. Цвет минерала зависит от содержания хрома и размера индивидов. Крупные кристаллы имеют черный или черно-фиолетовый цвет, хромовый пумпеллиит от фиолетового до светло-розового. Содержание хрома до 28 мас. %. Пока шуйскит найден только в одном месте — в кальцитовых жилках в хромитите Сарановского и Бисерского хромитовых рудников Горнозаводского района Пермского края, где часто сопровождается ярко-зеленым уваровитом [3].

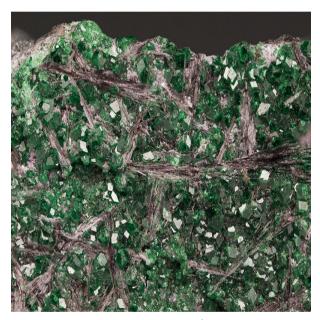
История открытия шуйскита

После публикации статьи о шуйските оказалось, что его раньше видели наши самые известные минералогидиагносты Виктор Иванович Степанов и Юрий Степанович Кобяшев. Последний одно время работал в Уральском геологическом музее и на кафедре минералогии. Он принимал его за хромовый амфибол. Хромовые пумпеллииты









Серо-фиолетовый шуйскит (призматические кристаллы и спутанно-волокнистые агрегаты) в парагенезисе с зеленым уваровитом на хромите. Сарановские рудники, Пермский край. Фото доступно по адресу URL: https://www.mindat.org

описали примерно в это же время два французских петрографа – Мевел и Киенаст [4] в высокометаморфизованных габбро массива Рош Нойр в Пьемонте вместе с хромовыми жадеитом, фенгитом и лавсонитом. В одном из таких анализов содержание оксида хрома было 26,48 мас. %, т. е. даже выше, чем в первоначально описанном бисерском шуйските.

Мне этот минерал попадался в отвалах Сарановского рудника, но обычно в виде тонких растертых примазок по трещинам в хромитите. В аспирантуре у Павла Владимировича Покровского в Институте геологии и геохимии УФАН СССР мне хотелось заниматься минералогией Сарановского хромитового месторождения, на котором я раньше бывал. Сарановское месторождение расположено в стороне от дорог, было слабо минералогически изучено, отличалось разнообразием минералогии и необычными формами антигорита и других серпентиновых минералов. Немаловажным фактором была хорошая столовая, как на всех рудниках. Набрав в первое поле на руднике несколько ящиков (из-под взрывчатки) минералов, я очутился перед вопросом, а что это и откуда и как все это связано с геологией месторождения. На следующий год пришлось вместо минералогии заниматься чистой петрологией, которая оказалась гораздо интереснее, чем формальная описательная минералогия, и именно ею я и стал заниматься. В Уральской геолого-съемочной экспедиции мне поручили тему по геологии и вещественному составу глубоких горизонтов Сарановского месторождения, где тогда была поставлена детальная разведка. И вот в Бисерском месторождении в валунчатых рудах был найден коричневый необычный минерал с уваровитом. Однажды ко мне подошел любитель минералов горный мастер Александр Николаевич Фищенко, активно интересовавшийся

сарановскими минералами, и попросил определить призматический минерал коричневого цвета на куске хромитита вместе с уваровитом. Пришлось объяснить, что минерал мне неизвестен и его надо изучать. Вот из этого образца и было произведено изучение минерала. Моя сотрудница Элла Дмитриевна Тимофеева получила из него монофракцию, которую пришлось еще в течение всей зимы дочищать под бинолупой, в результате чего получено несколько сот миллиграммов чистого вещества. Татьяна Александровна Шилова определила в минерале оптические свойства, уточненные нашим известным оптиком Юрием Васильевичем Мозжериным, дебаеграмма получена и расшифрована в Центральной комплексной лаборатории Уралгеологии Анной Наумовной Айзикович, а сотрудница Института химии УФАНа Л. Д. Мирошникова провела монокристальную съемку и определила параметры ячейки минерала. В той же Центральной лаборатории Уралгеологии был получена термограмма. Химический анализ из очень небольшого количества вещества шуйскита был выполнен в лаборатории ИМГРЭ известным аналитиком В. А. Архангельской. Большое содействие оказали известные минералоги М. С. Безсмертная и Роберт Оскарович Берзон. Нужно сказать, что первоначально я ошибочно принял минерал за хромовый вюаньятит, формально близкий ему по химическому составу, но председатель Комиссии по новым минералам А. Като из Японии указал на мою ошибку. 5 января 1980 г. рукопись статьи [5] была рекомендована к публикации Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества, а 20 октября 1980 г. утверждена Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации.

