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

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

ИЗВЕСТИЯ
Уральского государственного
горного университета

Научно-технический журнал

NEWS
of the Ural State
Mining University

Scientific and technical journal

Issue 2(46)

2017

Уральский государственный
горный университет

Известия Уральского государственного
горного университета
2017, вып. 2

Журнал выходит 4 раза в год

Учредитель – Уральский государственный
горный университет

620144, Россия, Екатеринбург,
ул. Куйбышева, 30

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.

С 2017 года журнал индексируется в международной библиографической базе данных Georef.

Ural State
Mining University

News of the Ural State
Mining University
2017, issue 2

Published 4 times a year

Founded by
Ural State Mining University

30, Kuibyshev str., 620144, Ekaterinburg,
Russia

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

Since 2017, the journal has been indexed in the Georef database.

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, редактор разделов «История университета» и «Юбилейные даты»
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: **С. А. Тимухин** – д-р техн. наук, профессор
Экономические науки: **М. Н. Игнатьева** – д-р экон. наук, профессор

Редакционный совет

Г. А. Боярских – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
Н. Г. Валиев – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
А. Ф. Вершков – д-р экон. наук, Алматы, Казахстан, Департамент геологии АО «Волковгеология»
Карстен Дребенштедт – д-р техн. наук, профессор, Фрайберг, Германия, Фрайбергская горная академия
Ю. В. Ерохин – канд. геол.-минерал. наук, Екатеринбург, Россия, Институт геологии и геохимии имени А. Н. Заварицкого УрО РАН
А. Н. Зотов – д-р техн. наук, профессор, Уфа, Россия, Уфимский государственный нефтяной технический университет
К. С. Иванов – д-р геол.-минерал. наук, Екатеринбург, Россия, Институт геологии и геохимии имени А. Н. Заварицкого УрО РАН
Г. Г. Кожушко – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина
С. В. Корнилков – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Институт горного дела УрО РАН
В. А. Коротеев – академик РАН, д-р геол.-минерал. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Институт геологии и геохимии имени А. Н. Заварицкого УрО РАН
З. М. Назарова – д-р экон. наук, профессор, Москва, Россия, Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе
В. Я. Потапов – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
М. Н. Хальфин – д-р техн. наук, профессор, Новочеркасск, Россия, Южно-Российский государственный технический университет

Экспертный совет

А. М. Амдур – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
А. Г. Баранников – д-р геол.-минерал. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
В. И. Голик – д-р техн. наук, профессор, Владикавказ, Россия, Северо-Кавказский горно-металлургический институт
В. А. Гордеев – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
Н. В. Гревцев – д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
В. А. Душин – д-р геол.-минерал. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
Луиза Карстен – Dr, Ганновер, Германия
И. А. Садовенко – д-р техн. наук, профессор, Днепропетровск, Украина, Национальный горный университет
Евгений Стамбульчик – PhD, Реховот, Израиль, Научно-исследовательский институт имени Х. Вейцмана
В. Б. Сурнев – д-р физ.-матем. наук, профессор, Екатеринбург, Россия, Уральский государственный горный университет
Сергей Филиппов – Dr, Ганновер, Германия

Editorial staff

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

Academic secretary, editor of history and anniversary sections
Yu. A. Polenov, Dr, Professor

Section editors

Earth Sciences: **A. B. Makarov**, Dr, Professor
Engineering sciences: **S. A. Timukhin,** Dr, Professor
Economic sciences: **M. N. Ignat'eva,** Dr, Professor

Editorial council

G. A. Boyarskikh, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
N. G. Valiev, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
A. F. Vershkov, Dr, Professor
(Almaty, Kazakhstan, Geology Department in Uranium Exploration Company «Volkovgeologiia»)
Karsten Drebenshtedt, Dr, Professor
(Freiberg, Germany, Freiberg University of Mining and Technology)
Yu. V. Erokhin, PhD
(Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
A. N. Zotov, Dr, Professor
(Ufa, Russia, Ufa State Petroleum Technological University)
K. S. Ivanov, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
G. G. Kozhushko, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)
S. V. Kornilkov, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Institute of Mining, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
V. A. Koroteev, Member of the Russian Academy of Sciences, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences)
Z. M. Nazarova, Dr, Professor
(Moscow, Russia, Russian State Geological Prospecting University)
V. Ya. Potapov, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
M. N. Khal'fin, Dr, Professor
(Novocherkassk, Russia, South-Russian State Polytechnical University)

Advisory council

A. M. Amdur, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
A. G. Barannikov, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
V. I. Golik, Dr, Professor
(Vladikavkaz, Russia, North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy
V. A. Gordeev, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
N. V. Grevtsev, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
V. A. Dushin, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
V. B. Surnev, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
Luiza Karsten, Dr (Hannover, Germany)
I. A. Sadovenko, Dr, Professor
(Dnepropetrovsk, Ukraine, National Mining University)
Evgeny Stambulchik, PhD
(Rehovot, Israel, Weizmann Institute of Science)
Sergej Filippow, Dr (Hannover, Germany)

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

7 ХИМИЧЕСКИЙ И OS-ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ ПЛАТИНОИДОВ КОНГЛОМЕРАТНОЙ ФОРМАЦИИ КИМБЕРЛИ (ВИТВАТЕРСРАНДСКИЙ БАССЕЙН, ЮЖНАЯ АФРИКА)
И. Ю. Баданина, К. Н. Малич, А. В. Антонов, И. Н. Капитонов, В. В. Хиллер, С. М. Туганова, Р. К. В. Меркле
(In English)

13 ЗОЛОТОНОСНЫЕ ОБЪЕКТЫ ГИПОГЕННО-ГИПЕРГЕННОГО ТИПА НА УРАЛЕ. КОНВЕРГЕНТНОСТЬ ПРИЗНАКОВ ИХ ОТЛИЧИЯ ОТ РУДОНОСНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ
А. Г. Баранников, О. Б. Азовскова

23 ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕЧНЫХ ДОЛИН МЕЖГОРНЫХ БАССЕЙНОВ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРО-АЛАЯ
Л. Э. Оролбаева

28 ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ТЕХНОГЕНЕЗА НА УРАЛЕ
О. Н. Грязнов, С. Н. Елохина

34 МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАГНЕЗИАЛЬНО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ КАРБОНАТОВ АВЗЯНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА ЮЖНОГО УРАЛА В СВЯЗИ С ЗАКОНОМЕРНОСТЯМИ МЕТАСОМАТОЗА
М. Т. Крупенин, С. В. Мичурин, А. А. Шарипова, Т. Я. Гуляева, В. Г. Петрищева
(In English)

43 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ КРАСНОТУРЬИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА
С. Н. Тагильцев, Т. Н. Кибанова

47 ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА ПОРОД И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВЕРХНЕ-АЛИИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ
М. С. Патракова

53 ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА СВЯЗИ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПОРОД И ИХ ЭДУКТОВ ПО КИСЛОТНО-ОСНОВНЫМ СВОЙСТВАМ
Г. П. Дворник

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

57 ОПЫТ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ БАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ РУД
В. И. Голик, В. И. Комащенко, Ю. И. Разоренов, Н. Г. Валиев

63 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА ШАГАНИЯ ЭКСКАВАТОРА
Н. М. Суслов, В. А. Боровков, П. А. Касьянов

67 РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАБОЙНОЙ БУРОВОЙ МАШИНЫ С ПОГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ
С. Н. Костарев, Т. Г. Середа

71 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНОВ РАЗРУШЕНИЯ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ ТИПА «УРАЛ»
Д. И. Шишлянников

CONTENTS

EARTH SCIENCES

7 CHEMICAL AND Os-ISOTOPE COMPOSITION OF PLATINUM-GROUP MINERAL ASSEMBLAGES FROM THE KIMBERLEY CONGLOMERATE FORMATION (WITWATERSRAND BASIN, SOUTH AFRICA)
I. Yu. Badanina, K. N. Malitch, A. V. Antonov, I. N. Kapitonov, V. V. Khiller, S. M. Tuganova, R. K. W. Merkle
(In English)

13 GOLD-BEARING OBJECTS OF HYPOGENE-SUPERGENE TYPE IN THE URALS. CONVERGENCE OF SIGNS OF THEIR DIFFERENCE FROM ORE-BEARING WEATHERING CRUSTS
A. G. Barannikov, O. B. Azovskova

23 FORMATION OF GROUNDWATER IN THE RIVER VALLEYS OF INTERMOUNTAIN BASINS OF TIEN-SHAN AND PAMIR-ALAI
L. E. Orolbaeva

28 GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF MINING TECHNOGENESIS IN THE URALS
O. N. Gryaznov, S. N. Elokhina

34 MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF MAGNESIA-FERRUGINOUS CARBONATES OF THE AVZYAN ORE REGION OF THE SOUTHERN URAL IN CONNECTION WITH METASOMATHOSIS REGULARITIES
M. T. Krupenin, S. V. Michurin, A. A. Sharipova, T. Ya. Gulyaeva, V. G. Petrishcheva
(In English)

43 REGULARITIES OF THE TECTONIC STRESS FIELD IN THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE KRASNOTURINSKY ORE DISTRICT
S. N. Tagil'tsev, T. N. Kibanova

47 ASSESSMENT OF ROCK MASS STABILITY AND FORECAST OF DEVELOPMENT OF ENGINEERING-GEOLOGICAL PROCESSES AT THE UPPER-ALIYINSK DEPOSIT
M. S. Patrakova

53 EVALUATION OF THE NATURE OF CONNECTION OF METASOMATIC ROCKS AND THEIR EDUCTS BY THEIR ACID-BASE PROPERTIES
G. P. Dvornik

ENGINEERING SCIENCES

57 EXPERIENCE OF UNDERGROUND LEACHING OF METALS FROM BALANCE RESERVES OF ORES
V. I. Golik, V. I. Komashchenko, Yu. I. Razorenov, N. G. Valiev

63 EFFICIENCY INCREASE OF THE EXCAVATOR WALKING MECHANISM
N. M. Suslov, V. A. Borovkov, P. A. Kas'yanov

67 THE DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED MONITORING SYSTEM FOR THE OPERATING PARAMETERS OF A DOWNHOLE DRILLING MACHINE WITH A SUBMERSIBLE ELECTRIC MOTOR
S. N. Kostarev, T. G. Sereda

71 ENHANCEMENT OF THE BODIES OF DESTRUCTION OF HEADING-AND-WINNING MACHINES OF THE"URAL" TYPE
D. I. Shishlyannikov

75 ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВАЛОВ ШАХТНЫХ СЕКЦИОННЫХ НАСОСОВ
С. А. Тимухин, Е. О. Чураков, А. О. Ислентьев

78 РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ
В. М. Марасанов, Г. П. Дылдин

82 ЗАКОНЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ДЕСТРУКЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
А. В. Жабко

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

88 ЭКОНОМИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
В. В. Балашенко

92 ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ, ФОРМИРУЮЩИХ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ
О. В. Косолапов, Л. В. Власова

96 ОСОБЕННОСТИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПОРТФЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ФИНАНСОВО-ОПЕРАЦИОННОГО ПОДХОДА
П. П. Крылатков, В. А. Шабалина, Н. Е. Калинина

104 КОНЦЕПЦИЯ CDIO КАК ОСНОВА ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ИТОГИ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИИ
Р. А. Долженко

109 МЕТОДЫ ПОВЫШАТЕЛЬНОЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РЕНОВАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Ф. Я. Леготин, Д. Н. Григорьев

ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА НА УРАЛЕ

114 ОНИ БЫЛИ ПЕРВЫМИ, ИЛИ ДОРОГИ, КОТОРЫЕ НАС ВЫБИРАЮТ
В. В. Филатов

118 УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ПРОФЕССОРА ВЛАДИМИРА ЗИНОВЬЕВИЧА КОЗИНА
Ю. А. Поленов

ИСТОРИЯ УГГУ

120 УРАЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА. К 80-ЛЕТИЮ
Д. А. Клейменов, Ю. А. Поленов, В. В. Григорьев, В. И. Кайнов, Л. И. Позднякова

124 ЗДАНИЯ УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО (Ч. 2)
А. Г. Шорин

ИНФОРМАЦИЯ

138 О МЕРОПРИЯТИИ, ОРГАНИЗОВАННОМ КОНЦЕРНОМ "ШЕЛЛ"

75 EVALUATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF SHAFTS OF MINE SECTION PUMPS
S. A. Timukhin, E. O. Churakov, A. O. Islent'ev

78 ROTATION SPEED REGULATOR OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE CONE CRUSHER
V. M. Marasanov, G. P. Dyldin

82 LAWS OF PLASTIC DEFORMATION AND DESTRUCTION OF SOLIDS
A. V. Zhabko

ECONOMIC SCIENCES

88 SAVING WATER RESOURCES IN THE DEVELOPMENT OF PLACER DEPOSITS
V. V. Balashenko

92 ASSESSMENT OF THE INFLUENCE FACTORS THAT FORM THE ECONOMIC DAMAGE
O. V. Kosolapov, L. V. Vlasova

96 FEATURES OF RESTRUCTURING OF THE BUSINESS PORTFOLIO OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE ON THE BASIS OF A FINANCIAL AND OPERATIONAL APPROACH
P. P. Krylatkov, V. A. Shabalina, N. E. Kalinina

104 CDIO CONCEPT AS THE BASIS OF ENGINEERING EDUCATION: INTERIM RESULTS AND DIRECTIONS FOR FURTHER USE IN RUSSIA
R. A. Dolzhenko

109 METHODS OF UPWARD INVESTMENT AND INNOVATION ACTIVITY OF RENOVATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT
F. Ya. Legotin, D. N. Grigor'ev

HISTORY OF MINING IN THE URALS

114 THEY WERE THE FIRST, OR THE ROADS THAT WE CHOOSE (ABOUT THE FIRST GEOPHYSICISTS OF OUR UNIVERSITY)
V. V. Filatov

118 URAL MINING ENCYCLOPEDIA BY PROFESSOR VLADIMIR ZINOV'EVICH KOZIN
Yu. A. Polenov

HISTORY OF THE URSMU

120 URAL GEOLOGICAL MUSEUM IN THE URAL STATE MINING UNIVERSITY. TO THE 80TH ANNIVERSARY
D. A. Kleymenov, Yu. A. Polenov, V. V. Grigor'ev, V. I. Kaynov, L. I. Pozdnyakova

124 BUILDINGS OF THE URAL MINING UNIVERSITY (PART 2)
A. G. Shorin

INFORMATION

138 ABOUT THE ACTIVITY ORGANIZED BY THE "SHELL" CONCERN

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 553.491.8:553.062

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-7-12

CHEMICAL AND Os-ISOTOPE COMPOSITION OF PLATINUM-GROUP MINERAL ASSEMBLAGES FROM THE KIMBERLEY CONGLOMERATE FORMATION (WITWATERSRAND BASIN, SOUTH AFRICA)

I. Yu. Badanina, K. N. Malitch, A. V. Antonov, I. N. Kapitonov, V. V. Khiller, S. M. Tuganova, R. K. W. Merkle

Химический и Os-изотопный состав минеральных ассоциаций платиноидов конгломератной формации Кимберли (Витватерсрандский бассейн, Южная Африка)

И. Ю. Баданина, К. Н. Малич, А. В. Антонов, И. Н. Капитонов, В. В. Хиллер, С. М. Туганова, Р. К. В. Меркле

Комплексные Os–Au–U палеороссыпи Витватерсрандского бассейна, известные как Витватерсрандские рифы, разрабатываются уже более ста лет. С целью уточнения источников рудного вещества, продолжительности и условий образования платиноидной минерализации Витватерсрандского бассейна в статье обсуждаются оригинальные данные по химическому и Os-изотопному составу в минералах платиновой группы (МПГ) из золотоносной конгломератной формации Кимберли, расположенной в верхнем отделе Центрального Ранда (Turffontein Subgroup of the Central Rand Group). Для исследования платиноидной минерализации применен комплекс методов, включающий рентгеноспектральный микроанализ, лазерную абляцию и масс-спектрометрию с ионизацией в индуктивно-связанной плазме. Величина $^{187}Os/^{188}Os$ в единичных зернах МПГ различного состава (рутения, осмия, иридия, рутениридосмина, лаурита, эрликманита, поликомпонентных твердых растворов системы Ru–Os–Ir–Pt ± Fe) варьирует в пределах от 0,10481 ± 0,00006 до 0,10895 ± 0,00006; $^{187}Re/^{188}Os$ менее 0,0004. Изученная выборка МПГ образована двумя основными группами, которые характеризуются средними значениями $^{187}Os/^{188}Os$, равными 0,10510 ± 0,00026 (n =11) и 0,10682 ± 0,00046 (n = 23) с подчиненным кластером значений $^{187}Os/^{188}Os$ 0,10871 ± 0,00034 (n = 2). Для сосуществующих Os-содержащих МПГ в составе полиминеральных агрегатов выявлен одинаковый Os-изотопный состав для Ir-содержащего осмия и эрликманита ($^{187}Os/^{188}Os$ = 0,10482 ± 0,00002 и 0,10483 ± 0,00002 соответственно), Os–Ru–Ir–Pt сплава и лаурита ($^{187}Os/^{188}Os$ = 0,10528 ± 0,00002 и 0,10533 ± 0,00003 соответственно). $^{187}Os/^{188}Os$ возрасты МПГ, рассчитанные с использованием модели хондритового резервуара CHUR (Chen et al., 1998), варьируют в пределах 2,73–3,33 млрд лет. Средние модельные возрасты T_{MA}^{CHUR} для двух основных групп МПГ оказались равными 3,250±0.035 и 3,018 ± 0,062 млрд лет. Третий возрастной кластер 2,762 ± 0,046 млрд лет образован подчиненной по распространенности группой МПГ. Новые результаты свидетельствуют в пользу: 1) высокотемпературной природы образования Ru–Os–Ir–Pt сплавов, поликомпонентных твердых растворов системы Ru–Os–Ir–Pt (± Fe) и RuOs сульфидов, 2) сходства начального изотопного состава осмия в сосуществующих Os-содержащих сплавах и Ru–Os сульфидах, 3) субхондритового архейского источника рудного вещества и 4) обломочного происхождения изученных МПГ.

Ключевые слова: Os–Ru–Ir–Pt сплавы; Ru–Os сульфиды; Os-изотопный состав; условия образования; конгломератная формация Кимберли; Витватерсрандский бассейн; Южная Африка.

Complex Os–Au–U paleoplacers of the Witwatersrand basin, known as the Witwatersrand reefs, have been mined for more than a hundred years. In order to clarify the sources of ore matter, the duration and conditions for formation of platinum-group element (PGE) mineralization this study presents the original data on chemical and Os-isotopic composition in platinum-group minerals (PGM) derived from the Kimberley gold-bearing conglomerate formation located in the upper section of the Central Rand (Turffontein Subgroup of The Central Rand Group). The study employed a number of analytical techniques including electron microprobe analysis, laser ablation and mass spectrometry with ionization in inductively coupled plasma. The $^{187}Os/^{188}Os$ value in individual PGM grains of various compositions (ruthenium, osmium, iridium, rutheniridosmine, laurite, erlichmanite, unnamed polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt ± Fe system) was found to range from 0.10481 ± 0.00006 to 0.10895 ± 0.00006, and $^{187}Re/^{188}Os$ lower than 0.0004. The studied PGM assemblage is represented by two main groups with mean $^{187}Os/^{188}Os$ values of 0.10510±0.00026 (n = 11) and 0.10682±0.00046 (n = 23), and a subordinate $^{187}Os/^{188}Os$ cluster of 0.10871 ± 0.00034 (n = 2). The Os-isotope results identify similar $^{187}Os/^{188}Os$ values for coexisting Os-bearing PGM pairs including Os-rich alloy and erlichmanite (i. e., 0.10482 ± 0.00002 and 0.10483 ± 0.00002, respectively), Os–Ru–Ir–Pt alloy and laurite (0.10528 ± 0.00002 and 0.10533 ± 0.00003, respectively). $^{187}Os/^{188}Os$ ages of the PGM, calculated relative to a chondrite universal reservoir (CHUR) model (Chen et al., 1998), vary between 2.73 and 3.33 Ga. Two main PGM groups have mean model T_{MA}^{CHUR} ages of 3.250 ± 0.035 and 3.018 ± 0.062 Ga. Subordinate-PGM group is characterized by the third age cluster (2.762 ± 0.046 Ga). The obtained results are consistent with: (i) high-temperature formation of the studied Ru–Os–Ir–Pt alloys, polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt (± Fe) system and Ru–Os sulfides, (ii) similarity of the initial Os-isotope composition in coexisting Os-rich alloys and Ru-Os sulfides, (iii) subhondritic Archaean source of platinum-group elements (PGE), and (iv) clastic origin of the studied PGM.

Keywords: Os–Ru–Ir–Pt alloys; Ru–Os sulfides; Os-isotopic composition; formation conditions; Kimberley conglomerate formation; Witwatersrand basin; South Africa.

Introduction

The complex Os–Au–U paleoplacers of the Witwatersrand Basin, known as the Witwatersrand reefs [1], have been mined for more than 100 years. They are one of the main suppliers of gold and osmium to the world market. Osmium-rich platinum-group minerals (PGMs) are obtained as a co-product during gold mining within the goldfields of the Witwatersrand Basin. PGMs described in situ in the Witwatersrand lithified formations or in production concentrates have typical sizes ranging from ~ 70μm to ~ 150 μm. The characteristics of their material composition and the conditions for the formation of PGM assemblages are given in a number of publications [2–4 etc.]. First Os-isotopic data on Ru-Os-Ir alloys from the Witwatersrand basin revealed significant variations of $^{187}Os/^{188}Os$ values (0.0987 to 0.1649 [3, 5, 6]).

In order to clarify the source of the ore material, the duration and conditions of formation of Os-bearing PGMs at Witwatersrand we discuss the original data on the chemical and isotopic composition of Os-bearing alloys and sulfides from the Kimberley conglomerate formation (Fig. 1). The information on genetic features of the formation of PGM data is given taking into account the revealed composition of rarely occurring unnamed polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt (± Fe) system. The new results are consistent with: (i) high-temperature formation of Ru–Os–Ir–Pt alloys, unnamed polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt (± Fe) system and Ru–

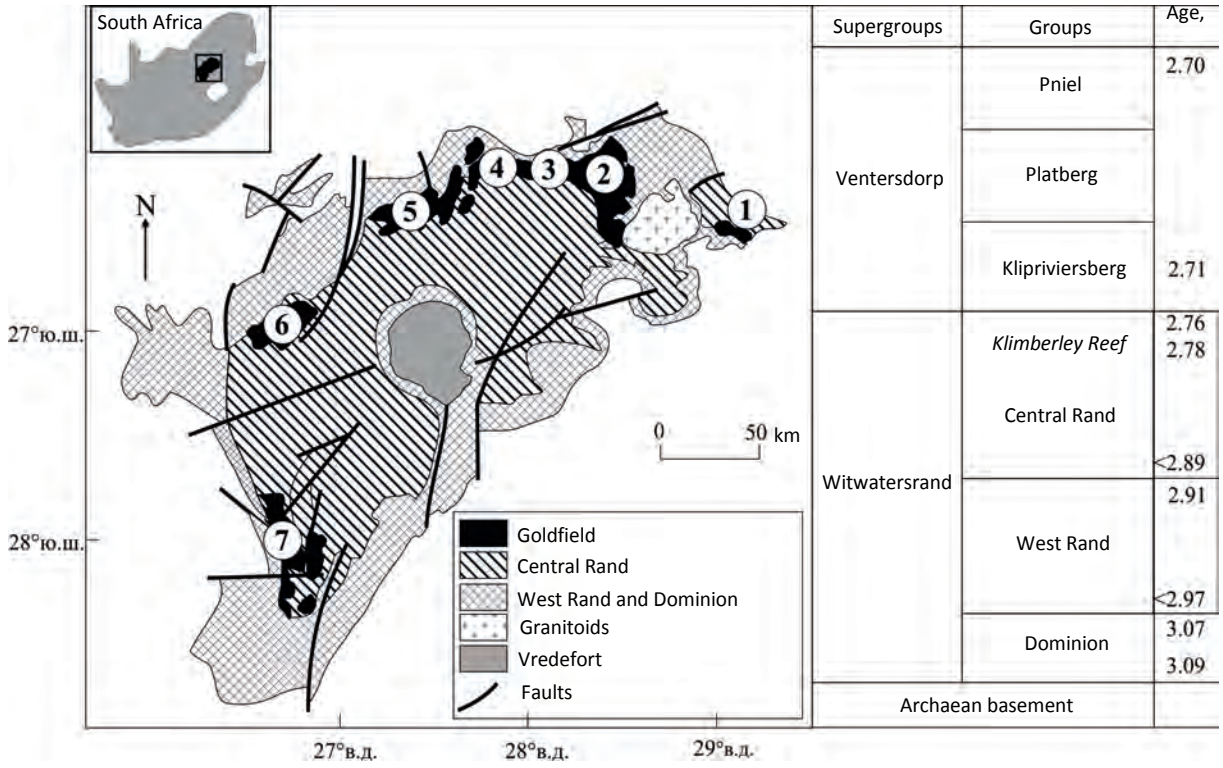


Figure 1. Schematic map of the Witwatersrand basin and location of the main goldfields (1 – Evander, 2 – East Rand, 3 – Central Rand, 4 – West Rand, 5 – Carletonville, 6 – Klerksdorp, 7 – Welkom) after [7]. The stratigraphic column shows the position of the Kimberley gold-bearing conglomerate formation (Kimberley Reef), from which the PGMs were taken for our study.

Os sulfides, (ii) the subhondritic Archaean source of platinum-group elements (PGE), and (iii) the clastic origin of the studied PGMs.

Subject of research and geological characteristics

The Witwatersrand Basin is an erosional remnant of a much larger basin, formed over a long period of time (3074–2714 Ma ago) in the central and southern parts of the Kaapval Craton [8, 9]. It extends in the northeast – southwest direction for 300 km, with a width of about 100 km, and consists of a thick (> 7 km) succession of quartzites, slates, and conglomerates that have a distinctive rhythmic structure [1]. In the section of sedimentary strata, the conglomerates make up less than 0.2% of the total thickness, forming 16 separate horizons (reefs) bearing gold and uranium mineralization accompanied by PGMs. The main resources of gold and PGE are restricted to conglomerates of the Central Rand Group; their mining is carried out by a mine method within seven goldfields: Evander, East Rand, Central Rand, West Rand, Carletonville, Klerksdorp and Welkom (Fig. 1).

A representative selection of 450 PGM grains in the range from 60 to 150 micrometers is derived from a production concentrate from the Kimberley gold-bearing conglomerate formation (or the Kimberley Reef) located in the upper part of the Central Rand Group (Turffontein Subgroup of The Central Rand Group) [10]. The time interval of deposition of the Central Rand sediments did not exceed 230 Ma and is constrained by the overlying volcanic rocks of the Ventersdorp Supergroup dated at ~ 2710 Ma [8, 11].

Analytical methods

Chemical composition of PGMs was studied using electron microprobe analysis (ARL-SEMQ, University of Leoben, Austria; CamScan MX2500, VSEGEI, St. Petersburg; CAMECA SX 100, IGG UB RAS, Ekaterinburg). For quantitative analyses, an accelerating voltage of 15 kV, a beam current of 20 nA, and a beam diameter of approximately 1–2 μm was used. The following X-ray spectral lines and standards were employed: OsMα, IrLα, RuLα, RhLα, PtLα, PdLß, NiKα (all native element standards), FeKα, CuKα, SKα (all chalcopyrite), AsLα (InAs alloy). Corrections were performed for the interferences involving Ru–As, Ru–Rh and Ir–Cu (RuLα for AsLα, RuLβ for Rh Lα, IrLl for CuKα). In total, 550 analyses were performed. The initial Os-isotope compositions in individual PGMs were determined using laser ablation attached to a multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (MC ICP-MS, mass spectrometer Neptune at the All-Russian Geological Research Institute, St. Petersburg). Ablation was carried out with a spot size ranging from 30 to 80 μm, a pulse frequency of 8–20 Hz, and typical run duration of 40–72 s. Measured isotope ratios were normalized by taking into account mass-fractionation effects. The mass-bias correction was performed using $^{189}Os/^{188}Os$ = 1.21978 [12]. In total, 36 analyses were carried out. A detailed description of analytical methods is given in a number of papers [13–17].

Results of the study

Chemical composition of Os-containing alloys and Ru–Os sulfides. Ru–Os–Ir (± Pt) alloys in monomineralic grains or polymineralic assemblages (Fig. 2) form the main population of the PGMs studied. For Ru–Os–Ir (± Pt) alloys, significant intra-grain compositional variations have been observed. According to the nomenclature of D. Harris and L. Cabri [18], minerals of ruthenium predominate over the minerals of osmium, iridium and rutheniridosmine (Fig. 3, Table 1, an. 1, 12). Ru–Os sulfides found in polymineralic grains (Fig. 2, *f*) correspond to laurite and erlichmanite, which form a continuous series of solid solutions (Ru# varies from 100 to 24, Table 1, an. 13, 14). The uncommon polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt (±Fe) system have been determined to be present both as monomineralic and polymineralic grains (Fig. 2, *a–e*). Polyphase aggregates commonly contain a core formed by unnamed polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt (± Fe) system enveloped by sperrylite ($PtAs_2$), and rarely by Ru–Os sulfides or Ru–Os–Ir–Rh sulfoarsenides. Among the polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt (±Fe) system the following varieties have been identified in the order of their prevalence: (Ru, Os, Ir, Pt), (Ru, Pt, Os, Ir), (Ru, Os, Pt, Ir), (Ru, Ir, Os, Pt, Fe), (Ru, Pt, Ir), (Ru, Pt, Fe), (Os, Ru, Ir, Pt), (Os, Ru, Ir, Pt), (Ir, Os, Ru, Pt), (Ru, Pt), (Pt, Ru, Fe), (Pt, Ru, Os, Fe), (Pt, Fe, Ru), (Pt, Ru) and others (Fig. 2, *a–e*, Table 1, an. 2–11).

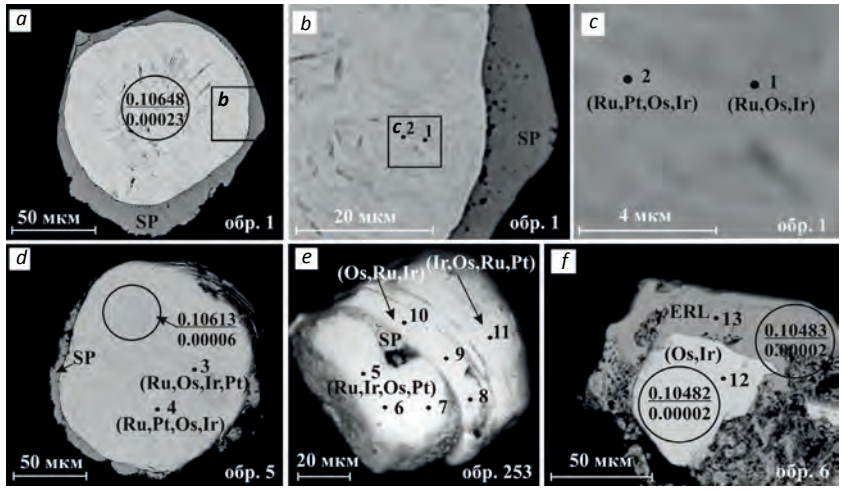


Figure 2. Back-scattered electron images showing the internal textures of the PGM assemblages from the Kimberley conglomerate formation. Numbers 1–13 denote areas of electron microprobe analyses corresponding to the same numbers in Table 1. Circles indicate the location of Os-isotope analyses; numbers in the numerator and denominator correspond to the $^{187}Os/^{188}Os$ value and the measurement error, respectively.

The initial Os isotopic composition of Os-bearing alloys and Ru–Os sulfides. The $^{187}Os/^{188}Os$ value in individual PGM grains of different compositions (ruthenium, osmium, iridium, laurite, erlichmanite and other minerals of the Ru–Os–Ir–Pt–Fe system) varies from 0.10481 ± 0.00006 to 0.10895 ± 0.00006 (Table 2), and $^{187}Re/^{188}Os$ less than 0.0004. According to the calculations carried out with ISOPLOT program [19], two main groups of PGMs can be identified (Table 3, Fig. 4, *a*), with the mean $^{187}Os/^{188}Os$ values of 0.10510 ± 0.00026 (n = 11) and 0.10682 ± 0.00046 (n = 23), respectively (calculated errors are within 95% confidence level). The third subordinate cluster is characterized by a mean $^{187}Os/^{188}Os$ of 0.10871 ± 0.00034 (n = 2). No correlation between chemical composition and isotope content of the samples was discovered within the limits of the experimental precision. Osmium-isotope compositions of optically homogeneous PGM crystals range, as a rule, over the same interval as those of PGM associations consisting of a core and a rim (Table 2). The Os-isotope results identify similar $^{187}Os/^{188}Os$ values for coexisting Os-bearing PGM pairs including Os-rich alloy and erlichmanite (i. e., 0.10482 ± 0.00002 and 0.10483 ± 0.00002, respectively, Fig. 2, *f*; Table 2, an. 5, 6), Os–Ru–Ir–Pt alloy and laurite (0.10528 ± 0.00002 and 0.10533 ± 0.00003, respectively, Table 2, an. 12, 13). Model ages of PGMs, calculated relative to a chondrite universal reservoir (CHUR) model [20], vary within 2.73–3.33 Ga (Table 2). Two main PGM groups have mean model T_{MA}^{CHUR} ages of 3.250 ± 0.035 and 3.018 ± 0.062 Ga, whereas subordinate PGM group is characterized by the third age cluster (2.762 ± 0.046 Ga, Table 3, Fig. 4, *b*).

Discussion of results

To explain the origin of more than 96,000 tons of gold contained in the basin [22], the three models / hypotheses have been proposed.

1. Placer model assumes that noble metal mineralization is a detrital material from an older granite-greenstone source area, which has been mechanically transported into the basin and concentrated by fluvial/deltaic processes [23–27 etc.].

2. The modified placer model assigns a significant role to hydrothermal processes for most of the gold/PGM. In this model, alluvial gold and associated PGMs should have been mobilized by hydrothermal or metamorphic fluids, and locally re-precipitated together with other minerals [9, 28, 29 etc.].

Table 1. Chemical compositions of platinum-group minerals from the Kimberley conglomerate formation.

Analysis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Sample	1	1	5	5	253	253	353	253	253	253	253	6	6	101
Figure 2	*b, c*	*b, c*	*d*	*d*	*e*	*e*	*e*	*e*	*e*	*e*	*e*	*f*	*f*	–
							Wt. %							
Fe	0.00	1.39	0.25	0.54	2.72	2.43	2.56	0.48	0.34	0.24	2.99	0.16	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.58	0.23	0.00	0.17	0.30	0.00	0.18	0.19	0.00	0.00	0.00
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ru	40.46	32.97	35.76	28.38	16.98	17.10	16.56	17.76	18.05	16.78	13.87	0.00	8.23	57.90
Rh	0.00	0.00	2.00	2.19	0.17	0.14	0.25	0.16	0.14	0.14	0.14	0.00	0.00	2.19
Os	28.00	23.36	34.21	19.50	28.42	30.48	29.41	46.06	45.94	45.98	29.04	64.63	49.07	0.44
Ir	25.97	18.28	16.77	14.15	30.68	30.13	30.90	26.21	27.03	27.58	30.05	34.34	16.17	0.64
Pt	4.51	24.00	11.02	34.66	20.31	18.95	19.73	9.03	8.41	8.84	23.14	0.00	0.00	0.00
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.49	38.29
Total	98.94	100.00	100.01	100.00	99.51	99.23	99.58	100.00	99.91	99.74	99.42	99.13	99.96	99.46
							Atom %							
Fe	0.00	3.60	0.64	1.43	7.67	6.93	7.21	1.40	1.00	0.71	8.59	0.55	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	1.46	0.62	0.00	0.46	0.83	0.00	0.51	0.52	0.00	0.00	0.00
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ru	56.72	47.13	50.45	41.58	26.44	26.94	26.41	28.53	29.21	27.43	22.03	0.00	6.52	31.93
Rh	0.00	0.00	2.77	3.15	0.26	0.21	0.37	0.25	0.23	0.22	0.21	0.00	0.00	1.19
Os	20.86	17.75	25.64	15.18	23.51	25.51	24.33	39.33	39.51	39.94	24.51	65.18	20.64	0.13
Ir	19.14	13.74	12.44	10.90	25.12	24.95	25.30	22.14	23.00	23.70	25.10	34.27	6.73	0.18
Pt	3.28	17.78	8.05	26.30	16.38	15.46	15.92	7.52	7.05	7.49	19.04	0.00	0.00	0.00
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.11	66.57
Ru#	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	24	100

Note. Concentrations of Pd, Cu, and As are below the detection limit of EMPA; Ru# of Ru–Os of sulfides is equal to 100 * Ru at. % / (Ru + Os) at. %.
1 – (Ru, Os, Ir), 2 and 4 – (Ru, Pt, Os, Ir), 3 and 6 – (Ru, Os, Ir, Pt), 4 and 7 – (Ru, Ir, Os, Pt), 8–10 – (Os, Ru, Ir), 11 – (Ir, Os, Ru, Pt), an. 12 – Ir-bearing osmium, an. 13 – erlichmanite, an. 14 – laurite.

Table 2. Initial Os-isotope composition and model T_{MA}^{CHUR} age of PGMs from the Kimberley conglomerate formation.

№ analysis	Sample number, Figure number	Mineral assemblages	$^{187}Os/^{188}Os$	1σ	T_{MA}^{CHUR}, Ga	1σ
1	W1-1, fig. 2, *a–c*	(Ru, Pt, Os, Ir) + (Ru, Os, Ir) + SP	0.10648	0.00029	3.064	0.039
2	W1-2	(Ru, Ir, Os, Pt) + SP	0.10651	0.00010	3.060	0.014
3	W1-3	(Os, Ru, Ir, Pt) + SP	0.10657	0.00008	3.051	0.011
4	W1-5, fig. 2, *d*	(Ru, Os, Pt, Ir) + (Ru, Pt, Os, Ir) + SP	0.10613	0.00006	3.111	0.008
5	W1-6_1, fig. 2, *f*	(Os, Ir) + ERL	0.10482	0.00002	3.287	0.002
6	W1-6_2, fig. 2, *f*	ERL + (Os, Ir)	0.10483	0.00002	3.286	0.002
7	W1-7	(Ru, Os, Ir, Pt) + SP	0.10565	0.00004	3.175	0.006
8	W1-9	(Ru, Os, Pt, Ir) + SP	0.10500	0.00006	3.263	0.008
9	W1-12	(Ru, Ir, Pt, Os) + SP	0.10595	0.00012	3.135	0.016
10	W1-15	(Ru, Ir, Pt, Os) + SP	0.10481	0.00006	3.288	0.008
11	W1-17	(Ru, Os, Ir, Pt) + SP	0.10749	0.00006	2.927	0.007
12	W1-20_1	(Os, Ru, Ir, Pt) + LR + SP	0.10528	0.00002	3.225	0.002
13	W1-20_2	LR + (Os, Ru, Ir, Pt) + SP	0.10533	0.00003	3.218	0.004
14	W1-24	(Ru, Pt, Os, Ir) + LR + SP	0.10512	0.00013	3.247	0.017
15	W1-25	(Ru, Pt, Ir, Os) + SP	0.10694	0.00020	3.002	0.027
16	W1-26	(Ru, Os, Ir, Pt) + (Ru, Ir, Pt, Os) + SP	0.10678	0.00011	3.023	0.015
17	W1-27	(Ru, Os, Ir, Pt) + SP	0.10732	0.00015	2.950	0.020
18	W1-28	(Ru, Pt, Os, Ir) + SP	0.10774	0.00031	2.893	0.042
19	W1-33	(Ru, Os, Ir) + (Ru, Os, Ir, Pt) + SP	0.10685	0.00010	3.014	0.014
20	W1-37	(Ru, Pt, Ir, Os) + SP	0.10619	0.00017	3.103	0.022
21	W1-51	(Os, Ru, Ir) + PTS-IRS	0.10736	0.00003	2.945	0.005
22	W1-52	(Ru, Pt, Os, Ir) + SP	0.10691	0.00005	3.006	0.006
23	W1-57	(Ru, Os, Ir, Pt) + SP	0.10504	0.00005	3.257	0.006
24	W1-58	(Ru, Os, Ir, Pt) + SP	0.10641	0.00006	3.073	0.008
25	W1-62	(Ru, Os, Pt, Ir) + SP	0.10713	0.00006	2.976	0.008
26	W1-63	(Ru, Pt, Os, Ir) + (Pt, Ru, Os, Fe) + SP	0.10521	0.00002	3.235	0.003
27	W1-68	LR	0.10496	0.00005	3.268	0.007
28	W1-69	(Ru, Pt, Ir, Os) + SP	0.10704	0.00063	2.988	0.085
29	W1-71	(Pt, Ru, Os, Fe)	0.10847	0.00013	2.795	0.017
30	W1-75	(Ru, Pt, Os, Ir)	0.10710	0.00006	2.980	0.008
31	W1-80	(Ru, Os, Ir, Pt) + LR	0.10691	0.00005	3.006	0.006
32	W1-82	(Ru, Pt, Ir, Os) + SP	0.10679	0.00006	3.022	0.008
33	W1-84	(Ru, Pt, Os, Ir) + SP	0.10895	0.00006	2.730	0.009
34	W1-85	(Ru, Pt, Ir) + SP	0.10713	0.00012	2.976	0.016
35	W1-89	(Os, Ru, Ir) + SP	0.10626	0.00005	3.093	0.006
36	W1-91	(Ru, Ir, Pt, Os) + SP	0.10684	0.00011	3.015	0.015

Note. T_{MA}^{CHUR} is the model age calculated taking into account the isotopic composition of osmium in CHUR after [20] and the decay constant of ^{187}Re, $\lambda = 1.666*10^{-11}$ $year^{-1}$ according to [21]. (Ru, Os, Ir) – ruthenium; (Ru, Os, Pt, Ir), (Ru, Pt, Os, Ir), (Ru, Os, Ir, Pt), (Ru, Ir, Os, Pt), (Ru, Ir, Pt, Os), (Ru, Pt, Ir), (Ru, Pt), (Pt, Ru, Os, Fe) – polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt (± Fe) system; (Os, Ir), (Os, Ir, Ru) – osmium; LR – laurite; ERL – erlichmanite; SP – sperrylite; PTS-IRS – Pt–Ir sulfoarsenides of the platarsite-irarsite series.

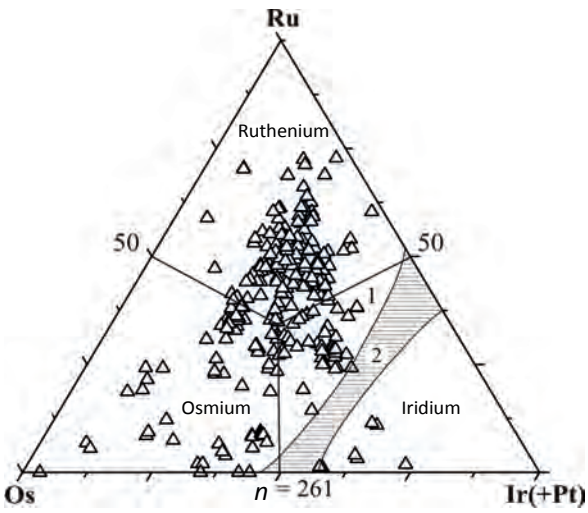


Figure 3. Chemical composition of PGMs from the Kimberley conglomerate formation in the diagram (at. %) Ru–Os–Ir(+Pt). 1 and 2 denote areas of rutheniridosmine and miscibility gap, respectively [18].

3. The metamorphic / hydrothermal model proposes that noble metal mineralization was transported in solutions from outside the basin by metamorphic or hydrothermal fluids after the formation of the basin [30–33 etc.].

The possibility of determining the time of formation of different ore minerals allowed testing these hypotheses [3, 6, 34–37]. During the studying of the Re–Os isotope system of gold and pyrite, several studies established [34, 35] that the isochronal age of ore minerals turned out to be older than the age of the basin deposits, consistent with their clastic origin. Pilot studies of Ru–Os–Ir alloys from the Evander goldfield came to similar conclusions [3, 5]. Studies aiming on pyrite dating [36, 37] established that this mineral is younger than the age of the basin deposits and interpreted the results in the framework of the modified placer model, which is consistent with some results of the study of Os–Ir Witwatersrand alloys [6].

In contrast to the previously obtained results on mineralogical characteristics of the PGE mineralization of Witwatersrand [2, 38 etc.], we documented a considerable occurrence of ruthenium-rich alloys, which predominate over osmium minerals [(Os, Ru, Ir), (Os, Ir) and Os], iridium [(Ir, Os), (Ir, Ru, Os) and Ir], rutheniridosmine (Ir, Os, Ru), Ru–Os sulfides and other PGMs. Ru–Os–Ir (± Pt) alloys of the Kimberley conglomerate formation are characterized by lower

Table 3. Os-isotopic statistics for the PGM groups of the Kimberley conglomerate formation.

PGM group	$^{187}Os/^{188}Os$				Model T_{MA}^{CHUR} age			
	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation	Minimum	Maximum
1, *n* = 11	0.10510	0.00026	0.10481	0.10565	3.250	0.035	3.175	3.288
2, *n* = 23	0.10682	0.00046	0.10595	0.10774	3.018	0.062	2.893	3.135
3, *n* = 2	0.10871	0.00034	0.10847	0.10895	2.762	0.046	2.730	2.795

than typical bulk (Os + Ir)/(Ru + Pt + Rh) value, mainly due to the elevated contents of Ru and Pt in Ru–Os–Ir–Pt alloys.