Весной 1979 г. геолог Сарановского рудника Вячеслав Иванович Кузнецов, кстати, тоже работавший одно время преподавателем в Горном институте, на глубоких горизонтах Сарановского рудника встретил кальцитовую жилу, секущую хромитит с крупными призматическими черно-фиолетовыми кристаллами шуйскита до 7 мм длиной. Анализ показал, что этот образец содержит уже 28,64 масс. % $\rm Cr_2O_3$ и значительно меньшие содержания $\rm H_2O$, всего 3,77 мас. % вместо типичных для пумпеллиитов 7 масс. %. Еще интереснее, что кристаллики шуйскита имели хорошо образованную головку с зеркальными гранями. Этот образец подвергся детальному изучению коллективом уральских и московских исследователей [6]. Наиболее важным было изучение кристаллов доцентом кафедры минералогии Валерием Ивановичем Кайновым, что особо отметил Председатель Комиссии по новым минералам проф. А. Г. Булах. Позже коллективом авторов (О. К. Иванов, В. И. Силаев, Д. А. Варламов, В. И. Кайнов) была рассмотрена серия пумпеллиит—шуйскит и выделены некоторые новые разновидности минералов этой группы [7]. Наконец вся информация по шуйскиту вошла в мою книжку «Минералогия Сарановского хромитового месторождения (Средний Урал)», выпущенную в 2016 г. [8].

Но были и противоположные мнения. В 1985 г. лабораторией минералогии ИГиГ УрО РАН проводилось Первое Уральское минералогическое совещание «Новые и малоизученные минералы и минеральные ассоциации Урала». И вот ко мне пришла сотрудница работника лаборатории эндогенной металлогении Ю. А. Волченко по имени Стелла и принесла их тезисы, где авторы в туманных выражения оспаривали выделение шуйскита. Я попросил написать о возражениях более конкретно, но с тех пор эти авторы не появлялись. Осенью прошлого года мне позвонил известный любитель сарановских минералов Эдуард Александрович Фищенко и сообщил, что ходят слухи о дискредитации шуйскита, так как большая часть хрома находится в других позициях. Это сильно взволновало сарановских коллекционеров и патриотов. При встрече с членом-корреспондентом РАН проф. Игорем Викторовичем Пековым я поинтересовался ситуацией. Оказалось, что все-таки кристаллохимики подтвердили нашу эмпирическую формулу.

Почему я назвал минерал шуйскитом

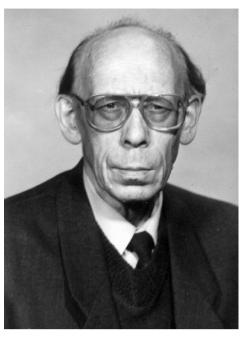
С Вадимом Прокопьевичем Шуйским мы познакомились в Магнитогорской геологоразведочной партии. С первого взгляда он произвел на меня весьма отрицательное впечатление – явный интеллигент и в к тому же в очках, да наверняка еще и отличник. По тогдашним представлениям, все три параметра весьма плохо характеризовали человека. Но он был в геологической форме, и это все решило. Я подал ему образец какого-то минерала с горы Магнитной. К моему удивлению, он легко его определил, чем окончательно расположил к себе.