According to J. Bird and W. Basset [39], the presence of a ruthenium trend for chemical compositions of the Ru–Os–Ir (± Pt) alloys of the Witwatersrand Basin (Fig. 3) indicates the formation of these minerals under high pressures within mantle-deep interiors. The high-temperature nature of the formation of Ru–Os sulfides has been confirmed experimentally [40]. The upper thermal stability of laurite was estimated at 1200–1250 °C and $\log f S_2 = -1$; whereas the upper thermal stability of laurite in equilibrium with Os-rich alloys was estimated at 1200–1250 °C and $\log f(S_2)$ ranging from –0.39 to –0.07 [40].

Since the $^{187}Re/^{188}Os$ value in all the studied samples was less than 0.0004, the isotopic effects caused by *in situ* radioactive decay of ^{187}Re is negligible. Variations in the isotopic composition of osmium in individual PGM grains from the Kimberley gold-bearing conglomerate formation ($^{187}Os/^{188}Os$ from 0.10481 to 0.10895) turned out to be close to Os-isotope compositions of the PGM of the Evander and Welkom goldfields located respectively in the eastern and southern parts of the Witwatersrand basin [3, 5, 6]. However, the PGMs of the Welkom goldfield are characterized by a wider range of $^{187}Os/^{188}Os$, including the suprachondritic $^{187}Os/^{188}Os$ values (0.1056–0.1649 [3, 6]). Platinum-group minerals from the Evander goldfield mainly have subchondritic $^{187}Os/^{188}Os$ values (0.1052-0.1091, *n* = 22 [3, 5]), with a subset of least 'radiogenic' subchondritic $^{187}Os/^{188}Os$ values found for the three PGM grains within the Witwatersrand basin (0.0987–0.1024, *n* = 3 [3]). The mean $^{187}Os/^{188}Os$ values and T_{MA}^{CHUR} ages of the main PGM groups of the Kimberley conglomerate formation (Table 3), obtained using the LA MC-ICP MS method, within the error match the Os-isotopic parameters of PGMs from the Evander goldfield characterized by the N-TIMS method ($^{187}Os/^{188}Os = 0.1053 \pm 0.0001$, T_{MA}^{CHUR} = 3.222 Ga, *n* = 11 and $^{187}Os/^{188}Os = 0.1065 \pm 0.0003$, T_{MA}^{CHUR} = 3.060 Ga, *n* = 8, respectively [3, 5]).

Presence of the age-varying PGMs in placers, the formation of which occurred at various tectonomagmatic stages of the geological history of the Earth, is characteristic for many placer deposits [16, 17, 41–46 etc.]. The revealed variability of T_{MA}^{CHUR} ages is consistent with the presence of global stages for PGE mineralization formation controlled by deep geodynamic processes in the mantle [47, 48 etc.]. The coincidence of the Archaean datings for the Witwatersrand goldfields argue for repeated ore-forming processes in the early history of the Earth. The identified Os-isotopic ages of Ru–Os–Ir–Pt alloys, Ru–Os sulfides and unnamed polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt–Fe system from the Kimberley conglomerate formation are the evidence of the clastic (placer) origin of PGE mineralization, confirming the high stability of the Os-isotopic system of PGM to secondary processes, widely manifested within the Witwatersrand Basin.

Conclusions

The compositional and isotopic characteristics of the studied PGM assemblages are consistent with: (i) high-temperature formation of Ru–Os–Ir–Pt alloys, unnamed polycomponent solid solutions of the Ru–Os–Ir–Pt (± Fe) and Ru–Os sulfides, (ii) similarity of the initial Os-isotope composition in coexisting Os-bearing alloys and Ru-Os sulfides, (iii) subhondritic Archaean source of platinum-group elements and (iv) possibility of using $^{187}Os/^{188}Os$ ages of PGMs to discriminate between models of formation of noble metal mineralization from the Witwatersrand basin. Thus, the identified mineral assemblages containing refractory PGE are a unique source of information on mantle processes in the early history of the Earth.

Acknowledgments. This study was supported by RFBR (grant No. 15-05-08332-a) and the Agency of Natural Resources of the Krasnoyarsk Territory (state contract 7F-TAO/2005).

REFERENCES

1. Du Toit A. L. 1954, Geology of South Africa. Edinburgh, London, 611 p.
2. Feather C. E. 1976, Mineralogy of platinum-group minerals in the Witwatersrand, South Africa. Economic Geology, vol. 71, pp. 1399–1428.
3. Malitch K. N., Merkle R. K. W. 2004, Ru–Os–Ir–Pt and Pt–Fe alloys from the Evander Goldfield (Witwatersrand Basin, South Africa): detrital origin inferred from compositional and osmium isotope data. Canadian Mineralogist, vol. 42, pp. 631–650.
4. Merkle R. K. W., Franklyn C. B. 1999, Milli-PIXE determination of trace elements in osmium rich platinum group minerals from the Witwatersrand basin, South Africa. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, vol. 158, pp. 156–161.
5. Malitch K. N., Kostoyanov A. I., Merkle R. K. V. 2000, *Veshchestvennyy sostav i osmievaya izotopiya platinoidnoy mineralizatsii Vostochnogo Vitvatersranda (Yuzhnaya Afrika)* [Material composition and osmium isotopes of PGE mineralization of Eastern Witwatersrand (South Africa)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposits], vol. 42, no. 3, pp. 281–295 (in Russian).
6. Hart S. R., Kinloch E. D. 1989, Osmium isotope systematics in Witwatersrand and Bushveld ore deposits. Economic Geology, vol. 84, pp. 1651–1655.
7. Frimmel H. E., Minter W. E. L. 2002, Recent developments concerning the geological history and genesis of the Witwatersrand gold deposits, South Africa. Society of Economic Geologists. Special Publication 9, pp. 17–45.
8. Robb L. J., Davis D. W., Kamo S. L. 1990, U–Pb ages on single detrital zircon grains from the Witwatersrand Basin, South Africa: constraints on the age of sedimentation and on the evolution of granites adjacent to the basin. The Journal of

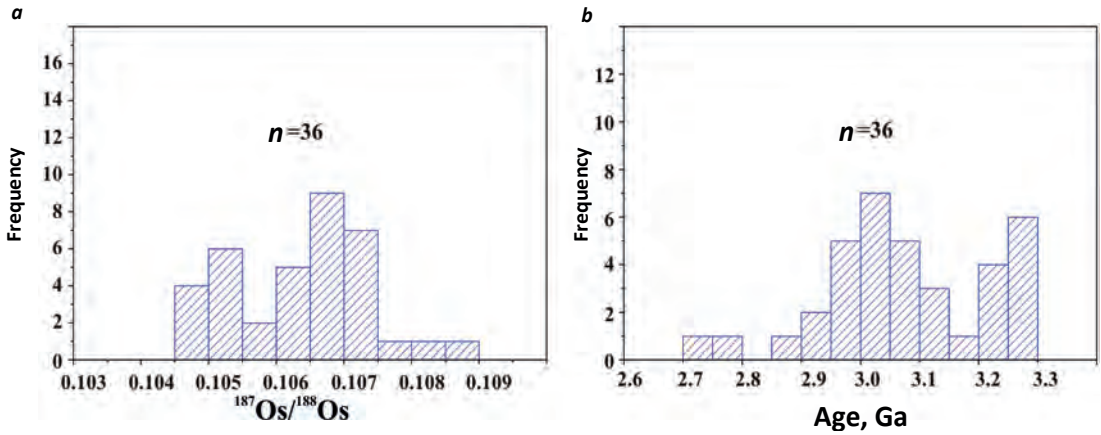


Figure 4. Relative probability histograms for: (*a*) Os-isotopic composition of PGMs and (*b*) model T_{MA}^{CHUR} age of PGMs from the Kimberley conglomerate formation.

Geology, vol. 98, pp. 311–328.
9. Robb L. J., Meyer F. M. 1995, The Witwatersrand Basin, South Africa: Geologic framework and mineralization processes. Ore Geology Reviews, vol. 10, pp. 67–94.
10. Tweedie E. B. 1986, The Evander Goldfield. In: Mineral Deposits of Southern Africa. Geological Society of South Africa, Johannesburg, vol. 1, pp. 705–730.
11. Barton E. S., Compston W., Williams I. S., Bristow J. W., Hallbauer D. K., Smith C. B. 1989, Provenance ages for the Witwatersrand Supergroup and the Ventersdorp contact reef: constraints from ion microprobe U–Pb ages of detrital zircons. Economic Geology, vol. 84, pp. 2012–2019.
12. Rosman K. J. R., Taylor P. D. P. 1998, Isotopic composition of the elements 1997. Pure and Applied Chemistry, vol. 70, pp. 217–235.
13. Badanina I. Yu., Malitch K. N., Murzin V. V., Khiller V. V., Glavatskikh S. P. 2013, *Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti platinoidnoy mineralizatsii Verkh-Neyvinskogo dunit-gartsburgitovogo massiva (Srednyi Ural, Rossiya)* [Mineralogical and geochemical features of platinum mineralization of the Verkh-Neivinsk dunite-harzburgite massif (Middle Urals, Russia)]. *Trudy Instituta geologii i geokhimii imeni akad. A. N. Zavaritskogo UrO RAN* [Proceedings of the Institute of geology and geochemistry named after academician A. N. Zavaritsky], no. 160, pp. 188–192 (in Russian).
14. Badanina I. Yu., Malitch K. N., Lord R. A., Belousova E. A., Meisel T. C. 2016, Closed-system behaviour of the Re–Os isotope system recorded in primary and secondary PGM assemblages: evidence from a mantle chromitite at Harold's Grave (Shetland ophiolite Somplex, Scotland). Ore Geology Reviews, vol. 75, pp. 174–185.
15. Malitch K. N., Melcher F., Muhlhans H. 2001, Palladium and gold mineralization in podiform chromitite at Kraubath, Austria. Mineralogy and Petrology, vol. 73, pp. 247–277.
16. Nowell G. M., Pearson D. G., Parman S. W., Luguet A., Hanski E. 2008, Precise and accurate $^{186}Os/^{188}Os$ and $^{187}Os/^{188}Os$ measurements by Multi-collector Plasma Ionisation Mass Spectrometry, part II: Laser ablation and its application to single-grain Pt–Os and Re–Os geochronology. Chemical Geology, vol. 248, pp. 394–426.
17. Pearson D. G., Parman S. W., Nowell G. M. 2007, A link between large mantle melting events and continent growth seen in osmium isotopes. Nature, vol. 449, pp. 202–205.
18. Harris D. C., Cabri L. J. 1991, Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision. Canadian Mineralogist, vol. 29, pp. 231–237.
19. Ludwig K. R. 2003, User's Manual for ISOPLOT/Ex 3.00. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, no. 4, 70 p.
20. Chen J. H., Papanastassiou D. A., Wasserburg G. J. 1998, Re–Os systematics in chondrites and the fractionation of the platinum-group elements in the early solar system. Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 62. pp. 3379–3392.
21. Smoliar M. I., Walker R. J., Morgan J. W. 1996, Re–Os ages of group IIA, IIIA, IVA, and IVB meteorites. Science, vol. 271, pp. 1099–1102.
22. Frimmel H. E. 2014, A giant Mesoarchean crustal gold-enrichment episode: Possible causes and consequences for exploration. Society of Economic Geologists. Special Publication, vol. 18, pp. 209–234.
23. Depiné M, Frimmel H. E., Emsbo P., Koenig A. E., Kern M. 2013, Trace element distribution in uraninite from Mesoarchaean Witwatersrand conglomerates (South Africa) supports placer model and magmatogenic source. Mineralium Deposita, vol. 48, pp. 423–435.
24. Hallbauer D. K., Utter T. 1977, Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent river deposits and the fossil placers of the Witwatersrand. Mineralium Deposita, vol. 12, pp. 296–306.
25. Horscroft F. D. M., Mossman D. J., Reimer T. O., Hennigh Q. 2011, Witwatersrand metallogenesis: The case for (modified) syngenesis. Society for Sedimentary Geology (SEPM) Special Publication, vol. 101, pp. 75–95.
26. Mellor E. T. 1916, The conglomerates of Witwatersrand. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, vol. 25, pp. 226–348.
27. Minter W. E. L. 1999, Irrefutable detrital origin of Witwatersrand gold and evidence of eolian signatures. Economic Geology, vol. 94, pp. 665–670.
28. Frimmel H. E., Gartz V. H. 1997, Witwatersrand gold particle chemistry matches model of metamorphosed, hydrothermally altered placer deposits. Mineralium Deposita, vol. 32, pp. 523–530.
29. Frimmel H. E., Groves D. I., Kirk J., Ruiz J., Chesley J., Minter W. E. L. 2005, The formation and preservation of the Witwatersrand goldfields, the world's largest gold province. Economic Geology 100th Anniversary Volume, pp. 769–797.
30. Barnicoat A. C., Henderson I. H. C., Knipe R. J., Yardley B. W. D., Napier R. W., Fox N. P. C., Kenyon A. K., Muntingh D. J., Strydom D., Winkler K. S., Lawrence S. R., Cornford C. 1997, Hydrothermal gold mineralization in the Witwatersrand basin. Nature, vol. 386, pp. 820–824.
31. Graton L. C. 1930, Hydrothermal origin of the Rand gold deposits. Part I. Testimony of the conglomerates. Economic Geology, vol. 25, pp. 1–185.
32. Phillips G. N., Law J. D. M. 2000, Witwatersrand gold fields: Geology, genesis and exploration. Society of Economic Geologists Reviews, vol. 13, pp. 439–500.
33. Phillips G. N., Powell R. 2011, Origin of Witwatersrand gold: A metamorphic devolatilisation-hydrothermal replacement model: Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Applied Earth Sciences, section B, vol. 120, pp. 112–129.
34. Kirk J., Ruiz J., Chesley J., Titley S., Walshe J. A 2001, Detrital model for the origin of gold and sulfides in the Witwatersrand basin based on Re-Os isotopes. Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 65, pp. 2149–2159.
35. Kirk J., Ruiz J., Chesley J., Walshe J., England G. 2002, A major Archean gold and crust-forming event in the Kaapvaal craton, South Africa. Science, vol. 297, pp. 1856–1858.
36. Mathur R., Gauert C, Ruiz J., Linton P. 2013, Evidence for mixing of Re–Os isotopes at <2.7Ga and support of a remobilized placer model in Witwatersrand sulfides and native Au. Lithos, vol.164–167, pp. 65–73.
37. Schaefer B. F., Pearson D. G., Rogers N. W., Barnicoat A. C. 2010, Re–Os isotope and PGE constraints on the timing and origin of gold mineralization in the Witwatersrand basin. Chemical Geology, vol. 276, pp. 88–94.
38. Cousins C. A. 1973, Platinoids in the Witwatersrand system. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 73, pp. 184–199.
39. Bird J. M., Bassett W. A. 1980, Evidence of a deep mantle history in terrestrial osmium-iridium-ruthenium alloys. Journal of Geophysical Research, vol. 85 pp. 5461–5470.
40. Andrews D. R. A., Brenan J. M. 2002, Phase-equilibrium constraints on the magmatic origin of laurite and Os–Ir alloy. Canadian Mineralogist, vol. 40, pp. 1705–1716.
41. Badanina I. Yu., Malitch K. N., Belousova E. A., Murzin V. V., Lord R. A. 2014, *Osmievo-izotopnaya sistematika Ru–Os–Ir splavov i Ru–Os sul'fidov dunit-gartsburgitovykh massivov: sintez novykh dannykh* [Osmium-isotopic systematics of Ru–Os–Ir alloys and Ru–Os sulfides from dunite-harzburgite massifs: synthesis of new data]. *Trudy Instituta geologii i geokhimii imeni akad. A. N. Zavaritskogo UrO RAN* [Proceedings of the institute of geology and geochemistry named after academician A. N. Zavaritsky], no. 161, pp. 167–172 (in Russian).
42. Kostoyanov A. I. 1998, *Model'niy Re–Os vozrast samorodnykh platinovykh mineralov* [Model Re–Os age of native platinum minerals]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposits], vol. 40, no. 6, pp. 540–545 (in Russian).
43. Malitch K. N., Badanina I. Yu. 1999, *Khimicheskiy sostav i osmievaya izotopiya Ru-Os-Ir splavov Kunarskogo dunit-gartsburgitovogo kompleksa (severo-vostochnyy Taymyr, Rossiya)* [Chemical composition and osmium isotopes of Ru-Os-Ir alloys of the Kunar dunite-harzburgite complex (north-eastern Taimyr, Russia)]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], no. 1, pp. 24–29 (in Russian).
44. Malitch K. N., Kostoyanov A. I. 1999, *Model'niy Re–Os-vozrast platinoidnoy mineralizatsii Gulinskogo massiva (sever Sibirskoy platformy, Rossiya)* [Model Re–Os-age of PGE mineralization of the Guli Massif (north of the Siberian Platform, Russia)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposits], no. 2, pp. 143–153 (in Russian).
45. Okrugin A. V., Kostoyanov A. I., Shevchenko S. S., Lazarenkov V. G. 2006, *Model'nyy Re–Os-vozrast mineralov platinovoy gruppy iz "vilyuyskikh" rossypey vostoka Sibirskoy platformy* [Model Re–Os-age of platinum-group minerals from the "Vilyuyskie" placers of the East of the Siberian platform]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences], vol. 410, no. 3, pp. 372–375 (in Russian).
46. Rudashevskiy N. S., Kostoyanov A. I., Rudashevskiy V. N. 1999, *Mineralogicheskie i izotopnye svidetel'stva proiskhozhdeniya massivov al'pinotipnoy formatsii (na primere Ust'-Bel'skogo massiva, Koryakskoe nagor'e)* [Mineralogical and isotope evidences of the origin of the Alpine-type massifs (on the example of the Ust'-Bel'sky Massif, Koryak Upland)]. *Zapiski VMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], vol. 128, no. 4, pp. 11–28 (in Russian).
47. Carlson R. W. 2002, Osmium remembers. Science, vol. 296, pp. 475–477.
48. Dobretsov N. L., Kirdyashkin A. G. 1998, Deep-Level Geodynamics. Swets and Zeitlinger, Rotterdam, Netherlands, 328 p.

Инна Юрьевна Баданина,
innabadanina@yandex.ru
Крешимир Ненадович Малич,
dunite@yandex.ru
Вера Витальевна Хиллер,
hilvervit@mail.ru
Институт геологии и геохимии УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Антон Владимирович Антонов,
Anton_Antonov@vsegei.ru
Игорь Николаевич Капитонов,
Igor_Kapitonov@vsegei.ru
Светлана Муратовна Туганова
Всероссийский научно-исследовательский
геологический институт
Россия, Санкт-Петербург, В. О., Средний просп., 72

Роланд Карл Вилли Меркле,
Университет Претории
Южная Африка, Претория, Elandspoort 357-Jr

Inna Yur'evna Badanina,
innabadanina@yandex.ru
Kreshimir Nenadovitch Malitch,
dunite@yandex.ru
Vera Vital'evna Khiller,
hilvervit@mail.ru
Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

Anton Vladimirovich Antonov,
Anton_Antonov@vsegei.ru
Igor' Nikolaevich Kapitonov,
Igor_Kapitonov@vsegei.ru
Svetlana Muratovna Tuganova
All-Russian Geological Research Institute
St. Petersburg, Russia

Roland Karl Willi Merkle,
University of Pretoria
Pretoria, South Africa

УДК 553.41.+551.311.231(470.5)

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-13-22

ЗОЛОТОНОСНЫЕ ОБЪЕКТЫ ГИПОГЕННО-ГИПЕРГЕННОГО ТИПА НА УРАЛЕ. КОНВЕРГЕНТНОСТЬ ПРИЗНАКОВ ИХ ОТЛИЧИЯ ОТ РУДОНОСНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

А. Г. Баранников, О. Б. Азовскова

Gold-bearing objects of hypogene-supergene type in the Urals. Convergence of signs of their difference from ore-bearing weathering crusts

A. G. Barannikov, O. B. Azovskova

At the present stage, gold-sulphide-quartz objects of a veined type are not enough to allow successful implementation of prospects for expanding the resource base for ore gold within the Ural region. It is necessary to orient prospecting and exploration work to identify and evaluate new (non-traditional) types of gold mineralization. These include objects of hypogene-supergene type (HST), established in recent years within the ore-bearing structures of the Urals. The term "hypogene-supergene" reflects such a type of gold deposits, in the formation of which endogenous and exogenous ore-forming processes occurred approximately in the same time and space. The article describes the characteristics of some HST objects located in the Middle and Northern Urals, the features of their geological structure, and mineralogical and geochemical indications of ore content. The peculiarity of HST objects manifests in the following: peculiarities of the form and conditions of occurrence of ore deposits (plastoid and lenticular forms predominate); Absence of distinct lithological boundaries of ore bodies; The dominance of small and fine gold, a wide range of variations in the samples; "Non-standard" structure of geochemical ore haloes. The complexity of separation of clay rocks, corresponding to hydrothermal low-temperature metasomatites and chemical weathering crusts, consists in the necessity of substantiating their identifying features (both similarities and differences). A number of these features have inherent convergence. In addition to geological, mineralogical-petrological and geochemical features, the study of typomorphism and petrochemical typology of native gold becomes important. The authors argue that an objective assessment of the relative role of low-temperature hydrothermal metasomatites of the argillizite formation and products of chemical weathering has, at the present stage, not only scientific, but also applied significance for the purposeful conduct of geological exploration work.

Keywords: gold; argillizites; weathering crust; hypogene-supergene type; convergence.

Перспективы расширения сырьевой базы по рудному золоту в пределах Уральского региона не могут быть успешно реализованы на современном этапе за счет золото-сульфидно-кварцевых объектов жильного типа. Необходима ориентация поисковых и разведочных работ на выявление и оценку новых (нетрадиционных) типов золотого оруденения. К ним можно отнести объекты гипогенно-гипергенного типа (ГГТ), установленные в последние годы в пределах рудовмещающих структур Урала. Термин «гипогенно-гипергенный» отражает тип золоторудных месторождений, при формировании которых эндогенные и экзогенные рудообразующие процессы были сближенными или сопряженными как во времени, так и в пространстве. В статье приведена характеристика некоторых объектов ГГТ, расположенных на Среднем и Северном Урале; рассмотрены особенности их геологического строения, минералого-геохимические признаки рудоносности. Своеобразие объектов ГГТ проявляется в следующем: особенности формы и условий залегания рудных залежей (преобладают пластообразные и линзовидные); отсутствие отчетливых литологических границ рудных тел; доминирование мелкого и тонкого золота, широкий диапазон колебаний пробности; «нестандартное» строение геохимических околорудных ореолов. Сложность разделения глинистых пород, отвечающих гидротермальным низкотемпературным метасоматитам и химическим корам выветривания, заключается в необходимости обоснования идентифицирующих их признаков (как сходства, так и различия). Ряду этих признаков свойственна конвергентность. Помимо геологических, минералого-петрологических и геохимических признаков большое значение приобретает исследование типоморфизма и типохимизма самородного золота. Утверждается, что объективная оценка относительной роли низкотемпературных гидротермальных метасоматитов аргиллизитовой формации и продуктов химического выветривания имеет на современном этапе не только научное, но и прикладное значение для целенаправленного проведения геологоразведочных работ.

Ключевые слова: золото; аргиллизиты; коры выветривания; гипогенно-гипергенный тип; конвергентность.

Актуальность обсуждаемой проблемы

В связи с высокой геологической и минерагенической изученностью Уральского региона фонд известных месторождений золото-сульфидно-кварцевой формации жильного типа к настоящему времени близок к исчерпанию. За длительный период промышленного освоения (начиная с середины XVIII в.) большая часть их уже освоена или законсервирована из-за нерентабельности отработки глубоких горизонтов. Отмеченное остро обозначило проблему определения рациональных направлений при проведении прогнозно-поисковых и оценочных работ как на ближайшую, так и отдаленную перспективу. При этом необходимы новые подходы, опирающиеся на современные минерагенические концепции, новые предлагаемые прогнозно-поисковые модели, новые методы изучения вещественных комплексов, также учитывающие современные технологии переработки золотосодержащих пород.

Согласно существующим представлениям [1, 2], золотое оруденение на Урале формировалось в связи с вещественными комплексами различных геодинамических обстановок: континентального рифтогенеза, океанического спрединга, островных

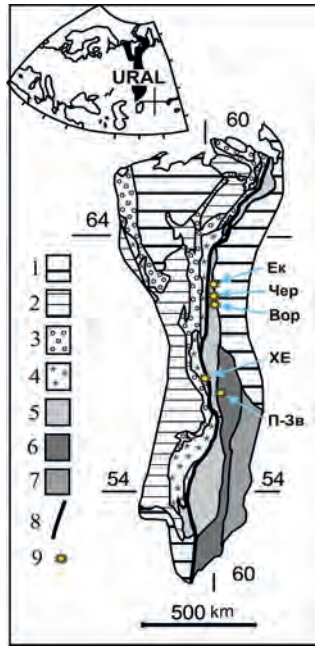


Рисунок 1. Положение исследованных объектов в структурах Урала. 1 – мезозойско-кайнозойские отложения; 2 – Предуральский прогиб. Мегазоны (3 – Западно-Уральская, 4 – Центрально-Уральская, 5 – Тагильская и Магнитогорская, 6 – Восточно-Уральская, 7 – Зауральская); 8 – Главный Уральский глубинный разлом; 9 – объекты исследований: Ек – Екатерининский рудно-россыпный узел, Чер – Чернореченский участок, Вор – Воронцовское месторождение, ХЕ – Хионинско-Елизаветинское рудное поле, П-Зв – Первомайско-Зверевское рудное поле (Верхотурское и Зверевское месторождения). *Структурная основа по Г. А. Петрову, 2011.*

Таблица 1. Критерии сходства и различия гидротермальных аргиллизитов и кор химического выветривания на примере Светлинского месторождения (по О. Н. Грязнову и др., 1995, с упрощением).

Критерии	Признаки, свидетельствующие в пользу	
	гидротермальных аргиллизитов	продуктов химического выветривания
Геологический	*Направленная метасоматическая зональность*: продукты наиболее полных изменений во внутренних зонах ореолов сменяются к периферии менее интенсивными преобразованиями пород	*Прямая метасоматическая зональность*: глинистые и охристо-глинистые продукты верхней части разреза последовательно сменяются на глубину зоной промежуточных продуктов и зоной дезинтеграции
Минералого-петрографический	Последовательное замещение исходных пород хлоритом и карбонатом, затем калиевой гидрослюдой (часто политипии $2M_1$), монтмориллонитом, каолинитом. Присутствие переотложенного кварца во внутренних зонах ореолов. Минеральные ассоциации стадии осаждения: кварц (нередко бипирамидальный; в ореолах – «рисовидного» облика), пеннин, сидерит, пирит, цеолиты. Отсутствие щебнистых пород зоны дезинтеграции	Формирование в структурных КВ щебнистых пород зоны дезинтеграции, дресвяных пород зоны промежуточных продуктов, затем глинистых с участием охр; сохранение структурного рисунка пород. В аргиллизитах он тоже часто сохраняется. В зонах дезинтеграции и промежуточных продуктов происходит гидратация слюд с образованием гидробиотита, гидрофлогопита политипии $1M_1$ и сопутствующих гидрохлорита, лимонита по пириту. Кварц обохрен, корродирован. Последовательность преобразований в профиле КВ: плагиоклаз и серицит замещаются каолинитом, хлорит переходит в гидрохлорит-монтмориллонит и гидроксиды железа, затем в каолинит; карбонаты и пирит замещаются гидроксидами железа, цеолит – халцедоном (опалом)
Петрохимический	Активный вынос породообразующих оксидов из исходных пород (FeO, MgO, CaO, K_2O). Некоторое накопление полуторных оксидов (TiO_2, Al_2O_3) в стадию сопряженного отложения. Присутствие минералов-индикаторов (самородного золота, пирита, ассоциации глинистых минералов и др.)	Вынос щелочных и щелочноземельных компонентов, кремнезема из материнских пород. На примере кварц-биотит-амфиболовых пород в зоне глинистых продуктов относительный вынос составил: SiO_2 – 15,9 %; MgO – 95,0 %, CaO – 95,1 %; Na_2O – 97,8 %; K_2O – 100 %; накопление полуторных оксидов: TiO_2 – на 58,1 %, Al_2O_3 – на 41,6 %. Кремниевый модуль (Al_2O_3/ SiO_2) возрос с 0,37 до 0,76
Геохимический	Широкий рудный геохимический спектр – Au, Ag, As, Sb, Hg, Pb, Bi, W, Cu, Zn, Ba	Существенный вынос элементов-индикаторов из глинистого элювия и некоторая их остаточная концентрация в продуктах промежуточной зоны профиля КВ

дуг, континентальной окраины (в надсубдукционных вулканоплутонических поясах), коллизии. Золоторудные объекты крупного масштаба, как правило, являются полигенными и полихронными. Этапы их становления обычно отвечают различным геодинамическим режимам.

В последние годы накоплен значительный по объему фактический материал, позволяющий утверждать, что золотообразующие процессы проявили себя в регионе не только на наиболее позднем (коллизионном), но и на постколлизионном этапе развития – в мезозое [3–9]. Однако эта точка зрения разделяется не всеми [1, 2]. Продуктами проявленной в мезозое тектономагматической активизации (ТМА) являются рудоносные метасоматиты золото-аргиллизитовой формации, отчасти золото-джаспероидной (авторами она рассматривается как фация единой метасоматической колонки). В транскрипции современных геотектонических концепций применительно к особенностям подвижных складчатых поясов эти рудообразующие процессы могут быть сопоставлены с *режимом постколлизионного рифтогенеза.* Отмеченные месторождения и рудопроявления следует рассматривать в ранге нового, нетрадиционного для региона типа золотого оруденения.

Само понятие – «нетрадиционный тип оруденения» – достаточно обширное. Оно имеет геолого-экономический смысл и может неоднократно изменяться со временем. К числу слабо изученных и недостаточно оцененных в регионе типов золотого оруденения можно отнести прожилковое и прожилково-вкрапленное в углеродсодержащих («черносланцевых») толщах, обычно отвечающее золото-сульфидной, золото-сульфидно-кварцевой формациям; оруденение золото-порфирового, золото-медно-порфирового типа; локально развитые проявления золото-известково-силикатной и золото-родингитовой формаций; золотоносные химические коры выветривания; оруденение золото-аргиллизитовой формации.

Процессы аргиллизации могли проявлять себя неоднократно в геологической истории формирования рудовмещающих структур. Ареалы низкотемпературных изменений связаны как с гидротермальной аргиллизицией пород, так и с сольфатарно-фумарольными изменениями вулканогенно-осадочных толщ [7]. На примере раннекаменноугольных углеродсодержищих пород в пределах рифтогенных структур Южного Урала обосновывается *гидротермально-осадочная модель формирования* золото-сульфидных залежей пластово-линзовидной формы, связанных со *стратоидной аргиллизацией и джаспероидизацией толщ* [10]. Появление рудных тел в разрезе этих толщ объясняется воздействием подводных поствулканических металлоносных флюидов на слабо литифицированные терригенно-осадочные и карбонатные породы. Возникшие при этом золотоносные тела могли быть позднее нарушены подводными оползнями. При перемешивании с терригенными породами возникали микститовые горизонты, отвечающие определенным литолого-стратиграфическим уровням.

В рамках предлагаемой публикации остановимся на характеристике лишь тех объектов, формирование которых есть основания параллелизовать с «молодыми» (постколлизионными гидротермально-метасоматическими) процессами мезозоя [3–5, 9, 11]. Наиболее активно они проявили себя на заключительных этапах развития рудоконтролирующих структур. На современном уровне изученности проблемы можно выделить две стадии проявления ТМА: ранняя P_2–J_1 и поздняя J_2–K_2. По данным, приведенным в работах В. С. Шуба, вполне возможно проявление в отдельных структурных зонах и наиболее поздней неоген-четвертичной (N–Q) стадии активизации.

Оптимальные условия для формирования золотоносных метасоматитов существовали в локальных геологических структурах, когда наложенные телетермальные низкотемпературные процессы проявили себя в объеме структурно-вещественных комплексов, уже содержащих благороднометалльную минерализацию. Под воздействием гидротерм могло происходить переотложение золота (порой неоднократное), его концентрация и(или) вовлечение в новые гидротермально-метасоматические циклы, что способствовало формированию полигенного и полихронного оруденения.

Минералого-геохимическое изучение золоторудных объектов (выполненное в ряде случаев в совокупности с палеогеоморфологическими реконструкциями), приуроченных к так называемым «глинизированным» породам, позволило выделить своеобразные для региона золотопроявления «гипогенно-гипергенного» типа, отделяя их по механизму формирования от

Таблица 2. Типоморфизм и типохимизм самородного золота ряда объектов гипогенно-гипергенного типа.

Объект исследований	Изученные типы руд	Крупность золота	Морфология золотых частиц и иные особенности	Состав золота
Воронцовское месторождение (зона заполненного мезозойского карста)	Гетерогенные золотоносные породы (коры выветривания и аргиллизиты)	Преобладает мелкий и тонкий класс крупности. Выход свободного золота – 50–90 %	Доминирует золото объемной формы (комковидно-гнездовой, комковидно-угловатой), реже уплощенное, брусковидное и т. д. Часты идиоморфные и гемиидиоморфные выделения. В ряде золотин отмечены борозды (признаки перемещения), срастание с сопутствующими в коренных породах минералами. Золото зон аргиллизации имеет зональное строение, крайне изменчивую пробность. Присутствует гипергенное золото	Широкий диапазон колебаний пробы – от < 500 до 950–980 ‰ при общем преобладании среднепробного золота. Примеси – Cu (0,1–1,0 %), Hg – до (5,51 %)
Екатерининский рудно-россыпный узел	Рудоносные аргиллизиты, коры выветривания	В аргиллизитах золото мелкое, тонкое и пылевидное. Выход свободного золота до 86 %. В корах выветривания преобладают средние классы крупности металла	В аргиллизитах присутствует металл удлиненной и удлиненно-уплощенной формы (до 60 %), комковидный и уплощенно-комковидный (до 25 %), кристаллы, дендритоиды и др. (15 %). Отмечено срастание золота с глинистыми минералами, карбонатом. Присутствует золото «не характерного» для региона состава: губчатое ртутистое, сурьмянистое, оловянистое	Высокий диапазон колебания пробы (от 740 до 990 ‰). Примеси – Cu (0,12 %), Sb – (0,19 %), Fe (до 0,21 %). В остаточных корах – проба от 857 до 893 ‰; примеси – Cu (0,02 %), Fe (0,04 %)
Первомайско-Зверевское рудное поле	Рудоносные коры выветривания, минерализованные зоны аргиллизитов	В корах выветривания – золото средних и мелких классов крупности. В аргиллизитах преобладает золото мелкое и тонкое	В корах выветривания – золото объемной формы (комковидно-гнездовой, комковидно-угловатой, уплощенно-комковидной), реже уплощенное (прожилково-чешуйчатое и др.). Золотины обохрены, содержат гипергенные пленки. В аргиллизитах – выделения гемиидиоморфные, скелетные кристаллы, зерна зонального строения, неоднородное строение (структуры распада системы Au–Ag). Зерна «псевдоокатанные», «оплавленного» облика, гипергенное золото	Широкий диапазон колебания пробы. В корах выветривания – преимущественно 700–800 ‰, в аргиллизитах – 266–699 ‰. Проба «горчичного» гипергенного золота 556 ‰

золотоносных химических кор выветривания. Малоглубинные низкотемпературные процессы золотого рудогенеза протекали в обстановке, отражающей суммарный эффект воздействия как восходящих ювенильных растворов, так и нисходящих высокореакционных метеорных вод. Именно этот смысл следует вкладывать в *понятие гипогенно-гипергенный тип (ГГТ) оруденения, когда эндогенные и экзогенные процессы оказывались сближенными или сопряженными как во времени, так и в пространстве.*

К настоящему времени в регионе установлено более 40 золотосодержащих объектов ГГТ. Для некоторых из них выявлена закономерная пространственная связь с мезозойскими эрозионно-структурными депрессиями [11] и глубинными разломными структурами [12]. Предлагаются три основные модели формирования оруденения этого типа, при которых рудообразующие малоглубинные процессы: а) завершали формирование уже возникших рудных концентраций с образованием своеобразных по форме и составу рудных скоплений полигенного и полихронного типа; б) проявились автономно и способствовали формированию рассеянных промышленных концентраций рудного компонента; в) проявились автономно и не привели к появлению промышленно значимых скоплений. Золоторудные объекты и проявления ГГТ выявлены во всех структурно-формационных зонах и в вещественных комплексах различных геодинамических обстановок. Это свидетельствует в пользу регионального, а не узколокального характера этих процессов.

Своеобразие объектов ГГТ заключается в том, что возможны различные пространственно-временные соотношения процессов низкотемпературного метасоматоза (аргиллизации) и химического выветривания. В одних случаях коры выветривания (КВ) накладываются на уже сформированные аргиллизиты, в других отмечается обратная последовательность. Но чаще процессы аргиллизации и корообразования являются субсинхронными, сопряженными в пределах единых рудолокализующих структур. Это определяет актуальность разработки критериев и признаков идентификации золотопроявлений ГГТ. Задача усложняется наличием *сходства* и *конвергентности* ряда характеристик низкотемпературных метасоматитов и КВ.

Особенности состава и строения объектов ГГТ изложены в публикациях авторов [5, 6, 11, 12]. Остановимся на рассмотрении лишь некоторых из них (рис. 1).

Краткая характеристика ряда объектов гипогенно-гипергенного типа

Екатерининский рудно-россыпный узел расположен на восточном склоне Северного Урала в пределах Тагильской мегазоны, в западном обрамлении шовной зоны Серовско-Маукского глубинного разлома. Поисковыми работами в пределах рудно-россыпного узла выявлено оруденение с промышленно значимыми концентрациями золота (0,5–7,0 г/т). Обнаруженные минерализованные зоны пространственно тяготеют к крупному Лозьвинскому разлому. В области его влияния установлены субмеридиональные и сдвиго-надвиговые нарушения, приуроченные к контактам карбонатных и вулканогенных пород (D_{1-2}). Выявлены участки интенсивной трещиноватости и брекчирования, сопровождаемые развитием линейных химических кор выветривания и глубокого заполненного карста, а также зон развития низкотемпературного метасоматоза. Примечательно, что рудоносность связана не только с накоплением остаточного золота в глинистом мезозойском элювии, но и с низкотемпературным рудно-метасоматическим процессом аргиллизации. Их сочетание привело к формированию сложных по составу и строению гетерогенных минералого-геохимических полей. Этим объясняется то, что обработка и анализ геологических данных на основе традиционных методик оценки рудоносных КВ не дает удовлетворительных результатов и не позволяет обосновывать аргументированный геологический прогноз.

На основе обобщения материалов поисковых работ, документации и опробования забоев гидравлических карьеров и керна скважин, а также выполненных минералого-геохимических исследований предложена геолого-генетическая модель последовательности развития рудообразующих процессов в пределах рудно-россыпного узла [13, 14]. Выявленные в пределах узла

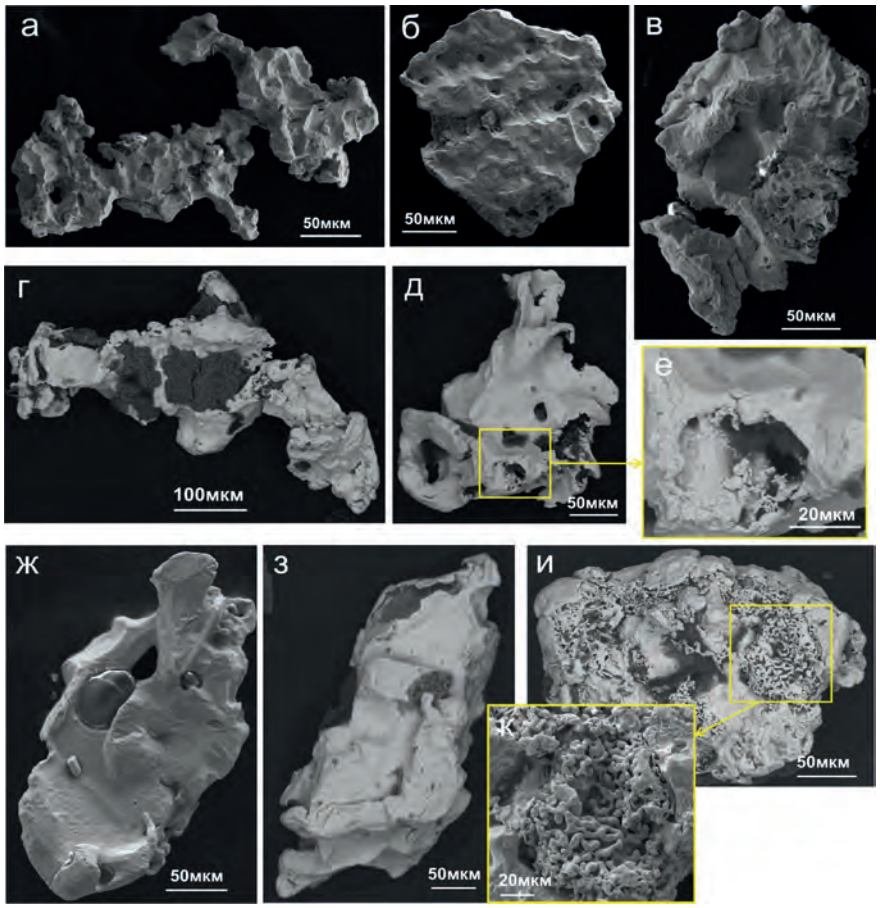


Рисунок 2. Морфология частиц самородного золота в зоне мезозойского элювия (Верхотурский и Зверевский участки). а, б, в – золото из кор выветривания «остаточного типа»; г–з – золото из зон аргиллизации; и, к – гипергенные пленки губчатого строения на поверхности низкопробного золота («а–е» – Зверевское месторождение, «ж–к» – Верхотурское месторождение). *Снято в режиме SEI (а, б, в, ж, к) и BES (г, д, е, з, и), вторичные и отраженные электроны).*

золотопроявления представлены наклонно- и крутозалегающими минерализованными зонами в остаточных корах выветривания, развитыми по вулканогенно-осадочными породам, а также пластообразными метасоматическими залежами в рыхлых породах мезозойского карста. Самородное золото в минерализованных зонах преимущественно пылевидное и тонкодисперсное. Особенности формы, химического состава золота, типоморфное значение этих параметров охарактеризованы ниже.

Чернореченский участок находится в пределах той же структурно-формационной зоны на северном фланге Краснотурьинского рудного района. Оруденение выявлено в пределах «залеченной» сдвиго-надвиговой структуры, располагающейся субпараллельно Серовско-Маукскому глубинному разлому [15]. Восточнее надвига располагаются породы базальт-трахиандезитовой формации краснотурьинской свиты раннего девона. По зоне разлома они полого (20°–45°) надвинуты на юрские континентальные отложения лангурской свиты (J_{2-3}), в нижней части разреза которых разведана золотоносная россыпь (в настоящее время большей частью отработанная). Золотоносность, связанная с процессами аргиллизации, тяготеет к аллохтону сдвиго-надвига. Оруденение отнесено к прожилково-вкрапленному типу золото-аргиллизитовой формации. Минералого-геохимическое изучение аргиллизитов позволило выявить типоморфные ассоциации минералов в объеме рудоносных зон. Стадии кислотного выщелачивания свойственны серицит-хлорит, гидрослюды, смектит, хлорит-монтмориллонит. В позднещелочную стадию (сопряженного рудоотложения) отмечено выделение анкерит-сидерита, хлорита (пеннина), пирита (мелких сложных форм), бипирамидального кварца, тонкого (до 20–30 мкм) высокопробного золота (930‰–950 ‰). Последнее нередко встречается в сростках с теллуридами (теллуровисмутином, тетрадимитом, калаверитом и др.) Среди сульфидов отмечены халькопирит, галенит, сфалерит, марказит и др.

Самородное золото, присутствующее в россыпях Чернореченского участка, существенно отличается от аргиллизитового по гранулометрии и составу. По данным ситового анализа (выполненного А. В. Лапиковой), на долю крупной и средней фракций приходится 77,8 %, на долю мелкой и тонкой – 22,2 %. Наиболее крупные выделения золота (массой до 465,3 мг) находятся в срастании с кварцем, содержат его включения. Проба золота колеблется в пределах 836–887 ‰. Нет сомнения, что основными коренными источниками россыпей (юрского, раннемиоценового и четвертичного возраста) являлись коренные источники золото-сульфидно-кварцевого типа, генетически связанные с метасоматитами березит-лиственитовой формации. На уровне современного эрозионного среза кварцево-жильные тела большей частью оказались эродированными, а мелкое и тонкое золото зон аргиллизации в россыпеобразующем процессе уже задействовано не было.

Следует отметить слабую выветрелость брекчированных рудовмещающих пород в зоне надвига. Окисленность сульфидов в них низкая и проявляется в появлении пленок побежалости. Сказанное свидетельствует о том, что рудоносные процессы в зоне сдвига-надвига были более поздними, нежели широко проявившееся на прилегающих площадях химическое выветривание пород в юрско-меловую эпоху.

В настоящее время на участке ведутся разведочные работы.