Оказалось, что Вадима и еще двоих студентов временно изгнали из Горного института за бунт на осенних принудительных работах в колхозе. В те времена, а это был 1956 год, всех, кто попадался под руку, посылали в колхозы на уборку урожая. В первую очередь, это были студенты, солдаты, служащие разных контор и т. д. Студентов то ли не кормили, то ли не дали сапоги, а в полях грязи по колено, то ли еще что-то. Начался шум, понаехали члены из райкома, но поймали самых пассивных – тех, кто не решился покинуть поле. Вот их и уволили, сначала совсем, потом на год. Активный студент-однокурсник Борис Шеломов хлопотал за изгнанных и добился им места в Магнитогорской разведочной партии, подчинявшейся тресту «Уралчерметразведка». Вадима в связи с очевидной негодностью для физической работы поставили на камералку, его приятеля Стаса Полищука и еще одну девушку – на бурение.

С Вадимом мы совершали опасные зимние экскурсии на Ближний карьер горы Атач, где он однажды заскользил по заснеженному склону и скатился на уступ, слава богу, с ущербом только для штанов. Как-то на праздники его послали дежурить на глубокую буровую вышку, где мы провели два прекрасных дня, рассматривая керн глубокой скважины, беседуя на разные темы и попивая гнусноватый советский портвейн. Весной мы стали посещать не только гору Магнитную, но и близлежащие Гумбейские месторождения шеелита с их щелевидными выработками, лисьегорские доломиты и агаповские известняки. Вадима особенно восхищали щетки ромбододекаэдрических кристаллов магнетита, которые онувезвнаш Геологический музей. Кроме экскурсий, он снабжал меня геологическими учебниками. Особое впечатление произвела на меня «Общая геология» Н. Н. Яковлева — лучший учебник по общей геологии, кроме геологии Ляйеля, написанной просто и понятно великолепным русским языком. А наблюдая, как я носом ползаю по обнажению, он спросил, какого черта я не ношу очки, и дал мне посмотреть в свои. Меня поразил чистый, четкий, умытый окружающий мир вокруг и четкость обнажений. Таким образом, Вадим Прокопьевич буквально открыл для меня не только геологию, но и окружающий мир. По-моему, посвящение минерала в честь кого-либо — это высшая геологическая награда, которую я по праву вручил Вадиму Прокопьевичу.



Вадим Прокопьевич Шуйский в молодые годы



Вадим Прокопьевич Шуйский

Немного о В. П. Шуйском

Информация о жизнедеятельности Вадима Прокопьевича Шуйского приведена в разных публикациях [9–11 и др.]. Он родился 11 октября 1935 г. в старинном селе Усть-Цильма на р. Печоре, в семье учителей. По национальности Вадим Прокопьевич был коми или, по-старому, зырянин. В 1953 г. он поступил на геологический факультет Уральского университета, который в 1957 г. был переведен в Горный институт.

Будучи студентом, Вадим Прокопьевич изучил аммониты на р. Северная Сосьва и написал о них работу. После окончания института он в течение шести лет работал в тематической Палеогеографической партии УКСЭ Уралгеологии под руководством В. П. Мухиной, т. е. фактически занимался чисто научной работой. В 1966 г. он поступил в аспирантуру Горного института на кафедру исторической геологии и палеонтологии к профессору А. Н. Ходалевичу, защитив в 1969 г. кандидатскую диссертацию «Герцинские известняки Урала». После аспирантуры на короткое время (1969—1972) уходил в ИГиГ УрО АН СССР, а в 1972 г. вернулся на эту же кафедру уже старшим преподавателем, читая курсы региональной геологии, «Геологии СССР» и исторической геологии. В 1978 г. основатель и собиратель лаборатории палеонтологии и стратиграфии ИГиГ УрО АН СССР Георгий Николаевич Папулов пригласил Вадим Прокопьевича в свою лабораторию старшим научным сотрудником. В 1989 г. В. П. Шуйский защитил докторскую диссертацию на тему «Ископаемые известковые водоросли и рифообразование (на примере палеозоя Урала)» и до самой смерти продолжал работать в ИГГ УрО РАН.

Хотя Вадим Прокопьевич отошел от минералогии, тем не менее она ему пригодилась. Так, в палеозойских рифах Урала он нашел не только водоросли, но и загадочные ровные площадки в пустотах между кораллами. Он предположил, что это иловый осадок, отражавший тогдашнее положение горизонта. Я порекомендовал ему работы Д. П. Григорьева и А. Г. Жабина о минералогических уровнях и отвесах, и он ее активно использовал. Где-то в 1967—1968 гг. мы провели совместные полевые работы и, пользуясь предоставленной ему автомашиной, проехались по наждачным месторождениям Среднего и Южного Урала. Оказалось, что эти наждаки, которые трактовались поразному, оказались продуктами метаморфизма бокситов [12]. Вадим Прокопьевич обнаружил в основании некоторых тел наждаков реликты типичной фауны североуральских бокситов. А на западном склоне Урала, в районе Нижние Серги, где Вадим Прокопьевич искал граптолиты, мне попалась новая находка вавеллита, что позволило предсказать возможность обнаружения фосфоритов [13].

Список монографий В. П. Шуйского

Шуйский В. П. Известковые рифообразующие водоросли нижнего девона Урала. М.: Наука, 1973. 155 с.

Шуйский В. П., Задорожная М. Н., Осадчая Д. В., Новоселкова Л. Н. Геологическая съемка в районах развития отложений с органогенными постройками: метод. пособие по геологической съемке. Л.: Недра, 1982. Вып. 2. 328 с. Чувашов Б. И., Лучинина В. А., Шуйский В. П., Шайкин И. М. Ископаемые известковые водоросли. Морфология, систематика, методы изучения. Новосибирск: Наука, 1987. 225 с.

Шуйский В. П., Патрунов Д. К. Известковые водоросли нижнего и среднего девона юга Новой Земли. М.: Наука, 1991. 80 с.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Coombs D. S. The pumpellyite mineral series // Mineral. Magaz. 1953. Vol. 30. P. 113–135.
- 2. Passaglia E., Gottardi G. Chemistry and nomenclature of pumpellyites and julgoldites // Canad. Miner. 1973. Vol. 12. P. 219–223.
- 3. Юшкин Н. П., Иванов О. К., Попов В. А. Введение в топоминералогию Урала. М.: Наука, 1986, 294 с.
- 4. Mevel C., Kienast J. R. Chromian jadeite, phengite, pupelliate and julgoldite // Mineral. Magaz. 1980. Vol. 43. P. 979–984.

- 5. Иванов О. К., Архангельская В. А., Мирошникова Л. Д., Шилова Т. А. Шуйскит хромовый аналог пумпеллиита из Бисерского месторождения, Урал // Записки ВМО. 1981. Ч. 110. Вып. 4. С. 508–512.
- 6. Иванов О. К., Кайнов В. И., Малиновский Ю. А. Маловодная разновидность шуйскита из Сарановского хромитового рудника, Урал // Записки ВМО. 1985. Вып. 1. С. 49–55.
- 7. Иванов О. К., Силаев В. И., Варламов Д. А., Кайнов В. И. Пумпеллиит-(Mg, Al), пумпеллиит-(Mg, Al) хромовый, шуйскит алюминиевый и пумпеллиит-(Аl) хромовый из Сарановского месторождения на Урале // Уральский геологический журнал. 2008. № 4 (64). С. 47–77.
- 8. Иванов О. К. Минералогия Сарановского хромитового месторождения (Средний Урал) // Минералогический альманах. 2016. Т. 21. Вып. 2. 119 с. 9. Вадим Прокопьевич Шуйский (научная биография и список работ). Екатеринбург: 2001. 68 с.
- 10. Черных В. В. Вадим Прокопьевич Шуйский. К 80-летию со дня рождения // Литосфера. 2015. № 6. С. 151–152.
- 11. Чувашов Б. И. Вадим Прокопьевич Шуйский (1935–2000) // Воспоминания об ученых Института геологии и геохимии. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2012. С. 178-184.
- 12. Иванов О. К., Шуйский В. П. О метаморфогенной природе месторождений наждака на Среднем Урале // Ежегодник-1970. Свердловск: ИГиГ УНЦ AH CCCP, 1971. C. 127-128.
- 13. Шуйский В. П., Иванов О. К. О фосфатной минерализации в кремнистых породах силура на западном склоне Среднего Урала // Ежегодник-1970. Свердловск: ИГиГ УНЦ АН СССР, 1971. С. 197-198.