Воронцовское золоторудное месторождение расположено на Северном Урале, в восточной части Тагильской мегазоны, попа-

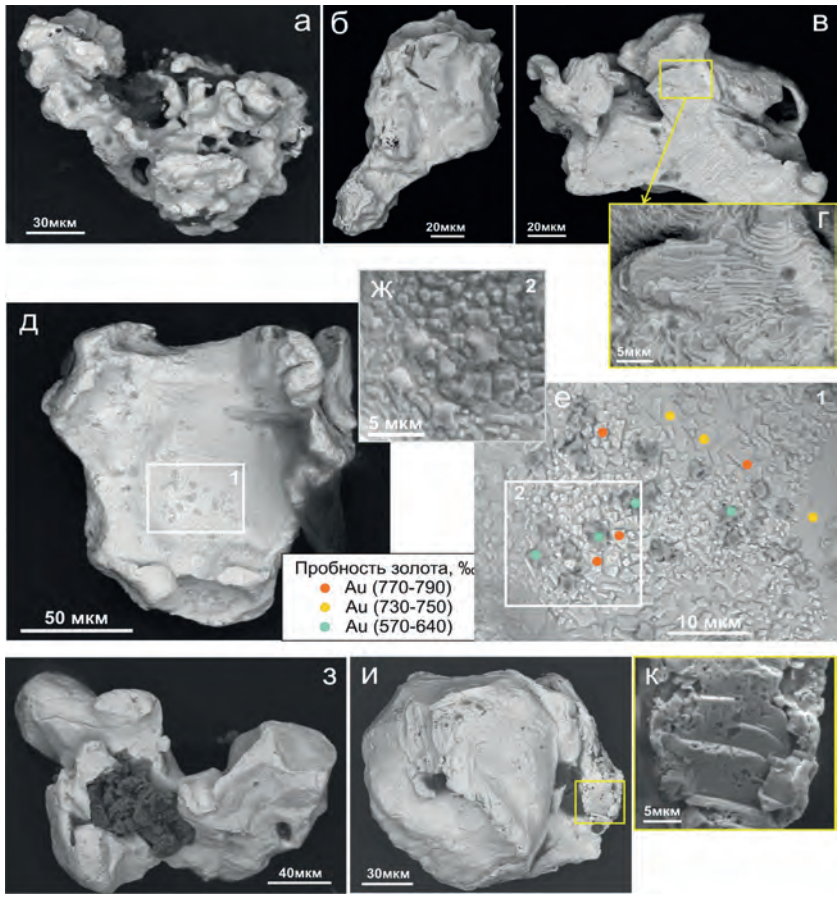


Рисунок 3. Морфология и характер поверхности зерен низкопробного золота. а–г – золотины зонального строения: зерна электрума неоднородного строения с вариациями пробности (а, б); зерно сложной формы с изменчивым составом золота (от низкопробного до высокопробного) и отчетливо проявленными структурами роста (в, г) – Воронцовское месторождение; д–ж – локальное (ячеисто-пятнистое) изменение структуры поверхности и пробности золота (Верхотурское месторождение); з–к – низкопробное золото со ступенями роста (Зверевское месторождение). *Снято в режиме SEI (г, е, к) и BES (а–в, д, ж–и).*

дая в зону влияния Серовско-Маукского глубинного разлома. Район характеризуется широким развитием вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород с линзами известняков, объединенных в краснотурьинскую свиту (D_1kr). В совокупности с интрузивными породами габбро-диорит-гранодиоритового состава территория входит в состав Турьинско-Ауэрбаховского рудного района. Геологическое строение месторождения охарактеризовано в многочисленных публикациях (работы Б. А. Гладковского, В. Н. Боброва, В. Н. Сазонова, В. В. Мурзина, О. Н. Грязнова, К. П. Савельевой, Н. М. Риндзюнской, Р. О. Берзона, А. А. Черемисина и др.). Несмотря на длительный период изучения, далеко не все вопросы генезиса этого крупного по масштабу месторождения на сегодняшний день убедительно аргументированы. Высокую актуальность имеет обоснование факторов, позволяющих целенаправленно прогнозировать новые промышленные объекты «воронцовского» типа.

Воронцовское месторождение находится в западном обрамлении Ауэрбаховской интрузии и приурочено к крылу моноклинальной пологопадающей на запад структуры, сложенной породами краснотурьинской свиты. Рудоконтролирующее значение в разрезе имеет мощная (до 1200 м) фроловско-васильевская толща, сложенная светло-серыми органогенно-обломочными мраморизованными известняками с маломощными прослоями туфогенных пород. Важнейшим элементом толщи является горизонт брекчированных известняков, в пределах которого локализованы основные рудные тела. Этот горизонт получил статус «маркирующего».

Основное промышленное значение на месторождении имеют *скальные первичные руды,* представленные прожилково-вкрапленным золото-сульфидным (золото-мышьяково-ртутным) оруденением в зонах дробления (брекчированных известняков). Маркирующий горизонт приурочен к плоскостям надвига, оперяющего Воронцовский разлом. Руды по составу разделены на сульфидно-силикатные и сульфидно-карбонатные.

Окисленные руды подразделены на два типа – структурные и перемещенные коры выветривания. Рудные тела в структурных КВ имеют пластообразную, линзовидную форму, во многих случаях повторяющую строение первичных залежей. Строение золотоносных перемещенных кор обычно более сложное, что связано со смещением материала в зоны карстовых провалов.

Обобщение материалов геологоразведочных работ прошлых лет в совокупности с результатами детальной геологической документации и опробования забоев в Северном и Южном карьерах месторождения позволило с новых позиций характеризовать закономерности размещения рудных залежей в пределах карстовых зон [16, 17]. Установлено, что во многих отстроенных геологических разрезах субгоризонтальные залежи окисленных руд располагаются на продолжении выходов скальных руд в зону карста, как бы продолжая (наращивая) их в восточном продолжении. Подобную форму не могут иметь рудные тела, сформировавшиеся лишь по схеме обрушения коренных руд в зоны глубокого карста и их последующего растягивания при сползании по склонам карстовых провалов. Наиболее приемлемой является модель, учитывающая проявление не только гравитационных, суффозионно-гравитационных процессов, но и наложенных на рыхлые толщи карстового заполнения продуктов низкотемпературного гидротермального метасоматоза.

Для примера приведем состав двух характерных проб:

1. Пестроцветные карстовые КВ, на которые наложена аргиллизация (гипогенно-гипергенные образования). Состав (мас. %) – кварц ~ 20–25; каолинит, монтмориллонит, гидрослю-

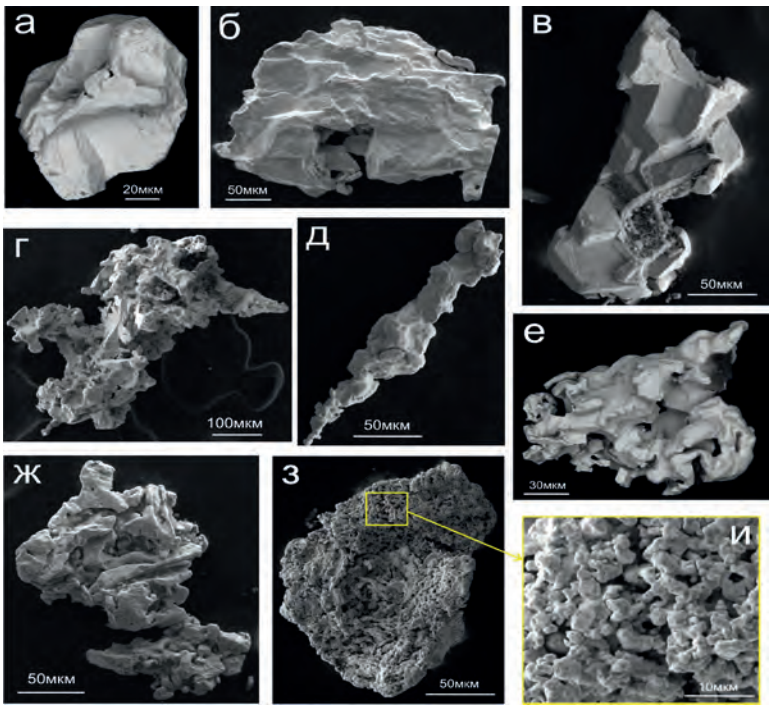


Рисунок 4. Золото из зон мезозойского карста Воронцовского месторождения. а–в – золото из перемещенных кор выветривания; г–ж – золото, связанное с аргиллизитами; з, и – гипергенное золото губчатого строения. *Снято в режиме SEI (б–д, ж–и) и BES (а, е).*

да (иллит), смешаннослойные образования (смектит), карбонаты (кальцит, доломит, сидерит) и гетит присутствуют примерно в равных количествах; пирит ≥ 1.

2. Типичные светло-серые аргиллизиты. Состав (мас. %) – основными минералами являются гидрослюда (иллит) и кварц; минералы группы гетита > 15; карбонаты (кальцит, сидерит) ~ 2–3; сульфиды > 5 (преобладает пирит).

В обеих пробах присутствует весьма мелкое, тонкое и пылевидное самородное золото.

Сказанное позволяет рассматривать рудоносные карстовые накопления как полигенные *образования гипогенно-гипергенного типа.* Отмеченное подтверждается результатами литолого-минералогического изучения рудоносных рыхлых толщ, а также данными по типоморфизму и типохимизму самородного золота (что обсуждается далее).

Хионинско-Елизаветинское рудное поле находится на западном склоне Среднего Урала, в пределах южной части Сурьинско-Промысловской минерагенической зоны. Приурочено к породам позднего рифея – углеродисто-кварц-серицитовым сланцам колпаковской свиты (R_3kp). Дислоцированные блоки рудовмещающих пород претерпели метасоматические изменения, отвечающие лиственит-березитовой и аргиллизитовой формациям. Низкотемпературные метасоматиты пространственно и во времени связаны с формированием золотоносных химических КВ [18], что обусловило сложное распределение концентраций золота в сформированном гетерогенном геохимическом поле.

Рудные залежи характеризуются как концентрически-зональным распределением металла, так и более сложным (ритмично-полосчатым и даже «факелообразным»). В метасоматитах *лиственит-березитовой формации* во внешней части сланцевых пород отмечены карбонатизация, серицитизация, а во внутренней зоне окварцевание – в виде секущих кварцевых жил и прожилков с золото-сульфидной минерализацией. Абсолютный возраст серицита из околорудных метасоматитов составил по данным K–Ar метода 276 и 230 млн лет (поздняя пермь – ранний триас). За счет коренных источников золото-сульфидно-кварцевого типа (к настоящему времени большей частью уже эродированных) сформировалась Серебрянская россыпь золота – одна из наиболее богатых и протяженных на Среднем Урале.

В метасоматитах *аргиллизитовой формации* установлены минеральные парагенезисы, отвечающие стадиальным изменениям рудовмещающих пород. Для ранней стадии кислотного выщелачивания характерна смектит-гидрослюдистая минеральная ассоциация (мелкочешуйчатый агрегативный серицит, клинохлор, иллит, смектит ряда монтмориллонит–хлорит). В стадию сопряженного осаждения сформировались ореолы прожилково-вкрапленной минерализации, представленные тонкозернистым пиритом и субмикроскопическим золотом. Нижняя возрастная граница пород аргиллизитовой формации определяется их наложением на березиты, а верхняя устанавливается на основе пространственно-временных соотношений с продуктами химических КВ мезозойского (юрско-мелового) возраста. Химические КВ ферритно-сиаллитного типа представлены площадными, линейно-площадными и линейно-карстовыми типами. Площадные коры сохранились лишь локально. Распределение золота в зоне мезозойского элювия определяется характером его размещения в породах рудоносного субстрата.

Первомайско-Зверевское рудное поле располагается на Среднем Урале, тяготея к восточному обрамлению регионального Верх-Исетского глубинного разлома. Рудное поле приурочено к крупному массиву ультраосновных пород дунит-гарцбургитовой формации, интрудированному мелкими полиформационными телами гранитоидов, преимущественно относящихся к тоналит-гранодиоритовой формации (D_3–C_1). В объеме гранитоидных тел (реже за их пределами) развито золотое оруденение субштокверкового типа, представленное системой разноориентированных маломощных кварцевых жил и прожилков с убого-сульфидной (первые проценты) минерализацией (пирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, шеелит и др.). На площади рудного поля выделены участки – Верхотурский, Зверевский и др. В прошлые годы в их пределах велась интенсивная старательская добыча золота из отдельных кварцевых жил и богатых россыпей «верховичного» типа, располагающихся на выходах рудоносных пород.

Рудовмещающие породы претерпели метасоматические изменения (пропилиты, березиты-лиственты, аргиллизиты). Если березиты распространены в объеме гранитоидов достаточно ши-

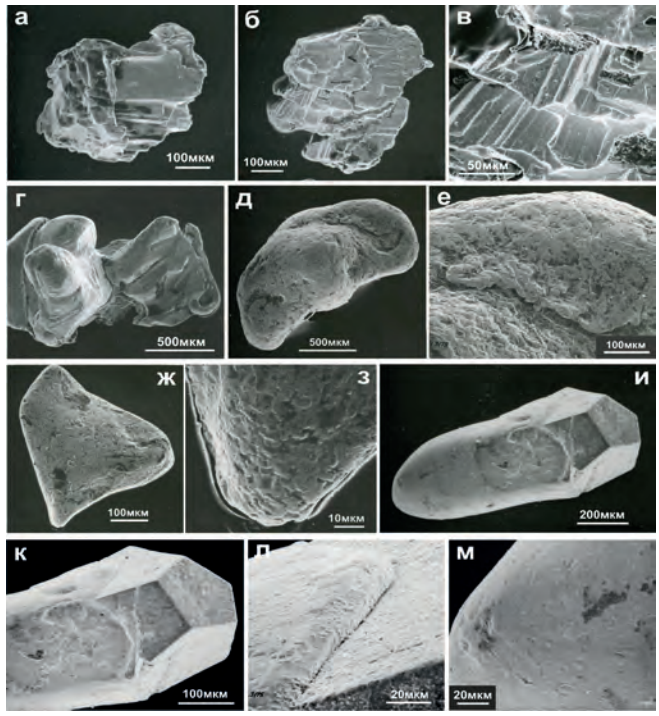


Рисунок 5. Морфологические разновидности самородного золота из верхних горизонтов коры выветривания, испытавших наложение процессов низкотемпературного метасоматоза (Верхотурский участок). а–в – золотины рудного облика (наблюдаются ступени роста зерен); г – сростки золота идиоморфных очертаний (с признаками «оплавленности» граней); д–з – изменение облика золотин при их просадке в зоне мезозойского элювия; и–м – пленка новообразованного низкопробного золота с абсолютно гладкой («леденцовой») поверхностью, нарастающая на зерно лимонитизированного пирита.

роко, то аргиллизиты закартированы лишь в пределах отдельных зон преимущественно субширотной ориентировки. В юрско-меловое время минерализованные породы претерпели выветривание. Мощность химических кор выветривания колеблется в широких пределах, в среднем составляя первые десятки метров.

Промышленные перспективы Верхотурского участка были установлены в результате поисковых и поисково-оценочных работ (Г. А. Букрин и др., 1986, 1990). Обобщение материалов этих работ позволило выявить особенности распределение золота в объеме минерализованных пород. Для массива слабо минерализованных гранодиоритов характерен общий относительно низкий уровень золотоносности. Однако в верхней части элювия был выявлен горизонт с промышленными концентрациями золота. Он характеризуется повышенным количеством зерен свободного золота, накопившимся в результате просадки металла при денудационном снижении минерализованных пород. В этой же части разреза присутствует мелкое и тонкое золото, связанное с более поздними наложенными процессами аргиллизации [19].

Характеристика самородного золота приведена далее.

Конвергентность признаков золотого оруденения в объектах гипогенно-гипергенного типа

Сложность разделения «глинизированных» пород, отвечающих генетически различным продуктам – гидротермальным низкотемпературным метасоматитам (аргиллизитам) и гипергенно преобразованным породам (химическим КВ), – заключается в необходимости обоснования типоморфных признаков. Эти признаки *характеризуются значительным сходством, конвергентностью.* Как правило процессы рудо- и корообразования разобщены во времени, относятся к различным геотектоническим режимам [20]. Рудообразование происходило в орогенные этапы развития регионов или связано с процессами посторогенной тектономагматической активизации (ТМА), в то время как корообразование наиболее интенсивно проявилось в пределах морфоструктур длительной стабилизации и, в первую очередь, на площадях формирующихся пенепленов. Особая обстановка могла сложиться в этапы мезозойской ТМА при проникновении золотоносных гидротерм в зону гипергенеза. При смешении восходящих низкотемпературных гидротерм с нисходящими вадозными водами происходил их быстрый распад. Пространственная и временная сопряженность разнонаправленных по своей природе процессов могла быть различной (о чем уже отмечалось ранее). При всех возможных их временных сочетаниях сформировавшиеся «глинизированные» породы представляют сложные по составу и строению гетерогенные геологические и минерало-геохимические поля. Их выявление и диагностика представляют для исследователей непростую задачу.

Проблеме изучения гидротермальных аргиллизитов с обоснованием признаков их сходства и различия с продуктами химического выветривания посвящены лишь ограниченные публикации (Н. В. Разумова, 1977; К. П. Савельева и др., 1988; А. П. Харлашин, 1990; О. Н. Грязнов и др.,1995; Н. М. Риндзюнская и др.,1995). Наиболее аргументированно обсуждаемая проблема рассмотрена в работе О. Н. Грязнова с соавторами [3]. На примере Светлинского золоторудного месторождения авторами выделены типоморфные критерии и признаки, позволяющие разделить аргиллизиты и КВ (табл. 1).

Вопросы конвергентности золотоносных кор выветривания и гидротермальных аргиллизитов также рассмотрены Р. О. Берзоном в монографии, подготовленной сотрудниками ЦНИГРИ [20]. Эти материалы дополняют и по некоторым позициям уточняют изложенные ранее аргументы.

Отмечается, что низкотемпературные метасоматиты преимущественно локализуются в близповерхностных условиях. Корообразование также рассматривается как своеобразный низкотемпературный метасоматоз, протекавший в зоне гипергенеза при агрессивном воздействии окислительно-восстановительных процессов. Аргиллизиты мезозойского возраста могли формироваться при проникновении золотоносных гидротерм в зону гипергенеза, что приводило к смешению восходящих гидротермальных железисто-хлоридных вод с нисходящими окислительными вадозными растворами и их быстрому окислению.

Конвергентность генетически разнотипных образований определяет: а) близповерхностное их положение; б) частую приуроченность к тектоническим зонам; в) определенное сходство минерального состава. По данным Р. О. Берзона, к числу *ведущих критериев и признаков различия* следует отнести следующее.

1. Противоположная направленность рудно-метасоматических процессов:

аргиллизиты – привнос K_2O, Na_2O, CaO, NaO, SiO_2. Сочетание устойчивых и неустойчивых минералов. В их числе: глинистых минералов, кварца, полевых шпатов, карбонатов, хлоритов, неокисленных сульфидов (пирита, арсенопирита, сфалерита, киновари и др.); разнообразие морфотипов пирита и арсенопирита; формирование вокруг рудных тел боковой геохимической зональности;

коры выветривания – кардинальное изменение баланса вещества, связанного с разложением и выносом неустойчивых соединений. Вынос K_2O, Na_2O, CaO, MgO, CO_2, SiO_2, накопление Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, иногда MnO. Наибольшее влияние на изменение баланса вещества оказывает поведение кремнекислоты. Этот компонент менее подвижен по сравнению с оксидами натрия и калия. Однако абсолютное количество выноса (кг/м^3) кремнекислоты достигает 899 для гранитов и 988 для полимиктовых песчаников, в то время как суммарный вынос щелочных и щелочноземельных оксидов редко достигает десятков килограмм из кубического метра [21]. Формируется вертикальная минералого-геохимическая зональность.

2. В аргиллизитах содержание глинистой фракции обычно не превышает 30 %, а эффективная пористость (в условиях привноса вещества) может колебаться от 10 до 16–20 %. В зрелых горизонтах коры выветривания содержание глинистой фракции порой достигает 70–95 % при эффективной пористости 40–60 %.

3. Отмечаются существенные различия типоморфных особенностей минералов:

кварц в аргиллизитах – свежего облика с алмазным блеском, иногда двухголовчатый и рисовидный; в корах выветривания – корродирован, покрыт гипергенной пленкой, обохрен, поверхность матовая, порой наблюдаются следы частичного растворения.

каолинит в аргиллизитах – образует псевдогексагональные скопления с ровными краями и одинаковой толщиной пластинок; отмечено обрастание кристаллов каолинита гидрослюдой; в корах выветривания – характерны агрегатные скопления, состоящие из мелких частиц изометричной, удлиненной и неправильной формы; отмечаются псевдогексагональные выделения; толщина пластинок непостоянная, уменьшающаяся к периферии; края хлопьевидные. Кроме того, типоморфными глинистыми минералами аргиллизитов являются *диккит и накрит*.

4. Резкое различие корреляционных связей золота:

в *аргиллизитах* – золото присутствует как в свободном виде, так и в сульфидах (в пирите, арсенопирите), что определяет корреляцию рудоносных элементов с серой;

в *корах выветривания* – преобладает свободное золото, коррелируемое с гидроксидами железа и другими гипергенными минералами.

Пирит, связанный с аргиллизитовым процессом, имеет ряд типоморфных особенностей [12, 16]. Среди них можно отметить следующие: 1) разнообразие морфотипов (кубы, пентагондодекаэдры, октаэдры, икосаэдры, комбинированные формы) при общем преобладании кубов и комбинаций на их основе; 2) присутствие новообразованных минеральных фаз на поверхности кристаллов, представленных самородными металлами (Au, Cu, Cu-Zn, Pb, W), сульфидами (галенит, арсенопирит, сфалерит и др.), арсенидами и сульфоарсенидами, сульфосолями (блеклые руды, цинкинит), теллуридами (гессит, алтаит, теллуровисмутин, науманит и др.), баритом, монацитом, иногда углеродистым веществом (битумы); 3) частое присутствие в составе Ni, Co, As и некоторых других элементов без выделения автономных фаз. Такой пирит нередко золотоносен и может содержать высокие концентрации ряда элементов (As, Hg, Co, Ni, Cu, Pb, Sb, Mo, Ba, РЗЭ и др.), что, вероятно, связано с наличием микровключений.

Типоморфизм и типохимизм самородного золота

Вопросы типоморфизма и типохимизма самородного золота приобретают решающее значение при обсуждении рассматриваемой проблемы. Обобщение результатов исследований с привлечением опубликованных данных позволяет охарактеризовать особенности самородного золота ряда уральских золоторудных объектов, завершающие этапы формирования которых авторы параллелизуют с процессами посторогенной (мезозойской) ТМА (табл. 2). Приведенные сведения позволяют отметить следующее.

В минерализованных зонах *аргиллизованных пород* обычно присутствует самородное золото мелких и тонких классов (–0,15+0,05 мм и мельче), крайне редко отмечено появление более крупных золотин (класс +0,25 мм). Преобладающая форма выделений объемная (комковидно-гнездовая, комковидно-угловатая), реже уплощенная (прожилково-пластинчатая, прожилково-пленочная, брусковидная). Отдельные золотины имеют идиоморфные и гемиидиоморфные очертания. Присутствуют скелетные, расщепленные, дендритовидные кристаллы. В некоторых золотинах отмечены ступени роста.

Морфологические разновидности золота из минерализованных аргиллизированных пород (на примере Верхотурского, Зверевского участков и Воронцовского месторождения) приведены на рис. 2–4. Характерным признаком изученного металла является широкий диапазон колебаний пробы – от электрума и низкопробного до высокопробного и весьма высокопробного (рис. 2, 3). Среди элементов-примесей установлены Cu, Hg, Fe.

При изучении золота из аргиллизированных пород на площади Екатерининского рудно-россыпного узла выявлен металл не характерного для региона состава [13, 14]: ртутистое золото (Hg 4,91–13,14 %), представленное пористыми и губчатыми агрегатами неправильной формы; купроаурид (Cu 26,2 %) в виде мелких дендритовидных обособлений; медистое ртутьсодержащее золото (Cu 4,0 %, Hg 1,58 %) в виде включений в зернах купроаурида; оловянистое золото (Sn 1,16–10,21 %, Cu 0,0–4,11 %) в виде агрегатов сложной формы; сурьмянистое золото (Sb 0,40–2,02 %); хунчинит (Pb_2Au; Pb 30,07–31,84 %) в сростках с золотом различного состава.

Самородное золото *остаточного типа в рудоносных корах выветривания* принципиально не отличается по морфологии частиц от описанных ранее. Здесь также доминируют золотины комковидно-гнездовой, комковидно-угловатой, отчасти уплощенно-комковидной формы. Однако характерна существенно иная гранулометрия изученного металла, где помимо мелкого и тонкого золота значительное количество приходится на классы +0,50 мм и даже +1,00 мм. Диапазон колебаний пробы более узкий. Практически отсутствует низкопробный металл. Золотины обохрены, покрыты гипергенной пленкой. По периферии зерен иногда формируется высокопробная кайма, появляются межзерновые прожилки. Элементы примеси в золоте соответствуют коренным рудам.

Самородное золото из *перемещенных кор выветривания* принципиально не отличается по форме выделений от уже описанных, хотя и содержит ряд особенностей. При изучении металла, извлеченного при промывке пород карстового заполнения на Воронцовском месторождении, установлено [16]: срастание золота с сопутствующими в коренных рудах минералами (пиритом, блеклыми рудами, теллуридами и др.), признаки перемещения золотин – в виде борозд и параллельной штриховки; обмятость и развальцевание краев и т. д.

На Верхотурском участке в верхних горизонтах мезозойского элювия установлено присутствие золота нескольких типов. Большая часть приходится на золото рудного облика, в том

числе в срастании с кварцем, содержащее ступени роста (рис. 5, *а–г*). В значительном количестве встречены золотины повышенной крупности, имеющие своеобразный «псевдоокатанный» облик (порой с загнутыми и развальцованными выступами, тонкошагреневой поверхностью) (рис. 5, *д–з*). Появление подобных золотин на водораздельных участках мезозойского пенеплена обусловлено совокупностью факторов [11, 19]. При пенепленизации региона на участках развития минерализованных пород проявился эффект просадки высвободившихся при выветривании частиц золота повышенной крупности с последующим их накоплением в верхних горизонтах мезозойского элювия.

Помимо отмеченного в зоне элювия встречены золотины «оплавленного» облика. Их поверхность абсолютно гладкая, не несущая признаков более позднего гипергенного преобразования (рис. 5, *и–м*). Такая особенность связана с выделением тонкой пленки низкопробного золота (проба 556 ‰) на поверхности золотин (с уже ранее сформированной высокопробной каймой) при проявлении наложенных низкотемпературных гидротермальных процессов. Признаки термального воздействия на золотины в зоне элювия также проявились в виде сглаженных выступов ребер и скульптур роста, формировании дезинтегрированных агрегатов золотин, появлении по периферии зерен зон с признаками диффузионного перераспределения золота и серебра по контурам мозаичных блоков.

В корах выветривания некоторых объектов наблюдалось новообразованное золото, представленное пленками и мелкими частицами охристо-коричневого цвета. Это «горчичное» золото принято рассматривать как продукт распада золотосодержащих сульфидов (возможно, теллуридов). В других случаях (на Воронцовском месторождении) установлено нарастание «нового» золота гипергенной природы на поверхности золотин с образованием сплошных или прерывистых пленок и «губчатых» образований (рис. 4, *з*, *и*). Формирующие эти пленки тонкие частицы (размером в десятки нанометров) имеют округлую, изометричную, удлиненно-призматическую и иную форму.

Основные выводы

Своеобразие объектов гипогенно-гипергенного типа проявляет себя: а) в особенностях формы и условий залегания залежей – преобладающая субпластовая, подчиненная элементам слоистости, сланцеватости (или дислоцированности) пород; границы рудных тел обосновываются только по данным опробования; б) в своеобразии фазового состава золота (преобладает мелкое, тонкодисперсное, субмикроскопическое золото при широком диапазоне колебаний пробности; в) в «нестандартном» (по сравнению с плутогенно-гидротермальными объектами) строении геохимических ореолов, обрамляющих рудные тела.

Приведенные материалы позволяют целенаправленно подходить к разработке моделей формирования нетрадиционного золотого оруденения гипогенно-гипергенного типа, выявленного в пределах ряда рудовмещающих структур Урала. Накопленные факты свидетельствуют в пользу регионального, а не узколокального характера этих рудоконцентрирующих процессов. В основе выполненных обобщений лежит концепция, обосновывающая продолжение в пределах отдельных геологических структур рудно-метасоматических процессов на постколлизионном этапе развития, а также сопряженность (временная, пространственная) с масштабно проявленными гипергенными преобразованиями пород и уже ранее сформированных коренных руд.

Объективная оценка *относительной роли* низкотемпературного гидротермального метасоматоза аргиллизитовой формации и продуктов химического выветривания имеет не только научное, но и прикладное значение для интерпретации генезиса многих золоторудных объектов и целенаправленного проведения прогнозно-поисковых и оценочных работ на Урале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А. и др. Месторождения золота Урала / Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 622 с.
2. Коротеев В. А., Сазонов В. Н. Геодинамика, рудогенез, прогноз (на примере Урала). Екатеринбург. Изд-во ИГиГ УрО РАН, 2005. 259 с.
3. Грязнов О. Н., Савельева К. П., Костромин Д. А. Золотоносные аргиллизиты Светлинского месторождения и коры выветривания // Изв. вузов. Геология и разведка, 1995. № 5. С. 68–83.
4. Грязнов О. Н., Баранников А. Г., Савельева К. П. Нетрадиционные типы золото-аргиллизитового оруденения в мезозойских структурах // Изв. УГГУ. 2007. Вып. 22. С. 41–53.
5. Баранников А. Г. Гипогенно-гипергенный тип золотого оруденения на Урале // Изв. УГГГА. Сер. Геология и геофизика. 1998. Вып. 8. С. 94–99.
6. Баранников А. Г., Угрюмов А. Н. Проблемы эндогенного золотого рудогенеза мезозоя Урала // Литосфера, 2003. № 1. С. 13–26.
7. Грязнов О. Н., Вахрушев С. Н. Золото-аргиллизитовая формация Урала // Руды и металлы. 1997. № 2. С. 73–84.
8. Душин В. А. Активизированные шовные зоны – новый перспективный объект благороднометалльной металлогении на Полярном Урале // Региональная геология и металлогения, 2006. № 29. С. 73–87.
9. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 256 с.
10. Арифулов Ч. Х., Арсентьева И. В., Ожерельева А. В. Золоторудные месторождения черносланцевых отложений Южного Урала. М.: ЦНИГРИ, 2013. 108 с.
11. Баранников А. Г. Золотоносные рудно-россыпные узлы Урала (проблемы переоценки их перспектив на новые и нетрадиционные типы оруденения) // Геология и полезные ископаемые Урала: к 90-летию кафедры геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. С. 53–72.
12. Azovskova O. B., Malyugin A. A., Nekrasova A. A., Yanchenko M. Yu. Pyrite from zones of Mz–Kz reactivation of large faults on the eastern slope of the Ural Mountains, Russia. WASET. Engineering and Technology. 2013. Issue 79. P. 463–467.
13. Александров В. В. Благороднометалльное оруденение нетрадиционного типа Екатерининского рудно-россыпного узла (Северный Урал): автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2012. 21 с.
14. Александров В. В., Баранников А. Г. Золотое оруденение нетрадиционного типа в пределах Екатерининского рудно-россыпного узла (Северный Урал) // Литосфера, 2012. № 1. С. 161–165.
15. Савельева К. П., Баранников А. Г. Золотое оруденение нетрадиционного типа в зоне Серовско-Маукского глубинного разлома на Северном Урале // Литосфера. 2006. № 2. С. 157–165.
16. Баранников А. Г., Азовскова О. Б. Рудоносный карст мезозойского возраста Воронцовского золоторудного месторождения // Руды и металлы. 2016. № 2. С. 84–99.
17. Murzin V. V., Naumov E. A., Azovskova O. B., Varlamov D. A., Rovnushkin M. Yu., Pirajno F. The Vorontsovskoe Au–Hg–As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model // Ore Geology Reviews. 2016.
18. Лежепеков М. А. Золотоносные рудно-россыпные узлы южной части Сурьинско-Промысловской минерагенической зоны: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2006. 22 с.
19. Баранников А. Г., Букрин Г. А., Кузнецов В. Н., Шуб В. С. Модель концентрации свободного золота в мезозойском элювии // Геология рудных месторождений, 1992. № 3. С. 99–103.
20. Риндзюнская Н. М., Берзон Р. О., Полякова Т. П. и др. Геолого-генетические основы прогноза и поисков месторождений золота в корах выветривания. М.: ЦНИГРИ, 1995. 128 с.
21. Шуб В. С., Баранников А. Г., Шуб И. З. и др. Золото Урала. Россыпные месторождения (к 250-летию золотой промышленности Урала). Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. 135 с.

REFERENCES

1. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A. et al. 2001, *Mestorozhdeniya zolota Urala* [The deposit of the Ural Gold], Ekaterinburg, 622 p.
2. Koroteev V. A., Sazonov V. N. 2005, *Geodinamika, rudogenez, prognoz (na primere Urala)* [Geodynamics, oreogenesis, forecast (on the example of the Urals)], Ekaterinburg, 259 p.
3. Gryaznov O. N., Savel'eva K. P., Kostromin D. A. 1995, *Zolotonosnye argillizity Svetlinskogo mestorozhdeniya i kory vyvetrivaniya* [Gold-bearing argillizites of the Svetlinosky deposit and weathering crust]. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], no. 5, pp. 68–83.
4. Gryaznov O. N., Barannikov A. G., Savel'eva K. P. 2007, *Netraditsionnye tipy zoloto-argillizitovogo orudeneniya v mezozoyskikh strukturakh* [Non-traditional types of gold-argillicite mineralization in Mesozoic structures]. I*zv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 22, pp. 41–53.
5. Barannikov A. G. 1998, *Gipogenno-gipergennyy tip zolotogo orudeneniya na Urale* [Hypogene-supergene type of gold mineralization in the Urals]. *Izv. UGGGA. Ser. Geologiya i geofizika* [News of the Ural State Mining University. Series Geology and Geophysics], no. 8, pp. 94–99.
6. Barannikov A. G., Ugryumov A. N. 2003, *Problemy endogennogo zolotogo*

rudogeneza mezozoya Urala [Problems of endogenic gold oreogenesis of the Mesozoic of the Urals]. *Litosfera* [Litosfera], no. 1, pp. 13–26.
7. Gryaznov O. N., Vakhrushev S. N. 1997, *Zoloto-argillizitovaya formatsiya Urala* [Gold-argillizite formation of the Urals]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 2, pp. 73–84.
8. Dushin V. A. 2006, *Aktivizirovannye shovnye zony – novyy perspektivnyy ob"ekt blagorodnometall'noy metallogenii na Polyarnom Urale* [Activated suture zones - a new promising object of noble-metal metallogeny in the Polar Urals]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny], no. 29, pp. 73–87.
9. Gryaznov O. N. 1992, *Rudonosnye metasomaticheskie formatsii skladchatykh poyasov* [Ore-bearing metasomatic formations of folded belts], Moscow, 256 p.
10. Arifulov Ch. Kh., Arsent'eva I. V., Ozherel'eva A. V. 2013, *Zolotorudnye mestorozhdeniya chernoslantsevykh otlozheniy Yuzhnogo Urala* [Gold ore deposits of black shale deposits of the Southern Urals], Moscow, 108 p.
11. Barannikov A. G. 2012, *Zolotonosnye rudno-rossypnye uzly Urala* (problemy pereotsenki ikh perspektiv na novye i netraditsionnye tipy orudeneniya) [Gold-bearing ore-placer nodes of the Urals (problems of reassessing their prospects for new and non-traditional types of mineralization)]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Urala: k 90-letiyu kafedry geologii, poiskov i razvedki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Geology and minerals of the Urals: on the 90th anniversary of the Department of Geology, Prospecting and Exploration of Mineral Deposits], Ekaterinburg, pp. 53–72.
12. Azovskova O. B., Malyugin A. A., Nekrasova A. A., Yanchenko M. Yu. 2013, Pyrite from zones of Mz–Kz reactivation of large faults on the eastern slope of the Ural Mountains, Russia. WASET. Engineering and Technology, no. 79, pp. 463–467.
13. Aleksandrov V. V. 2012, *Blagorodnometall'noe orudenenie netraditsionnogo tipa Ekaterininskogo rudno-rossypnogo uzla (Severnyy Ural): avtoref. dis. kand. geol.-mineral. nauk* [Noble metal mineralization of the unconventional type of the Ekaterinburg ore-placer node (Northern Urals): author's abstract of the dissertation of candidate of geology-mineralogy sciences], Ekaterinburg, 21 p.
14. Aleksandrov V. V., Barannikov A. G. 2012, *Zolotoe orudenenie netraditsionnogo tipa v predelakh Ekaterininskogo rudno-rossypnogo uzla (Severnyy Ural)* [Gold mineralization of a non-traditional type within the Ekaterinburg ore-placer site (Northern Urals)]. *Litosfera* [Litosfera], no. 1, pp. 161–165.
15. Savel'eva K. P., Barannikov A. G. 2006, *Zolotoe orudenenie netraditsionnogo tipa v zone Serovsko-Maukskogo glubinnogo razloma na Severnom Urale* [Gold mineralization of unconventional type in the Serov-Mauk deep fault zone in the Northern Urals]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 157–165.
16. Barannikov A. G., Azovskova O. B. 2016, *Rudonosnyy karst mezozoyskogo vozrasta Vorontsovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya* [The ore-bearing karst of the Mesozoic age of the Vorontsovsky gold deposit]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 2, pp. 84–99.
17. Murzin V. V., Naumov E. A., Azovskova O. B., Varlamov D. A., Rovnushkin M. Yu., Pirajno F. The Vorontsovskoe Au–Hg–As ore deposit (Northern Urals, Russia): Geological setting, ore mineralogy, geochemistry, geochronology and genetic model. Ore Geology Reviews. 2016. 18. Lezhepekov M. A. 2006, *Zolotonosnye rudno-rossypnye uzly yuzhnoy chasti Sur'insko-Promyslovskoy mineragenicheskoy zony: avtoref. dis. … kand. geol.-mineral. nauk* [Gold-bearing ore-placer nodes of the southern part of the Surinsky-Promyslovsky mineralogical zone: author's abstract of the dissertation of candidate of geology-mineralogy sciences], Ekaterinburg, 22 p.
19. Barannikov A. G., Bukrin G. A., Kuznetsov V. N., Shub V. S. 1992, *Model' kontsentratsii svobodnogo zolota v mezozoyskom elyuvii* [The model of free gold concentration in Mesozoic eluvium]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of Ore Deposits], no. 3, pp. 99–103.
20. Rindzyunskaya N. M., Berzon R. O., Polyakova T. P. et al. 1995, *Geologo-geneticheskie osnovy prognoza i poiskov mestorozhdeniy zolota v korakh vyvetrivaniya* [Geological and genetic foundations of forecasting and prospecting for gold deposits in weathering crusts], Moscow, 128 p.
21. Shub V. S., Barannikov A. G., Shub I. Z. et al. 1993, *Zoloto Urala. Rossypnye mestorozhdeniya (k 250-letiyu zolotoy promyshlennosti Urala)* [Gold of the Urals. Placer deposits (to the 250th anniversary of the gold industry of the Urals)], Ekaterinburg, 135 p.

Александр Григорьевич Баранников,
barfam1@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Оксана Борисовна Азовскова,
oazovskova@yandex.ru
Институт геологии и геохимии УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Aleksandr Grigor'evich Barannikov,
barfam1@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Oksana Borisovna Azovskova,
oazovskova@yandex.ru
Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

УДК 556.332.4

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-23-27

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕЧНЫХ ДОЛИН МЕЖГОРНЫХ БАССЕЙНОВ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРО-АЛАЯ

Л. Э. Оролбаева

Formation of groundwater in the river valleys of intermountain basins of Tien-Shan and Pamir-Alai

L. E. Orolbaeva

Mountain ridges divide the territory into drainage basins within which special natural conditions appear: climatic, geological-hydrogeological, hydrological, ecosystem. The article contains the characteristics of the geological-hydrogeological structure of intermountain artesian basins of Tien-Shan and Pamir-Alai. The author considers factors influencing the formation of water resources of intermountain basins and gives characteristics of river feeding types and main sources of groundwater formation in river valleys. One can see presented hydrodynamic features of basins and a map of geohydrological zoning of the Kyrgyz Republic. Surface and underground waters of mountain geosystems of Tien-Shan and Pamir-Alai are closely and intricately interconnected. For the Tien-Shan basins, the article contains data on the magnitude of the loss of river flow for infiltration and groundwater feeding. The author considers features of formation, movement and unloading of underground water streams of artesian basins, as well as the factors of formation of infiltration losses from riverbeds and supply of groundwater flows. The article presents the analysis of the formation of infiltration losses from riverbeds and discharge of groundwater into rivers. The article also contains a description of the regularity of the confinement of sites with the highest specific losses of river flows to certain river fragments. For the basins of the rivers Chu and Naryn, there is data on the discharge of groundwater into rivers. The study of the features of the interaction of groundwater and surface water based on special hydrometric studies and balance studies has made it possible to identify the types of their interconnections and their connection with specific sections of river valleys of mountain geosystems. The results obtained will allow correct organizing of the formulation and conduct of further research.

Keywords: intermountain basins; mountain ecosystems; groundwater; infiltration; discharge of groundwater; interconnection of underground and surface waters.

Горные хребты разделяют территорию на бассейны стока, в пределах которых формируются особые природные условия: климатические, геолого-гидрогеологические, гидрологические, экосистемные. Приведена характеристика особенностей геолого-гидрогеологического строения межгорных артезианских бассейнов Тянь-Шаня и Памиро-Алая. Рассмотрены факторы, влияющие на формирование водных ресурсов межгорных бассейнов. Даны характеристика типов питания рек и основные источники формирования подземных вод речных долин. Рассмотрены гидродинамические особенности бассейнов, приведена карта геогидрологического районирования Кыргызской Республики. Поверхностные и подземные воды горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая тесно и сложно взаимосвязаны. Для бассейнов Тянь-Шаня приведены данные о величине потерь речного стока на инфильтрацию и питание подземных вод. Рассмотрены особенности формирования, движения и разгрузки потоков подземных вод артезианских бассейнов. Рассмотрены факторы формирования инфильтрационных потерь из русел рек и питания потоков подземных вод. Дан анализ формирования инфильтрационных потерь из русел рек и разгрузки подземных вод в реки. Описана закономерность приуроченности участков с наибольшими значениями удельных потерь расходов рек к определенным фрагментам рек. Для бассейнов рек Чу и Нарын приведены данные о величине разгрузки подземных вод в реки. Изучение особенностей взаимодействия подземных и поверхностных вод на основе специальных гидрометрических работ и балансовых исследований позволило выделить типы их взаимосвязи и приуроченность к особым участкам речных долин горных геосистем. Полученные результаты позволят правильно организовать постановку и проведение дальнейших исследований.

Ключевые слова: межгорные бассейны; горные экосистемы; подземные воды; инфильтрация; разгрузка подземных вод; взаимосвязь подземных и поверхностных вод.

Введение

Исследование природы и изменчивости водных ресурсов является одной из важнейших проблем устойчивого развития горных стран. Горы в Кыргызстане занимают 94 % территории, а равнины в пределах межгорных впадин – 6 %. Особые гидрологические, климатические и геолого-гидрогеологические условия определяют формирование потоков подземных вод и активность процессов их взаимодействия с поверхностными водами [1]. Подземные воды наряду с поверхностными водами, сформировавшиеся на территории Кыргызстана, используются для целей орошения и питьевого водоснабжения не только в пределах Кыргызстана, но и в сопредельных странах Центральной Азии, в связи с чем изучение условий формирования потоков подземных вод, их строения и структуры, режима и баланса приобретает особую значимость.

Направления и результаты исследований

Наибольшее число рек (46 %) характеризуется ледниково-снеговым типом питания, около 43 % рек имеют снегово-ледниковое питание, значительно меньшее число рек – снеговое (10 %) и, наконец, меньше всего рек, имеющих снегово-дождевое питание. Почти все реки в той или иной мере получают дополнительное питание за счет разгрузки подземных вод.

Сложность рельефа – глубокая расчлененность, различная экспозиция горных склонов по отношению к солнцу и влажным северным и северо-западным воздушным течениям – обусловливает исключительное разнообразие особенностей климата и определяет четко выраженную климатическую поясность. Климат Памиро-Алая имеет много общего с резко континентальным климатом Тянь-Шаня, однако отличается от последнего значительной стабильностью погоды, имеет меньшую влажность воздуха и большее число солнечных дней. Результаты исследований, выполненных О. А. Подрезовым и другими исследователями [2, 3] по ретроспективной оценке температур и количества осадков для горных территорий, свидетельствуют о мозаичности микроклиматов в горах, существенно зависящих от ландшафтной неоднородности, экспозиций склонов, состояния и наличия лесных экосистем. Основным источником, пополняющим водные ресурсы, являются осадки, выпадающие на водосборной площади, на количество которых в горных странах значительное влияние оказывают лесистость горных склонов, состояние ледниковых и лесных экосистем. Изучение различных ландшафтов на Тянь-Шане показало, что годовые суммы инфильтрационного питания на лесопокрытой территории в 2–2,5 раза превышают их значения по сравнению с территориями, не покрытыми лесом.