REFERENCES

- 1. Coombs D. S. 1953, The pumpellyite mineral series. Mineralogical Magazine, vol. 30, pp. 113-135.
- 2. Passaglia E., Gottardi G. 1973, Chemistry and nomenclature of pumpellyites and julgoldites. The Canadian Mineralogist, vol. 12, pp. 219–223. 3. Yushkin N. P., Ivanov O. K., Popov V. A. 1986, Vvedeniye v topomineralogiyu Urala [An introduction to topomineralogy of the Urals]. Moscow,
- 4. Mevel C., Kienast J. R. 1980, Chromian jadeite, phengite, pupelliate and julgoldite. *Mineralogical Magazine*, vol. 43, pp. 979–984. 5. Ivanov O. K., Arkhangel'sky V. A., Miroshnikova L. D. and T. A. Shilova. 1981, *Shuyskit khromovyy analog pumpelliita iz Biserskogo* mestorozhdeniya. Ural [Shuiskite - a chromium analogue of pumpellyite from Biserskiy deposits, the Urals]. Zapiski VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], part 110, issue 4, pp. 508-512.
- 6. Ivanov, O. K., Kainov V. I., Malinovsky Yu. A. 1985, Malovodnaya raznovidnosť shuyskita iz Saranovskogo khromitovogo rudnika. Ural [Shallow kind of shuiskite of the Saranovsky chromite mine, the Urals]. Zapiski VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], issue 1, pp. 49–55. 7. Ivanov O. K., Silayev V. I., Varlamov D. A., V. I. Kainov 2008, Pumpelliit-(Mg. Al), pumpelliit-(Mg, Al) khromovyy, shuyskit alyuminiyevyy i pumpelliit-(Al) khromovyy iz Saranovskogo mestorozhdeniya na Urale [Pumpellyite-(Mg, Al), pumpellyite-(Mg, Al) chromium, aluminum shuiskite and chromium pumpellyite-(Al) from Saranovsky deposit in the Urals]. *Uralskiy geologicheskiy zhurnal* [Ùralian Geological Journal], no. 4 (64), pp. 47-77.
- . 8. Ivanov O. K. 2016, *Mineralogiya Saranovskogo khromitovogo mestorozhdeniya (Sredniy Ural)* [Mineralogy of Saranovsky chromite deposit (Middle Urals)]. Mineralogicheskiy al'manakh [Mineralogical Almanac], vol. 21, issue 2. 128 p.
- 9. 2001, Vadim Prokop'yevich Shuyskiy (nauchnaya biografiya i spisok rabot) [Vadim Prokop'yevich Shuisky (scientific biography and list of works)]. Ekaterinburg, 68 p.
- 10. Chernykh V. V. 2015, Vadim Prokop'yevich Shuiskiy. K 80-letiyu so dnya rozhdeniya [Vadim Prokop'yevich Shuisky. For the 80th anniversary] Litosfera [Litosfera], no. 6, pp. 151-152
- 11. Chuvashov B. I. 2012, Vadim Prokop'yevich Shuiskiy (1935–2000) [Vadim Prokop'yevich Shuisky (1935 2000)]. Vospominaniya ob uchyonykh Instituta geologii i geokhimii [Memories on the scientists of the Institute of Geology and Geochemistry UB of RAS]. Ekaterinburg, pp. 178-184.
- 12. Ivanov, O. K., Shuisky V. P. 1971, O metamorfogennoy prirode mestorozhdeniy nazhdaka na Srednem Urale [On the metamorphic nature of the deposits of emery in the middle Urals]. Ezhegodnik-1970 [Yearbook-1970], pp. 127-128.
- 13. Shuiskiy V. P., Ivanov O. K. 1971, O fosfatnoy mineralizatsii v kremnistykh porodakh silura na zapadnom sklone Srednego Urala [On phosphate mineralization in Silurian siliceous rocks on the Western slope of the Middle Urals]. Ezhegodnik – 1970 [Yearbook – 1970], pp. 197–198.

Уважаемые авторы!

Журнал «Известия УГГУ» публикует результаты научных исследований российских и зарубежных авторов на русском или английском языках.

К рассмотрению принимаются рукописи, снабженные следующими необходимыми компонентами.

1. Текст статьи на русском или английском языке (либо двуязычный) в электронном виде. Статьи принимаются на электронную почту редакции: iuggu-journal@yandex.ru. Не допускается направление в редакцию статей, уже публи-ковавшихся или посланных на публикацию в другие журналы. Необходимо указывать номер УДК.

 Список литературы на русском и английском языках. Ссылки на источники должны идти в тексте по порядку – 1, 2, 3. В тексте ссылки заключаются в квадратные скобки. Количество ссылок в тексте должно соответствовать количеству источников литературы в списке. Упоминания ГОСТ, СНиП, правил безопасности, нормативных, законодательных и других документов, отчетов о НИР, а также ссылок на неофициальные источники в Интернет необходимо приводить в тексте статьи или в сносках, не вынося в список литературы. Обязательно отражение в статье мирового опыта по рассматриваемому вопросу, список литературы должен содержать современные зарубежные статьи (не ранее 2013 года издания). Список литературы должен содержать не менее 15 источников, из которых должно быть не более 2 собственных работ автора. Наличие в списке литературы учебников, учебных и методических пособий, указаний по курсовому и дипломному проектированию, конспектов лекций для студентов не допускается.

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 четко прописаны: актуальность, цель работы, метод или методология проведения работы, результаты работы и область их применения; выводы (при необходимости).

Текст статьи должен быть структурирован в соответствии с аннотацией и содержать конкретные разделы: вве-

дение, результаты и их применение, выводы (при необходимости), заключение.

Перевод аннотации, ключевых слов и списка литературы на английский язык осуществляется авторами, только если они уверены в качестве перевода, если же нет – перевод осуществляется редакцией. Перевод с помощью электронных переводчиков не 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 е-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.

Плата за публикацию с авторов научно-технических статей, включая аспирантов, в порядке общей очереди не взимается.

Оформление статей

1. Редактор Microsoft Word, гарнитура Minion Pro. Поля документа: левое 2 см, остальные – 1,5 см. Кегль 10, одинарный интервал. Абзацный отступ 0,63. Страницы нумеруются. Не допускаются пробелы между абзацами.

2. В тексте допускаются только общепринятые сокращения слов. Все сокращения в тексте, рисунках, таблицах

должны быть расшифрованы.

3. Формулы должны быть набраны в редакторе Microsoft Equation и пронумерованы, если в тексте имеются ссылки на них. При наборе формул и текста латинские буквы выделяют курсивом, а русские, греческие и цифры – прямым шрифтом. Кегль шрифта в формулах должен совпадать с кеглем шрифта основного текста. Тригонометрические знаки (sin, cos, tg, arcsin и т. д.), знаки гиперболических функций (sh, ch, th, 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 (°С – градусы Цельсия и т. д.) набираются прямым шрифтом.

4. Физические единицы приводятся в системе СИ.

Графический материал

Рисунки, карты, чертежи предоставляются в электронном и бумажном виде, в цветном и/или черно-белом исполнении. Изображения должны быть четкими, контрастными. Таблицы и схемы должны быть пригодными для правки.