Горные хребты разделяют территорию на бассейны стока, в пределах которых формируются особые природные условия: климатические, геолого-гидрогеологические, гидрологические, экосистемные [4–8]. Здесь все компоненты этой весьма сложной геосистемы находятся в теснейшей взаимосвязи, обусловливающей как взаимное развитие, так и деградацию. В пределах гидрологических бассейнов стока горных геосистем Тянь-Шаня выделяются артезианские бассейны межгорных и внутригорных впадин и гидрогеологические массивы. Каждый из таких бассейнов охватывает всю совокупность процессов формирования подземных вод: их питания, движения, внутреннего перераспределения и расходования. На рис. 1 представлена карта геогидро-

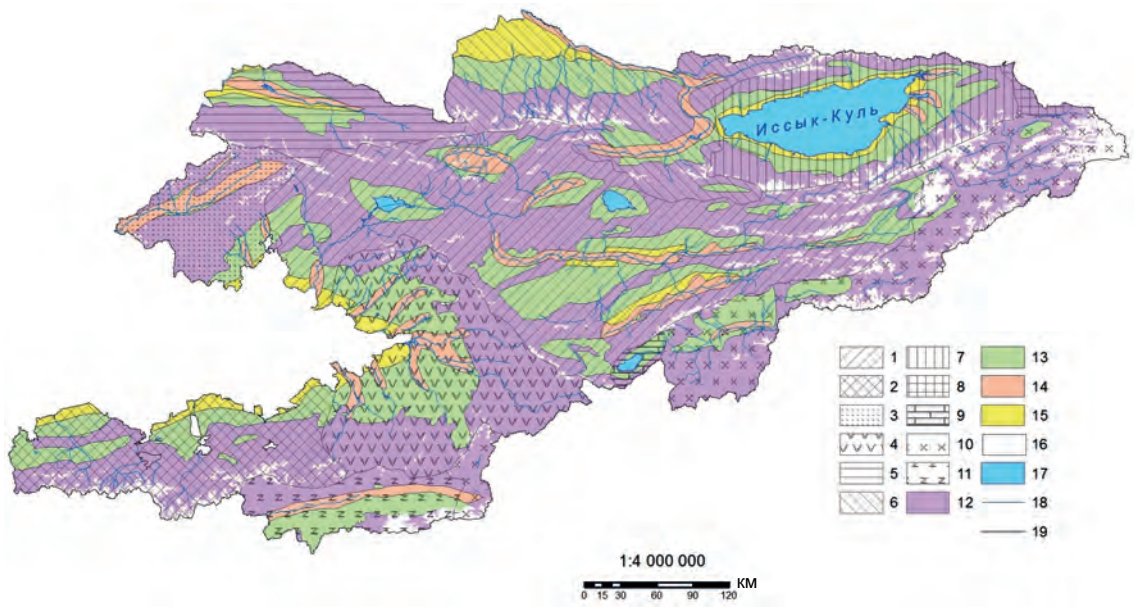


Рисунок 1. Карта геогидрологического районирования Кыргызской Республики. 1–11 гидрологические бассейны: 1 – р. Нарын; 2 – рек южного обрамления Ферганской долины (р. Сырдарья); 3 – рек северного обрамления Ферганской долины (р. Сырдарья); 4 – р. Карадарьи; 5 – р. Талас; 6 – р. Чу; 7 – оз. Иссык-Куль; 8 – оз. Балхаш; 9 – оз. Чатыр-Куль; 10 – р. Тарим; 11 – р. Амударьи; 12–17 – потоки подземных вод; 12 – гидрогеологических массивов; 13 – предгорного типа; 14 – речных долин; 15 – междуречные (водораздельные); 16 – ледники; 17 – озера; 18 – реки; 19 – границы потоков.

логического районирования Кыргызстана с основными гидрологическими бассейнами и потоками подземных вод. Весьма значительные амплитуды абсолютных высот, сложный рельеф, гидрография и климат, экосистемы, особенности геологического развития и другие природные факторы предопределили закономерности формирования поверхностного и подземного стоков, их взаимосвязь, особенности распространения подземных вод в различных гидрогеологических структурах и их гидродинамику. Здесь формируются особые гидрологические, климатические и геолого-гидрогеологические условия.

В пределах бассейнов стока, границы которых определяются водоразделами горных хребтов, и в соответствии с региональным гидрогеологическим районированием, где в качестве основы приняты геологические структуры и геоморфологические особенности, выделены гидрогеологические массивы и артезианские бассейны. Гидрогеологические массивы приурочены к горным хребтам и представляют собой области питания подземных вод внутригорных и межгорных бассейнов подземных вод, приуроченных к межгорным впадинам. Все они сложно построены и обладают рядом отличительных черт, прежде всего характеризуются наличием трех гидрогеологических (структурно-гидрогеологических) этажей или этажей подземных вод, отвечающих трем структурно-геологическим этажам: нижнему, среднему и верхнему. Они отличаются литологическим составом водовмещающих пород, характером водопроницаемости и особенностями распространения подземных вод соответственно.

Нижний этаж образуют породы палеозойского и протерозойского возраста с резко преобладающим трещинным характером водопроницаемости. Средний этаж объединяет мезозойско-кайнозойские отложения, верхний – неоген-нижнечетвертичные. Характер водопроницаемости порово-трещинный и трещинный, реже – поровый. Среди них часто встречаются практически водоупорные породы. Подземные воды этих этажей находятся в условиях затрудненного и весьма затрудненного движения, которое возникает преимущественно под влиянием геологических процессов. Верхний этаж отличается почти повсеместно большей мощностью и включает различные по генезису и составу четвертичные отложения с преимущественно поровым характером водопроницаемости. В них образуются наиболее мощные водоносные горизонты. Верхний этаж характеризуется условиями свободного и затрудненного водообмена, а также движением подземных вод вследствие инфильтрационного питания от орографических водоразделов к базисам дренирования.

Гидродинамические особенности межгорных бассейнов определяются их размерами, малыми (в пределах 10–60 км) расстояниями от области питания до области разгрузки, значительной (до 3–4 км) мощностью осадочного чехла, невыдержанностью по площади и разрезу водоносных и водоупорных пластов, блоковостью строения большинства структур, наличием в пределах межгорных впадин большого числа малых артезианских бассейнов с самостоятельными водными циклами. Большое влияние на гидродинамические особенности бассейнов оказывает связь подземных вод с поверхностными водотоками и водоемами. Поверхностные и подземные воды горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая тесно и сложно взаимосвязаны. Формирование мощных потоков подземных вод осуществляется

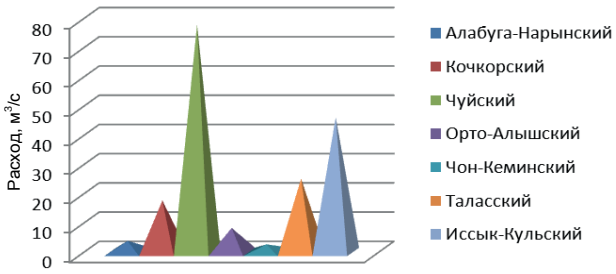


Рисунок 2. Характеристика потерь речного стока на инфильтрацию и питание подземных вод артезианских бассейнов.

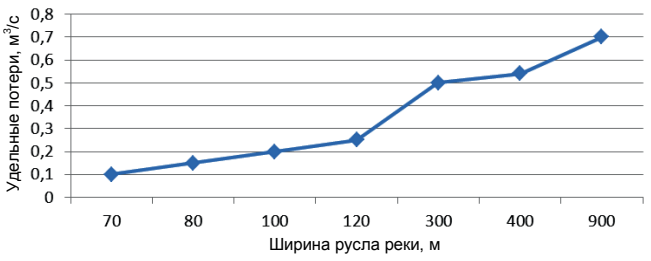


Рисунок 3. Зависимость инфильтрационных потерь от ширины русла реки.

Рисунок 4. Факторы, влияющие на инфильтрацию из русел рек и формирование подземных вод.

главным образом за счет потерь речного стока на инфильтрацию в крупнообломочные четвертичные отложения верховий конусов выноса, обрамляющих предгорья. На рис. 2 приведены данные для некоторых бассейнов, где проведена такая оценка.

Особенности геофильтрации – формирование, движение и разгрузка потоков подземных вод артезианских бассейнов – определяются особенностями структурно-литологического строения территории, характером залегания водовмещающих пород, гидрогеологическими условиями и водохозяйственной деятельностью. Сложены они аллювиальными, аллювиально-пролювиальными, пролювиальными и делювиальными гравийно-галечными отложениями мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен метров, залегающими на палеоген-неогеновых, а иногда непосредственно на разновозрастных палеозойских образованиях. В верхней части (по течению водотока) бассейнов подземные воды формируются вследствие инфильтрации поверхностных вод и частично скрытого дренирования подземных вод, окружающих горных массивов. Особого внимания и более подробного рассмотрения заслуживают области интенсивных потерь речного стока на питание подземных вод, составляющих до 50–75 % общего стока рек при их выходе из предгорий во впадины. Именно здесь происходит формирование запасов всех выделенных месторождений прекрасного качества подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения. Их потенциальные запасы оцениваются в 13 км^3. При этом как инфильтрационные потери, так и разгрузка подземных вод весьма неоднородны в пределах участков реки с определенным типом взаимосвязи. Так, участки с наибольшими значениями удельных потерь приурочены к фрагментам реки, где ширина русла резко увеличивается (рис. 3).

Анализ процессов инфильтрационного питания свидетельствует о его сложной и многофакторной зависимости [9–13]. К естественным факторам, определяющим инфильтрационное питание подземных вод, относятся ландшафтные, метеорологические и геолого-гидрогеологические (рис. 4).

Применительно к конкретному природному объекту, для которого инфильтрационное питание является определяющим в формировании, эти факторы должны анализироваться.

Оценке и анализу должны подвергаться и техногенные факторы, в особенности те, которые способствуют снижению инфильтрационного питания, сокращению запасов подземных вод [12–15]. Как показывают результаты анализа, весьма существенное влияние на снижение инфильтрации оказывают строительство обводных каналов в бетонных руслах, сокращение и необязательность экологических пропусков по рекам, вырубка пойменных лесов. Подземные воды, сформировавшиеся за счет инфильтрационных потерь из русел рек, в основном пресные, безнапорные. Только в центральных частях крупных впадин благодаря переслаиванию гравийно-галечных образований мелкоземами нижние водоносные горизонты становятся субнапорными и напорными. По мере движения подземных вод к нижней части бассейнов емкость водовмещающих пород переполняется вследствие их ограниченного объема и обилия источников питания. Поэтому уже в средних частях бассейнов подземные воды выклиниваются в реки и коллекторно-дренажную сеть. Участки наиболее интенсивной разгрузки приурочены к наиболее узким частям долин, что связано с особенностями блокового строения фундамента и литолого-фациальной смены в аллювиальных отложениях. О размерах участия подземных вод в формировании речного стока свидетельствуют данные, приведенные в качестве примера для рек Чуйского и Нарынского бассейнов (рис. 5).

Далее вниз по течению рек запасы подземных вод постоянно пополняются. В речных долинах аккумулируется и транспортируется на значительные расстояния инфильтрующаяся часть не только поверхностных, но и подземных вод со всей прилегающей территории. Вследствие этого к речным долинам приурочены наиболее крупные месторождения пресных вод, которые являются источником питьевого водоснабжения для всех расположенных вблизи населенных пунктов. Анализ природы формирования ин-

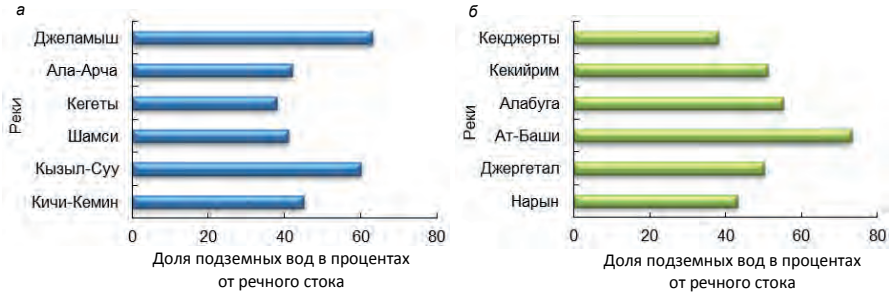
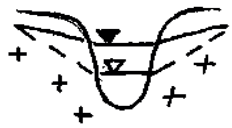
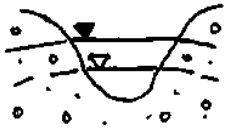
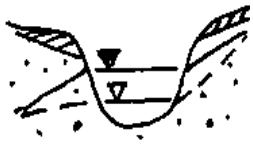
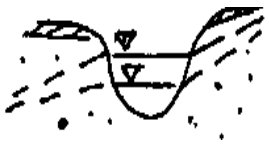


Рисунок 5. Участие подземных вод в формировании речного стока. *а* – бассейна р. Чу; *б* – бассейна р. Нарын.

Типизация взаимосвязи подземных и поверхностных вод в речных долинах горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая.

Участок реки	Тип взаимосвязи	Типовая схема в разрезе	Направление потока подземных вод относительно реки	Средний процент стока
Верховья реки	Постоянное дренирование обоими берегами		Нормально направлению реки	40–70
Верхняя часть долины	Постоянные инфильтрационные потери из русла реки		Свободное	До 60
Средняя часть долины со структурными перемычками	Постоянное дренирование обоими берегами		Нормально направлению реки	30–100
Центральные части долины со структурными перемычками	Переменное дренирование обоими берегами		Нормально направлению реки	20
Среднее, центральное течение реки	Постоянный приток-отток		Нормально одному из берегов	0
Среднее, центральное течение реки	Переменный приток-отток		Нормально одному из берегов	До 10
Центральные части долины	Слабая взаимосвязь, ее отсутствие		Параллельно направлению русла	0

фильтрационных потерь из русел рек, выполненный на основе специальных гидрометрических работ, показывает, что существенное влияние на их величину оказывает изменение морфометрических характеристик долины: ширины русла и поймы, особенностей тектонического строения долины. Влияют также изменение состояния пойменных экосистем и строительство обводных каналов в бетонных руслах. Анализ особенностей взаимодействия подземных и поверхностных вод, выполненный на основе специальных гидрометрических и балансовых исследований, позволил выделить типы их взаимосвязи и приуроченность к особым участкам речных долин в пределах горных геосистем (таблица).

В нижнем течении реки приобретают равнинный облик и характеризуются спокойным течением и меандрированием русел. Здесь отмечаются участки реки, где взаимосвязь с подземными водами на противоположных берегах имеет разную направленность. Эта закономерность особенно четко прослеживается на примере долины р. Чу. В пределах межгорных бассейнов полностью заканчиваются все гидродинамические процессы, составляя единый цикл: формирование, накопление, движение и разгрузка подземных вод. Однако сам гидродинамический процесс здесь очень сложный.

Выводы

Инфильтрационные потери из русел рек и разгрузка подземных вод в реки весьма неоднородны в пределах участков с однотипной взаимосвязью. Эту неоднородность определяет изменение морфометрических характеристик долины: ширины русла и поймы, особенности тектонического строения.

Анализ особенностей взаимодействия подземных и поверхностных вод Тянь-Шаня и Памиро-Алая позволил выделить типы их взаимосвязи и приуроченность к определенным участкам речных долин, определить средний процент стока.

Выделенные типы взаимосвязи подземных вод с реками горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая, характеристика ориентированности потоков подземных вод и приуроченность к определенным участкам позволят целенаправленно проводить дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оролбаева Л. Э. Геогидрология горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая). Бишкек: Текник, 2013. 185 с.
2. Подрезов О. А. Современный климат Бишкека, Чуйской долины и Северного склона Киргизского хребта. Бишкек, 2013. 201 с.

3. Dietz A. et al. Identifying changing snow cover characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing Data // Remote Sensing. 2014. Vol. 6(12). P. 12752–12775.
4. Orolbaeva L. E. Impact of afforestation and reforestation on local communities // Economic and Social Assessment FAO. Rome, Italy, 2009. 51 p.
5. Mountain Forests in a Changing World. Geneva: FAO, 2011. 84 p.
6. Holmes R. M. The importance of ground water to stream ecosystem function // Streams and Ground Waters. New York: Academic Press, 2000. P. 137–147.
7. Howard K., Mailer H. S., Mattson S. L. Ground-surface water interaction and the role of the hyporheic zone // Ground water and Ecosistems. Netherlands, 2006. P. 131–143.
8. Ecosystems and human well-being: Health Synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment, 2005. 138 p.
9. Шестаков В. М., Поздняков С. П. Геогидрология. М.: Академкнига, 2003. 175 с.
10. Оролбаева Л. Э. Опытно-фильтрационные наблюдения в речных долинах межгорных впадин Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 1986/ 180 с.
11. Гриневский С. О. Модельный анализ природных факторов формирования инфильтрационного питания подземных вод // Комплексные проблемы гидрогеологии: тез. докл. науч. конф. СПб.: СПб. ун-т, 2011. С. 58–60.
12. Grinevskiy S. O., Pozdniakov S. P. Simulation of regional-scale groundwater recharge and its change under transient climate conditions // Calibration and Reliability in Groundwater Modeling «Managing Groundwater and the Environment»: Proceeding of the 7th International conference on calibration and reliability in groundwater modeling ModelCARE, Wuhan. China, China University of Geosciences, 2009. P. 499–502.
13. Bhagu R. Chahar, Suman K. Dhaka. Groundwater Modeling of Banas River Basin // World Environmental and Water Resources Congress (Cincinnati, Ohio, May 19–23, 2013). Reston: ASCE, 2013. P. 450–459.
14. Шестаков В. М., Невечеря И. К., Авилина И. В. Методика оценки ресурсов подземных вод на участках береговых водозаборов. М.: МГУ, 2009. 192 с.
15. Steven M. Gorelick, Chunmiao Zheng. Global change and the groundwater management challenge // Water Resources Research. 2015. Vol. 51. P. 3031–3051.

REFERENCES

1. Orolbaeva L. E. 2103, *Geogidrologiya gornykh stran (na primere Tyan'-Shanya i Pamiro-Alaya)* [Geohydrology of mountainous countries (on the example of Tien-Shan and Pamir-Alai)]. Bishkek, 185 p.
2. Podrezov O. A. 2013, *Sovremennyy klimat Bishkeka, Chuyskoy doliny i Severnogo sklona Kirgizskogo khrebta* [The modern climate of Bishkek, Chui valley and the northern slope of the Kirghiz ridge], Bishkek, 201 p.
3. Dietz A. et al. 2014, Identifying changing snow cover characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing Data. Remote Sensing, vol. 6(12), pp. 12752–12775.
4. Orolbaeva L. E. 2011, Impact of afforestation and reforestation on local communities. Economic and Social Assessment FAO, Rome, 51 p.
5. 2011, Mountain Forests in a Changing World, Geneva: FAO, 84 p.
6. Holmes R. M. 2000, The importance of ground water to stream ecosystem function. Streams and Ground Waters, New York, pp. 137–147.
7. Howard K., Mailer H. S., Mattson S. L. 2006, Ground-surface water interaction and the role of the hyporheic zone. Ground water and Ecosystems, Netherlands, pp.131–143.
8. 2005, Ecosystems and human well-being: Health Synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment, 138 p.
9. Shestakov V. M., Pozdnyakov S. P. 2003, Geogidrologiya[Geohydrology], Moscow, 175 p.
10. Orolbaeva L. E. 1986, *Opytno-fil'tratsionnye nablyudeniya v rechnykh dolinakh mezhgornykh vpadin Tyan'-Shanya* [Experimental-filtration observations in river valleys of the intermountain basins of the Tien-Shan], Bishkek, 180 p.
11. Grinevskiy S. O. 2011, *Model'nyy analiz prirodnykh faktorov formirovaniya infil'tratsionnogo pitaniya podzemnykh vod* [Model analysis of natural factors of formation of infiltration feed of groundwater]. *Kompleksnye problemy gidrogeologii: tez. dokl. nauch. konf.* [Complex problems of hydrogeology: thesis of report of scientific Conference], Saint Petersburg, pp. 58–60.
12. Grinevskiy S. O., Pozdniakov S. P. 2009, Simulation of regional-scale groundwater recharge and its change under transient climate conditions. Calibration and Reliability in Groundwater Modeling “Managing Groundwater and the Environment”: Proceeding of the 7th International conference on calibration and reliability in groundwater modeling ModelCARE, Wuhan. China, pp. 499–502.
13. Bhagu R. Chahar, Suman K. Dhaka 2013, Groundwater Modeling of Banas River Basin. World Environmental and Water Resources Congress (Cincinnati, Ohio, May 19–23, 2013), Reston, pp. 450–459.
14. Shestakov V. M., Nevecherya I. K., Avilina I. V. 2009, *Metodika otsenki resursov podzemnykh vod na uchastkakh beregovykh vodozaborov* [Method for assessing groundwater resources in coastal water intake sites]. Moscow, 192 p.
15. Steven M. Gorelick, Chunmiao Zheng 2015, Global change and the groundwater management challenge. Water Resources Research, vol. 51, pp. 3031–3051.

Лидия Эргешевна Оролбаева,
orolbaeval@mail.ru
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова
Кыргызская Республика, Бишкек, просп. Мира, 66

Lidiya Ergeshevna Orolbaeva,
orolbaeval@mail.ru
Institute of Mining and Mining Technologies
Bishkek, Kyrgyzstan

УДК 556

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-28-33

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ТЕХНОГЕНЕЗА НА УРАЛЕ

О. Н. Грязнов, С. Н. Елохина

Geoecological problems of mining technogenesis in the Urals

O. N. Gryaznov, S. N. Elokhina

The authors show representations of "geoecology" as a part of geological science, mining industrial technogenesis of active and passive stages. The authors consider types of the technogenic and natural-technogenic geological processes and phenomena associated with the development of solid minerals deposits of the Urals by mining methods: technogenic landscapes and their degradation; subaerial, subaquatic and subterral anthropogenic lithogenesis; hydrogenic processes - drainage of mining and quarry fields, full or partial self-sinking of mine workings, technogenic aeration zones, pouring of mine waters on the surface, flooding and bogging of territories, activation of geochemical and hydrochemical processes, pollution of surface and groundwater; geodynamic processes - landslides, avalanches, landslides in mine workings, activation of technogenic surface gravity-erosion processes; subterranean processes – mountain beats, shooting, destruction of excavations, zones of collapse, technogenic earthquakes, blowouts of groundwaters and quicksands, activation of karst and suffosion processes, underground explosions and fires. The article contains characteristics of the formation processes of technogenic hydro-mineral raw materials - drainage waters of coal and copper-pyrite deposits of the Urals with industrial contents of chalcophilic and lithophilic elements, including rare-earth elements. Authors show that the geoecological problems of mining industrial technogenesis are due to the manifestation of dangerous geological processes specific for the active and passive stages of technogenic impact on the environment. Their identification, study, assessment by means of mapping and monitoring observations, and the development forecast will allow developing environmental measures and minimizing the damage caused.

Keywords: geoecology; mining industrial technogenesis; active, passive stage; hydromineral resources; dangerous natural and natural-technogenic geological processes.

Приведены представления о «геоэкологии» как разделе геологической науки, горнопромышленном техногенезе активной и пассивной стадий. Рассмотрены типы техногенных и природно-техногенных геологических процессов и явлений, связанных с разработкой месторождений твердых полезных ископаемых Урала горными способами: техногенные ландшафты и их деградация; субаэральный, субаквальный и субтерральный антропогенный литогенез; гидрогенные процессы – дренаж шахтных и карьерных полей, полное или частичное самозатопление горных выработок, техногенные зоны аэрации, излив шахтных вод на поверхность, подтопление и заболачивание территорий, активизация геохимических и гидрохимических процессов, загрязнение поверхностных и подземных вод; геодинамические процессы – оползни, обвалы, оползни в горных выработках, активизация техногенных поверхностных гравитационно-эрозионных процессов; субтерральные процессы – горные удары, стреляние, разрушение выработок, зоны обрушения, наведенные землетрясения, прорывы подземных вод и плывунов, активизация карстовых и суффозионных процессов, подземные взрывы и пожары. Охарактеризованы процессы формирования техногенного гидроминерального сырья – дренажных вод угольных и медноколчеданных месторождений Урала с промышленными содержаниями халькофильных и литофильных, в том числе редкоземельных элементов. Показано, что геоэкологические проблемы горнопромышленного техногенеза связаны с проявлением опасных геологических процессов, специфических для активной и пассивной стадий техногенного воздействия на окружающую среду. Их выявление, изучение, оценка средствами картографирования и мониторинговых наблюдений, прогноз развития позволяют минимизировать причиняемый ущерб и разрабатывать природоохранные мероприятия.

Ключевые слова: геоэкология; горнопромышленный техногенез; активная, пассивная стадии; гидроминеральные ресурсы; опасные природные и природно-техногенные геологические процессы.

Геоэкология – раздел геологической науки, изучающий экологические проблемы геологической среды и сопряженных с ней приземной атмосферы и поверхностной гидросферы в их взаимодействии. Важнейшая задача геоэкологии – оценка трансформации окружающей среды под воздействием природных и техногенных процессов с целью минимизации причиняемого ущерба и разработки природоохранных мероприятий [1]. В связи с этим знание проблем, связанных с горнопромышленным техногенезом, имеет важное научное и практическое значение. Горнопромышленный техногенез, по Н. И. Плотникову, – это комплекс техногенных и природно-техногенных процессов, связанных с разработкой месторождений твердых полезных ископаемых горными способами [2]. Для Урала они перечислены авторами в таблице, опубликованной в материалах Международной конференции, прошедшей в Бишкеке в сентябре 2016 г. [3]. Их краткая характеристика приводится в настоящей статье.

Горнопромышленный техногенез формируется в две стадии – активную и пассивную [4]. Стадия активного техногенеза охватывает период разработки месторождения горнодобывающим предприятием (ГДП). Пассивная стадия отвечает периоду прекращения добычных работ, закрытия ГДП и, как принято на Урале, самозатопления горных выработок. В первую стадию активно развиваются *техногенные* геологические процессы, а во вторую функционируют *природно-техногенные* процессы. Те и другие нередко именуют инженерно-геологическими, поскольку они обусловлены инженерной деятельностью человека.

Геоэкологические проблемы активной стадии горнопромышленного техногенеза связаны с формированием техногенного рельефа вследствие складирования вмещающих горных пород и забалансовых руд в отвалы с развитием антропогенного субаэрального литогенеза, карьерных выемок, дорожных насыпей, зон обрушения, карстово-суффозионных провалов; проявлением гидрогенных процессов, охватывающих образование техногенных зон аэрации вследствие дренажа шахтных и карьерных полей, подтопление и заболачивание территорий в связи со сбросом дренажных вод, активизацию геохимических процессов и загрязнение поверхностных и подземных вод; развитием геодинамических процессов (осыпей, обвалов, оползней) в открытых горных выработках и зонах обрушения; субтерральных процессов вследствие перераспределения напряженно-деформированного состояния скальных массивов и представленных горными ударами, стрелянием, разрушением горных выработок, техногенными землетрясениями; прорывами подземных вод и плывунов; активизацией карстовых и суффозионных процессов; взрывами газа и подземными пожарами. Примером проявления горнопромышленного техногенеза активной стадии может служить «Дегтярский техногенез» (рис. 1).

Особое место в горнопромышленном техногенезе активной стадии занимают процессы формирования техногенного гидроминерального сырья – дренажных вод угольных и медноколчеданных месторождений Урала с промышленными содержаниями ряда химических элементов. К сожалению, большая их часть не использовалась. В 1995 г. горнодобывающие предприятия Свердловской области сбрасывали в речную сеть свыше 80 % дренаж-

Техногенные и природно-техногенные геологические процессы при разработке месторождений твердых полезных ископаемых Урала.

Группы* и классы процессов	Виды процессов и их проявлений	
	Активная стадия горнопромышленного техногенеза (техногенные процессы)	Пассивная стадия горнопромышленного техногенеза (природно-техногенные процессы)
1. Ландшафты	Создание техногенного ландшафта	Деградация ранее образованных и создание новых элементов техногенного ландшафта (карьерные озера и пр.)
2. Антропогенный литогенез	При ведении горных работ	После закрытия предприятия
2.1. Субаэральный	Насыпные грунты: отвалы горных пород и забалансовых руд; при строительстве дорог, рекультивации карьерных выемок, провалов и зон обрушения; намывные грунты: хвосты обогащения	Деградация, физическое и химическое выветривание отвалов горных пород и забалансовых руд и других техногенных образований
2.2. Субаквальный	Техногенный аллювий	Вынос и осаждение взвешенных частиц при изливе шахтных вод и деградации техногенных грунтов
2.3. Субтерральный	Техногенное выветривание; погребенные технологические потери горных пород и руд	Деградация и размыв подземных техногенных полостей, подземная суффозия
3. Гидрогенная	Дренаж шахтных и карьерных полей	Подъем уровня подземных вод (полное или частичное самозатопление шахтных и карьерных полей)
3.1. Гидродинамический	Техногенные зоны аэрации, сброс дренажных вод с подтоплением и заболачиванием, эрозионным размывом	Изменение структуры фильтрационного потока подземных вод; излив шахтных вод на поверхность земли, подтопление и заболачивание; в ряде случаев сохранение водоотлива (полностью или частично) и техногенной зоны аэрации
3.2. Геохимический	Активизация геохимических процессов	Активизация геохимических процессов: растворение вторичных минералообразований, смешение, разбавление, осаждение
3.3. Гидрохимический	Загрязнение поверхностных и подземных вод	Загрязнение поверхностных и подземных вод, в том числе на водозаборах
4. Геодинамическая	Оползни, обвалы, осыпи в открытых горных выработках и зонах обрушения	Активизация техногенных поверхностных гравитационно-эрозионных процессов
5. Субтерральная	При ведении подземных горных работ	После закрытия предприятия
5.1. Литодинамический	Деформационные процессы вследствие перераспределения напряженно-деформационного состояния массивов горных пород: горные удары, стреляние, разрушение горных выработок, техногенные землетрясения; зоны обрушения; вывалы, осыпание горных пород; пучение глинистых пород	Нарушение напряженно-деформационного состояния массивов горных пород при их вторичном замачивании: разжижение и снижение прочностных свойств горных пород; гравитационно-эрозионные процессы
5.2. Гидрогеодинамический	Прорывы подземных вод и плывунов	Прорывы подземных вод и плывунов из старых выработок в новые
5.3. Геодинамический	Активизация карстовых и суффозионных процессов	Активизация карстовых и суффозионно-карстовых процессов, техногенная механическая суффозия
5.4. Геотермический	Подземные пожары и взрывы газов	Формирование особого геотемпературного градиента

*Группы выделены жирным шрифтом.

ных вод, в Челябинской области – более 75 % [5]. Наиболее изученными объектами являлись Кизеловский угольный бассейн, Дегтярское и Левихинское медноколчеданные месторождения. Работы выполнены подразделениями Уральского ПГО с участием специалистов НИИ и вузов (А. Г. Вострокнутов, А. М. Катаев, Л. С. Табаксблат, А. П. Ощепкова и др.) [6].

В *Кизеловском* районе угленосными являются нижневизейские отложения, содержащие до 28 пластов. Работы 10 ГДП были сосредоточены на 4 пластах: 13, 11, 9 и 5. 41 % запасов приходился на пласт 13. Угли высокозольные (28–31 %). Содержание серы в среднем составляло 5,5 %. На пиритную серу приходилось 59 %, органическую – 40 %, сульфатную – 1 %. Выход пирита при обогащении превышал 5 %.

Гидрогеологические условия бассейна определяются пластово-трещинными водами терригенных пород угленосной толщи и карстовыми водами надугольной и подугольной толщ известняков. Ведущую роль в обводнении месторождений играют карстовые воды. Среднегодовые водопритоки в период 1949–1958 гг. существенно варьировали от 32 до 199 м^3/ч на шахте «Гремячинская», до 1720–2204 м^3/ч на шахте «Капитальная». За пределами шахтных полей по химическому составу карстовые воды являлись гидрокарбонатными кальциевыми, близнейтральными (pH = 7,1–7,5), слабоминерализованными (сухой остаток 100–350 мг/л) при общей жесткости 2,5–5,35 мг-экв и карбонатной жесткости 1,43–3,21 мг-экв.

Исследования 1985–1991 гг. позволили получить интересную информацию о формировании техногенных гидроминеральных ресурсов. Объем дренажных вод колебался от 648 до 1480 м^3/ч, составляя в среднем 834 м^3/ч (20 тыс. м^3/сут) на шахте «Широковская», 1006 м^3/ч (24,1 тыс. м^3/сут) на шахте «Ключевская». Суммарный водоприток превышал 63 тыс. м^3/сут. Минерализация колебалась от 1810 до 10247 мг/л при концентрации SO_4^{-2} 1498–7950 мг/л, pH = 2,3–2,7 и широком геохимическом спектре с преобладанием редкометалльно-редкоземельной промышленной специализации. Они представляли собой «жидкие руды» с высокими концентрациями Be (коэффициент промышленной концентрации Кк = 2), Y (Кк = 6,3), Sm (2,89), Yb (5,2), Tb (4,4), Eu (1,7), Nd (3,7), Dr (4,6), чрезвычайно высоким содержанием Gd (Кк = 23,7), а также высокими концентрациями Fe (Кк = 8,99), Co (6,8), повышенными содержаниями Mn (1,08), Ni (0,9).

Дренажные воды Кизеловского бассейна не осваивались промышленностью. Они сбрасывались в малые реки бассейна р. Камы (ее притоки – реки Косьву, Губашку, Кизел, Полуденный Кизел), загрязняя их экологически опасными компонентами [7].

Дренажные воды колчеданных месторождений Урала на активной стадии горнопромышленного техногенеза ежегодно вы-

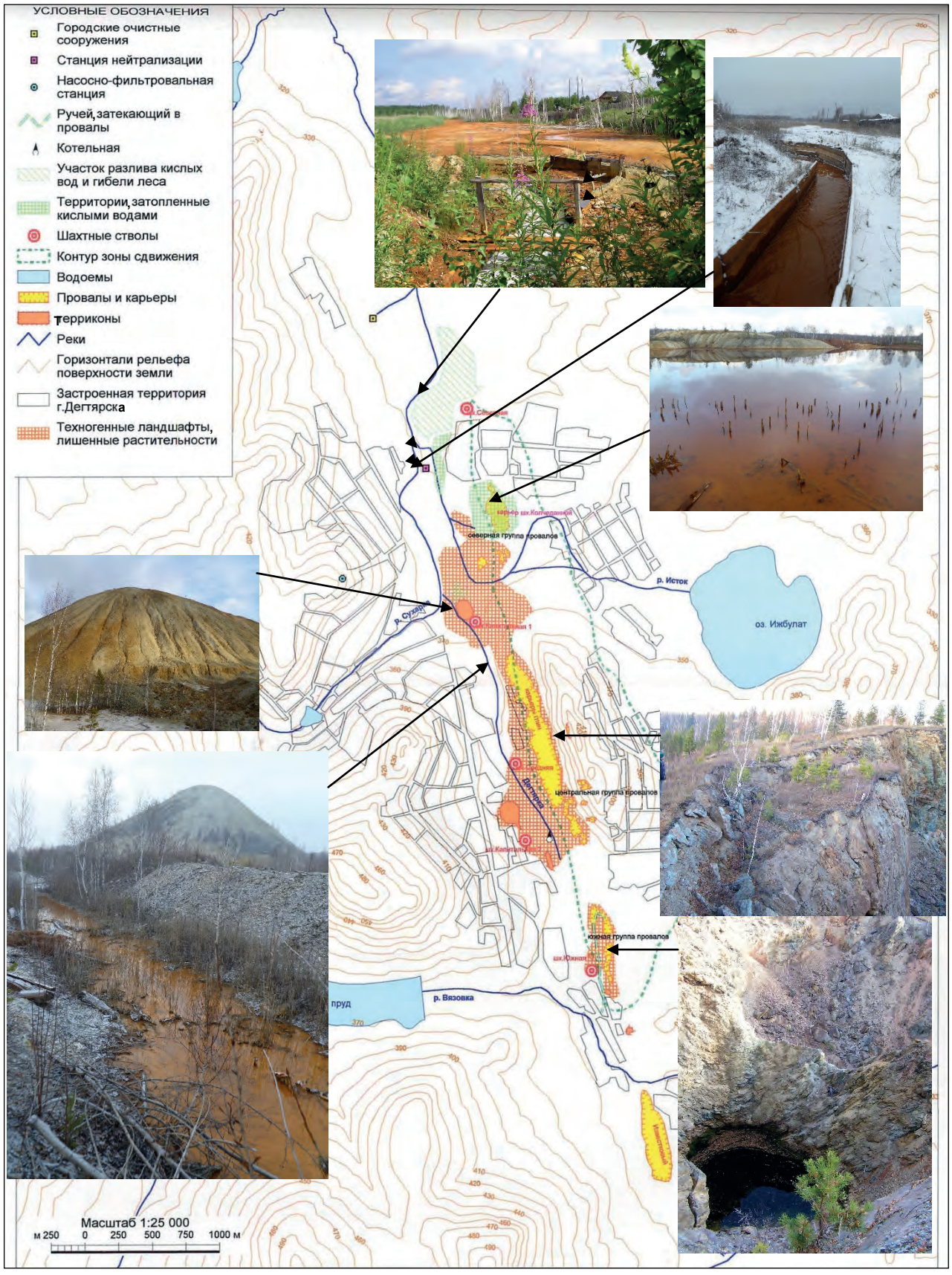


Рисунок 1. Схема расположения техногенных объектов на территории «Дегтярского техногенеза» [4].

носили в окружающую среду огромное количество халькофильных компонентов: Cu – от 90 кг (Турьинский рудник) до 44,15 т (Ломовский рудник) в пересчете на 1 км^2 ландшафта; Zn – от 56,61 т (Красногвардейское месторождение) до 123,17 т (Ломовский рудник); SO_4^{-2} от 419,2 т (Турьинский рудник) до 1808,1 т (Красногвардейское месторождение); самоизливающиеся шахтные воды отработанного Карпушихинского месторождения содержали меди в количестве 44 мг/л и цинка 64 мг/л [5, 6]. Рас-

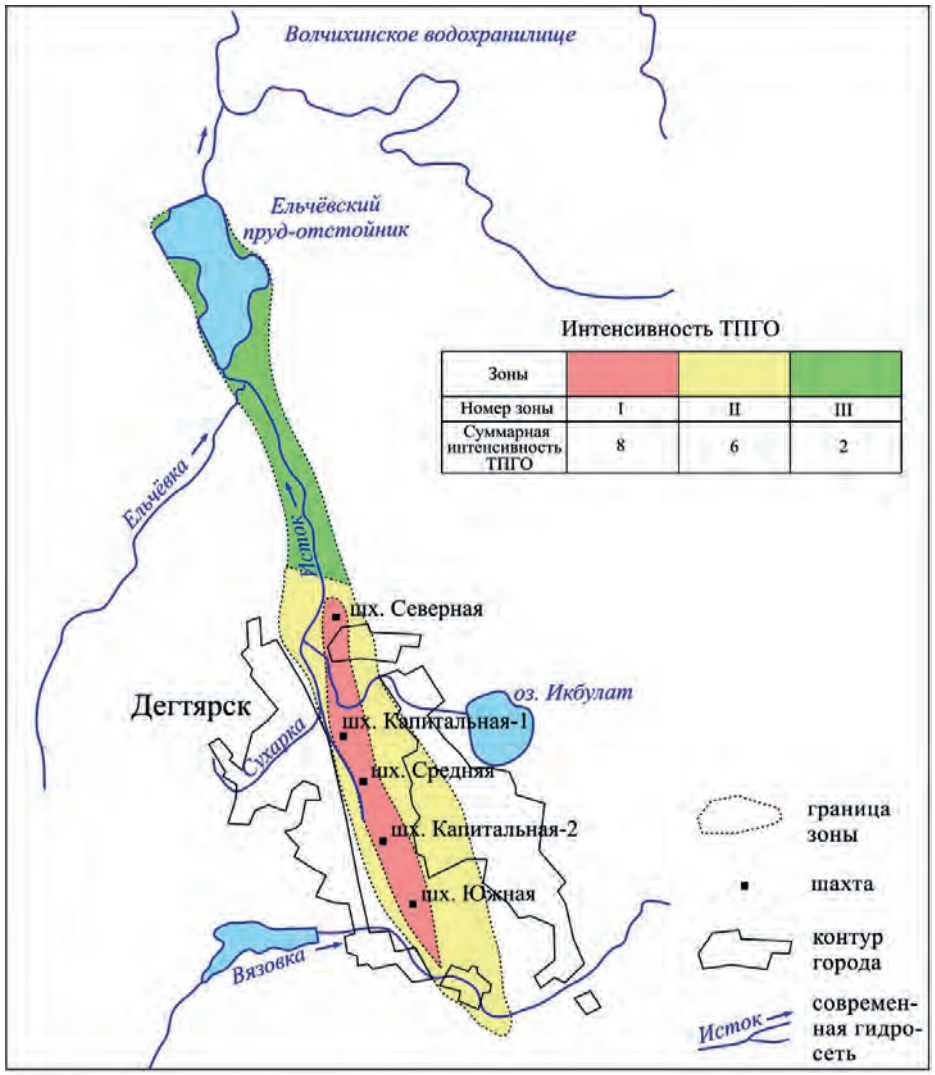


Рисунок 2. Зонирование территории Дегтярского техногенеза по интенсивности ТПГО.

смотрим техногенные гидроминеральные ресурсы Дегтярского и Левихинского месторождений.

На *Дегтярском* медноколчеданном месторождении распространены грунтово-трещинные, трещинно-жильные, трещинно-карстовые подземные воды зон трещиноватости палеозойских пород. Депрессионная воронка, созданная многолетним шахтным водоотливом, имела форму овала, вытянутого меридионально на 6 км при ширине до 1,3 км. В 1948–1989 гг. среднемесячные водопритоки в шахтах составляли 169–529 м^3/ч, а среднегодовой суммарный водоприток 182–424 м^3/ч. Химический состав шахтных вод формировался под влиянием активного окисления сульфидов и сернокислотного выщелачивания рудовмещающих пород. Дренажные воды рудника относились к сульфатным магниево-кальциево-железистым, кислым и ультракислым, солоноватым. Минерализация в шахтах «Капитальная-1» и «Капитальная-2» варьировала по средним значениям 2,8–7,8 г/л при изменении сухого остатка 3,3–8,5 г/л, pH = 2,54–3,58 и содержании взвешенных частиц 52–467 мг/л. Воды общешахтного водоотлива характеризовались широким геохимическим спектром. Повышенными значениями коэффициента промышленной концентрации (Кк) отличались: Cu (0,53–1,55), Zn (1,47–8,95), W (3,33–9,66), Nb (1,5–7,5), Zr (до 1,3), Au (1,3–3 г/т), La (до 3,6), Yb (до 7,8), Sm (0,7–3,5), Lu (0,5–2,5), Ce (до 2,8), Tb (до 1). Ежегодно с дренажными водами Дегтярского рудника, по приблизительной оценке А. Г. Востроknутова (1989), выносилось 8,2 тыс. т сульфатов. По ориентировочным расчетам авторов статьи, водоотлив шахты «Капитальная-2» ежегодно поставлял: Cu – 116,6 т, Zn – 652,5 т, W – 421 кг, Nb – 109 кг, Zr – 189 кг, Au – 4,64 кг, Ce – 696 кг, La – 421 кг, Sm – 102 кг, Yb – 57 кг, Lu – 7,25 кг.

Горные работы на руднике были остановлены в 1995 г. на глубине 610 м. После полного затопления выработанного пространства в 1999 г. химический состав рудничных вод на самоизливе оказался сопоставим с составом дренажного стока. Однако через 14 лет установлено снижение концентраций химических элементов на выходе рудничных вод на поверхность [4].

Левихинское медноколчеданное месторождение принадлежит к системе бассейнов подземных вод зон трещиноватости в породах палеозоя восточного склона Урала. Гидрогеологические условия простые. Водопритоки формируются за счет трещинных вод зоны региональной экзогенной трещиноватости коренных пород и трещинно-жильных вод тектонических нарушений и литологических контактов.

Среднегодовая величина откачки вод на Левихинском руднике за 26 лет изменилась от 134 м^3/ч (в 1961 г.) до 343 м^3/ч (в 1987 г.) при корреляции с количеством атмосферных осадков и величиной речного стока. Исследованиями Уралгидроэкспедиции 1986–1988 гг. установлены гарантированные величины водоотлива на шахте «Центральная» (95 % обеспеченности): среднегодовые – 148 м^3/ч, среднемеженные – 130 м^3/ч, минимальные среднемесячные – 122 м^3/ч. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатные магниево-кальциевые, слабоминерализованные (0,3 г/л). По мере разработки месторождения, разви-

тия процессов окисления сульфидов и сернокислотного выщелачивания пород на глубоких горизонтах, в зоне затрудненного водообмена, шахтные воды приобретали сульфатно-натриевый состав при pH = 2,35–2,48, высокой минерализации (до 36 г/л), обогащались сульфатами, Cu, Zn, Fe, Mn, редкоземельными элементами. Исследованиями Л. С. Табаксблата (1988) в шахтных водах отдельных горизонтов и общешахтного водоотлива установлены промышленные концентрации РЗЭ: Gd (Кк = 256–296), Tm (23–188), Yb (20,6), Tb (13,6), Sm (11,6), Eu, Lu, Ce, La (n,0). Для Mn, Cu и Zn Кк – в пределах первого порядка. Ориентировочные расчеты свидетельствуют, что шахтные воды Левихинского рудника выносили на поверхность в год значительное количество микрокомпонентов: Mn – 61,2 т, Cu – 199,6 т, Zn – 411,6 т, Ni – 298 кг, Cd – 1 т, Gd – 6,6 т, Ce – 563 кг, Sm – 302 кг, Eu – 129 кг, La – 108 кг, Tm – 60 кг, Yb – 55 кг, Lu – 22 кг, Tb – 17 кг.

Проведенные исследования позволяют сделать некоторые выводы. Дренажные воды угольных, медноколчеданных месторождений Среднего Урала характеризуются повышенными содержаниями ряда сидерофильных, халькофильных и литофильных (в том числе РЗЭ) химических элементов. Ежегодно они выносят в окружающую среду значительное количество загрязняющих, в том числе токсичных элементов и их соединений. Шахтные воды при разработке соответствующих технологий извлечения полезных компонентов могут являться важным источником попутного гидроминерального сырья. Затопленные рудники в ряде случаев сохраняют ресурсный потенциал как источники гидроминерального сырья [4].

Геоэкологические проблемы *пассивной стадии* горнопромышленного техногенеза обусловлены деградацией техногенных ландшафтов активной стадии, созданием новых элементов техногенного ландшафта – карьерных озер, затопленных зон обрушения и др. При полном или частичном самозатоплении шахтных полей происходит излив шахтных вод на поверхность, подтопление и заболачивание территорий, что наблюдается, в частности, при ликвидации Дегтярского, Левихинского, Крылатовского рудников, отработавших одноименные месторождения. Активизация геохимических и гидрохимических процессов приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, в том числе на водозаборах (водозабор на отработанном Пышминско-Ключевском медно-кобальтовом месторождении). Природно-техногенные гравитационные и эрозионные процессы на отвалах горных пород, в бортах незатопленных карьеров и выемок обусловливают проявление осыпей, оползней, обрушений, размыв рыхлых отложений. Субтерральные процессы в затопленных выработках провоцируют гравитационно-эрозионные явления вследствие снижения прочностных свойств пород при их замачивании, вызывают прорывы подземных вод и плывунов в ходе подъема уровня подземных вод и перераспределения напоров, активизируют карстовые, суффозионные процессы, формирование особого геотемпературного режима. Вследствие затопления горных выработок на пассивной стадии горнопромышленного техногенеза и развития специфических процессов формируются техноприродные геологические опасности (ТПГО), ответственные за негативную трансформацию геоэкологических условий окружающей среды. Примером зонирования территорий по ПТГО может служить Дегтярский рудник (рис. 2).

Таким образом, геоэкологические проблемы горнопромышленного техногенеза связаны с проявлением опасных геологических процессов, свойственных активной и пассивной стадиям техногенного воздействия на окружающую среду. Их выявление, изучение, оценка средствами картографирования и мониторинговых наблюдений, прогноз развития позволяют минимизировать причиняемый ущерб и разработать природоохранные мероприятия [8–15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Грязнов О. Н. Геологические аспекты экологической безопасности // Экологическая безопасность промышленных регионов: Материалы II Уральского междунар. экологич. конгресса. Екатеринбург: СОО ОО МАНЭБ, Ин-т экономики УрО РАН. 2011. С. 49–54.
2. Плотников Н. И. Техногенные изменения гидрогеологических условий. М.: Недра, 1989. 268 с.
3. Грязнов О. Н., Елохина С. Н. Горнопромышленный техногенез при разработке месторождений твердых полезных ископаемых Урала // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы XIV Междунар. конф. (Москва–Бишкек, 14–20 сент. 2015 г.). М.: Изд-во РУДН, 2015. С. 257–259.
4. Елохина С. Н. Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале / под ред. О. Н. Грязнова. Екатеринбург: ООО «УИПЦ». 2013. 187 с.
5. Грязнов О. Н., Новиков В. П. Фельдман А. Л. Гидрогеологические и геоэкологические аспекты разработки рудных месторождений Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 1995. № 5. С. 95–101.
6. Грязнов О. Н., Палкин С. В., Новиков В. П., Востроknутов А. Г., Катаев А. М. Дренажные воды – источник техногенного гидроминерального сырья на Урале // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 11/12. С. 58–65.
7. Грязнов О. Н. Елохина С. Н. Экологические проблемы горнодобывающих районов Урала // Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика) / под ред. И. И. Косиновой. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2015. С. 336–373.
8. Грязнов О. Н. Природно-технические системы – универсальные системы взаимодействия инженерных сооружений (объектов) и природной среды // Изв. УГГУ. 2015. Вып. 4(40). С. 5–10.
9. Островский А. А., Цыпина И. М. Методические рекомендации по проведению гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 50 000 для целей промышленного и гражданского строительства. М.: ВСЕГИНГЕО, 1984. 103 с.
10. Голицын М. С., Островский В. Н., Островский Л. А. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1 : 50 000–1 : 25 000. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. 127 с.
11. Грязнов О. Н., Брусницын В. Д., Бордокова В. Г. Методические основы геоэкологического районирования урбанизированных территорий (на примере Воронцовского рудного поля. Сев. Урал) // Изв. УГГА. Сер. Геология и геофизика. 2002. Вып. 15. С. 243–252.
12. Осипов В. И., Бурова В. Н., Заиканов В. Г., Молодых И. И., Пырченко В. А. Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. № 4. С. 306–318.
13. Осипов В. И., Кутепов В. М., Анисимова Н. Г., Кожевникова И. А., Козлякова И. В. Районирование геологической среды города Москвы для целей строительства объектов с заглубленными основаниями // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2011. № 3. С. 227–237.
14. Отчет по комплексной гидрогеологической, инженерно-геологической и геоэкологической съемке М 1 : 50 000 листа Q-42-50-А (Салехард) / О. Н Грязнов [и др.]. Екатеринбург, 2004.
15. Королев В. А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. М.: КДУ, 2007. 416 с.

REFERENCES

1. Gryaznov O. N. 2011, *Geologicheskie aspekty ekologicheskoy bezopasnosti* [Geological Aspects of Ecological Safety]. *Ekologicheskaya bezopasnost' promyshlennykh regionov: Materialy II Ural'skogo mezhdunar. ekologich. kongressa* [Ecological safety of industrial regions: Materials of the II Ural international ecological congress], Ekaterinburg, pp. 49–54.
2. Plotnikov N. I. 1989, *Tekhnogennye izmeneniya gidrogeologicheskikh usloviy* [Technogenic changes in hydrogeological conditions], Moscow, 268 p.
3. Gryaznov O. N., Elokhina S. N. 2015, *Gornopromyshlennyy tekhnogenez pri razrabotke mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh Urala* [Mining industrial technogenesis in the development of solid mineral deposits in the Urals]. *Resursovosproizvodyashchie, malootkhodnye i prirodookhrannye tekhnologii osvoeniya nedr: Materialy XIV Mezhdunar. konf.* [Resource-reproducing, low-waste and nature protection technologies for subsoil development: Materials of the XIV international conference], Moscow, pp. 257–259.
4. Elokhina S. N. 2013, *Gidrogeoekologicheskie posledstviya gornogo tekhnogeneza na Urale* [Hydrogeoecological consequences of mining technogenesis in the Urals], Ekaterinburg, 187 p.
5. Gryaznov O. N., Novikov V. P. Fel'dman A. L. 1995, *Gidrogeologicheskie i geoekologicheskie aspekty razrabotki rudnykh mestorozhdeniy Urala* [Hydrogeological and geoecological aspects of the development of ore deposits in the Urals]. Izv. vuzov. Gornyy zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 5, pp. 95–101.
6. Gryaznov O. N., Palkin S. V., Novikov V. P., Vostroknutov A. G., Kataev A. M. 1997, *Drenazhnye vody – istochnik tekhnogennogo gidrominerал'nogo syr'ya na Urale* [Drainage waters - the source of man-made hydro-mineral raw materials in the Urals]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 11/12, pp. 58–65.
7. Gryaznov O. N. Elokhina S. N. 2015, *Ekologicheskie problemy gornodobyvayushchikh rayonov Urala* [Ecological problems of the mining regions of the Urals]. *Ekologicheskaya geologiya krupnykh gornodobyvayushchikh rayonov Severnoy Evrazii (teoriya i praktika)* [Ecological geology of large mining regions of Northern Eurasia (theory and practice)], Voronezh, pp. 336–373.

8. Gryaznov O. N. 2015, *Prirodno-tekhnicheskie sistemy – universal'nye sistemy vzaimodeystviya inzhenernykh sooruzheniy (ob"ektov) i prirodnoy sredy* [Natural-technical systems – universal systems of interaction of engineering structures (objects) and the natural environment]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 4(40), pp. 5–10.
9. Ostrovskiy A. A., Tsypina I. M. 1984, *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu gidrogeologicheskoy i inzhenerno-geologicheskoy s"emki masshtaba 1: 50 000 dlya tseley promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva* [Methodological recommendations for hydrogeological and engineering-geological survey of scale 1: 50 000 for industrial and civil construction purposes], Moscow, 103 p.
10. Golitsyn M. S., Ostrovskiy V. N., Ostrovskiy L. A. 1990, *Trebovaniya k geologo-ekologicheskim issledovaniyam i kartografirovaniyu masshtaba 1 : 50 000–1 : 25 000* [Requirements for geological and ecological research and mapping at a scales of 1: 50 000–1: 25 000], Moscow, 127 p.
11. Gryaznov O. N., Brusnitsyn V. D., Bordokova V. G. 2002, *Metodicheskie osnovy geoekologicheskogo rayonirovaniya urbanizirovannykh territoriy (na primere Vorontsovskogo rudnogo polya. Sev. Ural)* [Methodical foundations of geoecological zoning of urbanized territories (on the example of the Vorontsov ore field, North Ural)]. *Izv. UGGA. Ser. Geologiya i geofizika* [News of the Ural State Mining University. Series geology and geophysics], no. 15, pp. 243–252.
12. Osipov V. I., Burova V. N., Zaikanov V. G., Molodykh I. I., Pyrchenko V. A. 2011, *Karta krupnomasshtabnogo (detal'nogo) inzhenerno-geologicheskogo rayonirovaniya territorii g. Moskvy* [Map of large-scale (detailed) engineering-geological zoning of the territory of Moscow]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* ["Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya" (Environmental Geoscience) journal], no. 4, pp. 306–318.
13. Osipov V. I., Kutepov V. M., Anisimova N. G., Kozhevnikova I. A., Kozlyakova I. V. 2011, *Rayonirovanie geologicheskoy sredy goroda Moskvy dlya tseley stroitel'stva ob"ektov s zaglublennymi osnovaniyami* [Zoning of the geological environment of the city of Moscow for the purpose of constructing objects with buried bases]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* ["Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya" (Environmental Geoscience) journal], no. 3, pp. 227–237.
14. O. N Gryaznov et al. 2004, *Otchet po kompleksnoy gidrogeologicheskoy, inzhenerno-geologicheskoy i geoekologicheskoy s"emke M 1: 50 000 lista Q-42-50-A (Salekhard)* [Report on the integrated hydrogeological, geotechnical and geoecological survey for 1: 50 000 sheets K-42-50-A (Salekhard)], Ekaterinburg.
15. Korolev V. A. 2007, *Monitoring geologicheskikh, litotekhnicheskikh i ekologo-geologicheskikh sistem* [Monitoring of geological, lithotechnical and ecological-geological systems], Moscow, 416 p.

Олег Николаевич Грязнов,
Gryaznov.O@ursmu.ru
Светлана Николаевна Елохина
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Oleg Nikolaevich Gryaznov,
Gryaznov.O@ursmu.ru
Svetlana Nikolaevna Elokhina
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 549+550.4+553.636+553.22(470.52)

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-34-42

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF MAGNESIA-FERRUGINOUS CARBONATES OF THE AVZYAN ORE REGION OF THE SOUTHERN URAL IN CONNECTION WITH METASOMATHOSIS REGULARITIES

M. T. Krupenin, S. V. Michurin, A. A. Sharipova, T. Ya. Gulyaeva, V. G. Petrishcheva

Минералогические и геохимические особенности магнезиально-железистых карбонатов Авзянского рудного района Южного Урала в связи с закономерностями метасоматоза

М. Т. Крупенин, С. В. Мичурин, А. А. Шарипова, Т. Я. Гуляева, В. Г. Петрищева

Детальному минералого-геохимическому исследованию (термогравиметрический, рентгеноструктурный, химический анализ и ICP-MS) подвергнуты магнезиально-железистые метасоматиты Авзянского рудного района, представленные железистыми магнезитами Исмакаевского месторождения и брейнеритами проявления Богряшка. Метасоматиты приурочены к первично известняковой миньякской подсвите суранской свиты нижнего рифея. Железистые магнезиты содержат до 4 мас. % FeO, брейнериты – до 20,5 мас. % FeO, что подтверждено расчетным методом по данным дифрактометрии. Установлены значимые корреляции между элементами группы железа и халькофильными элементами, отражающими их повышенные концентрации в широко представленном в метасоматитах пирите. Кроме того, отмечена сильная корреляция тория с легкими лантаноидами, обусловленная акцессорной вкрапленностью монацита. Корреляция карбонатных метасоматитов с их микроэлементным составом обозначается в связи доломита со стронцием, иттрием и лантаноидами средней-тяжелой группы (Sm–Lu). Выявлено три типа распределения редкоземельных элементов: доломитовый, магнезитовый и промежуточный, характеризующихся разным соотношением легких, средних и тяжелых лантаноидов в зависимости от положения в метасоматической колонке. Слабые положительные значения цериевой и европиевой аномалий в большинстве рассмотренных групп метасоматитов в определенной степени подтверждают резко восстановительный характер флюидов. Геохимические данные совместно с анализом геологического строения и развития района позволяют связывать магнезиально-железистый метасоматоз в карбонатных породах суранской свиты с процессами ремобилизации захороненных в отложениях нижнего рифея эвапоритовых рассолов. Интенсивное взаимодействие рассолов с осадочными и вулканогенными породами в тектонически активной зоне Машакского рифтогенного грабена привело к обогащению их различными лигандами, повышению основности и более активному гидротермальному переотложению в метасоматических продуктах лантаноидов средней и тяжелой группы.

Ключевые слова: доломит; магнезит; брейнерит; метасоматизам; лантаноиды; рассолы.

The authors conducted a detailed mineralogical-geochemical study (thermogravimetric, X-ray diffraction, chemical analysis and ICP-MS) of the Magnesium-ferruginous metasomatites of the Avzyan ore region, represented by ferruginous magnesites of the Ismakaevo deposit and the brejnerites of the Bogryashka manifestation. Metasomatites are confined to the primarily limestone Minyak subsuite of the Suran Suite of the Lower Riphean. Iron magnesites contain up to 4% by weight of FeO, braunerites – up to 20.5% by weight of FeO, which the calculation method confirms according to diffractometry data. The authors established significant correlations between elements of the iron group and chalcophile elements, reflecting their increased concentrations in pyrite, widely represented in metasomatites. In addition, the authors noted a strong correlation of thorium with light lanthanides, which happens due to accessory impregnation of monazite. Correlation of carbonate metasomatites with their trace element composition appears in the interrelation of dolomite with strontium, yttrium and lanthanides of the middle-heavy group (Sm–Lu). The article shows three types of distribution of rare-earth elements: dolomite, magnesite and mixed, characterized by a different ratio of light, medium and heavy lanthanides, depending on the position in the metasomatic column. Weak positive values of cerium and europium anomalies in most of the examined groups of metasomatites to some extent confirm the highly reducing nature of the fluids. Geochemical data together with the analysis of the geological structure and development of the region make it possible to associate magnesian-ferruginous metasomatism in the carbonate rocks of the Suran Suite with the processes of remobilization of evaporite brines buried in the Lower Riphean deposits. Intensive interaction of brines with sedimentary and volcanogenic rocks in the tectonically active zone of the Mashak riftogenic graben resulted in their enrichment with various ligands, increase in basicity and more active hydrothermal redeposition in the metasomatic products of the lanthanides of the middle and heavy groups.

Keywords: dolomite; magnesite; breinerite; metasomatism; lanthanides; brines.

Introduction

Certain important to the industry minerals are carbonate magnesian-ferruginous metasomatites. From magnesite with complete roasting, one can obtain periclase, which is the main refractory material for modern metallurgy, while caustic (lightly roasted) magnesite is the base for the production of special cements. Siderite is a valuable iron ore, which has a minimum amount of bad impurities. Minerals of the magnesite-siderite series also are among the natural metasomatic formations: ferrous magnesite (breinerite), as well as ferruginous dolomite (ankerite), are a substrate for the formation of iron ore deposits of residual weathering crust. The relevance of determining the conditions for the formation of magnesian-ferruginous carbonates fits into the widely discussed fundamental problem of the formation of epigenetic carbonates, including dolomite, magnesite, ankerite and siderite in limestone strata.

Magnesian-ferruginous metasomatites in the Southern Urals are widely developed in Riphean deposits, the total thickness of which exceeds 15 km. Carbonate deposits are developed in the upper parts of all three sedimentary series of Riphean and are confined to the structure of the Bashkir meganticlinorium (BMA) [1]. They mainly contain shallow-water shelf limestones, less often horizons of early diagenetic evaporite dolomites.

Among the carbonate metasomatites in the Riphean section, two groups stand out: magnesian and magnesian-ferruginous. The first group includes dolomites and magnesites. Dolomites under the formation conditions are divided into early diagenetic (the result of dolomitization in the evaporite sedimentation basin), metasomatic catagenetic and hydrothermal in tectonic filling veins. Magnesites are relatively early metasomatites, developing on diagenetic dolomites and limestones, in the latter case magnesites locate into the “envelope” of metasomatic dolomites. Magnesian-ferruginous carbonates, in comparison with magnesites, usually belong to later formations. Among them, there are three types: ankerites, breinerites and siderites, each of which has a predominantly metasomatic origin, but also there are hydrothermal filling veins.

The authors detaily investigated the magnesian-ferruginous metasomatites of the Avzyan ore region. Metasomatites are located in the primarily limestone Minyak subsuite of the Suran Suite. The Suran Suite of the Lower Riphean has a form of submeridional strip,

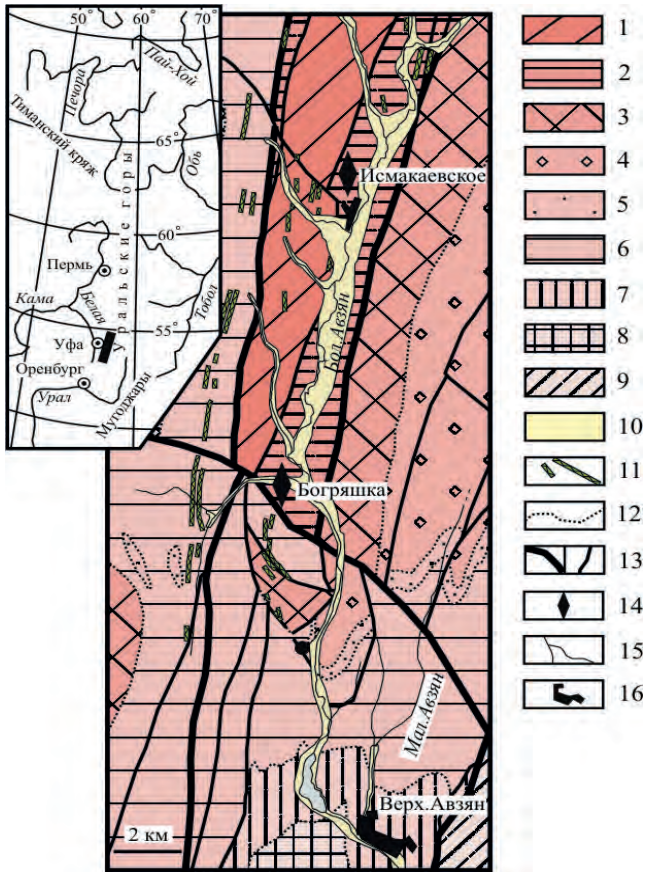


Figure 1. Geological scheme of the southern part of the Bashkir meganticlinorium (according to [5]) and the position of the Ismakaevo magnesite deposit and the Bogryashka ore occurrence. 1–3 – sediments of the Lower Riphean, suites: 1 – Bolsinzer, 2 – Suran, 3 – Yusha; 4–7 – deposits of the Middle Riphean, suites: 4 – Mashak, 5 – Zigalga, 6 – Zigazino-Komarovo, 7 – Avzyan; 8–9 – deposits of the Upper Riphean, suites: 8 – Zilmerdak, 9 – Minyar; 10 – Quaternary sediments; 11 – dikes of igneous rocks; 12 – the boundaries of the suites; 13 – tectonic disturbances of different orders; 14 – Ismakaevo deposit of magnesite and Bogryashka ore occurrence; 15 – rivers; 16 – settlements.

is located in the western part of the Yamantau anticlinorium of the BMA, and spatially coincides with the valley of the river B. Avzyan (Fig. 1). Limestones of the Minyak subsuite are intensely dolomitized; in addition, metasomatic dolomites contain several ore objects. 20 km to the north of the Verkhny Avzyan village there is a large Ismakayevo deposit of sparry magnesites (in the area of the village with the same name). 10 km to the south of Ismakaevo village, where the Bogryashka stream flows into the river B. Avzyan, drilling revealed a potent zone of breinerite metasomatites. 22 km to the north of Ismakaevo village, in the same zone of the dolomites of the Minyak subsuite of the Suran Suite, there is the Suran fluorite deposit and several points of fluorite mineralization in the host dolomites.

Research Methods

The authors performed X-ray diffraction analysis on a XRD-7000 diffractometer (Shimadzu) in the IGG UB RAS in filtered copper radiation. The authors obtained diffractograms on powder samples in the region of Bragg angles 4–65°, and then determined their mineral composition. For all the samples of studied carbonate rocks, the authors calculated the FeO content in magnesite and dolomite. For magnesites, this study determined the value of the interplanar distance d_{104}, the most intense and most sensitive to isomorphism of Fe–Mg reflex (for its third order, $d_{3.0.12}$). Recording was carried out in Bragg angles of 113–116° at a rate of 0.25°/min. Then, according to the graph of the dependence of the value of d_{104} on the $FeCO_3$ content for the magnesite-siderite series [2], the authors calculated the amount of percent by mole of $FeCO_3$ in magnesites, and then recalculated it for FeO. For dolomites, determination of the content of FeO was made via the 633 reflex (3.0.12) – the third order of the most intense and most sensitive to the isomorphism Fe–Mg series 104. Recording was carried out in Bragg angles of 105–107° at a rate of 0.25°/min. According to the graph of the dependence of the interplanar distance d_{633} on the FeO content in the dolomite [3], one can be calculate the amount of ferrous iron in the studied dolomites, which happens to be 0–1%.

Thermogravimetric analysis (TGA) determined the mineral composition of samples of thermally non-inert minerals on the Diamond TG / DTA (Perkin Elmer) derivatograph at the IGG UB RAS. The error in determining of the change in mass was ±0.1%; the error in determining of the temperature of the peaks was ±0.3 °C. The authors used reference curves from literature data [4] for the quantitative calculations. The error in determining of the clay minerals was ±5%, others ±1%.

X-ray fluorescence analysis was carried out for determination of the chemical composition of the samples on a VRA-30 spectrometer (Karl Zeiss, Germany) in the IG UC RAS (Ufa) using an X-ray tube with a Cr-anode (30–40 kV, 30 mA). Powdered samples weighing 5 g with a binder (5 drops of PVS-8) were pressed at a pressure of 25–27 tons on a substrate of boric acid. The detection limit for the measurement of SiO_2, Al_2O_3 was 0.1%; TiO_2, Fe_2O_3, MnO, CaO, K_2O, P_2O_5, $S_{general}$ – 0.01%; MgO 0.2%; Na_2O – 0.5%; Cl – 0.002%.

Analysts N. V. Cherednichenko and D. V. Kiseleva performed the measurements of minor elements concentrations in carbonate rocks using the ICP-MS method on ELAN-9000 (Perkin Elmer) in the IGG UB RAS using the standard method for silicate rocks with indium as a reference element.

Research results

Ismakayevo magnesite deposit. The Ismakayevo deposit has more than 100 million tons of magnesite reserves [6]. The magnesite deposit has a very complicate structure and practically is a series of lenticular bodies separated by interlayers of phyllitic schists and dolomites. Its total thickness reaches 400 m, its length is 1100 m, and its dip is about 800 m. The magnesite mineralization, as well as the dolerite sill in its lower part, repeats all the plicative structures of the deposit, which indicates the prefolded type of both formations.

Metasomatic contacts of magnesite bodies with host dolomites represent a zone with a thickness of up to the first meters of crystals impregnation with sizes up to 1–2 millimeters, in fine-grained dolomites (grain size up to 0.2–0.5 mm). The research allowed to trace dolomites along the carbonate horizon for up to 500 m in the north direction, where, inconsistent with the bedding of rocks, appears a zone of dolomite transition into fine-grained limestones with patches of pelitomorphic limestones [7]. Lateral metasomatic zonation for the Ismakaevo deposit from the rear to the frontal zone is as follows: magnesite–dolomite with dissemination of magnesite–dolomite–dolomitized limestone–limestone. In the mineral composition of the zones, diffractometry and microscopic study established a number of characteristic minerals-impurities. In magnesite, it is dolomite and quartz, chlorite, and sometimes an accessory admixture of albite, muscovite, more rarely talc. In the dolomitized limestones, potassium feldspar is always present together with quartz, muscovite, and sometimes with albite. With the development of metasomatism, muscovite replaces potassium feldspar in the dolomite, and chlorite replaces muscovite in magnesite.

Magnesite is of medium crystalline size, the size of granoblast grains is 1–5 mm, magnesite crystals are rarely found up to 20 mm, with a constant admixture of dolomite (2–5%), nests and dissemination of quartz (10–15%), small pyrite cubes, interstitial inclusions of magnesia chlorite (1–5%), sericite, rarely microinclusions of talc.

The characteristic features of chemical composition of magnesites are an increased content of CaO, SiO_2, Al_2O_3 and corresponds to the increased contents of the aluminosilicate impurity in the host carbonate rocks. There is a high background of iron content in magnesite at 2.8–4.5% of Fe_2O_3 at MgO concentrations of 37–42.5%. Increased

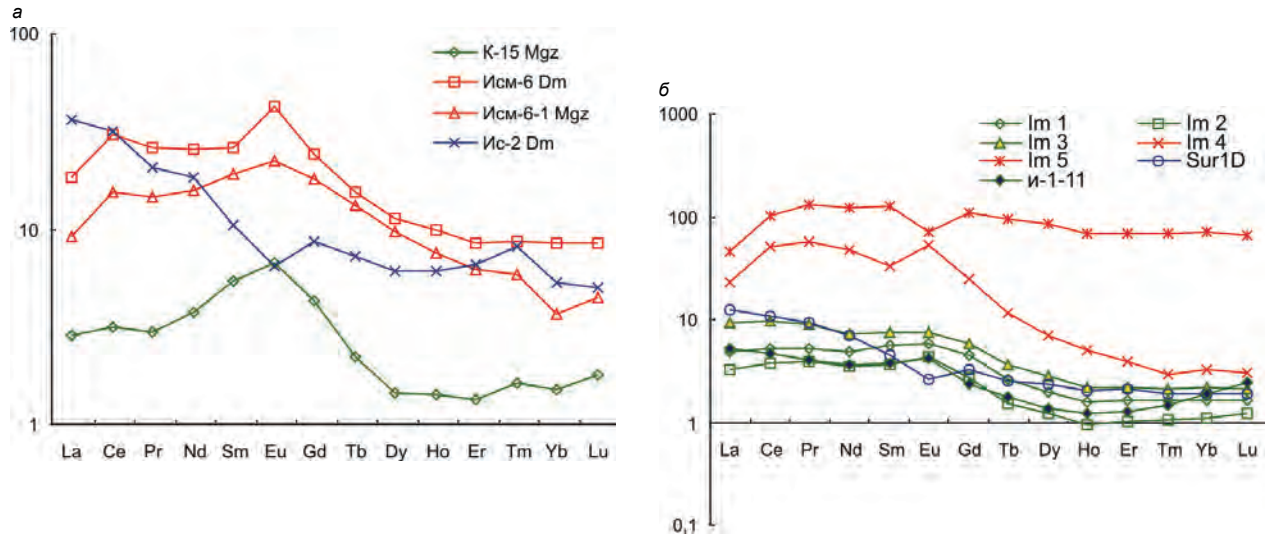


Figure 2. Chondrite-normalized (C1) distribution of REE in remote (blue), near-ore (red color) dolomites and magnesites (green) of two parts *(a, b)* of the Ismakaevo deposit.

iron concentrations at 1.00–3.44% of Fe_2O_3 are also characteristic for metasomatic dolomites, both for near-ore deposits and at the front of metasomatism, near the contact with limestones [7].

The distribution of microelements in magnesite according to ICP-MS in comparison with dolomites has reduced concentrations of almost all elements, primarily strontium, yttrium and rare earth elements (REE). The distribution of REE in the dolomites and magnesites differs from other deposits in the South Ural province by the presence of a positive anomaly of europium (Fig. 2, *a*, *b*). In addition, in the wallrock dolomites there is a general increase in REE concentrations relative to the host carbonate rocks and a change in the general pattern of distribution with a roof-like increase of lanthanides of the middle group (from Gd to Ho). The magnesites of Ismakayevo deposit have a low Y/Ho ratio (24), in limestones it gradually increases to 35 [8], which may indicate a significant migration range of hydrothermal solutions during metasomatism [9].

According to the study of Sm–Nd systematic, the average value of epsilon Nd (calculated for 1550 Ma) for the limestones and dolomites of the Suran Suite is –6.5, which is close to the value of epsilon Nd -7.3 for the shales of the Satka Suite of the same stratigraphic level of the Lower Riphean [10]. The values of epsilon $Nd_{(1250)}$ in magnesites from -11.3 to -9.0 indicate the crustal nature of the metasomatic fluid. The errochronous Sm–Nd magnesite age value of 1250±130 Ma [11] has a geological meaning, since in the given region the scientists earlier dated fluorites of the Suran deposit in the dolomites of the Suran suite with the age of 1230 Ma using Sm–Nd and Rb–Sr methods [12]. The Cl–Br–Na data (ion chromatography) of fluid inclusions in magnesites and host dolomites of the Ismakaevo deposit show the evaporite nature of the ore fluid. Microcryometry methods also confirm very high salinity of the two-phase inclusions in magnesites (average value 23.6% by weight of NaCl equivalent). The homogenization temperatures fit into the interval of 184–279°C with an average value of 224 °C [13].

Breinerite metasomatites of the Bogryashka ore occurrence. The Bogryashka ore occurrence is located in the valley of the river of the same name, 10 km to the north of the village V. Avzyan. It is a zone of metasomatically transformed dolomites of the Minyak subsuite of the Lower Riphean Suran Suite. Researchers opened the zone of metasomatites by wells in 1975–1982 near the old quarry for the mining of gold-bearing placers. The thickness of the zone of carbonate metasomatites from drilling data is about 70 m; it has a traced depth of 313.5 m and a length of 400 m (Fig. 3). Ore metasomatites mainly consist of ferruginous magnesites (breinerites), which contain gold-bearing nest-vein sulfide mineralization. The gold content in metasomatites is low, 0.2–0.8 g/t in average. Gold is due to sulfides and does not present industrial interest.

Structurally, the ore occurrence is in a block of rocks, sandwiched between two regional discontinuous structures – the Karatash and Bolsheavazyan fractures, at the area of their closest rapprochement. It is located in the core of the Bolsheavazyan anticline, entangled by numerous small folds and disruptive disturbances of the northwestern and northeastern directions. In the valley of the river Bogryashka, through the central part of the ore occurrence, there is a discontinuous disruption of the sublatitudinal direction. Shtock-like bodies of carbonate metasomatites occur at the intersection of discontinuous disruptions of the sublatitudinal and northwestern strike. In general, the zone of carbonate iron-magnesian metasomatites has a NW-SE stretch.

Magmatic formations within the area of ore occurrence are represented by a series of dikes of the hornblende diabases and gabbro-diabases of the Lapishta complex, which belongs to the Middle Riphean formations [14]. Dikes develop along discontinuous disturbances of the northeastern direction. The thickness of the dikes reaches 5m; their decline is steep east at an angle of 70–80°. Hornblende diabases and gabbro-diabases undergone an intense metamorphose and, in some places, a complete conversion to carbonate-sericite-chlorite rocks. From the east, the volcano-terrigenous formations of the Mashak riftogenic complex, formed at the beginning of the Middle Riphean (the age of volcanics is about 1380 Ma), were thrusted over the Lower Riphean deposits [15]. In addition, approximately 1.5–2 km to the south-south-east of the ore occurrence in the sediments of the Mashak Suite according to the results of geophysical studies researchers found a powerful body of diabases, attributed to the Mashak formations.

The Mg–Fe metasomatites consist of rhombohedral granules, up to 1.5 mm in size, on the background of fine-small-crystalline enclosing dolomites of the Minyak subunit of the Suran suite, and in this respect resemble the granoblastic medium-grained magnesites of the Ismakaevo deposit. Metasomatites have a polymineral composition with a variable content of Fe-magnesite (breinerites from 10 to 93%) and dolomite (from 2 to 90%), as well as varying, sometimes significant amounts of pyrite (up to 20%), quartz (up to 10%), muscovite (up to 4%) and rarely chlorite. There was no definite dependence in the distribution of breinerite and dolomite. Using the method of calculating the iron in breinerites (the X-ray method), the authors found that the content of isomorphous iron varies within wide limits – from 5–6

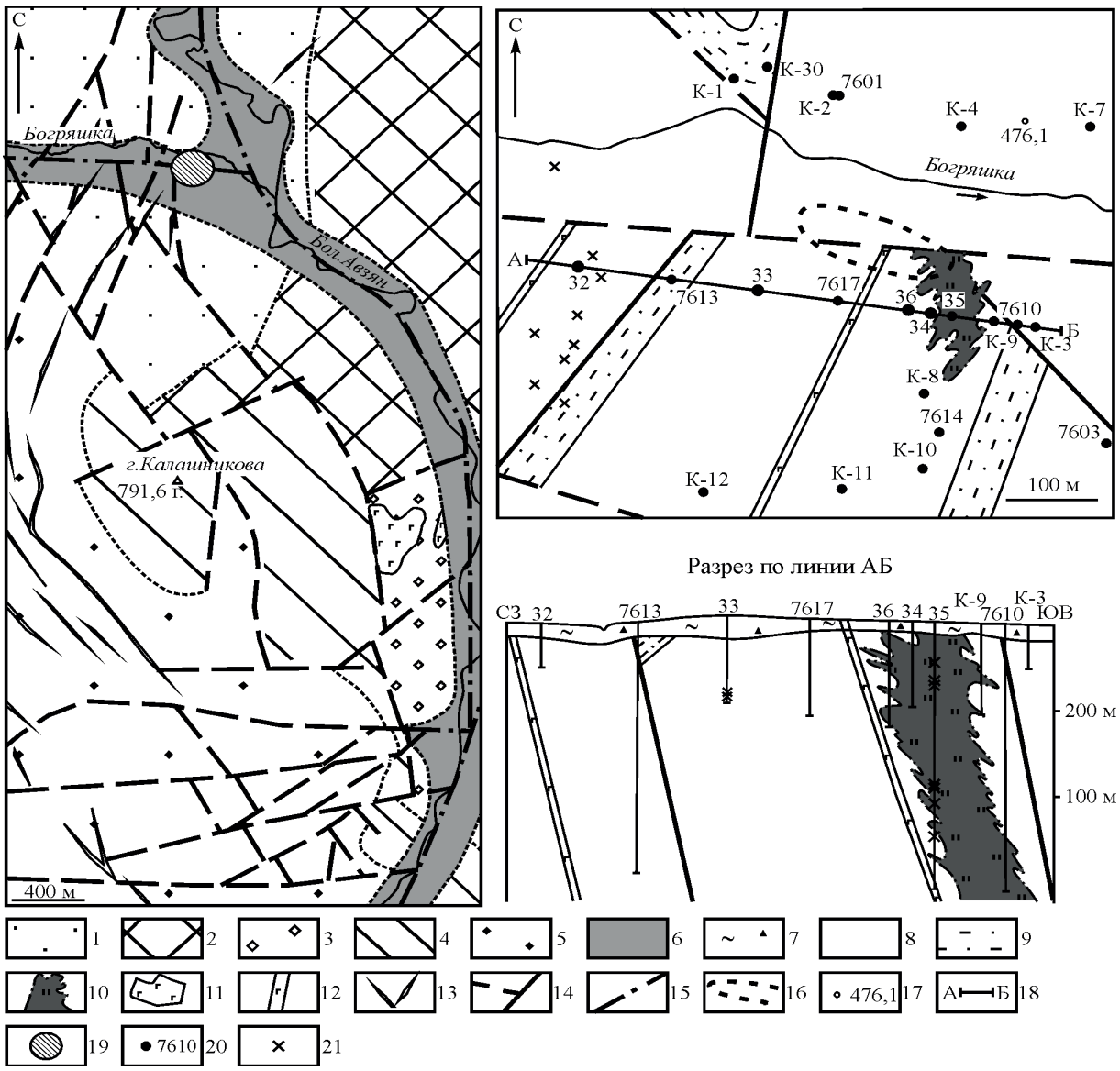


Figure. 3. Geological scheme and section of the Bogryashka ore occurrence (based on the materials of the Abzelilovskaya GPP) and the locations of sampling points. 1–2 – sediments of the Lower Riphean, suites: 1 – Suran, 2 – Yusha; 3–5 – sediments of the Middle Riphean, suites: 3 – Mashak, 4 – Zigalga, 5 – Zigazino-Komarovo; 6 – Quaternary sediments; 7 – weathering crust; 8–9 – deposits of the Minyak subsuite of the Suran suite: 8 – dolomites, 9 – interbedding of sandstones, siltstones and low-carbon clay shales; 10 – zone of gold ore metasomatites; 11 – diabase and diabase porphyrites; 12 – gabbro-diabase dikes; 13 – dikes of basic composition, isolated according to magnetic prospecting data; 14 – tectonic disturbances; 15 – latent tectonic disturbances; 16 – quarry for processing alluvial gold; 17 – topographic heights; 18 – section line; 19 – Bogryashka ore occurrence; 20 – wells and their numbers; 21 – sampling points for geochemical study.

to 18–20.5% by weight of FeO (see Table 1). As a rule, the higher the amount of the mineral phase of breinerite in the sample, the higher the iron content in the breinerite itself. Determination of iron in the dolomite phase by the X-ray method showed low values, at the level of 1–2% by weight of FeO.

In three samples of dolomite during the thermal analysis, anomalous patterns of dissociation appeared. In the majority of samples the dolomite dissociates with the formation of two endothermic peaks at temperatures of 770–800 °C and 830–870 °C, but dissociation in samples A-12341, A-12346, A-12348 happened stepwise at 740–780, 800–900 and 975–1015 °C. In addition, in the sample A-12341 were endothermic peaks at 124–206 °C with a weight loss of 3.8%. After washing in boiling distilled water, these peaks, both low-temperature and high-temperature, disappeared, and the dissociation pattern became similar to dolomite. We assume that the anomalous pattern of dissociation of dolomite is due to the presence of the thrones (natural soda) and evaporite minerals (halite, mirabilite), analogous to the dissociation curves of dolomites from the evaporite basins considered in the monograph of Tsvetkov A. I. et al. [4]. At the same time, according to the results of X-ray fluorescence analysis in the samples of dolomites and magnesites low chlorine contents were at the level of 0,01–0,03% by mass, while magnesites had the maximum noted values [15].

According to the chemical composition, a part of the carbonate metasomatites match with breinerites, a variant of ferruginous magnesite, a member of the isomorphous magnesite–siderite series, in which the $FeCO_3$ content can reach 30 wt.%. In ore metasomatites (Table 2, samples A-12341-A-13479, Br_{bog}, Br_{bog}*), the content of iron and magnesium sharply increases in comparison with the host dolomites. In the Br_{bog} and Br_{bog}* samples, the FeO content is 6.91–12.24% by weight, with a high MgO content (33.45–37.1% by weight) and an insignificant CaO (0.28–2.0% by weight) (See Table 2), which is typical for breinerites. Some of the samples of ore metasomatites are chemically close to the magnesites of the Ismakaevo deposit – magnesite is enriched with silica with a low content of alumina and relatively high iron content (see Table 2, A-13479). At the same time, the difference between the Bogryashka breinerites from Ismakayevo magnesites, along with the high contents of isomorphic iron, is the presence of increased concentrations of several generations of pyrite.

Table 1. Mineral composition of carbonate iron-magnesian metasomatites of Bogryashka, mass %.

№	№ sample	Brnt	Dol	Cal	Py	Qz	Chl	Ms	OB	Summary	FeO, %, in Brnt
1	A-12341	76	2	–	1	5	–	1	Urao 13–16	97–100	9
1-1	Washed from urao and halite	85	4	–	1	6	–	1	–	97	9
2	A-12342	75	23	–	2	Low	–	–	–	100	20,5
3	A-12344	85	14	–	0,5	–	–	–	0.5	100	16,5
4	A-12345	69	29	–	2	–	–	–	–	100	18,5
5	A-12345c	10	89	–	1	–	–	–	–	100	–
6	A-12346	75	10	–	Up to 15	–	–	–	–	100	18,5
7	A-12346a	50	30	–	Up to 20	–	–	–	–	100	5–6
8	A-12347	25	45	–	Up to 20	Low	–	–	–	90	2
9	A-12348	35	25	–	Up to 20	–	–	–	–	80	13,5
10	A-12348л	11	80	–	8	–	–	–	–	99	–
11	A-12349	68	32	–	1	–	–	–	–	100	18,5
12	A-12350	80	2	–	1	13	–	3	–	99	5–6
13	A-12352	86	4	–	–	4	–	4	–	98	8–9
14	A-13478	–	90	–	–	10	–	–	–	100	–
15	A-13479	93	2	Low	–	Low	3	1	Low	–	4–5

Notes: Brnt – ferrous magnesite (breynerite); Dol – dolomite; Cal – calcite; Py – pyrite; Qz – quartz; Chl – chlorite; Ms – muscovite; OM – an organic matter; FeO,%, in Brnt – the iron content in the brenerite according to X-ray diffraction analysis.

The most widespread pyrite is the one considerably enriched with the ^{34}S isotope. The average value of $\delta^{34}S$ is 16.1‰ (n = 25) with a dispersion of values from 7.9 to 27.4 ‰ [16]. It is important to note that such variations in the values of $\delta^{34}S$ completely correspond to the isotope composition of sulfur from pyrite, occurring as impregnation in the sedimentary rocks of the Suran Suite [17]. From the position of isotope geochemistry, the source of sulfur in the formation of such a pyrite strongly enriched with heavy ^{34}S isotope is most likely the sulphates of evaporites.

Data from the study of the magnesian-ferruginous metasomatites of the Bogryashka ore occurrence using the ICP-MS method for 50 elements showed no anomaly contents, except for individual high concentrations of arsenic (sample A-12344, 1508 g/t), antimony (sample A-12346a, 15,8 g/t) and lead (samples A-12346a and A-12348, up to 22 g/t). Consideration of the correlation matrix of the contents of all microelements made it possible to establish significant correlations between the elements of the iron group (Fe, Co, Ni) and chalcophile elements (Cu, Zn, Pb, Bi, Tl, Cd, Ag, Sb, Ba) reflecting their increased concentrations in widely represented in metasomatites pyrite. In addition, the authors established an important correlation (0.83–0.86) of thorium with light lanthanides (La, Ce, Pr, Nd). Detailed mineralogical study of some samples by the microprobe method showed that they contain an accessory impregnation of monazite. The content of thorium in the examined samples according to ICP-MS data reaches 2.8 g/t (sample A-12347). A stable correlation of yttrium (0.91–0.99) and strontium (0.58–0.78) with heavy lanthanides (Sm–Lu) is also significant. Of the not quite normal relationships, a very high correlation (0.94) between Th and Cr is worth noting.

One can see a more definite picture for finding correlation of the mineral composition of carbonate metasomatite samples with their trace element composition (Table 3). Here, the connection of dolomite with strontium and yttrium is clear, as well as with the lanthanides of the middle-heavy group (Sm–Lu). In ferruginous magnesites, there is no fixed sufficiently stable correlation between any elements; even manganese has a correlation coefficient of 0.43, despite its known affinity for iron. At the same time, there is a stable connection of pyrite with chalcophile elements and sulfosalts. Quartz and muscovite have clear connections with rare lithophilic elements and at the same time, the authors note a weak correlation (0.26–0.38) of these minerals with light lanthanides (La, Ce, Pr).

The distribution of REE in the carbonate metasomatites of ore shows a rather complex picture (Fig. 4). Here the authors distinguish the following types of trends: (1) the distribution is similar for magnesites of the Ismakaevo deposit (sample A-13479, see Fig. 4, *a*), (2) the distribution is similar for Ca-containing minerals (in particular, dolomites, sample A-13478, see Fig. 4, *a*); (3) a distribution is similar for the wallrock dolomites of the Ismakaevo deposit with a "roof-like" distribution in the region of medium-composition lanthanides (see Fig. 4, *b*). The pure magnesites, to which the sample A-13479 belongs, have a relative decrease in the concentrations of lanthanum and cerium and an increase in the concentrations of heavy lanthanides.