Таблицы и схемы, сканированные как изображения, не принимаются.

На картах обязательно указывается масштаб. На чертежах, разрезах, картах должно быть отражено минимальное количество буквенных и цифровых обозначений, а их объяснение – в подрисуночных подписях. Ксерокопии и сканированные ксерокопии фотографий не принимаются. Рисунки с нечитаемыми или плохо читаемыми надписями, с подписями «от руки», слишком тонкими линиями не принимаются.

Подрисуночная подпись должна быть набрана 8 кеглем, основной текст в таблице - 8 кеглем, шапка таблицы - 8

кеглем. Гарнитура текста в рисунках и таблицах – Arial, кегль 8.

Все статьи подлежат двойному слепому рецензированию, мнение рецензента всегда доводится до сведения автора.

Примеры оформления списка литературы

Монографии Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. 280 с.

Статьи в периодических изданиях Абатурова И. В., Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия месторождений Урала в скальных массивах // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 6. С. 160–168.

А́вторефераты, 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

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 станице каждого нового выпуска. Здесь мы не будем повторять все это, лишь расскажем о нововведениях, которые нам представляются наиболее важными.

Аннотация. Как на русском, так и на английском языках аннотации сейчас принимаются только расширенные – не менее 200 слов. Делается это для того, чтобы читатель (в том числе иностранный) мог в считанные минуты понять, о чем данная статья и представляет ли она для него интерес.

Список литературы. К сожалению, публикации в советских журналах традиционно отличались от иностранных меньшим числом источников. Кроме того, отечественные ученые зачастую не утруждают себя изучением иностранных публикаций на интересующую тему. Также часты использования в качестве источников различных учебников, методичек и пр. Все это значительно снижает уровень публикаций. Поэтому мы взяли за правило рекомендовать авторам расширять список литературы до 10–15 источников с обязательным использованием современных зарубежных публикаций. Исключения возможны, но они должны быть обоснованными.

DOI. Помимо ставшего уже привычным для авторов присваиваемого каждой статье номера УДК, начиная со второго номера 2016 года каждой статье в обязательном порядке присваивается номер DOI.

DOI (*англ*. Digital object 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.

На обложке: фото кристаллов крокоита.

Читайте в этом номере статью Ю. А. Поленова «Вклад Урала в минеральное многообразие земной коры» **On the cover:** photo of crocoite crystals.

Read the article "Contribution of the Urals to the mineral diversity of the Earth's crust" by Yu. A. Polenov in this issue

Редакция выражает благодарность за помощь в работе журнала

Баранникову Александру Григорьевичу – д-ру геол.-минерал. наук, профессору (Екатеринбург, Россия); Боярских Геннадию Алексеевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия); Гордееву Виктору Александровичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия); Карстен Луизе – Dr. rer. nat. (Ганновер, Германия); Кожушко Герману Георгиевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия); Козину Владимиру Зиновьевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия); Корнилкову Сергею Викторовичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия); Сурневу Виктору Борисовичу – д-ру физ.-мат. наук, профессору (Екатеринбург, Россия); Тимухину Сергею Андреевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия); Филиппову Сергею – Dr. rer. nat. (Ганновер, Германия); Хальфину Марату Нурмухамедовичу – д-ру техн. наук, профессору (Новочеркасск, Россия)

Заместитель главного редактора Шорин А. Г. Ответственный секретарь Шорина Э. В. Редактор Безруких А. П. Перевод Киселева Е. И. Верстка Шориной Э. В. Корректура Пихтовниковой О. Г. Идея обложки: Васфилова И. С.

Подписано в печать 14.06.2018. Формат $60 \times 84/8$. Печать офсетная. Усл. печ. л. 19,1. Тираж 500. Заказ № 14.

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 "Ковчег" 394033, г. Воронеж, пр-т Ленинский, д. 119a, оф. 226