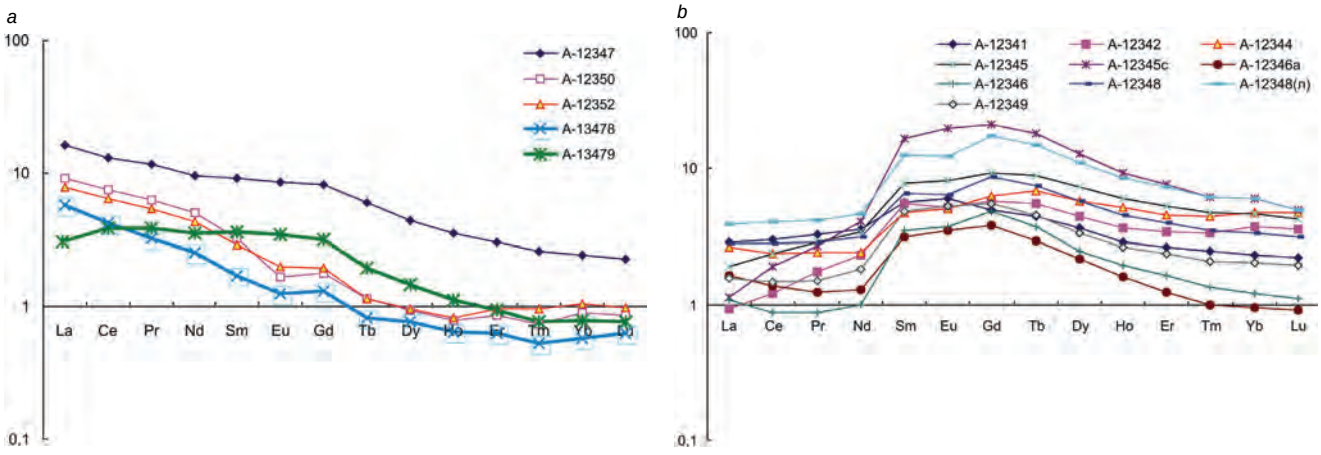


Figure 4. Chondrite-normalized (C1) distribution of REE in the carbonate metasomatites of Bogryashka (sample numbers correspond to those in Table 1). *a* – for Ca-containing minerals and magnesites, for comparison, table shows pure dolomite A-13478 and pure magnesite A-13479; *b* – distribution similar for the dolomites of the Ismakaevo deposit.

Table 2. Chemical composition of the carbonate rocks of the ore formation of Bogryashka.

№	№ sample	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO
1	Dl_{sur1}	8,91	0,06	1,42	0,34	1,49	27,84	18,38
2	Dl_{bog}	2,67	–	0,14	0,50	4,71	26,18	20,34
3	A-12341	4,82	0,07	0,49	11,58	–	2,73	33,27
4	A-12342	0,84	0,02	< 0,1	15,08	–	12,80	24,04
5	A-12344	0,54	0,01	< 0,1	14,68	–	10,07	28,82
6	A-12345	0,71	0,01	< 0,1	12,26	–	15,63	26,29
7	A-12346a	0,87	0,02	< 0,1	28,41	–	9,49	15,27
8	A-12348	5,88	< 0,01	1,00	15,00	–	12,36	10,15
9	A-12349	0,59	0,01	0,10	12,55	–	15,23	25,73
10	A-12350	10,95	0,08	0,82	9,95	–	1,28	34,17
11	A-12350*	13,5	0,06	1,20	4,34	2,94	0,8	34,86
12	A-12352	5,21	0,05	0,80	13,02	–	2,73	31,84
13	A-12352*	5,00	0,02	0,70	7,21	3,93	1,14	35,98
14	A-13478	4,44	0,03	0,74	1,99	–	33,37	18,48
15	A-13479	1,61	0,05	0,41	6,46	–	1,70	41,34
16	Br_{bog}	7,48	0,03	0,82	0,73	6,91	0,28	37,10
17	Br_{bog*}	6,16	–	0,65	0,71	12,24	2,0	33,45

№	№ sample	MnO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	S_{gen}	Lost of ignitions	Summary
1	Dl_{sur1}	0,06	0,05	0,08	0,10	–	41,21	100,66
2	Dl_{bog}	0,19	–	–	–	–	45,06	99,79
3	A-12341	0,34	0,03	0,27	0,13	2,77	43,23	99,74
4	A-12342	0,50	0,04	< 0,01	0,14	1,47	44,45	99,37
5	A-12344	0,42	0,03	< 0,01	0,12	0,52	44,46	99,70
6	A-12345	0,38	0,05	< 0,01	0,11	1,31	42,40	99,16
7	A-12346a	0,07	0,05	< 0,01	0,13	21,14	23,65	99,10
8	A-12348	< 0,01	< 0,01	0,10	0,12	–	31,16	75,77
9	A-12349	0,43	0,04	< 0,01	0,12	0,29	43,95	99,05
10	A-12350	0,30	0,05	0,41	< 0,1	0,52	41,15	99,66
11	A-12350*	0,16	0,03	0,41	0,24	–	41,20	99,74
12	A-12352	0,42	0,03	0,30	< 0,1	0,16	44,67	99,23
13	A-12352*	0,22	0,03	0,31	< 0,1	–	44,97	99,51
14	A-13478	0,09	0,10	0,17	0,11	0,27	39,85	99,64
15	A-13479	0,22	0,03	0,14	0,12	0,29	47,63	100,02
16	Br_{bog}	–	–	0,20	0,07	0,04	45,37	99,03
17	Br_{bog*}	0,25	–	–	–	–	44,54	100,00

Note: Dl_{sur1} is the average of 12 samples of dolomites of the minyanak subordination of the Suran suite according to [18]. Dl_{bog} and Br_{bog} – data of silicate analysis on the materials of the Abzelilovskaya GPP, Br_{bog} – well No. 7601, depth 23,0 m. Samples m662 - m675, A-12341–A-13479 – results of X-ray fluorescence analysis, author's materials. Samples m671a, m671b and A-12348 – data of silicate analysis, author's materials. Samples A-12350* and A-12352* – results of silicate analysis based on materials of A. A. Alekseev. Arr. Br_{bog}* – the average of the results of the silicate analysis of 4 samples, according to A. G. Potekhin. Dash – no data.

Discussion and conclusions

The presented materials show that in the southern part of the BMA in the meridionally elongated zone represented by carbonate rocks of the Minyak subsuite of the Suran Suite, one can find magnesian-ferruginous metasomatites of the Bogryashka ore occurrence that resemble the ferruginous magnesites of the Ismakaevo deposit located northward in the same subsuite. However, the metasomatites of Bogryashka differ by a variable polymineral composition, varying in amounts of ferrous magnesite, ferruginous dolomite, pyrite, quartz and, to a lesser extent, muscovite and chlorite. The distribution of lanthanides allows us to see certain similarities with the metasomatic carbonate rocks of the Ismakaevo deposit. The first type of REE distribution in the relatively monomineral magnesite of the ore occurrence (sample A-13479, see Fig. 3) is very similar to the typical magnesites of the Ismakaevo deposit (see Fig. 2). Unfortunately, in the last (3) type of distribution there are both essentially dolomite and essentially magnesite, as well as mixed, bimineral probes, therefore it is impossible associate the formation of the breinerite metasomatites with the exact type of process. Probably, here we see an intermediate picture of the distribution of lanthanides during the development of the metasomatic process.

The authors should note that even in the Ismakaevo deposit, the REE fractionation process is not as clear as, for example, in the Satka deposit, where in coarse-crystalline magnesites one can observe the "inverted" trend of a gradual increase in the concentration of lanthanides normalized to chondrite from La to Lu [8]. The authors explain it by the fact that during the metasomatic crystallization of magnesite, the crystal lattice of the carbonate undergoes complete restructuralisation and the isomorphically inbound lanthanides adapt to the new conditions of existence. The effective ionic radius of Ca^{2+} is 1.1 angstroms and is close to the radius of lanthanum, while the ionic radius of Mg^{2+} is about 0.95 angstroms, which is close to heavy lanthanides and, above all, to lutetium [19]. Thus, in metasomatic recrystallization ideally one should manage the mineralogical control of the REE distribution depending on the carbonate matrix: Ca-containing minerals have a trend of distribution of the type La > Lu, while minerals with cations of lesser ionic radius (magnesite, siderite, rhodochrosite) have a trend of distribution La < Lu.

A separate question is the explanation of the “roof-like” form of the REE distribution with the enrichment of the lanthanides of the middle group, noted for the wallrock dolomites (which in fact are also bimineral formations – dolomites with an admixture of magnesite crystals [7]). A partial explanation of this effect can be that in metasomatites having (3) type of distribution, relative removal of light lanthanides (La–Nd), associated with mineralogical control, occurred, since in the metasomatic formation of magnesite, light REEs are easier to

Table 3. Correlation coefficients of the microelements concentration with the mineral composition of carbonate metasomatites.

№	Mgz	Dol	Py	Q	Ms	№	Mgz	Dol	Py	Q	Ms
Li	0,22	–0,29	–0,47	***0,76***	***0,71***	La	–0,18	0,01	0,12	***0,38***	***0,38***
Be	***0,39***	–0,42	–0,50	***0,83***	***0,80***	Ce	–0,17	0,01	0,08	***0,35***	***0,38***
Sc	0,05	–0,23	–0,04	0,28	0,20	Pr	–0,19	0,04	0,07	0,26	***0,32***
Ti	0,20	–0,34	–0,30	***0,77***	***0,58***	Nd	–0,28	0,15	0,04	0,14	0,22
V	0,07	–0,24	–0,21	***0,59***	***0,53***	Sm	–0,55	***0,59***	0,03	–0,42	–0,35
Cr	–0,16	–0,00	***0,34***	–0,08	–0,08	Eu	–0,53	***0,60***	0,02	–0,46	–0,40
Mn	***0,43***	–0,27	–0,21	–0,39	–0,18	Gd	–0,56	***0,62***	0,08	–0,49	–0,43
Fe	0,17	–0,31	***0,72***	–0,45	–0,29	Tb	–0,52	***0,60***	0,03	–0,49	–0,45
Co	–0,14	–0,13	***0,82***	–0,29	–0,28	Dy	–0,49	***0,57***	0,01	–0,50	–0,46
Ni	–0,10	–0,16	***0,90***	–0,35	–0,30	Ho	–0,46	***0,54***	–0,00	–0,51	–0,47
Cu	–0,19	–0,03	***0,88***	–0,29	–0,28	Er	–0,43	***0,52***	–0,03	–0,50	–0,45
Zn	0,20	–0,32	***0,48***	–0,26	–0,10	Tm	–0,37	***0,46***	–0,06	–0,51	–0,45
Ga	***0,39***	–0,55	–0,22	***0,58***	***0,74***	Yb	–0,33	***0,45***	–0,10	–0,49	–0,43
Ge	***0,36***	–0,56	0,15	***0,57***	***0,66***	Lu	–0,27	***0,38***	–0,11	–0,50	–0,45
As	0,24	–0,17	–0,04	–0,21	–0,19	Hf	0,14	–0,34	–0,21	***0,66***	***0,57***
Se	–0,48	***0,39***	***0,41***	–0,46	–0,46	Ta	0,27	–0,33	–0,27	0,19	0,11
Rb	***0,32***	–0,43	–0,36	***0,79***	***0,84***	W	–0,25	–0,06	***0,51***	–0,15	–0,13
Sr	–0,41	***0,46***	0,22	–0,51	–0,54	Tl	–0,31	–0,01	***0,68***	–0,24	–0,23
Y	–0,46	***0,55***	–0,00	–0,51	–0,46	Pb	–0,19	–0,06	***0,80***	–0,26	–0,24
Zr	0,18	–0,39	–0,16	***0,69***	***0,60***	Bi	–0,19	–0,06	***0,81***	–0,24	–0,21
Nb	0,29	–0,40	–0,31	***0,56***	***0,45***	Th	–0,21	–0,01	***0,30***	0,06	0,01
Mo	–0,28	–0,01	***0,53***	–0,22	–0,20	U	–0,31	0,07	0,06	***0,45***	0,07
Ag	–0,06	–0,11	***0,82***	–0,31	–0,28	Sb	–0,17	–0,05	***0,90***	–0,28	–0,26
Cd	–0,33	0,17	***0,48***	–0,35	–0,31	Cs	0,28	–0,43	0,11	***0,46***	***0,76***
Sn	–0,27	0,13	***0,36***	–0,15	–0,17	Ba	–0,16	–0,10	***0,66***	–0,17	–0,14

Note: Mgz – magnesite, Dol – dolomite, Py – pyrite, Q – quartz, Ms – muscovite; the values in bold and italic are the ones with the correlation coefficients that are more than 0.3.

remove than heavy ones. However, one can observe some enrichment with lanthanides of the middle group, strongest in the wallrock dolomites of the Ismakaevo deposit, but also occurring among the metasomatites of Bogryashka.

Comparison of some features of the distribution of REE in the metasomatites of the Ismakaevo deposit and the ore occurrence of Bogryashka (Table 4) shows that in magnesites and dolomites of both objects, the REE amounts are similar (10–14 g/t). However, the wallrock dolomites of the Ismakaevo deposit that contain an admixture of magnesite, in which the sum of REE increases (on average to 73 g /t), differ sharply. The Y/Ho ratio in both objects is low, relative to the sedimentary carbonate rocks and magnesites of the Satka deposits (about 50 [8]), and indicates a significant distance of fluid migration in the Avzyan ore region. The value of the normalized ratio of light to heavy REE also behaves uniformly in both objects, decreasing in magnesite relative to the enclosing dolomites. In the wallrock dolomites of Ismakaevo and, especially, in the metasomatites of the (3) distribution type in Bogryashka, it has the minimal values, indicating the maximum fractionation of lanthanides in metasomatic recrystallization, associated with the relative removal of light lanthanides. In principle, the ratio Ce / La > 1, noted in almost all the groups of examined metasomatites also indicates this. Weak positive values of the cerium anomaly in almost all the examined groups and metasomatite samples can confirm the sharply reducing nature of the fluids. This is probably also evidenced by a small positive europium anomaly, as well as widespread development of pyrite in metasomatites. Authors also note that in the sedimentary carbonate rocks of Riphean, as in most other sedimentary rocks, one can observe a noticeable negative anomaly of europium. As a rule, metasomatic formations inherit it too, except for special cases associated with the high-temperature nature of the fluids (for example, in contact zones with dikes of basic composition [8]) or with a dramatically reducing conditions of metasomatism, in which europium passes from trivalent to divalent state, sharply increases the ionic radius and comparatively easily accumulates in the dolomite [20].

The fractionation of REE can also manifest depending on the properties of the fluid. If enrichment with various ligands (complexing agents such as H_2O, F, Cl) occurs and the basicity of fluids rises sharply, hydrothermal redeposition more actively affects the lanthanides of the middle and heavy group [21]. Such conditions often arise in long-term functioning hydrothermal systems that have experienced intensive interaction with host rocks and have the evolved composition at which the initially ionic solutions with high acidity were converted into fluids with more basic properties. Such fluids often occur during remobilization and lead to an increase in the role of heavy lanthanides in the composition of metasomatic products [20]. The data of the Sr–Nd systematics of Ismakayevo magnesites confirms the crustal composition of the fluids responsible for metasomatic rock transformations (the values of epsilon $Nd_{(1250)}$ in magnesites are from –11.3 to –9.0, which is even lower than the values of epsilon $Nd_{(1550)}$ in the enclosing limestones of the Minyak subsuite –6.4), which implies a prolonged and intensive interaction of fluids with rocks of the Riphean section [11].

One can observe a similar pattern in the Suran fluorite deposit located in the north of the same structural and formation zone as

Table 4. Geochemical modules of REE distribution in carbonate metasomatites.

Module	Ismakayevo deposit				Bogryashka manifestation			
	Cal	Dol-host	Dol-Ore	Mgz	A-13478 Dol	A-13479 Mgz	Dol + Mgz (2)	Dol + Mgz (3)
n	3	11	6	19	1	1	4	10
ΣREE	41,22	14,05	72,59	10,15	9,05	10,06	14,21	13,63
Y/Ho	35	30	26	24	31,78	34,31	24,72	26,99
$(LLn/HLn)N_{C1}$	6,9	7,08	2,35	2,89	6,25	4,40	5,69	0,67
Ce/Ce*	1,06	1,01	1,28	1,03	1,03	1,16	1,04	0,89
Ce_{C1}/La_{C1}	0,74	0,76	1,86	1,01	0,74	1,24	0,80	1,05
Eu/Eu*	0,84	0,82	1	1,17	0,84	1,03	0,89	0,95

Note: Cal – camstone (limestone); Dol-host – hosting dolomite; Dol-Ore – near-ore dolomite; Mgz – magnesite; (2) and (3) are the types of REE distribution in carbonate metasomatites in accordance with the text. N is the number of samples. $(LLn/HLn)N = (La/La_{C1} + 2Pr/Pr_{C1} + Nd/Nd_{C1})/(Er/Er_{C1} + Tm/Tm_{C1} + Yb/Yb_{C1} + Lu/Lu_{C1})$ normalization to chondrite C1; $Ce/Ce^* = 2*(Ce/Ce_{C1})/(La/La_{C1} + Nd/Nd_{C1})$; $Ce/Ce^* = 2*(Ce/Ce_{C1})/(La/La_{C1} + Nd/Nd_{C1})$; $Eu/Eu^* = 2*(Eu/Eu_{C1})/(Sm/Sm_{C1} + Gd/Gd_{C1})$.

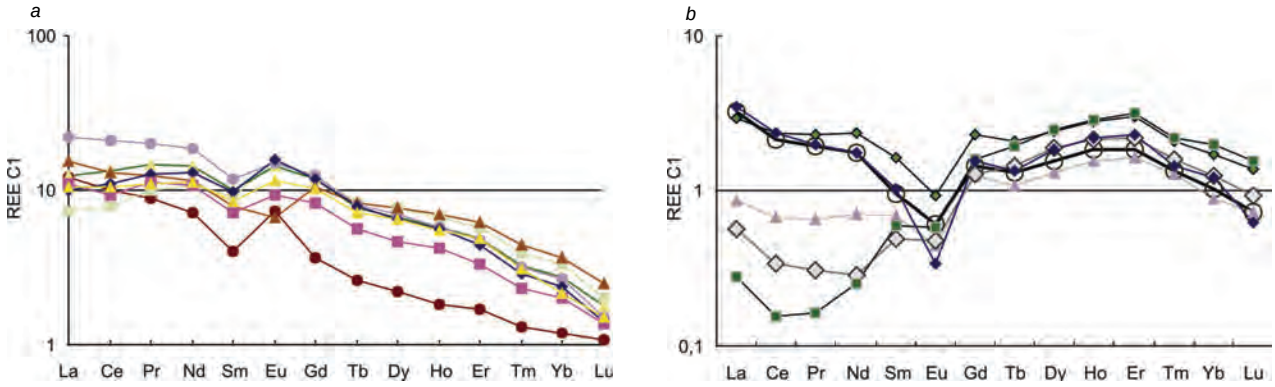


Figure 5. Chondrite-normalized (C1) distribution of REE in the fluorites of the Suran deposit. *a* – porcelain and violet fluorites of the first generation; *b* – optical redeposited metasomatic fluorites of the last generation (remobilization) (according to [12, 22]).

the considered metasomatic objects. Fluorites in this deposit are of several types (Fig. 5), with the first-time violet fluorites and selaites having entirely typical labels for the distribution of REE for Ca-containing minerals (La > Lu), metasomatically superimposed with green granitoid-type fluorites with increased concentrations of REE and subhorizontal distribution. The last by the age relationships are optical fluorites, in which the REE distribution is mirror-deployed in relation to the first types, what is precisely the result of remobilization [22]. For all types of fluorites, the authors obtained an errorchron with an age of 1219 ± 120 Ma. That is, we observe extended in a certain time evolutionary process of the hydrothermal system that developed in the same area, 20 km to the north of Ismakaevo village in the same Suran Suite west of the Mashak graben, in the same formation zone. As already mentioned, the age of the Ismakaevo magnesite deposit, according to Sm–Nd systematic data, is 1250±130 Ma. It is indicative that in optical fluorites, the rise in REE values begins with samarium "roof-like distribution," the maximum of which falls on gadolinium in complete analogy with the distribution (3) for the breinerites of Bogryashka.

In addition, we can note the similarity of the isotope composition of sulfur pyrite and chalcopyrite, found in the form of impregnation in the Suran fluorites and pyrites of the predominant generation in magnesian-ferruginous metasomatites on the ore occurrence of Bogryashka. According to our data, sulfides from fluorites, as well as pyrite from the breynerites, are considerably enriched with the ^{34}S isotope. Their values of $\delta^{34}S$ form an interval of approximately 26 to 34‰, which indicates an evaporitic source of sulfur in the formation of sulfides [23].

Therefore, the authors revealed a certain similarity of the mineral composition of the carbonate metasomatites of the Ismakaevo magnesite deposit and the ore ore occurrence of Bogryashka, as well as similar features of distribution of REE in them and in the Suran fluorite deposit. We can assume that all three objects located in the same stratigraphic subdivision and within the same structural-formational zone in the western side of the Mashak graben are associated with a single process of fluid generation. The fluid, judging from the data of studying Cl–Br systematics and microcryometry of fluid inclusions [12, 13], and the isotopic data of sulfur, were the buried evaporite solutions that experienced intensive interaction with sedimentary and volcanic rocks in the tectonically active zone of the Mashak riftogenic graben. The effect of the fluid on the host rocks led to active metasomatism in the carbonate rocks of the Suran Suite.

The authors are grateful to N. V. Cherednichenko and D. V. Kiseleva (IGG UB RAS) for conducting ICP-MS analyzes.

REFERENCES

1. Maslov A. V., Krupenin M. T., Gareev E. Z., Anfimov L. V. 2001, *Rifey zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala (klassicheskie razrezy, sedimento- i litogenez, minerageniya, geologicheskie pamyatniki prirody)* [Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimento- and lithogenesis, mineralogy, geological monuments of nature)], Ekaterinburg, vol. 1, 352 c.
2. Rosenberg P. E. 1963, Synthetic solid solutions in the systems $MgCO_3$–$FeCO_3$ and $MnCO_3$–$FeCO_3$. American Mineralogist, vol. 48, no. 11/12, pp. 1396–1400.
3. Demchuk I. G. 1981, *Rentgenostrukturnoe issledovanie zhelezistykh dolomitov iz nizhnego rifeya na Yuzhnom Urale* [X-ray diffraction study of ferruginous dolomites from the Lower Riphean in the Southern Urals]. *Ezhegodnik-1980 IGG UNTs AN SSSR* [Yearbook-1980 IG of the USSR Academy of Sciences], pp. 131–132.
4. Tsvetkov A. I., Valishikhina E. P., Piloyan G. O. 1964, *Differentsial'nyy termicheskiy analiz karbonatnykh porod* [Differential thermal analysis of carbonate rocks], Moscow, 166 p.
5. Larionov N. N. 2003, *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Yuzhno-Ural'skaya seriya. List N-40-XXII (Tukan)* [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 200 000. South Ural series. Sheet N-40-XXII (Tukan)].
6. Shevelev A. I., Zuev L. V., Fedorov V. P. 2003, *Mineral'no-syr'evaya baza magnezita i brusita Rossii* [Mineral and raw materials base of magnesite and brucite of Russia], Kazan', 161 p.
7. Krupenin M. T., Kotlyarov V. A., Gulyaeva T. Ya., Petrishcheva V. G. 2008, *Stadiynost' magnezial'nogo metasomatoza v razlichnykh tipakh magnezitovykh mestorozhdeniy Yuzhno-Ural'skoy provintsii (po dannym mikroanaliza)* [Stages of magnesian metasomatism in various types of sparry magnesite deposits in the South Ural province (according to microanalysis)]. *Litosfera* [Litosfera], no. 3, pp. 98–120.
8. Krupenin M. T. 2005, *Geologo-geokhimicheskie tipy i sistematika RZE mestorozhdeniy Yuzhno-Ural'skoy magnezitovoy provintsii* [Geological-Geochemical Types and REE Systematic of the South Ural Sparry Magnesite Province]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences], vol. 405, no. 2, pp. 243–246.
9. Bau M., 1996, Control of the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect. Contribution of Mineralogy and Petrology, vol. 123, pp. 323–333.
10. Maslov A. V., Ronkin Yu. L., Krupenin M. T., Gareev E. Z., Lepekhina O. P. 2003, *Istochniki snosa rifeyskikh basseynov sedimentatsii oblasti sochleneniya Russkoy platformy i Yuzhnogo Urala: sintez petrograficheskikh, petro- i geokhimicheskikh dannykh* [Provenances of Riphean sedimentary basins at the Russian Platform-Southern Urals junction: Evidence from petrographic, petrochemical, and geochemical data]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences], vol. 39, no. 2, pp. 219–222.
11. Krupenin M. T., Kuznetsov A.B., Konstatinova G. V. 2014, *RZE i Sr–Nd sistematika kristallicheskikh magnezitov i vmeshchayushchikh karbonatnykh porod Ismakaevskogo mestorozhdeniya, Yuzhnyy Ural* [REE and Sr-Nd systematics of crystalline magnesites and host carbonate rocks of the Ismakaevo deposit, Southern Ural]. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo* [Problems of mineralogy, petrography and metallogeny. Scientific readings in the memory of P. N. Chirvinsky], no. 17, pp. 239–248.
12. Krupenin M. T., Prochaska V., Ronkin Yu. L. 2012, *Stadiynost' obrazovaniya flyuoritov mestorozhdeniya Suran (Bashkirskiy meganticlinoriy) po dannym izucheniya lantanoidov, flyuidnykh vklyucheniy i Sr–Nd sistematiki* [Stages of fluorite development in the Suran deposit (Bashkirian meganticlyne, Russia) according to the study of REE, fluid inclusions and Sr-Nd systematics]. *Litosfera* [Litosfera], no. 5, pp. 126–144.
13. Krupenin M. T., Garaeva A. A. 2015, *Istochniki flyuidov dlya metasomaticheskikh magnezitov Ismakaevskogo mestorozhdeniya Yuzhno-Ural'skoy provintsii (termokriometriya flyuidnykh vklyucheniy)* [Sources of fluids for metasomatic magnesite of Ismakaevo deposit in the Southern Urals province (microtermometry of fluid inclusions)]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 120–134.
14. Alekseev A. A., Alekseeva G. V., Kovalev S. G. 2003, *Differentsirovannye intruzii zapadnogo sklona Urala* [Differentiated intrusions of the western slope of the Urals], Ufa, 171 p.
15. Puchkov V. N. 2010, *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and the Cis-Urals (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, 280 p.

16. Musina A. M., Michurin S. V., Biktimerova Z. R., Kanipova Z. A. 2015, *Khlor v karbonatnykh porodakh rifeya Bashkirskogo meganticlinoriya* [Chlorine in the carbonate rocks of the Riphean of the Bashkir meganticlinorium]. *Materialy III Vserossiyskoy molodezhnoy geologicheskoy konferentsii* [Materials of the third All-Russian Youth Geological Conference], Ufa, pp. 144–149.
17. Michurin S. V., Sharipova A. A. 2015, *Izotopno-geokhimicheskie osobennosti rudoproyavleniya zolota Bogryashka (Yuzhnyy Ural)* [Isotope-geochemical features of the gold ore occurrence Bogryashka (South Urals)]. *Geologicheskiy sbornik [*Geological digest], no. 12, pp. 144–158.
18. Anfimov L. V. 1997, *Litogenez v rifeyskikh osadochnykh tolshchakh Bashkirskogo meganticlinoriya (Yuzhnyy Ural)* [Lithogenesis in the Riphean sedimentary strata of the Bashkir meganticlinorium (Southern Urals)], Ekaterinburg, 290 p.
19. Shannon R. D. 1976, Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. Acta Crystallogr. Sect., no. 32, pp. 751–767.
20. Bau M., Moeller P. 1992, Rare earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite. Mineralogy and Petrology, vol. 45, pp. 231–246.
21. Bau M. 1991, Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium. Chemical Geology, vol. 93, pp. 219–230.
22. Krupenin M. T., Meller P., Dul'ski P. 1999, *Redkozemel'nye i malye elementy vo flyuoritakh i vmeshchayushchikh dolomitakh (nizhniy rifey, Yuzhnyy Ural)* [Rare-earth and small elements in fluorites and host dolomites (Lower Riphean, Southern Urals)]. *Geokhimiya* [Geochemistry International], no. 11, pp. 1165–1177.
23. Michurin S. V., Kovalev S. G., Gorozhanin V. M. 2009, *Genezis sul'fatov i sul'fidov v nizhnerifeyskikh otlozheniyakh Kamsko-Bel'skogo avlakogena i Bashkirskogo meganticlinoriya* [Genesis of sulfates and sulfides in the Lower Riphean deposits of the Kamsko-Belsk aulacogene and the Bashkir meganticlinorium], Ufa, 192 p.

Михаил Тихонович Крупенин,
Krupenin@igg.uran.ru
Тамара Яковлевна Гуляева,
Валентина Георгиевна Петрищева
Институт геологии и геохимии УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Сергей Васильевич Мичурин,
s_michurin@mail.ru
Айсылу Азатовна Шарипова
Институт геологии Уфимского научного центра РАН
Россия, Республика Башкортостан,
Уфа, ул. Карла Маркса, 16/2

Mikhail Tikhonovich Krupenin,
Krupenin@igg.uran.ru
Tamara Yakovlevna Gulyaeva,
Valentina Georgievna Petrishcheva,
Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

Sergey Vasil'evich Michurin,
s_michurin@mail.ru
Aĭsylu Azatovna Sharipova
Institute of Geology of Ufa Science Centre of the Russian Academy of Sciences
Ufa, Russia

УДК 622.83 + 551.24 DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-43-46

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ КРАСНОТУРЬИНСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

С. Н. Тагильцев, Т. Н. Кибанова

Regularities of the tectonic stress field in the geological environment of the Krasnoturinsky ore district

S. N. Tagil'tsev, T. N. Kibanova

For many years, the deposits of a number of minerals were developed and explored on the territory of the Krasnoturinsky ore district. The Severo-Peschansky iron ore deposit is located 4 km north of the Vorontsovsky gold deposit. All the objects on which the authors conducted the study of the orientation of cracks are at the top part of the geological section. Analysis of the elements of occurrence of fracture systems makes it possible to determine the orientation of the main maximum stresses in this part of the geological section. The authors carried out a large number of measurements of the stress-strain state (SSS) of rock massifs in the mines of the North-Peschansky deposit. These data allows analyzing the relationship between the values of the main stresses, the orientation of the axes of the main stresses, and the position of the measurement points in depth. Analysis of data on ore deposits suggests that the complex use of geological-structural and geomechanical methods for studying the stress-strain state of rock massifs allows reliable determining of the regularities of the SSS. The main directions of the main maximum stress (MMS) have sublatitudinal orientations (260°-270° and 280°-290°). In the near-surface part of the geological section, the stress field is transformed, and one can observe different directions of the SSS in different blocks of rocks. Basic SSS during the unloading of tectonic stresses often change their orientation by 90° and acquire a submeridional orientation. The remaining directions of the effect of maximum stresses are fixed in local areas and have an auxiliary type.

Keywords: stress-strain state; rock massifs; geological-structural and geomechanical methods; main directions of maximum stress.

На территории Краснотурьинского рудного района многие годы разрабатывались и разведывались месторождения ряда полезных ископаемых. Северо-Песчанское железорудное месторождение расположено в 4 км севернее Воронцовского золоторудного месторождения. Все объекты, на которых производилось изучение ориентировки трещин, находятся в верхней части геологического разреза. Анализ элементов залегания систем трещин позволяет определить ориентировку главных максимальных напряжений в этой части геологического разреза. В горных выработках Северо-Песчанского месторождения выполнено довольно большое количество измерений напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов горных пород. Эти данные позволяют проанализировать взаимосвязь значений главных напряжений, ориентировки осей главных напряжений и положение точек измерений по глубине. Анализ данных по месторождениям рудного района позволяет считать, что комплексное использование геолого-структурных и геомеханических методов изучения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород позволяет надежно определить закономерности НДС. Основные направления действия главного максимального напряжения (ГМН) имеют субширотные ориентировки (260°–270° и 280°–290°). В приповерхностной части геологического разреза происходит трансформация поля напряжений, и в разных блоках горных пород могут наблюдаться различные направления ГМН. Основные ГМН в процессе разгрузки тектонических напряжений нередко меняют свою ориентировку на 90° и приобретают субмеридиональную направленность. Остальные направления действия максимальных напряжений фиксируются на локальных участках и имеют вспомогательный характер.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние; скальные массивы; геолого- структурные и геомеханические методы; главные направления максимального напряжения.

На территории Краснотурьинского рудного района многие годы разрабатывались и разведывались месторождения ряда полезных ископаемых. В качестве основных объектов, по которым имеется интересный и разнообразный фактический материал, следует назвать Воронцовское золоторудное и Северо-Песчанское железорудное месторождения. Эти объекты находятся в Краснотурьинском районе Свердловской области на восточном склоне Урала.

Разведка Воронцовского золоторудного месторождения выполнялась в 1980-е и в начале 1990-х гг. В связи со сложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями месторождения специальные работы производились в большом объеме, и к их выполнению привлекались опытные и высококвалифицированные исследователи. Методика работ включала использование телефотометрии скважин и специальные способы документации керна скважин.

Северо-Песчанское железорудное месторождение расположено в 4 км севернее Воронцовского золоторудного месторождения. Разработка железных руд ведется многие годы, и сейчас достигла глубин более 500 м от поверхности земли. В связи со сложными горно-геологическими условиями на этом месторождении в течение длительного периода производили исследования специалисты ИГД УрО РАН (г. Екатеринбург). В процессе исследований были получены разнообразные материалы, связанные с напряженно-деформированным состоянием (НДС) массива горных пород.

Район приурочен к вулкано-плутоническому поясу силурийско-девонского возраста (S_1–D_3). Вулканиты представлены андезитами, андезито-базальтами, трахиандезитами, вулканокластическими и вулканогенно-осадочными породами, слагающими Турьинскую структурно-формационную зону. Месторождения расположены в зоне Воронцовского разлома, в западном экзоконтакте Ауэрбаховской интрузии. В дальнейшем Воронцовский разлом многократно подновлялся. В мезозойское время он был трансформирован в надвиг [1, 2].

Рудные тела месторождений локализуются на контакте мраморизованных известняков и вышележащих вулканогенно-осадочных пород. Известняки под углом 20°–30° погружаются в районе Воронцовского разлома под породы вулканогенной толщи. Одной из самых сложных задач при изучении Воронцовского месторождения являлось исследование закарстованности карбонатных отложений [1, 3]. Для решения этой задачи на стадии детальной разведки были пройдены 23 гидрогеологические скважины глубиной до 300 м. В процессе разведки месторождения детально изучалась трещиноватость известняков. Кроме анализа данных телефотодокументации скважин производилась съемка трещин в карьере флюсовых известняков и в шурфах. Результаты обработки замеров представлены в виде круговых диаграмм [3].

Анализ данных, представленных в отчете [3], производился по методикам, изложенным в [2]. Центры систем трещин выносились на координатную сетку, причем субвертикальные системы трещин пересчитывались в азимуты простирания. Все объекты, на которых производилось изучение ориентировки трещин, находятся в верхней части геологического разреза. В карьере и

Таблица 1. Результаты анализа систем трещин.

Объект измерения трещин	Направления по азимуту оси ГМН, град.				Сдвиговые зоны
	Преобладающее	Хорошо выраженное	Слабо выраженное	Выраженное только в верхнем этаже	
Скважины ИГ-4 и ИГ-5	260–270; 230–240	290–300; 350–360	–	350–360	320–330
Карьер флюсовых известняков	230–240	–	320–330	–	350–360; 210–220; 270–280
Шурфы	260–270	–	320–330; 230–240	320–330; 230–240	180–190
Сводные данные	260–270; 230–240	290–300; 350–360	320–330; 230–240	350–360; 320–330	320–330; 210–220; 180–190

шурфах точки измерения элементов залегания трещин располагались на глубинах, не превышающих первых десятков метров. В скважинах глубина изучения трещиноватости составила 300 м.

На глубинах, вскрытых карьером и шурфами, хорошо проявились только два направления действия главных максимальных напряжений (ГМН). Эти направления ориентированы по азимутам 260°–270° и 230°–240°. Остальные направления действия ГМН (320°–330°; 350°–360°) в трещинах проявились очень слабо (табл. 1).

Анализ данных, полученных при телефотодокументации скважин, показал, что наряду с преобладающими направлениями ГМН (260°–270°, 230°–240°) хорошо выражены максимальные напряжения, ориентированные по азимутам 290°–300° и 350°–360°. Субмеридиональное направление проявляется только в верхнем геодинамическом этаже.

Для выявления ориентировки преобладающих ГМН важная роль принадлежит анализу ориентировки разломов [4–7]. Данное положение связано с тем, что разломы являются структурами разрушения, нарушающими сплошность массивов горных пород. Для формирования структур разрушения значения тектонических напряжений должны быть примерно в два раза больше, чем для возникновения трещин (структур предразрушения). Среди разломных тектонических структур надвиги позволяют наиболее просто и точно выявить направление действия главного максимального напряжения, так как простирание надвига ориентировано строго перпендикулярно направлению ГМН.

Воронцовский надвиг в пределах рассматриваемого месторождения [1–3] заметно меняет свое направление. Выделение линейных участков надвига (линеаментов) с учетом дополнительных геологических материалов позволяет определить ориентировку действия максимальных напряжений. Выявлено, что по простиранию надвига выделяются четыре группы линеаментов. Если принимать, что все линеаменты отражают простирание надвигов (взбросов), то азимут падения соответствует ориентировке осей главных нормальных максимальных напряжений (ГМН).

Анализ ориентировки линеаментов Воронцовского надвига.

Азимут простирания, град. ……..	200	220	320	355
Азимут падения, град. ……..	290	310	230	265

Все группы линеаментов хорошо выражены, но существенно преобладают две ориентировки: 200° и 355°. Соответственно, следует полагать, что среди выявленных направлений действия ГМН преобладают субширотные направления с ориентировкой 265° и 290°.

Если опираться на общие закономерности напряженного состояния (НС) по Уральскому региону, то выводы можно несколько детализировать. Основными (нагружающими) направлениями действия ГМН являются два направления: 265°(260°–270°) и 290°(280°–300°). Направления ГМН 230° и 310° формируются в связи с геомеханическими процессами, возникающими в зоне хрупкой деформации земной коры. Соответствующие этим направлениям линеаменты разлома с простиранием 320° и 220°, вероятно, имеют смешанную кинематику, т. е. являются взбросо-сдвигами, или сдвигами. Линеамент разлома с азимутом простирания 220° испытывает правые (по часовой стрелке), сдвиговые движения под воздействием ГМН с ориентировкой 265°. Линеамент разлома с азимутом простирания 310° испытывает левые (против часовой стрелки) сдвиговые движения под воздействием ГМН с ориентировкой 290° [5]. В целом следует считать, что результаты анализа ориентировки надвига хорошо согласуются с результатами анализа трещиноватости.

Северопесчанская залежь магнетитов (железорудное месторождение) представляет собой слепое рудное тело сложной формы. Лежачий бок сложен известняками, андезито-базальтами. В висячем боку залегают однородные диориты. Тектоническое строение Северопесчанского месторождения довольно сложное. Разрывные нарушения представлены в основном меридиональными и кососекущими крутопадающими нарушениями. На месторождении в качестве основных [8] выделены пять субвертикальных систем трещин (табл. 2).

Анализ ориентировки систем трещин показывает, что большинство систем (четыре из пяти) группируют в два направления. Если считать эти направления сдвиговыми, то можно применить метод определения ориентировки главного напряжения, предложенный М. В. Гзовским [4]. Предполагая, что выделенные сдвиговые плоскости занимают вертикальное положение, можно ориентировку биссектрисы острого угла рассматривать как ориентировку ГМН. Получим, что направление главного максимального напряжения составляет 283°. Данное направление соответствует результатам анализа структур Воронцовского надвига.

При решении ряда методических вопросов, связанных с горным давлением, Северопесчанское железорудное месторождение являлось своеобразным полигоном для Института горного дела (теперь ИГД УрО РАН). На месторождении выполнено довольно большое количество измерений напряженного состояния [8, 9] (табл. 3). Эти данные позволяют анализировать взаимосвязь значений главных напряжений, ориентировки осей главных напряжений и положение точек измерений по глубине геологического разреза.

Натурные измерения группируются в пять направлений. На глубинах ниже 400 м зафиксировано только два направления ГМН, близких к широтному. Необходимо указать, что к этим направлениям относятся измерения, зафиксировавшие самые высокие значения напряжений, которые больше 30 МПа (в табл. 3 выделены жирным шрифтом). Следует особо отметить, что азимуты измерений, имеющих субширотное направление ГМН, составляют 263°–270° и 280° (выделено в табл. 3). Можно полагать, что в субширотном направлении действия ГМН объединяются две сопряженные ориентировки – 260°–270° и 280°–290°.

На втором месте по степени выраженности находится субмеридиональное направление. Здесь зафиксировано и высокое значение максимального напряжения. Также следует отметить, что азимуты измерений, имеющих субмеридиональное направление ГМН, варьируют от 344° до 188° (8°). Можно по-

Таблица 2. Элементы залегания систем трещин.

Номер системы	Район съемки (порода)	Азимут простирания, град.	Угол падения, град.	Группировка азимута простирания, град.		Азимут ГМН, град.
I	Лежачий бок	135	80	325	323	283
III	Рудное тело	140	75–80	320		
II	Порфириты	235	85	235	243	
V	Диориты	250	75	250		
IV	Висячий бок	190	85	190	–	–

лагать, что в этом направлении действия ГМН объединяются две сопряженные ориентировки главных разгрузочных напряжений (ГМРН) – 350°–360° и примерно 10°. Необходимо также отметить, что меридиональное направление фиксируется только в приповерхностной зоне хрупкой деформации (до глубины 300 м). Следует обратить внимание, что в интервале глубин 300–400 м достаточно четко фиксируется направление с азимутом 235°, т. е. близкое к выявленному ранее направлению 230°–240°. Указанный интервал глубин можно рассматривать как переходную зону между зонами хрупкой деформации и пластично-хрупкой деформации. Геомеханический смысл переходной зоны заключается в том, что геологический разрез Северо-Песчанского месторождения слагают преимущественно более крепкие, чем известняки, вулканогенные породы. Можно предполагать, что глубина зоны хрупкой деформации в районе этого месторождения развивается на глубину, которая заметно больше, чем в районе Воронцовского месторождения.

Направления ГМН в диапазоне азимутов от 300° до 330° выражены не так отчетливо, как другие направления действия максимального напряжения. Следует считать, что эти направления являются второстепенными (вспомогательными) и проявляются только при трансформациях поля напряжений в верхнем геодинамическом этаже.

На основании сравнения результатов определений ориентировки осей главного максимального напряжения на Воронцовском и Северо-Песчанском месторождениях можно выполнить анализ соответствия результатов геолого-структурных методов и прямых натурных измерений. Сравнительный анализ позволяет сделать вывод о практически полном совпадении результатов определений.

Таким образом, комплексное использование геолого-структурных и геомеханических методов изучения напряженного состояния массивов горных пород позволяет надежно определить закономерности ориентировки главных максимальных тектонических напряжений в породных массивах. Основные направления действия главного максимального напряжения имеют субширотные ориентировки 260°–270° и 280°–290°. Вблизи земной поверхности происходит трансформация поля напряжений. В разных блоках горных пород могут наблюдаться различные направления действия максимального напряжения. Нередко главное максимальное напряжение меняет свою ориентировку на 90° относительно основных направлений и приобретает субмеридиональную ориентировку. Остальные направления действия максимальных напряжений имеют вспомогательный характер.

Современные инженерно-геологические и гидрогеологические процессы и явления в скальных массивах очень часто связаны с напряженным состоянием скальных массивов. Наиболее интенсивные геодинамические явления в горных выработках (деформации, горные удары) происходят вблизи дизъюнктивных тектонических нарушений, активных в поле современных тектонических напряжений. Преобладающие направления действия ГМН определяют ориентировку активных разломов в поле современных напряжений. Наиболее выраженную активность проявляют сбросы и сдвиги.

Сбросы, как правило, имеют простирание, параллельное действию ГМН, поэтому наибольшую опасность представляют собой сбросы субширотного простирания. Сдвиги образуют с вектором действия ГМН углы скола, которые обычно имеют диапазон значений 35°–45°. Анализ элементов залегания сдвиговых нарушений показывает, что ГМН с ориентировкой 260° активизирует сдвиги, имеющие среднее простирание 220°, а ГМН с ориентировкой 285° активизирует сдвиги со средним простиранием 325°. Таким образом, повышение надежности выявления активных разломов позволяет прогнозировать расположение водоносных зон и неустойчивых участков в горных выработках.

Сравнительный анализ результатов геолого-структурных методов и натурных измерений.

Интервал окружности, град.	230–240	240–260	260–270	270–280	280–290	290–310	310–320	320–340	340–10
Анализ трещин …….....	●	–	●	–	●	–	○	○	⊙
Анализ надвига …….....	⊙	–	●	–	●	–	⊙	–	–
Анализ НС …….....	⊙	–	●	–	●	○	○	○	●

ЛИТЕРАТУРА

1. Абатурова И. В., Афанасиади Э. И. Опыт инженерно-геологического районирования территории строительства Воронцовского ГОКа с целью рационального использования и охраны геологической среды // Изв. УГГГА. Геология и геофизика. 2001. С. 241–246.
2. Абатурова И. В. Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых горно-складчатых областей. Екатеринбург: УГГУ, 2011. 226 с.
3. Абатурова И. В., Афанасиади Э. И. Методические аспекты изучения карста при разведке Воронцовского золоторудного месторождения на Север-

Таблица 3. Фактические данные о напряженном состоянии массива горных пород Северо-Песчанского железорудного месторождения.

Глубина, м	Азимут σ_X	σ_X, МПа	σ_Y, МПа	σ_Z, МПа	Глубина, м	Азимут σ_X	σ_X, МПа	σ_Y, МПа	σ_Z, МПа
0	186	9,6	1,5	0,0	370	234	6,6	0,3	10,3
300	270	10,3	7,9	7,0	326	234	14,0	9,7	10,5
380	303	13,0	8,0	11,3	300	344	15,5	7,8	6,9
430	270	16,3	12,5	15,5	300	**270**	**41,5**	5,1	16,1
500	270	21,1	17,6	0,0	430	**263**	**49,0**	9,0	6,0
370	326	14,0	6,4	0,0	135	330	18,7	17,9	12,5
360	230	17,4	9,0	12,0	700	**280**	**33,5**	13,2	16,0
170	188	21,2	7,3	12,8	247	305	6,4	6,2	2,2
125	298	3,3	2,1	4,0	192	185	13,7	6,6	3,7
180	215	20,4	10,2	7,0	295	**180**	**31,3**	25,2	9,5

ном Урале // Проблемы современной инженерной геологии: записки Горного института. 2003. Т.153. С. 43–45.
4. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 535 с.
5. Тагильцев С. Н., Лукьянов А. Е. Геомеханическая роль тектонических разломов и закономерности их пространственного расположения // Геомеханика в горном деле: докл. науч.-техн. конф. (12–14 окт. 2011 г.). Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. С. 26–39.
6. Hachay O. A., Khachay A. Yu. Construction of dynamical Model for Evolution of Rock Massive State as a Response on a Changing of stress-deformed State // Geophysical Research abstracts. 2010. Vol. 12. P. 2662. EGU2010-2662.
7. Тагильцев С. Н., Лукьянов А. Е. Гидрогеологическое расслоение скального массива в условиях современного напряженного состояния // Литосфера. 2010. № 2. С. 122–129.
8. Сашурин А. Д. Геомеханические модели и методы расчета сдвижений горных пород при разработке месторождений в скальных массивах: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 1995. 357 с.
9. Влох Н. П. Управление горным давлением на подземных рудниках. М.: Недра, 1994. 208 с.

REFERENCES

1. Abaturova I. V., Afanasiadi E. I. 2001, *Opyt inzhenerno-geologicheskogo rayonirovaniya territorii stroitel'stva Vorontsovskogo GOKa s tsel'yu ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany geologicheskoy sredy* [Experience in engineering-geological zoning of the construction site of Vorontsovsky Mining and enrichment plant with the purpose of rational use and protection of the geological environment]. *Izv. UGGGA. Geologiya i geofizika* [News of the Ural State Mining University. Series Geology and Geophysics], pp. 241–246.
2. Abaturova I. V. 2011, *Otsenka i prognoz inzhenerno-geologicheskikh usloviy mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh gorno-skladchatykh oblastey* [Estimation and forecast of engineering-geological conditions of deposits of solid minerals of mountain-folded areas], Ekaterinburg, 226 p.
3. Abaturova I. V., Afanasiadi E. I. 2003, *Metodicheskie aspekty izucheniya karsta pri razvedke Vorontsovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya na Severnom Urale* [Methodical aspects of karst exploration during exploration of the Vorontsovsky gold deposit in the Northern Urals]. *Problemy sovremennoy inzhenernoy geologii: zapiski Gornogo instituta* [Problems of modern engineering geology: Journal of Mining Institute], vol.153, pp. 43–45.
4. Gzovskiy M. V. 1975, *Osnovy tektonofiziki* [Fundamentals of tectonophysics], Moscow, 535 p.
5. Tagil'tsev S. N., Luk'yanov A. E. 2012, *Gesmekhanicheskaya rol' tektonicheskikh razlomov i zakonomernosti ikh prostranstvennogo raspolozheniya* [The gemechanical role of tectonic fractures and patterns of their spatial location]. *Geomekhanika v gornom dele: dokl. nauch.-tekhn. konf. (12–14 okt. 2011 g.)* [Geomechanics in mining: reports of scientific-technical conference(12-14 October 2011)], Ekaterinburg, pp. 26–39.
6. Hachay O. A., Khachay A. Yu. 2010, Construction of dynamical Model for Evolution of Rock Massive State as a Response on a Changing of stress-deformed State. Geophysical Research abstracts, vol. 12, p. 2662.
7. Tagil'tsev S. N., Luk'yanov A. E. 2010, *Gidrogeologicheskoe rassloenie skal'nogo massiva v usloviyakh sovremennogo napryazhennogo sostoyaniya* [Hydrogeological stratification of the rock massif in the conditions of the current stress state]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 122–129.
8. Sashurin A. D. 1995, *Geomekhanicheskie modeli i metody rascheta sdvizheniy gornykh porod pri razrabotke mestorozhdeniy v skal'nykh massivakh: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Geomechanical models and methods for calculating the movements of rocks in the development of deposits in rock massifs: dissertation of Doctor of technical sciences], Ekaterinburg, 357 p.
9. Vlokh N. P. 1994, *Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh* [Control of mining pressure in underground mines], Moscow, 208 p.

Сергей Николаевич Тагильцев,
tagiltsev@k66.ru
Татьяна Николаевна Кибанова,
kibanova_1@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Sergey Nikolaevich Tagil'tsev,
tagiltsev@k66.ru
Tat'yana Nikolaevna Kibanova,
kibanova_1@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 551.4.012 DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-47-52

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА ПОРОД И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВЕРХНЕ-АЛИИНСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

М. С. Патракова

Assessment of rock mass stability and forecast of development of engineering-geological processes at the Upper-Aliyinsk deposit

M. S. Patrakova

The author considers the problem of studying engineering-geological conditions, estimation of stability of rock massifs, forecast of development of engineering-geological processes on the example of the Upper-Aliyinsk deposit. Optimization of the construction of mining enterprises and the process of mining of minerals requires a substantiated assessment of the engineering-geological conditions (EGC) of mineral deposits at the exploration stage: the separation of the main components of the EGC, the determination of the processing processes, the assessment of the scale of their impact, and the forecasting of mining operations in the development of the deposit. Among the main components that require assessment in engineering and geological studies are geological structure of the massif, structural-tectonic features and fracturing, composition and properties of rocks, development of exogenous geological processes, hydrogeological conditions. The analysis of the engineering-geological conditions of the Upper-Aliyinsk deposit made it possible to identify the most significant components, such as the fracturing of rocks and their strength properties, so the author based the classification on the "classification of rocks by the degree of fracture" VSEGINGEO with some additions caused by the specificity of the object under study. The taxonomic unit for zonation was the engineering-geological sections, the basis of which is the qualitative and quantitative assessment of the degree of fracturing of rocks, the evaluation of the strength properties of rocks and their engineering-geological typification. In engineering-geological zoning, the author distinguished 4 categories in the rock massif with different degrees of stability: I – high stability; II – medium stability; III – low stability; IV – very low stability. The share of very stable breeds is from 44.46 to 61.58 %, stable – from 11.98 to 39.8 %. Breeds of low stability are less common – from 5.56 to 15.74 %. Unstable breeds are extremely rare and their share is 3.97 %. An objective assessment of all the components that make up the engineering-geological conditions of the Upper-Aliyinsk deposit will make it possible to make the most correct and objective forecast.

Keywords: engineering-geological conditions; engineering-geological processes; estimation and forecast; stability of rock massif; degree of fracturing.

Рассматриваются проблема изучения инженерно-геологических условий, оценка устойчивости массива пород, прогноз развития инженерно-геологических процессов на примере Верхне-Алиинского месторождения. Оптимизация строительства горных предприятий и процесса отработки полезного ископаемого требует обоснованной оценки инженерно-геологических условий (ИГУ) месторождений полезных ископаемых еще на стадии разведки: выделение главных компонентов ИГУ, определение процессов отработки, оценка масштаба их воздействия и прогнозирование ведения горных работ при разработке месторождения. К числу основных компонентов, требующих оценки при инженерно-геологических исследованиях, относятся: геологическое строение массива, структурно-тектонические особенности и трещиноватость, состав и свойства горных пород, развитие экзогенных геологических процессов, гидрогеологические условия. Анализ инженерно-геологических условий Верхне-Алиинского месторождения позволил выделить наиболее значимые компоненты, такие как трещиноватость пород и их прочностные свойства, поэтому в основе классифицирования была использована «Классификация пород по степени трещиноватости» ВСЕГИНГЕО с некоторыми добавлениями, вызванными спецификой исследуемого объекта. Таксонометрической единицей при районировании являлись инженерно-геологические участки, в основу выделения которых положены качественная и количественная оценка степени трещиноватости пород, оценка прочностных свойств пород и их инженерно-геологическая типизация. При инженерно-геологическом районировании в массиве пород выделены 4 категории с различной степенью устойчивости: I – высокой устойчивости; II – средней устойчивости; III – низкой устойчивости; IV – очень низкой устойчивости. Установлено, что на долю весьма устойчивых пород приходится от 44,46 до 61,58 %, устойчивых – от 11,98 до 39,8 %. Менее распространены породы средней устойчивости – от 5,56 до 15,74 %. Крайне редко отмечаются неустойчивые породы, их доля составляет 3,97 %. Объективная оценка всех компонентов, составляющих инженерно-геологические условия Верхне-Алиинского месторождения, позволит сделать наиболее корректный и объективный прогноз.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия; инженерно-геологические процессы; оценка и прогноз; устойчивость массива пород; степень трещиноватости.

Проблема прогноза возникновения опасных инженерно-геологических процессов на ранних стадиях изучения месторождений полезных ископаемых (МПИ) требует применения эффективных методов моделирования и оперативной оценки устойчивости массива пород. Основой этих методов служит оценка инженерно-геологических условий (ИГУ) МПИ (выделение главных компонентов ИГУ, установление закономерностей их изменения, установление количественных параметров, отражающих ИГУ, возможность развития инженерно-геологических процессов), оценка масштаба их воздействия и прогнозирование устойчивости массива горных пород при вскрытии его подземными горными выработками.

В настоящее время существует целый ряд методологических руководств и пособий по инженерно-геологическому изучению месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке, разработанных различными авторами и институтами. В руководствах ВСЕГИНГЕО (1975, 1985, 1986) рассматривается методика инженерно-геологических работ при разведке месторождений, описаны основные виды исследований и сделаны предложения по их объему на месторождениях различной категории сложности инженерно-геологических условий. Решению вопросов прогноза устойчивости горных выработок, выбору оптимального метода крепи всегда уделялось большое внимание. Публикации в этой области имеются у З. Т. Бенявски [1] и дру-

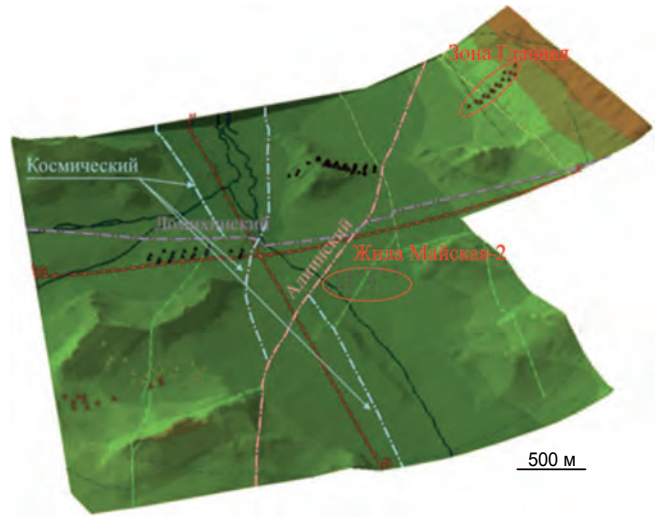


Рисунок 1. Карта-схема Верхне-Алиинского месторождения.

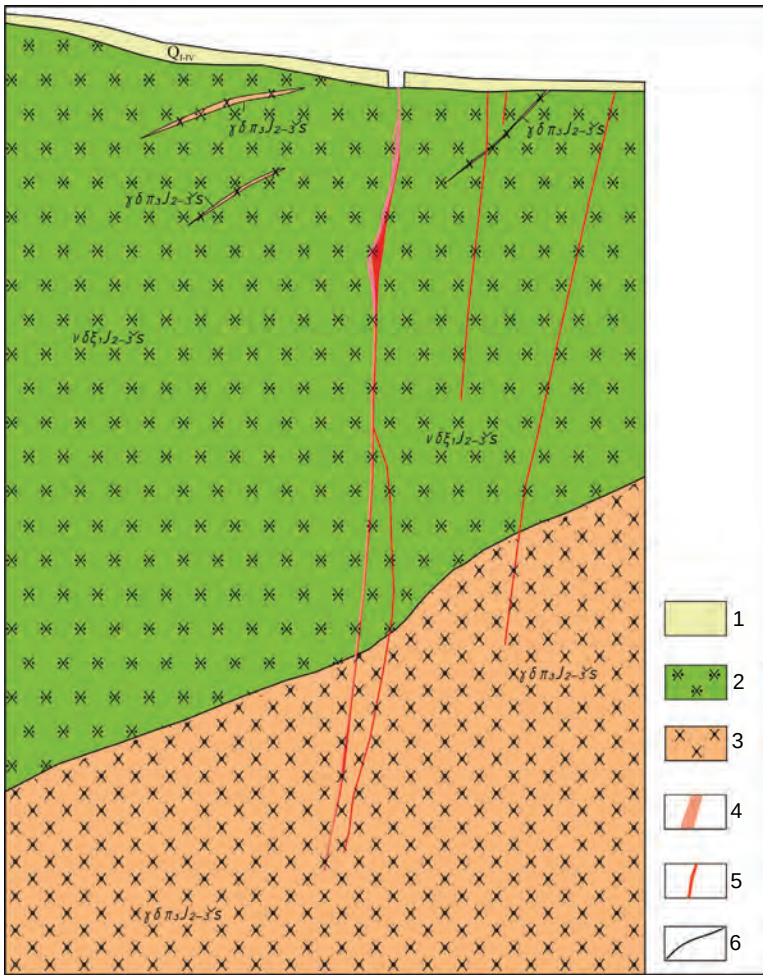


Рисунок 2. Фрагмент геологического разреза (Верхне-Алиинское месторождение). 1 – рыхлые отложения: глины, суглинки, пески, щебень, дресва ($Q_{I–IV}$); 2 – монцониты ($\nu\delta\xi_1J_{2-3}^{\vee}S$); 3 – гранодиорит-порфиры, диоритовые порфиры ($\gamma\delta\pi_3J_{2-3}^{\vee}S$); 4 – березиты с вкрапленностью сульфидов (до 5 %); 5 – кварц-сульфидные минерализованные зоны и жилы; 6 – геологические границы.

гих зарубежных авторов [2–4]. Н. С. Булычевым изложены теории расчета устойчивости окружающих выработку пород на основе инженерно-геологических данных, рассмотрены массив пород и его механические модели, напряженное состояние пород в массиве, оценка устойчивости породных обнажений. В основу научного подхода к оценке инженерно-геологических условий месторождений положены теоретические работы исследователей разных школ: Г. К. Бондарика [5], Л. А. Ярг, Г. А. Голодковской [6], А. В. Шаумян [6], И. В. Абатуровой [7–10], О. Н. Грязнова [8, 13, 14], О. М. Гуман [12], С. Г. Дубейковского [10] и др. [11, 15]. Во многих работах говорится о необходимости учета тех компонентов, которые создают геологическую среду, изменяют ее состояние и свойства. К числу главных компонентов, требующих оценки при инженерно-геологических исследованиях, относятся: геологическое строение массива, структурно-тектонические особенности и трещиноватость, состав и свойства горных пород, развитие экзогенных геологических процессов, гидрогеологические условия.

Объективная оценка всех компонентов, составляющих инженерно-геологические условия Верхне-Алиинского месторождения, позволит сделать наиболее корректный и объективный прогноз. Далее будут рассмотрены основные компоненты инженерно-геологических условий месторождения, состоящего из ряда рудных тел. Основные инженерно-геологические компоненты выделенных рудных тел обусловлены петрографическим составом пород, наличием тектонических зон дробления с различной степенью измельчения пород, формирующих зоны ослабления, их физико-механическими свойствами, гидрогеологическими условиями.

Геолого-структурное строение. Верхне-Алиинское золоторудное месторождение, включающее в себя несколько рудных тел, расположено на территории Балейского района Читинской области, в отрогах Ононского хребта, относится к области высокогорья с абсолютными отметками 700–900 м. Месторождение расположено в пределах Мунгинского рудного узла, на пересечении широтного Ломихинского и субмеридиональных разломов (рис. 1). Мунгинский рудный узел приурочен к выступу палеозойского основания в центральной части Ундинско-Даинской депрессии, где расположена кольцевая структура – Алиинский купол. В центре структуры находится Кольчихинский шток гранит-порфиров, граносиенит-порфиров, прорывающий породы палеозойского основания. Верхне-Алиинское месторождение расположено восточнее Кольчихинского штока, во внутреннем поясе кольцевой структуры (рис. 2). Площадь месторождения сложена вулканогенно-осадочными породами такшинской толщи позднеюрского возраста, метаморфизованными породами газимуро-заводской свиты раннекарбонового возраста и магматическими породами ундинского и шахтаминского комплексов. Породы шахтаминского комплекса слагают 80–90 % площади месторождения. Выделены две фазы: 1-я фаза представлена пироксенитами, перидотитами, оливиновым габбро, габбро, монцонитами, сиенитами, 2-я фаза – гранодиорит-порфирами Кольчихинского штока.

Для месторождения характерна локализация в целом всех рудоносных зон в калишпатизированных основных и ультраос-

Таблица 1. Физико-механические свойства монцонитов рудных тел.

Показатели свойств	Средние значения свойств пород рудного тела «Зона Главная»	Средние значения свойств пород рудного тела «Жила Сентябрьская-2»
	$\bar{x}$	$\bar{x}$
Плотность, г/см³	2,75	2,88
Водопоглощение, %	0,12	0,25
Коэффициент крепости, доли ед.	13	9
Пределы прочности при растяжении, МПа:		
в сухом состоянии	12,45	8,45
в водонасыщенном состоянии	11,03	7,84
Пределы прочности при сжатии, МПа:		
в сухом состоянии	156,94	119,27
в водонасыщенном состоянии	140,09	113,77
Коэффициент размягчаемости, доли ед.	0,89	0,91
Удельное сцепление, МПа:		
в сухом состоянии	33,14	24,09
в водонасыщенном состоянии	29,65	22,84
Угол внутреннего трения, град.:		
в сухом состоянии	53	55
в водонасыщенном состоянии	53	56
Скорость упругой волны, м/с:		
в массиве	5624,90	5629,69
в стержне	4929,90	4796,75
поперечной	3200,52	2957,81
Модули, ГПа:		
упругости, динамический	65,69	67,10
сдвига	25,49	25,81
объемного сжатия	52,80	57,03
упругости, статический	58,60	55,67
Коэффициент Пуассона	0,29	0,30

новных породах. Радиально-кольцевая структура Мунгинского рудного узла обусловливает особенности минеральной и морфологической зональности Верхне-Алиинского месторождения – наблюдается закономерная смена простирания зон, выражающаяся в огибании ядра этой структуры.

Основные структурные элементы, определяющие размещение рудных тел месторождения, – разрывные тектонические нарушения. Структуры субширотного простирания являются рудовмещающими или к ним приурочены дайки. Наиболее крупные изученные разрывы имеют субмеридиональное простирание и считаются элементами, осложняющими структуру месторождения в результате послерудных подвижек по этим разломам. Крупным разломом широтного простирания является Ломихинский.

Все минерализованные зоны и жилы месторождения локализованы в трещинах скола, о чем свидетельствуют их большая протяженность и прямолинейность контактов жил. Рудоносные зоны представляют собой серию кварц-сульфидных жил и зон прожилково-вкрапленной минерализации. На месторождении выделены два типа руд: пирротин-арсенопирит-халькопиритовый с зернистым кварцем и пирит-арсенопирит-полиметаллический с халцедоновидным кварцем. Рассмотрим подробней инженерно-геологические условия двух наиболее ярких представителей рудных тел.

Инженерно-геологические особенности рудных тел. Скальные породы рудных тел представлены монцонитами, габбромонцонитами, реже пироксенитами, перидотитами, характеризуются высокими значениями плотности, прочности на одноосное сжатие, коэффициента крепости и относятся к группам пород прочных и очень прочных неразмягчаемых.

Таблица 2. Соотношение пород по степени трещиноватости (из расчета на 20-метровый интервал).

Категория пород по степени трещиноватости	Распространенность пород в массиве, %	
	Зона Главная	Жила Сентябрьская-2
Слаботрещиноватые	3,0	0
Среднетрещиноватые	82,1	35,4
Сильнотрещиноватые	14,9	32,3
Раздробленные	0	32,3

Рудное тело «Зона Главная» находится в Восточной рудоносной зоне и представляет собой минерализованную зону сульфидизированных березитов, включающую невыдержанные по простиранию кварц-сульфидные тела мощностью 0,2–1,3 м. Породы, вмещающие оруденение, – монцониты.

Монцониты рудного тела «Зона Главная» характеризуются довольно невысокими (по сравнению с монцонитами других рудных зон) значениями плотности от 2,64–2,66 г/см³ до 2,84–2,93 г/см³. Порода весьма однородна по значениям плотности, среднее значение составляет 2,75 г/см³. Участками отмечаются метасоматические кварциты, имеющие низкие значения плотности 2,67 г/см³. По-видимому, такие низкие значения плотности обусловлены окварцеванием массива монцонитов. В рудных интервалах значения плотности довольно высоки – 4,35–4,72 г/см³. Более подробно физико-механические свойства представлены в табл. 1. Массив монцонитов рудного тела «Зона Главная» (в отличие от других рудных зон) характеризуется очень высокими значениями прочностных свойств (на сжатие, растяжение, сжатие со срезом).

Рудное тело «Жила Сентябрьская-2» находится в юго-восточной части Широтной рудоносной зоны и представляет собой кварц-сульфидную жилу с оторочкой сульфидизированных березитов мощностью от первых десятков сантиметров до нескольких метров. Вмещающими породами также являются монцониты, их физико-механические свойства приведены в табл. 1.

Степень трещиноватости и нарушенности. В целом массив пород среднетрещиноватый, участками раздробленный, сложен породами с жесткими структурными связями, относящимися к классу очень прочных и прочных пород. Режим пространственной изменчивости свойств пород по глубине и простиранию «стационарный». Трещинная тектоника контролирует степень раздробленности массива, интенсивность трещиноватости.

Следует отметить, что для рудных тел характерна различная степень интенсивности трещиноватости пород (табл. 2), наименьшей интенсивностью трещиноватости в массиве пород Верхне-Алиинского месторождения характеризуется рудное

Рисунок 3. Породы Верхне-Алиинского месторождения: слева – монцониты слаботрещиноватые рудного тела «Зона Главная», справа – монцониты сильнотрещиноватые рудного тела «Жила Сентябрьская-2».

тело «Зона Главная», наибольшей – «Жила Сентябрьская-2» (рис. 3). Различия обусловлены влиянием таких факторов, как тектонические напряжения пород, процессы рудообразования, процессы разгрузки и т. д.

Общее количество раздробленного материала по скважинам рудного тела «Зона Главная» изменяется от 1,45 до 6,37 %. Мощность зон дробления изменяется от 0,05 до 1,7 м при среднем значении 0,24 м. Рудное тело «Жила Сентябрьская-2» характеризуется весьма большими мощностями тектонически нарушенных зон.

Для рудных тел характерна разная средняя мощность зон дробления и ослабления (табл. 3). Для зон дробления она изменяется от 0,26 м (рудное тело «Зона Главная») до 0,84 м (рудное тело «Жила Сентябрьская-2»), для зон ослабления – от 0,90 м (рудное тело «Жила Сентябрьская-2») до 14,0 м (рудное тело «Зона Главная»).

В результате анализа установлено, что зоны дробления преобладают над зонами ослабления в пределах рудных тел «Зона Главная», «Жила Сентябрьская-2», где их процентное отношение к суммарной мощности тектонически нарушенных зон в пределах каждого рудного тела составляет 80,0 и 52,4 % соответственно.

Одним из основных факторов, определяющих интенсивность трещиноватости пород в пределах всего месторождения, являются рудообразующие процессы и процессы околорудного метасоматического изменения пород. Процессы рудообразования носят наложенный характер и способствуют уменьшению интенсивности трещиноватости в результате «залечивания» трещин. Анализ распространения рудоносных зон в пределах каждого рудного тела показал, что наибольшая их средняя мощность наблюдается в пределах рудного тела «Зона Главная» и составляет 5,48 м, наименьшая – в пределах рудного тела «Жила Сентябрьская-2» – 1,4 м.

Трещины, разбивающие массив пород, преимущественно кососекущие, сколовые с зеркалами и штрихами скольжения. Заполнитель трещин – глинка трения, вермикулит, хлорит, каолинит. Системная трещиноватость приводит к анизотропии свойств массива и блочному строению. Наибольшая трещинная пустотность приурочена к участкам развития тектонически нарушенных пород рудных зон. Наличие ослабленных зон, является результатом процессов разгрузки массива пород. Отмечается снижение средних значений прочности пород в ослабленных зонах и зонах повышенной трещиноватости до значений 43–86 МПа.

Гидрогеологические условия. Гидрогеологические условия Верхне-Алиинского месторождения характеризуются как простые, ведение подземных работ планируется вести в предварительно осушенном массиве. Основным водоносным комплексом, участвующим в обводнении рудных тел, является водоносный комплекс интрузивных образований щелочного состава (γξC–γξJ), представленный преимущественно монцонитами.

Оценка выявленных особенностей массива позволяет спрогнозировать развитие таких инженерно-геологических процессов, как стреляние, горные удары в области сжатия, вывалы и обрушения в зонах с низкой устойчивостью и на границах смены классов устойчивости. Для предотвращения возникновения опасных процессов необходимо применение эффективных методов, обеспечивающих безопасное ведение подземных горных работ.

В целом предсказание развития инженерно-геологических процессов при отработке месторождений в сложных геологических условиях при ограниченном объеме имеющейся информации является весьма трудной задачей ввиду многозначности и разносторонности взаимовлияющих факторов. В связи с этим для решения вопросов прогнозирования, основанных на реаль-

Таблица 3. Характеристика показателей зон дробления и ослабления рудных тел.

Показатели	Тип тектонически нарушенных зон	Рудное тело	
		Зона Главная	Зона Сентябрьская-2
Задокументированное число тектонически нарушенных зон, шт.	Зоны дробления	169	220
	Зоны ослабления	12	12
Отношение тектонически нарушенных зон к их суммарной мощности, %	Зоны дробления	80,0	52,4
	Зоны ослабления	20,0	47,6
Суммарная мощность тектонически нарушенных зон, м	Зоны дробления	43,45	189,45
	Зоны ослабления	10,85	167,45
Средняя мощность тектонически нарушенных зон, м	Зоны дробления	0,26	0,84
	Зоны ослабления	0,9	14

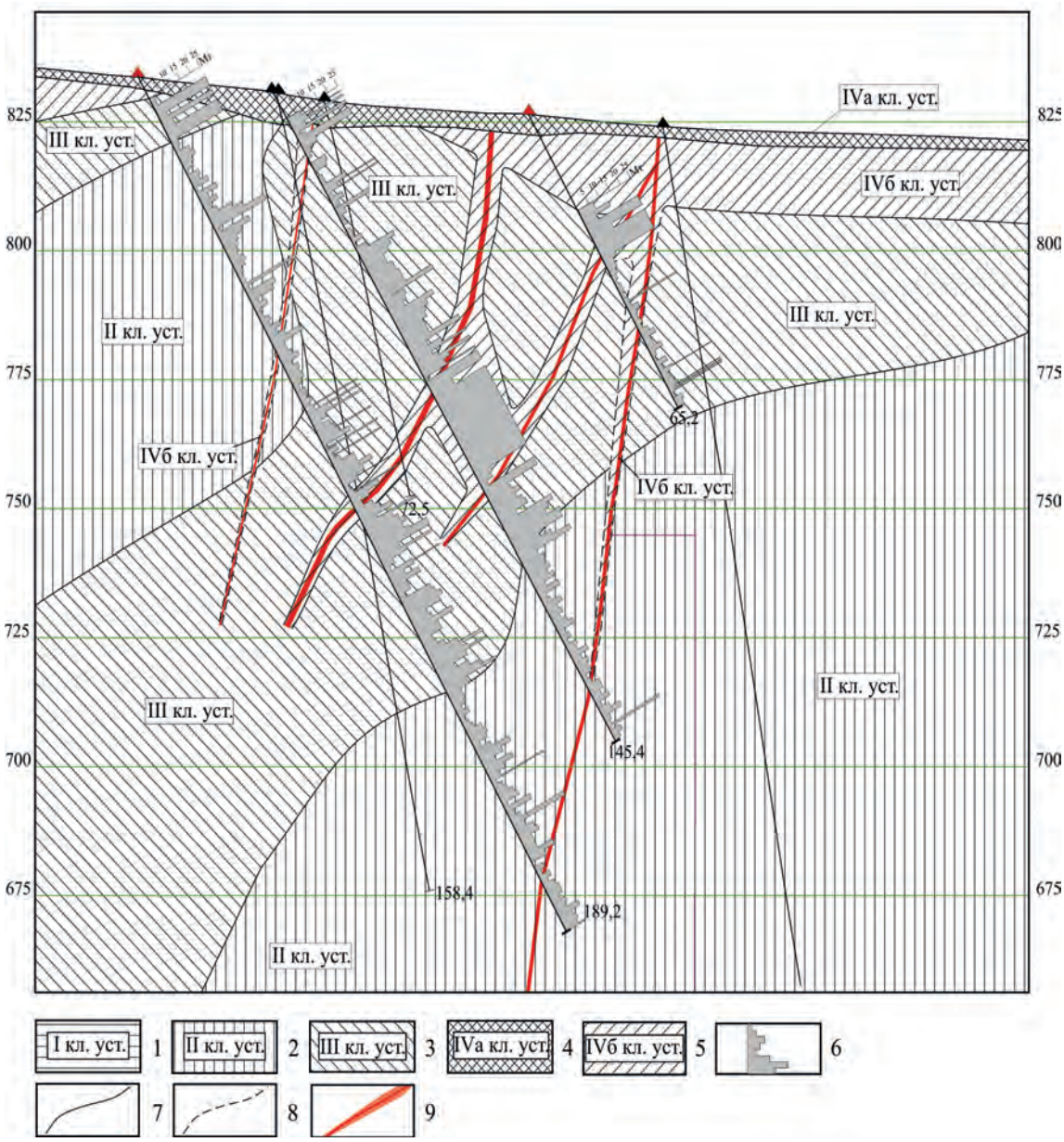


Рисунок 4. Разрез с инженерно-геологическим районированием. 1 – высокой устойчивости; 2 – средней устойчивости; 3 – низкой устойчивости; 4, 5 – очень низкой устойчивости; 6 – диаграмма модуля трещиноватости; 7 – достоверная граница между разными классами устойчивости; 8 – предполагаемая граница между разными классами устойчивости; 9 – жила и околорудное изменение.

ных критериях, сформулированных по результатам всестороннего анализа геологических, структурно-тектонических, инженерно-геологических особенностей месторождения, необходимо применение нескольких методов в комплексе. К примеру, совместно с методом прогнозного районирования можно использовать метод аналогий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bieniawski Z. T. Engineering Rock Mass Classifications. A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering. N. Y.: Wiley, 1989. 250 p.
2. Bianchi Fasani G., Bozzano F., Cercato M. The underground cavity network of south-eastern Rome (Italy): an evolutionary geological model oriented to hazard assessment // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2011. Vol. 70, № 4. P. 533–542.
3. Li Dian-Qing, Zhang J., Phoon Kok-Kwang, Gokceoglu C. Preface of special issue on probabilistic and soft computing methods for engineering geology // Engineering Geology. 2016. Vol. 203. P. 1–2.
4. Gattinoni P., Pizzarotti E. M., Scesi L. Engineering Geology for Underground Works. Heidelberg: Springer, 2014. 312 p.
5. Бондарик Г. К. Методика инженерно-геологических исследований. М.: Недра, 1986. 333 с.
6. Голодковская Г. А., Матула М., Шаумян Л. В. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов. М.: МГУ, 1987. 272 с.
7. Абатурова И. В. Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых горно-складчатых областей. Екатеринбург: Типография «Уральский центр академического обслуживания», 2011. 320 с.
8. Абатурова И. В., Грязнов О. Н. Оценка инженерно-геологических условий золоторудных месторождений Полярного Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 2009. № 6. С. 97–106.
9. Абатурова И. В., Петрова И. Г., Королева И. А., Стороженко Л. А. Принципы оптимизации изучения инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 11 (42), ч. 3. С. 10–13.
10. Абатурова И. В., Мартыненко М. С., Емельянова И. А. Оценка экологических рисков проявления опасных динамических процессов при строительстве горнотехнических сооружений на Верхне-Алиинском золоторудном месторождении // Экологическая безопасность промышленных регионов: конф. (Екатеринбург, 29–30 июня 2015 г.). Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2015.
11. Абрамов Б. Н. Верхне-Алиинское золоторудное месторождение: условия формирования, петрохимические особенности пород и руд (Мунгинский рудный узел, Восточное Забайкалье) // Литосфера. 2016. №. 4. С. 92–101.
12. Гуман О. М., Дубейковский С. Г. Инженерно-геологическая типизация железорудных месторождений Урала // Инженерная геология. 1991. № 3. С. 36–42.

13. Грязнов О. Н. Природно-технические системы – универсальные системы взаимодействия инженерных сооружений (объектов) и природной среды // Изв. УГГУ. 2015. № 4 (40). С. 5–10.
14. Грязнов О. Н. Факторы инженерно-геологических условий Урала. Региональные геологические факторы // Изв. УГГУ. 2014. № 3 (35). С. 30–50.
15. Мартыненко М. С., Стороженко Л. А. Оценка степени проявления динамических процессов при строительстве горнотехнических сооружений на Верхне-Алиинском золоторудном месторождении // Уральская горная школа – регионам: Междунар. науч.-практ. конф. (28–29 апр. 2014 г.). Екатеринбург, 2014. С. 559–560.

REFERENCES

1. Bieniawski Z. T. 1989, Engineering Rock Mass Classifications. A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering, New York, 250 p.
2. Bianchi Fasani G., Bozzano F., Cercato M. 2011, The underground cavity network of south-eastern Rome (Italy): an evolutionary geological model oriented to hazard assessment. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 70, no. 4, pp. 533–542.
3. Li Dian-Qing, Zhang J., Phoon Kok-Kwang, Gokceoglu S. 2016, Preface of special issue on probabilistic and soft computing methods for engineering geology. Engineering Geology, vol. 203, pp. 1–2.
4. Gattinoni P., Pizzarotti E. M., Scesi L. 2014, Engineering Geology for Underground Works, Heidelberg, 312 p.
5. Bondarik G. K. 1986, *Metodika inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy* [Technique of engineering-geological research], Moscow, 333 p.
6. Golodkovskaya G. A., Matula M., Shaumyan L. V. 1987, *Inzhenerno-geologicheskaya tipizatsiya i izuchenie skal'nykh massivov* [Engineering-geological typification and study of rock massifs], Moscow, 272 p.
7. Abaturova I. V. 2011, *Otsenka i prognoz inzhenerno-geologicheskikh usloviy mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh gorno-skladchatykh oblastey* [Estimation and forecast of engineering-geological conditions of deposits of solid minerals of mountain-folded areas], Ekaterinburg, 320 p.
8. Abaturova I. V., Gryaznov O. N. 2009, *Otsenka inzhenerno-geologicheskikh usloviy zolotorudnykh mestorozhdeniy Polyarnogo Urala* [Assessment of engineering and geological conditions of gold deposits of the Polar Urals]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 6, pp. 97–106.
9. Abaturova I. V., Petrova I. G., Koroleva I. A., Storozhenko L. A. 2015, *Printsipy optimizatsii izucheniya inzhenerno-geologicheskikh usloviy mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Principles of optimization of studying the engineering and geological conditions of mineral deposits]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], no. 11(42), pt. 3, pp. 10–13.
10. Abaturova I. V., Martynenko M. S., Emel'yanova I. A. 2015, *Otsenka ekologicheskikh riskov proyavleniya opasnykh dinamicheskikh protsessov pri stroitel'stve gornotekhnicheskikh sooruzheniy na Verkhne-Aliinskom zolotorudnom mestorozhdenii* [Assessment of environmental risks of dangerous dynamic processes in the construction of mining structures on the Upper-Aliyinsk gold deposit] *Ekologicheskaya bezopasnost' promyshlennykh regionov: konf. (Ekaterinburg, 29–30 iyunya 2015 g.)* [Environmental safety of industrial regions: conf. (Ekaterinburg, June 29–30, 2015)], Ekaterinburg, pp. 13–.
11. Abramov B. N. 2016, *Verkhne-Aliinskoe zolotorudnoe mestorozhdenie: usloviya formirovaniya, petrokhimicheskie osobennosti porod i rud (Munginskiy rudnyy uzel, Vostochnoe Zabaykal'e)* [Upper-Aliyinsk gold deposit: formation conditions, petrochemical features of rocks and ores (Tunginsky ore cluster, Eastern Transbaikalia)]. *Litosfera* [Litosfera], no. 4, pp. 92–101.
12. Guman O. M., Dubeykovskiy S. G. 1991, *Inzhenerno-geologicheskaya tipizatsiya zhelezorudnykh mestorozhdeniy Urala* [Engineering-geological typification of iron ore deposits in the Urals]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology], no. 3, pp. 36–42.
13. Gryaznov O. N. 2015, *Prirodno-tekhnicheskie sistemy – universal'nye sistemy vzaimodeystviya inzhenernykh sooruzheniy (ob"ektov) i prirodnoy sredy* [Natural-technical systems – universal systems of interaction of engineering structures (objects) and the natural environment]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 4(40), pp. 5–10.
14. Gryaznov O. N. 2014, *Faktory inzhenerno-geologicheskikh usloviy Urala. Regional'nye geologicheskie faktory* [Factors of engineering and geological conditions of the Urals. Regional geological factors]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 3(35), pp. 30–50.
15. Martynenko M. S., Storozhenko L. A. 2014, *Otsenka stepeni proyavleniya dinamicheskikh protsessov pri stroitel'stve gornotekhnicheskikh sooruzheniy na Verkhne-Aliinskom zolotorudnom mestorozhdenii* [Estimation of the degree of manifestation of dynamic processes in the construction of mining facilities at the Upper-Aliyinsk gold deposit]. *Ural'skaya gornaya shkola – regionam: Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (28–29 apr. 2014 g.)* [Ural Mountain School – to the regions: International scientific-practical conference (28–29 April 2014)], Ekaterinburg, pp. 559–560.

Мария Сергеевна Патракова,
92261855@mail.ru
ООО «ГИНГЕО»
Россия, Екатеринбург, ул. Хохрякова 72, оф. 409

Mariya Sergeevna Patrakova,
92261855@mail.ru
LLC «GINGEO»
Ekaterinburg, Russia

УДК 5532:552.4

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-53-56

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА СВЯЗИ МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПОРОД И ИХ ЭДУКТОВ ПО КИСЛОТНО-ОСНОВНЫМ СВОЙСТВАМ

Г. П. Дворник

Evaluation of the nature of connection of metasomatic rocks and their educts by their acid-base properties

G. P. Dvornik

The author developed the systematics of metasomatic rocks according to acid-base properties, expressed by the magnitude of the general basicity. There are four distinguished groups of metasomatites: highly basic (carbonatites, magnesian and calcareous endoskarns and exoscarnas, rodingites, calcite and dolomite-ankerite metasomatites), basic (serpentinites, fenites, gumbaites, microclinites, talcites, microcline-sericite, carbonate-talc and magnesite metasomatites), medium-basic (albitites, listvenites, eisites, propylites, biotite-orthoclase metasomatites), low-basic (berezites, muscovite-quartz greisens, argillizites, secondary quartzites, hematite-magnetite quartzites, jasperoids, quartz-sericite, chlorite-sericite-quartz, diaspore-pyrophyllite and quartz-pyrophyllite metasomatites). The author established signs of difference by the nature of the bond with the educt between metasomatites over aluminosilicate and carbonate rocks. Metasomatic rocks formed along the aluminosilicate substrate (magnesian and calcareous endoskarns, fenites, biotite-orthoclase and microcline-sericite metasomatites, albitites, serpentinites, gumbeites, eisites, greisenes, berezites, argillisites) have a characteristically significant positive correlation by basicity value with the rocks of the educt. The revealed differences are due to the peculiarities of the composition of substituted aluminosilicate and carbonate rocks and the hydrothermal solutions affecting them. The author established a significant positive correlation between the basicity of alkaline metasomatites (albitic, kalispat, feldspathoid), metasomatites of the acid leaching stage (muscovite-quartz greisens, secondary quartzites, berezites, argillisites) from the inner zones of experimental metasomatic columns and the composition of initial solutions expressed by pH. In addition, the basicity of magnesian and calcareous skarns weakly correlates with the pH of hydrothermal solutions.

Keywords: metasomatic processes; basicity of metasomatites and educts; correlation dependencies.

Разработана систематика метасоматических пород по кислотно-основным свойствам, выраженным величиной общей основности. Выделены четыре группы метасоматитов: высокоосновные (карбонатиты, магнезиальные и известковые эндоскарны и экзоскарны, родингиты, кальцитовые и доломит-анкеритовые метасоматиты), основные (серпентиниты, фениты, гумбеиты, микроклиниты, талькиты, микроклин-серицитовые, карбонатно-тальковые и магнезитовые метасоматиты), среднеосновные (альбититы, лиственитты, эйситы, пропилиты, биотит-ортоклазовые метасоматиты), низкоосновные (березиты, мусковит-кварцевые грейзены, аргиллизиты, вторичные кварциты, гематит-магнетитовые кварциты, джаспероиды, кварц-серицитовые, хлорит-серицит-кварцевые, диаспор-пирофиллитовые и кварц-пирофиллитовые метасоматиты). Установлены признаки отличия по характеру связи с эдуктом между метасоматитами по алюмосиликатным и карбонатным породам. Метасоматические породы, сформировавшиеся по алюмосиликатному субстрату (магнезиальные и известковые эндоскарны, фениты, биотит-ортоклазовые и микроклин-серицитовые метасоматиты, альбититы, серпентиниты, гумбеиты, эйситы, грейзены, березиты, аргиллизиты), характеризуются значимой положительной корреляционной связью по величине основности с породами эдукта. А апокарбонатные метасоматиты (экзоскарны, кальцитовые, магнезитовые, доломит-анкеритовые метасоматиты, джаспероиды) слабо коррелируются по основности с исходными породами. Выявленные различия определяются особенностями состава замещаемых алюмосиликатных и карбонатных пород и воздействующих на них гидротермальных растворов. Установлена значимая положительная корреляционная связь между основностью щелочных метасоматитов (альбитовых, калишпатовых, фельдшпатоидных), метасоматитов стадии кислотного выщелачивания (мусковит-кварцевых грейзенов, вторичных кварцитов, березитов, аргиллизитов) из внутренних зон экспериментальных метасоматических колонок и составом исходных растворов, выраженным величиной pH. А основность магнезиальных и известковых скарнов слабо коррелируется с pH гидротермальных растворов.

Ключевые слова: метасоматические процессы; основность метасоматитов и эдуктов; корреляционные зависимости.

Одной из важных проблем петрогенезиса и рудообразования является выяснение характера зависимости состава метасоматитов от состава замещаемых пород и воздействующих на них гидротермальных растворов. Фактическим материалом для решения поставленной задачи послужили данные 1908 химических анализов исходных пород и метасоматитов внутренних зон природных метасоматических колонок и результаты изучения состава метасоматитов внутренних зон 99 экспериментальных метасоматических колонок [1, 2]. Для характеристики кислотно-основных свойств метасоматических пород и их эдуктов использовался метод протонного эквивалента, по которому рассчитывались показатели основности пород. Мерой оценки кислотно-щелочных свойств горных пород в этом методе служило химическое сродство входящих в их состав катионов к протону [3], определяемое величиной свободной энергии (ΔZ^{o}_{T}) реакции катионов с водой, равной относительному химическому потенциалу протона (μ_{H+}^{H2O}). Метод протонного эквивалента использовался для систематики по кислотно-основным свойствам магматических, метаморфических и осадочных пород [4, 5]. Этот метод применим и для изучения эволюции процессов метасоматизма. В рядах метасоматических пород согласно [6] характер понижения основности отражает интенсивность процессов кислотного выщелачивания, а ее возрастание связывается с развитием основного (щелочного) метасоматоза. В предложенной автором систематике метасоматических пород [7, 8] при сравнении их средних составов (таблица) по кислотно-основным свойствам, выраженным величиной общей основности ΔZ, они подразделяются на четыре группы: высокоосновные (I), основные (II), среднеосновные (III) и низкоосновные (IV) (рис. 1).

В группу высокоосновных метасоматитов (ΔZ > 20 кДж) входят карбонатиты, апокарбонатные кальцитовые и доломит-анкеритовые метасоматиты, магнезиальные и известковые скарны и родингиты, сформировавшиеся в раннюю щелочную стадию в условиях проявления субщелочного кальциевого и железо-магнезиального метасоматоза. Метасоматиты первой группы характеризуются низкими содержаниями глинозема, кремнезема, оксида калия (таблица), преобладанием в их минеральном составе карбонатов (кальцита, доломита, анкерита) или пироксенов и гранатов.

Группы основных (ΔZ = 13–20 кДж) и среднеосновных (ΔZ = 6–13 кДж) метасоматитов включают образования ранней щелочной стадии, возникшие в обстановках щелочного (фениты, биотит-ортоклазовые метасоматиты, гумбеиты, микроклиниты, альбититы, эйситы) или субщелочного метасоматоза (пропилиты, магнезитовые и сидероплезитовые метасоматиты) и продукты стадии кислотного выщелачивания (серпентиниты, лиственитты, карбонат-тальковые и микроклин-серицитовые метасоматиты).

Фениты формируются в контактовых зонах калиевых и калинатриевых щелочных массивов [2, 8]. В калиевых щелочных комплексах они представлены преимущественно пироксен-полевошпатовыми метасоматитами, характеризуются отношением K_2O/Na_2O > 1, развитием щелочных пироксенов (эгирина, эгирин-авгита, эгирин-диопсида). А в контактовых зонах калинатриевых щелочных массивов фениты нефелин-пироксен-по-

Средний химический состав (масс.%) метасоматических пород по [7, 8].

Компоненты	1(22)	2(16)	*3(28)*	4(28)	5(24)	6(24)	7(27)	8(37)	9(26)	10(29)	11(20)	12(20)	13(10)
SiO_2	6,82	5,90	*1,76*	4,49	45,19	43,44	40,12	40,63	39,77	36,51	56,60	32,62	34,70
TiO_2	0,34	1,28	*0,02*	0,04	0,24	0,24	0,19	0,50	0,53	0,05	0,89	0,05	0,39
Al_2O_3	1,52	1,38	*0,30*	0,76	7,68	11,59	6,87	11,47	14,44	1,11	15,17	0,51	8,91
Fe_2O_3	2,23	4,43	*0,22*	4,47	2,28	3,28	7,66	8,54	3,31	5,08	4,54	0,69	1,91
FeO	2,96	4,21	*0,10*	0,10	0,88	2,31	3,76	4,06	5,49	3,47	2,59	0,70	1,01
MnO	0,39	1,25	*0,06*	1,54	0,68	0,14	1,94	0,55	0,13	0,13	0,11	0,50	0,06
MgO	2,18	13,91	*1,60*	17,87	19,45	16,18	4,70	3,23	9,64	40,85	2,05	20,90	9,63
CaO	45,47	31,09	*52,45*	27,87	18,92	16,79	28,66	27,56	22,27	0,46	3,85	20,07	14,35
Na_2O	0,62	0,39	*0,07*	0,09	0,23	0,87	0,42	0,38	0,79	0,19	3,66	0,14	0,21
K_2O	0,65	0,40	*0,10*	0,32	0,07	2,39	0,10	0,32	0,02	0,07	9,33	0,22	6,80
P_2O_5	2,20	1,65	*0,03*	0,02	0,05	0,02	0,10	0,09	0,07	0,02	0,20	0,02	0,15
H_2O	0,76	0,49	*0,43*	0,77	2,14	2,14	0,37	0,87	3,63	11,94	0,94	2,21	0,60
CO_2	33,59	33,91	*42,51*	41,14	1,74	0,65	4,06	0,34	0,10	0,35	0,41	21,67	21,27
Сумма	99,73	98,62	*99,65*	99,48	99,55	100,04	98,95	98,54	100,19	100,23	100,34	100,30	99,99

Компоненты	14(31)	15(25)	16(20)	17(34)	18(20)	19(29)	20(20)	21(20)	22(27)	23(20)	24(29)	25(24)	26(25)
SiO_2	1,84	59,82	54,43	55,76	59,39	34,52	57,22	65,31	65,16	60,49	29,93	37,51	53,76
TiO_2	0,02	0,35	0,19	0,44	0,22	0,02	0,12	0,32	0,27	0,44	0,04	0,95	0,60
Al_2O_3	0,83	18,71	27,14	21,02	0,41	0,76	2,12	16,45	18,38	13,43	1,32	13,97	13,70
Fe_2O_3	0,63	2,09	1,58	2,66	0,49	2,25	2,79	1,70	1,28	3,14	1,28	1,70	1,38
FeO	1,17	0,90	0,31	1,60	0,13	3,98	3,30	0,96	1,05	1,01	4,73	6,40	2,64
MnO	0,05	0,08	0,02	0,13	0,02	0,11	0,07	0,04	0,05	0,05	0,16	0,20	0,12
MgO	44,21	0,45	0,24	0,68	31,54	32,33	28,19	0,82	0,80	1,36	25,62	5,89	3,23
CaO	1,64	0,74	0,28	1,93	1,62	1,56	0,99	1,10	1,34	3,67	3,68	10,17	6,62
Na_2O	0,08	1,23	0,44	2,97	0,27	0,06	0,18	1,87	8,99	1,07	0,05	0,98	6,62
K_2O	0,07	13,71	12,60	10,19	0,27	0,06	0,14	9,44	0,88	8,91	0,31	3,15	0,73
P_2O_5	0,03	0,07	0,05	0,11	0,10	0,14	0,03	0,12	0,17	0,24	0,02	0,16	0,18
H_2O	0,07	1,00	2,20	2,08	4,72	3,51	4,60	1,02	0,35	0,62	1,02	2,09	0,48
CO_2	48,97	0,50	0,14	0,95	2,14	20,23	0,67	0,53	0,32	4,29	31,02	16,60	9,31
Сумма	99,61	99,65	99,62	100,52	101,05	99,53	100,42	99,68	99,07	98,72	99,18	99,77	99,37

Компоненты	27(20)	28(22)	29(20)	30(23)	31(22)	32(37)	33(20)	34(27)	35(27)	36(23)	37(17)	38(35)	39(15)
SiO_2	58,17	3,84	65,40	69,29	41,06	75,54	71,21	67,67	74,56	52,03	70,31	90,90	80,80
TiO_2	0,63	0,03	0,50	0,44	1,19	0,21	0,42	0,49	0,38	0,23	0,62	0,05	0,08
Al_2O_3	16,77	1,54	14,34	14,58	46,99	12,96	12,16	15,72	15,25	1,41	20,54	1,17	3,92
Fe_2O_3	3,44	1,96	1,94	1,74	0,14	1,42	2,94	1,14	1,53	29,60	3,35	0,77	1,91
FeO	2,98	39,57	1,82	1,48	0,21	1,74	1,68	1,67	0,45	12,51	0,39	0,87	2,87
MnO	0,11	1,22	0,15	0,03	0,03	0,08	0,04	0,05	0,07	0,40	0,03	0,04	0,15
MgO	2,79	12,49	1,28	1,07	0,07	0,66	3,33	1,04	0,63	1,56	0,08	1,03	1,41
CaO	4,37	1,51	2,64	1,22	0,13	0,68	1,16	1,49	0,34	0,90	0,22	2,15	3,20
Na_2O	2,87	0,01	0,89	1,34	0,21	0,62	0,42	1,18	0,45	0,19	0,19	0,11	0,42
K_2O	3,06	0,01	4,52	4,42	0,44	3,58	2,44	3,98	2,20	0,10	0,09	0,33	2,23
P_2O_5	0,09	0,01	0,13	0,11	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,35	0,08	0,05	0,07
H_2O	2,76	–	2,09	2,33	8,93	1,45	2,98	4,41	3,82	0,38	4,21	0,52	0,60
CO_2	0,33	37,58	3,52	0,87	–	0,16	0,21	2,34	–	0,15	–	2,09	2,60
Сумма	98,37	99,77	99,22	98,92	99,47	99,18	99,07	101,26	99,74	99,81	100,11	100,09	100,26

Примечание. Здесь и на рис. 1: 1–9 – высокоосновные метасоматиты (1–2 – кальцитовые и доломит-анкеритовые карбонатиты, 3–4 – кальцитовые и доломит-анкеритовые апокарбонатные метасоматиты, 5–6 – магнезиальные экзоскарны и эндоскарны, 7–8 – известковые экзоскарны и эндоскарны, 9 – родингиты по основным породам); 10–19 – основные метасоматиты (10 – серпентиниты, 11 – фениты, 12–13 – аподоломитовые карбонатно-тальковые метасоматиты и гумбеиты, 14 – магнезитовые метасоматиты, 15 – микроклиниты, 16–17 – микроклин-серицитовые метасоматиты по щелочным сиенитам и псевдолейцитовым порфирам, 18 – аподоломитовые талькиты, 19 – апосерпентинитовые магнезит-тальковые метасоматиты); 20–28 – среднеосновные метасоматиты (20 – апосерпентинитовые талькиты, 21 – биотит-ортоклазовые метасоматиты, 22 – альбититы, 23 – гумбеиты по алюмосиликатным породам, 24–25 – лиственитты по ультраосновным и основным породам, 26 – эйситы, 27 – пропилиты, 28 – сидероплезитовые метасоматиты); 29–39 – низкоосновные метасоматиты (29 – березиты, 30 – кварц-серицитовые метасоматиты, 31 – диаспор-пирофиллитовые метасоматиты, 32 – мусковит-кварцевые грейзены, 33 – хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты, 34 – аргиллизиты, 35 – вторичные кварциты, 36 – гематит-магнетитовые кварциты, 37 – кварц-пирофиллитовые метасоматиты, 38–39 – джаспероиды по карбонатным и алюмосиликатным породам). В скобках приведено количество анализов пород.

левошпатового состава выделяются более низким отношением $K_2O/Na_2O < 1$, образованием пироксенов диопсид-геденбергитового ряда и нефелина за счет высокого содержания в эдуктах натрия. Широко распространенные в калиевых щелочных массивах микроклин-серицитовые метасоматиты резко отличаются по среднему химическому составу от других типов метасоматических пород более высокими содержаниями глинозема (за исключением диаспор-пирофиллитовых метасоматитов) и оксида калия (таблица), преобладанием в минеральном составе высококалиевых алюмосиликатов.

Группа низкоосновных метасоматитов ($\Delta Z < 6$ кДж) охватывает гидротермально измененные породы (березиты, грейзены, аргиллизиты, кварциты, джаспероиды, хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты), образовавшиеся в кислотную стадию. Состав метасоматических пород четвертой группы характеризуется высоким средним содержанием кремнезема, повышенной

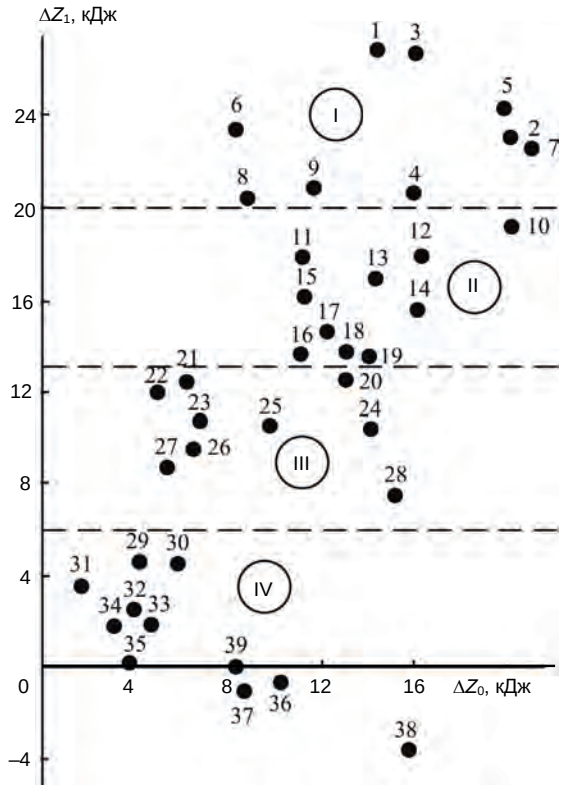


Рисунок 1. Диаграмма зависимости между основностью метасоматических пород ΔZ_1 и их эдуктов ΔZ_0.

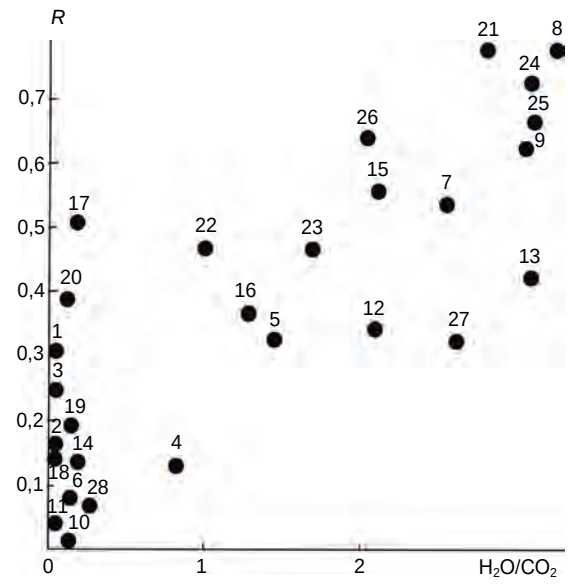


Рисунок 2. Диаграмма зависимости между коэффициентом корреляции *R* метасоматических пород и их эдуктов по величине основности ΔZ и отношением содержаний H_2O и CO_2 в средних составах метасоматитов. 1–7 – высокоосновные метасоматиты: 1 – кальцитовые карбонатиты (*n* = 30); 2–3 – кальцитовые (*n* = 28) и доломит-анкеритовые (*n* = 28) апокарбонатные метасоматиты; 4–5 – магнезиальные экзоскарны (*n* = 29) и эндоскарны (*n* = 36); 6–7 – известковые экзоскарны (*n* = 32) и эндоскарны (*n* = 50); 8–14 – основные метасоматиты: 8 – серпентиниты (*n* = 34), 9 – фениты (*n* = 35), 10 – аподоломитовые карбонатно-тальковые метасоматиты (*n* = 20), 11 – магнезитовые метасоматиты (*n* = 32), 12 – микроклиниты (*n* = 25), 13 – микроклин-серицитовые метасоматиты по щелочным сиенитам (*n* = 32), 14 – апосерпентинитовые магнезит-тальковые метасоматиты (*n* = 31); 15–21 – среднеосновные метасоматиты: 15 – биотит-ортоклазовые метасоматиты (*n* = 31), 16 – альбититы (*n* = 30), 17 – гумбеиты по алюмосиликатным породам (*n* = 31), 18–19 – лиственитты по ультраосновным (*n* = 31) и основным (*n* = 38) породам, 20 – эйситы (*n* = 34), 21 – пропилиты (*n* = 36); 22–28 – низкоосновные метасоматиты: 22 – березиты (*n* = 34), 23 – кварц-серицитовые метасоматиты (*n* = 34), 24 – мусковит-кварцевые грейзены (*n* = 40), 25 – хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты (*n* = 34), 26 – аргиллизиты (*n* = 37), 27 – гематит-магнетитовые кварциты (*n* = 28), 28 – джаспероиды по карбонатным породам (*n* = 35); *n* – количество анализов пород.

концентрацией воды (таблица), широким развитием серицита и кварца. Крайними членами в этой группе метасоматитов являются березиты, распространенные на многих золото-сульфидно-кварцевых месторождениях [9, 10], и джаспероиды, формирующие метасоматические залежи на золоторудных, полиметаллических и ртутно-сурьмяных месторождениях [11–13].

Проведенный автором сравнительный анализ метасоматитов внутренних зон природных метасоматических колонок и исходных пород по кислотно-основным свойствам позволил выявить существенные различия по характеру корреляционных связей с эдуктом между метасоматитами по алюмосиликатным и карбонатным породам [7, 8].

Большинство метасоматических пород, сформировавшихся по алюмосиликатному субстрату (фениты, биотит-ортоклазовые и микроклин-серицитовые метасоматиты, альбититы, серпентиниты, пропилиты, гумбеиты, эйситы, грейзены, березиты, аргиллизиты), характеризуются значимой положительной корреляционной связью по величине основности с породами эдукта (рис. 2).

Магнезиальные и известковые эндоскарны также конкордантны по величине основности с исходными алюмосиликатными породами в отличие от экзоскарнов, состав которых слабо зависит от состава исходных карбонатных пород. Кальцитовые, доломит-анкеритовые, магнезитовые метасоматиты и джаспероиды также выделяются слабой корреляционной связью по величине основности с породами карбонатного субстрата.

Установленные различия обусловлены как особенностями состава замещаемых пород, так и спецификой воздействовавших на них гидротермальных растворов, во многом определяющейся соотношением в них воды и углекислого газа. Согласно экспериментальным данным [2, 14], вода и углекислый газ совершенно по-разному ведут себя в постмагматических гидротермальных системах. Если повышение активности воды в них способствует развитию процессов кислотного выщелачивания, то возрастание концентрации углекислого газа во флюидной фазе, наоборот, затормаживает интенсивность их проявления. Косвенным подтверждением этого является наличие прямой корреляционной зависимости (R = 0,75 при n = 28) между теснотой связи метасоматических пород и их эдуктов по величине основности и отношением содержаний H_2O/CO_2 в средних составах метасоматитов (рис. 2).

Многочисленные геологические данные, а также результаты экспериментальных исследований [2, 6, 14] свидетельствуют о фазовой неоднородности постмагматических гидротермальных систем, в которых при понижении температуры ниже критической (300–400 °С) флюиды распадаются на две несмешивающиеся жидкости – полярную (вода с растворенными в ней щелочными металлами) и неполярную (водород и кислотные компоненты – HCl, HF, CO_2), что приводит к смене кислотного режима минералообразования на щелочной режим, возникновению дополнительной солевой фазы и последующему рудоотложению. Это подтверждает теорию метасоматических процессов [15], разработанную Д. С. Коржинским, выделившим в их эволюции раннюю щелочную, кислотную и позднюю щелочную стадии.

По результатам обобщения данных о составе внутренних зон экспериментальных метасоматических колонок [1, 2] автором были также установлены значимые положительные корреляционные зависимости между составом исходных растворов, выраженным величиной pH, составом щелочных метасоматитов (альбитовых, калишпатовых, фельдшпатоидных) и метасоматитов стадии кислотного выщелачивания (мусковит-кварцевых

грейзенов, вторичных кварцитов, березитов, аргиллизитов) по величине основности (R = 0,47; 0,63 при n = 22, 24) [8]. А в колонках, характеризовавших процесс скарнообразования, pH исходных растворов слабо коррелируется с основностью магнезиальных и известковых скарнов (R = 0,24; –0,16 при n = 30, 23).

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарайский Г. П. Зональность и условия образования метасоматических пород. М.: Наука, 1982. 324 с.
2. Метасоматизм и метасоматические породы / под ред. В. А. Жарикова и В. Л. Русинова. М.: Научный Мир, 1998. 492 с.
3. Маракушев А. А. Метод термодинамического расчета показателей основности горных пород и минералов // Бюл. МОИП, отд. геол. 1976, Т. 51, № 1. С. 5–25.
4. Маракушев А. А. Петрохимическая систематика изверженных и метаморфических горных пород // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1973. № 8. С. 3–16.
5. Кислотно-основные свойства химических элементов, минералов, горных пород и природных растворов. М.: Наука, 1982. 212 с.
6. Маракушев А. А. Петрогенезис и рудообразование (геохимические аспекты). М.: Наука, 1979. 264 с.
7. Дворник Г. П. Систематика метасоматических пород по кислотно-основным свойствам // Геология метаморфических комплексов: Межвуз. науч.-темат. сб. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 1998. С. 83–94.
8. Дворник Г. П. Метасоматизм и золотое оруденение калиевых щелочных массивов (на примере Центрально-Алданской щелочной провинции). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. 329 с.
9. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 256 с.
10. Сазонов В. Н. Березит-лиственитовая формация и сопутствующее ей оруденение. Свердловск: УрО АН СССР, 1984. 208 с.
11. Дворник Г. П. Золоторудные метасоматические формации Центрально-Алданского района // Литосфера. 2012. № 2. С. 90–105.
12. Угрюмов А. Н. Джаспероидные месторождения золота (геология, условия размещения и формирования): дис. … д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.11. Екатеринбург: УГИ, 1993. 620 с.
13. Федорчук В. П. Околорудные изменения ртутно-сурьмяных месторождений. М.: Недра, 1969. 264 с.
14. Коржинский М. А. Общие закономерности химического поведения солевых и кислотных компонентов в сложном хлоридно-углекисловодном флюиде при повышенных Т-Р параметрах // Экспериментальные проблемы геологии. М.: Наука, 1994. С. 607–623.
15. Коржинский Д. С. Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 1982. 104 с.

REFERENCES

1. Zarayskiy G. P. 1982, *Zonal'nost' i usloviya obrazovaniya metasomaticheskikh porod* [Zonality and formation conditions of metasomatic rocks], Moscow, 324 p.
2. Zharikov V. A., Rusinov V. L. 1998, *Metasomatizm i metasomaticheskie porody* [Metasomatism and metasomatic rocks], Moscow, 492 p.
3. Marakushev A. A. 1976, *Metod termodinamicheskogo rascheta pokazateley osnovnosti gornykh porod i mineralov* [The method of thermodynamic calculation of the basicity of rocks and minerals]. *Byul. MOIP, otd. geol.* [Bull. Soc. Imp. Nat. Mosc. Geological Department], vol. 51, no. 1, pp. 5–25.
4. Marakushev A. A. 1973, *Petrokhimicheskaya sistematika izverzhennykh i metamorficheskikh gornykh porod* [Petrochemical systematics of igneous and metamorphic rocks]. *Izv. vuzov. Ser. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], no. 8, pp. 3–16.
5. 1982, *Kislotno-osnovnye svoystva khimicheskikh elementov, mineralov, gornykh porod i prirodnykh rastvorov* [Acid-base properties of chemical elements, minerals, rocks and natural solutions], Moscow, 212 p.
6. Marakushev A. A. 1979, *Petrogenezis i rudoobrazovanie (geokhimicheskie aspekty)* [Petrogenesis and ore formation (geochemical aspects)], Moscow, 264 p.
7. Dvornik G. P. 1998, *Sistematika metasomaticheskikh porod po kislotno-osnovnym svoystvam* [Systematics of metasomatic rocks according to acid-base properties]. *Geologiya metamorficheskikh kompleksov: Mezhvuz. nauch.-temat. sb.* [Geology of metamorphic complexes: Interuniversity scientific-thematic collection], Ekaterinburg, pp. 83–94.
8. Dvornik G. P. 2014, *Metasomatizm i zolotoe orudenenie kalievykh shchelochnykh massivov (na primere Tsentral'no-Aldanskoy shchelochnoy provintsii)* [Metasomatism and gold mineralization of potassium alkaline massifs (on the example of the Central-Aldan alkaline province)], Ekaterinburg, 329 p.
9. Gryaznov O. N. 1992, *Rudonosnye metasomaticheskie formatsii skladchatykh poyasov* [Ore-bearing metasomatic formations of folded belts], Moscow, 256 p.
10. Sazonov V. N. 1984, *Berezit-listvenitovaya formatsiya i soputstvuyushchee ey orudenenie* [Berezite-Listvenite formation and its accompanying mineralization], Sverdlovsk, 208 p.
11. Dvornik G. P. 2012, *Zolotorudnye metasomaticheskie formatsii Tsentral'no-Aldanskogo rayona* [Gold ore metasomatic formations of the Central Aldan region]. *Litosfera* [Litosfera], no. 2, pp. 90–105.
12. Ugryumov A. N. 1993, *Dzhasperoidnye mestorozhdeniya zolota (geologiya, usloviya razmeshcheniya i formirovaniya): dis. … d-ra geol.-mineral. nauk: 25.00.11* [Jasperoid gold deposits (geology, conditions of location and formation): dissertation of Doctor of geological-mineralogical sciences: 25.00.11], Ekaterinburg, 620 p.
13. Fedorchuk V. P. 1969, *Okolorudnye izmeneniya rtutno-sur'myanykh mestorozhdeniy* [Near ore changes in mercury-antimony deposits], Moscow, 264 p.
14. Korzhinskiy M. A. 1994, *Obshchie zakonomernosti khimicheskogo povedeniya solevykh i kislotnykh komponentov v slozhnom khloridno-uglekislovodnom flyuide pri povyshennykh T-R parametrakh* [General regularities of the chemical behavior of salt and acid components in a complex chloride-carbon dioxide fluid at elevated T-P parameters]. *Eksperimental'nye problemy geologii* [Experimental problems of geology], Moscow, pp. 607–623.
15. Korzhinskiy D. S. 1982, *Teoriya metasomaticheskoy zonal'nosti* [The theory of metasomatic zoning], Moscow, 104 p.

Геннадий Петрович Дворник,
gpdvornik@yandex.ru
Институт геологии и геохимии УрО РАН
им. А. Н. Заварицкого
Россия, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Gennadiy Petrovich Dvornik,
gpdvornik@yandex.ru
Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 504.55.054:622(470.6)

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-57-62

ОПЫТ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ БАЛАНСОВЫХ ЗАПАСОВ РУД

В. И. Голик, В. И. Комащенко, Ю. И. Разоренов, Н. Г. Валиев

Experience of underground leaching of metals from balance reserves of ores

V. I. Golik, V. I. Komashchenko, Yu. I. Razorenov, N. G. Valiev

Technologies for leaching metals from ores have a number of advantages over traditional technologies, the main ones of which are the possibility of sharp increase in the raw material base, minimization of damage to the environment and increase in the completeness of subsoil resources. The article contains analysis of the state of this problem according to the literature data, the results of experiments that the authors helped to conduct and the developed forecast for the development of the established concept. The authors formulated the global problem of wasteless and complex use of subsoil mineral resources. The authors indicate a promising direction of metal recovery by leaching them with reagents with a change of the phase state. The article presents systematized new data on the industrial and experimental development of technology options with leaching on uranium mines in Kazakhstan and Central Asia, as well as in the polymetallic mines of the Republic of North Ossetia-Alania. The authors propose a suitability typification of technologies for leaching purposes. The fields of application of these results are deposits of non-ferrous, rare and noble relatively easily opened metals, and deposits of metal containing tailings of ore enrichment.

Keywords: leaching; metal; ore; technology; resources; subsoil; experiment; concept; tailings of enrichment; environment.

Технологии выщелачивания металлов из руд обладают рядом преимуществ перед традиционными технологиями, главные из которых – возможность резкого увеличения сырьевой базы, минимизация ущерба окружающей среде и повышение полноты ресурсов недр. В статье проводится анализ состояния вопроса по литературным данным, используются результаты, выполненные с участием авторов экспериментов, и разрабатывается прогноз развития установленной концепции. Сформулирована глобальная проблема безотходного и комплексного использования минеральных ресурсов недр. Обозначено перспективное направление извлечения металлов путем их выщелачивания реагентами с изменением фазового состояния. Систематизированы и приведены новые сведения о промышленно-экспериментальном освоении вариантов технологий с выщелачиванием на урановых рудниках Казахстана и Средней Азии, а также на полиметаллических рудниках Республики Северная Осетия – Алания. Предложена типизация технологий по пригодности для целей выщелачивания. Область применения результатов – месторождения цветных, редких и благородных сравнительно легко вскрываемых металлов, а также хранилища металлосодержащих хвостов обогащения руд. Опыт использования технологий на урановых рудниках доказывает, что технологии выщелачивания металлов из руд обладают рядом преимуществ перед традиционными технологиями, главными из которых являются возможность резкого увеличения сырьевой базы, минимизация ущерба окружающей среде и повышение полноты ресурсов недр.

Ключевые слова: выщелачивание; металл; руда; технология; ресурсы; недра; эксперимент; концепция; хвосты обогащения; окружающая среда.

Обеспечивая непрерывно увеличивающиеся потребности человеческого сообщества в минеральном сырье, научно-технический прогресс в течение последних столетий прошлого тысячелетия обеспечил многократное увеличение объемов извлечения минерального сырья из недр. При этом с первых шагов горного дела до сегодняшнего времени преобладает практика использования только отдельных компонентов руд с отнесением остальных в неактивные запасы в ходе выборочной выемки полезных ископаемых из недр.

Природо- и ресурсосберегающая концепция обращения с некондиционным для настоящего времени сырьем исходит из того, что оно является неиспользуемым для человеческого сообщества и опасным для окружающей среды ресурсом, использование которого при определенных условиях может обеспечить эколого-экономический эффект [1].

Горное производство развивается в противоборстве двух тенденций:

– валовое извлечение сырья с компенсацией разубоживания в ходе обогащения;

– селективное извлечение с меньшей производительностью и большими потерями.

Несмотря на успехи технологий обогащения, компенсации разубоживания не обеспечивается, о чем свидетельствует динамика накопления хвостов переработки на земной поверхности.

Потеря металлов при оставлении некондиционных в настоящее время запасов в недрах и при обогащении извлеченных на земную поверхность руд, суммарное количество которых экспертно можно сравнить с количеством добытых металлов, формирует крупную проблему человечества: безотходное и комплексное использование минеральных ресурсов недр [2].

Одной из причин ограниченных возможностей технологий переработки руд является использование преимущественно одной механической энергии. Все методы обогащения основаны на выборочной переработке более богатых фракций руд с переводом в неактивные запасы менее богатых фракций.

Перспективным направлением извлечения металлов является получающий развитие в последнее столетие метод химического обогащения, или выщелачивания металлов реагентами, при котором извлечение металлов из руд происходит путем изменения фазового состояния минерала [3].

Особое ресурсосберегающее достоинство этого метода состоит в возможности извлечения металлов из некондиционного сырья, в том числе из хвостов традиционного обогащения металлических руд. В ходе выщелачивания металлы из хвостов обогащения переводятся в растворы, а из них – в товарные осадки. Успех выщелачивания определяется окислительным потенциалом среды или возможностью перехода электронов от донора, которым служит сера к акцептору – принимающему электроны атому. Наибольшая скорость разложения сульфидов наблюдается при pH 2,0–4,0. В более кислых растворах понижение растворимости хлора уменьшает скорость разложения сульфидных минералов атомарным хлором, кислородом и молекулярным хлором [4].

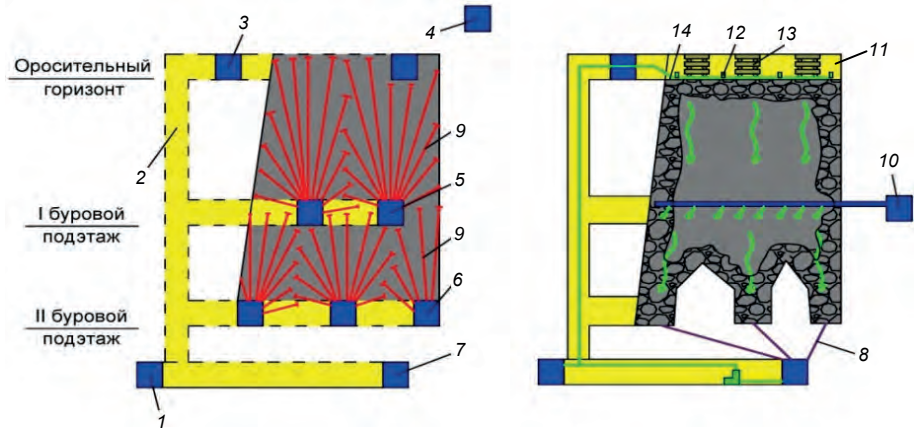


Рисунок 1. Подземное блоковое выщелачивание металлов. *1* – штрек; *2* – восстающий; *3* – штрек для орошения; *4* – штрек; *5* – буровые штреки; *6* – дренажно-буровые штреки; *7* – дренажный штрек; *8* – дренажные скважины; *9* – промежуточный горизонт орошения; *10* – промежуточный горизонт орошения; *11* – штрек для орошения; *12* – верхняя подсечка; *13* – костровая крепь; *14* – оросительная система.

Опытно-промышленное выщелачивание металлов из некондиционных руд или некомфортных для традиционной технологии участков осуществлялось с 1950-х гг. на месторождениях: Киик-Тал, Чаркасар I, Табошар, Адатаньга, Каштасай, Джекиндек и др. [5].

Долговременный эксперимент осуществлен при разработке Быкогорского месторождения. Подземное блоковое выщелачивание осуществлялось без разрушения массива фильтрационным потоком реагента в зоне напорных трещинных вод с подачей и приемом продуктивных растворов в скважинах под давлением в 0,6 МПа и откачкой продуктивных растворов электровакуумными установками. При подземном выщелачивании извлечение составило 59 % при себестоимости 1 кг урана 80 % от традиционной. Кучное выщелачивание руды крупностью –150 мм обеспечивало извлечение 58 %.

Месторождение Звездное. Подземное блоковое выщелачивание обеспечивало извлечение металла 70 %. Сквозной коэффициент извлечения по блоку 87 % на 1,5 % превышал этот же показатель при традиционном подземном способе.

Подземное выщелачивание балансовых руд впервые в мировой практике осуществлено в СССР в 1980-х гг. Раствором серной кислоты было извлечено 72 % запасов металла в блоке. Полнота извлечения подтверждена проходкой контрольных выработок по хвостам выщелачивания [6].

Отрабатывали рудное тело линзовидной формы в трещиноватых породах крепостью 4–6 по М. М. Протодьяконову. Размеры блока, м: длина – 27; ширина – 5; высота – 28. Коэффициент разрыхления 1,12 (рис. 1).

Подготовка блока произведена по классической схеме (рис. 2).

Монтажный слой предназначен для бурения взрывных скважин и оросительной системы. Подсечной слой проведен с уклоном 5° к центру блока. Обурено 44 скважины по сетке 1,7 × 2 м параллельно друг другу с наклоном с недобуриванием на 1,5 м. Заряжание скважин гранулитом без забойки. Взрывание – электрическим способом по встречной схеме короткозамедленное с интервалом замедления между рядами 25 с. Вес заряда – 4200 кг. Коэффициент разрыхления – 1,12.

По завершении выщелачивания контрольными выработками, пройденными по выщелоченной руде, установлено, что в зоне отрезной щели произошло переуплотнение руды, дробление массива происходило только в зоне, равной 2–3 диаметрам заряда, а растворы интенсивно двигались по трещинам и переизмельченной руде в районе лежачего бока.

Выщелачивание продолжали после интенсификации процесса взрыванием зарядов в скважинах диаметром 85 и 65 мм с увеличением сетки в 2 раза по отношению к первоначальной. Заряжание скважин производилось гранулитом АС-4. Боевики из

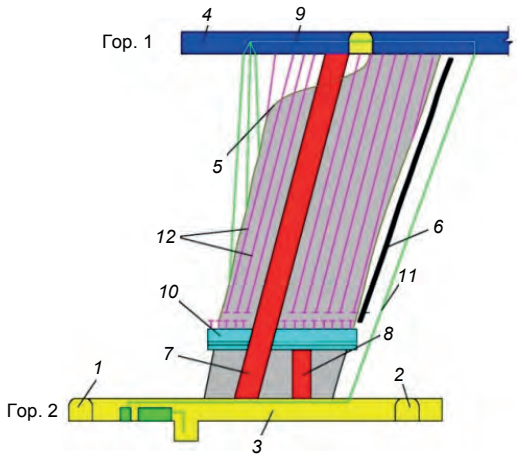


Рисунок 2. Подготовка блока подземного выщелачивания. *1*, *2* – штреки; *3* – орт А; *4* – орт Б; *5* – граница рудного тела; *6* – разлом; *7* – отрезной восстающий; *8* – дучка; *9* – монтажный слой; *10* – подсечной слой; *11* – скважина для подачи растворов; *12* – взрывные скважины.

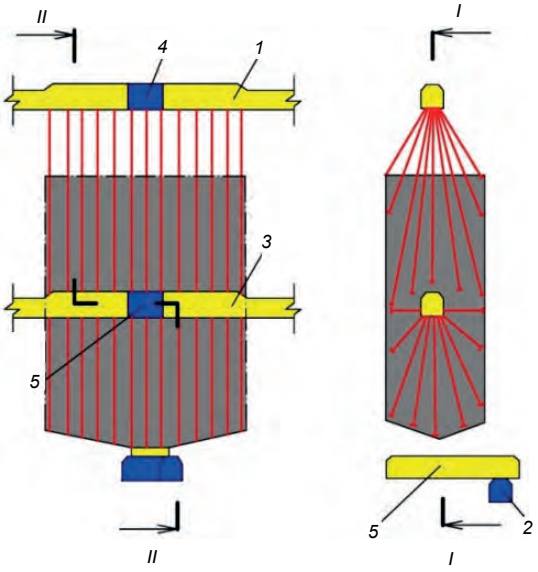


Рисунок 3. Инфильтрационное подземное выщелачивание забалансовых руд. *1* – оросительно-буровой штрек; *2* – нижний этажный штрек; *3* – буровой штрек; *4* – верхняя рассечка отрезной щели; *5* – нижняя рассечка отрезной щели.

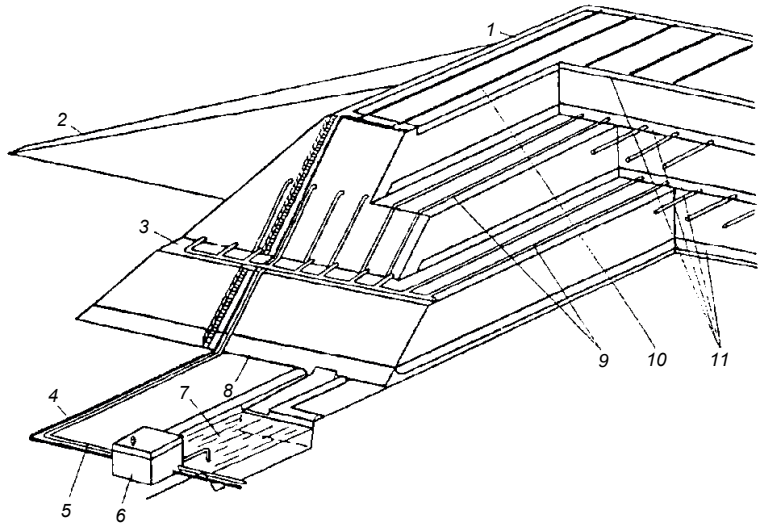


Рисунок 4. Кучное выщелачивание некондиционного металлического сырья. *1* – штабель; *2* – заезд; *3* – уступ; *4* – растворопровод; *5* – воздухопровод; *6* – насосная станция; *7* – зумпф; *8* – гидроизоляция; *9* – аэрационная система; *10* – орошение; *11* – мелкозернистый материал.

аммонала ВА-8 размещались на забое и в устье скважин, между ними прокладывались 2 нитки детонирующего шнура.

На подэтаже I взорвано 35 скважин диаметром 105 мм и 15 – диаметром 65 мм. Запасы подэтажа II дробили из рассечки 3 веерами скважин диаметром 65 мм. Компенсационное пространство оформили мелкошпуровым способом в районе отрезной щели. Общее число скважин – 42 (7 вееров по 6 скважин).

На подэтаже III повторное дробление произведено с помощью 73 скважин. Удельный расход ВВ на вторичное дробление – 1,55 кг/м^3, достигнутый коэффициент разрыхления – 1,43.

После повторного дробления и встряхивания руды орошение выщелачивающими растворами продолжалось еще четыре с половиной месяца. Получено количество металлов, составляющее 1,22 от количества за период выщелачивания до повторного дробления.

Способы подземного выщелачивания совершенствовали на основе сплошной бесцеликовой отработки месторождений. Примером является вариант ПВ при доработке забалансовых запасов с этажной обойкой руды и выщелачиванием в инфильтрационном режиме на Быкогорском месторождении в течение 30 лет (рис. 3) [7].

Месторождение было локализовано на участке курортной зоны, и предотвращение смешивания растворов выщелачивания с минеральными питьевыми водами представляло определенную проблему. Освоение электровакуумных установок решило эту проблему даже без оборудования гидроизоляционного слоя.

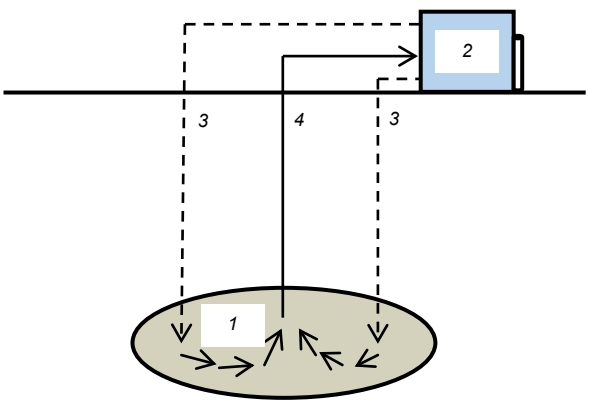


Рисунок 5. Скважинное выщелачивание водонасыщенных руд. *1* – рудное тело; *2* – цех переработки растворов; *3* – подающие раствор скважины; *4* – выдающая раствор скважина.

По сравнению с традиционной технологией с заводской переработкой трудоемкость производства снизилась в 2 раза, удельный вес нарезных работ – в 3,1 раза, эффективность горно-подготовительных работ повысилась в 2,5 раза.

Кучное выщелачивание забалансовых уран-молибденовых руд и хвостов суспензионного выщелачивания в течение 25 лет применяли на Казахстанском месторождении Маныбай из штабеля объемом 8 млн т с годовой производительностью урана 80 т и молибдена 120 т (рис. 4).

Скважинное выщелачивание запасов обводненного месторождения Семизбай осуществляется и в настоящее время. Мощность колеблется от 0,2 до 7,3 м, а площадь – от 4 до 930 тыс. м^2. Выемочный участок включал 12–18 технологических, 4 наблюдательных и 1–2 вспомогательных скважин через 10–25 м друг от друга. Производительность закачки скважин 2–3 м^3/ч, откачки – 3–5 м^3/ч. Металлы извлекали на ионообменных смолах и активированных углях с производительностью комплекса 30–50 м^3/ч. При экономически приемлемой себестоимости был получен металл из месторождения, которое нельзя было эксплуатировать традиционным способом (рис. 5).

В настоящее время комбинированное выщелачивание металлов из руд объединяет процессы выщелачивания – подземное, кучное, отвальное и скважинное – в рамках единого комплекса (рис. 6) [8].

В ходе экспериментального освоения в странах СНГ накоплен опыт и увеличивается область применения технологий с выщелачиванием металлов не только из забалансовых, но и балансовых запасов.

В 1975 г. на основании накопленного опыта был осуществлен проект выщелачивания балансовых полиметаллических руд

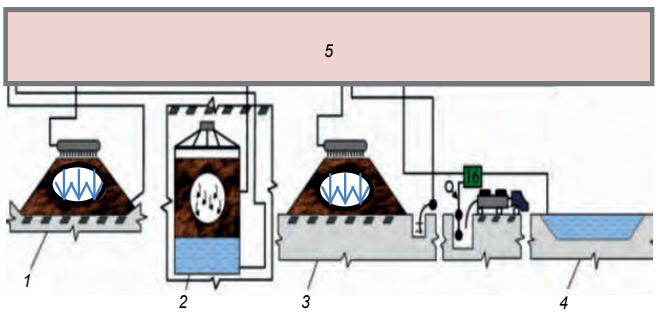


Рисунок 6. Комбинированное выщелачивание металлов. *1* – штабель КВ; *2* – блок ПВ; *3* – отвал; *4* – пруд; *5* – цех переработки растворов.

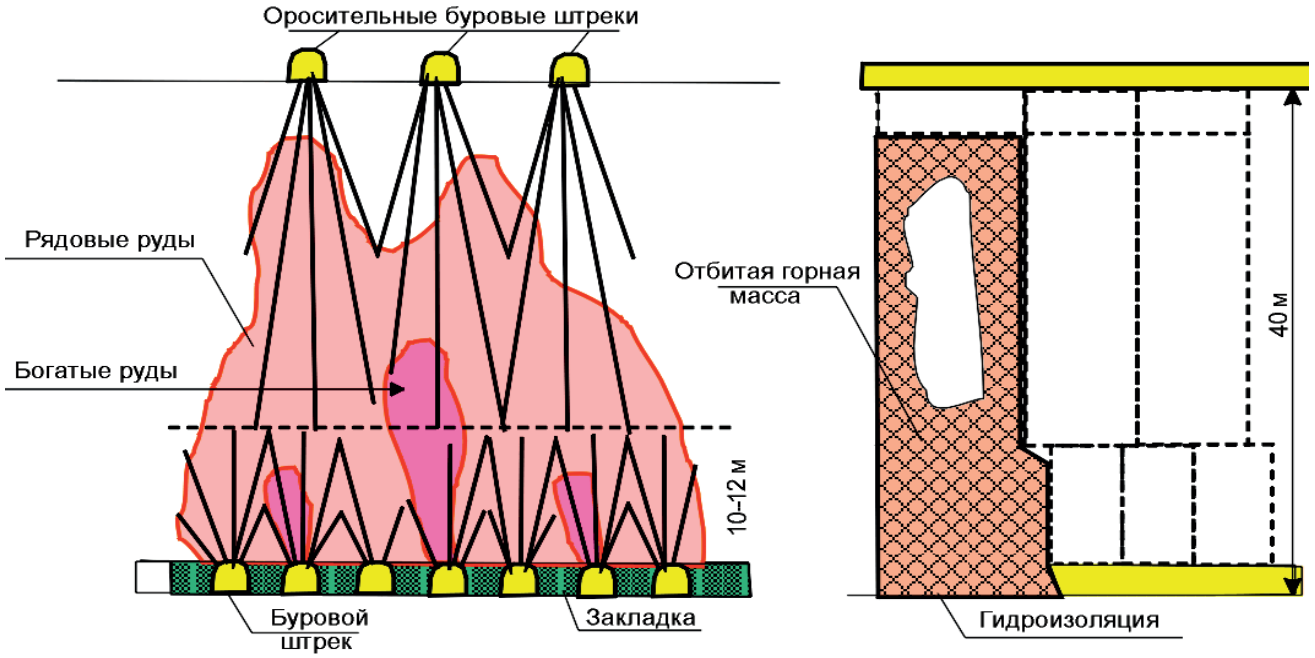


Рисунок 7. Комбинированная разработка разносортных руд.

в пределах значительного по объему участка Фиагдонского месторождения (Республика Северная Осетия – Алания) [9].

На рудниках ОАО «ППГХО» с 1980-х гг. выщелачиванием добывают более 30 % металла. Подземное блоковое выщелачивание руд осуществляется серной кислотой с концентрацией 3–5 г/л в фильтрационно-динамическом режиме. Коэффициент извлечения 65,2 %. Кучное выщелачивание забалансовых руд класса –50 мм осуществляют при интенсивности непрерывного орошения 25–30 л/ч на 1 м^2 поверхности кучи. Время выщелачивания штабеля 300–350 сут. Выход товарных регенератов 2,3–2,7 м^3/м^3 сорбента. Содержание металла в регенерате 7–10 г/л. Время десорбции 18 ч [10–13].

На современном этапе развития горного производства с точки зрения экономики производства эффективно комбинирование технологий разработки месторождений с выдачей на поверхность наиболее богатых руд для заводской переработки и выщелачиванием рядовых и бедных руд на месте залегания (рис. 7).

Приемлемость технологии выщелачивания металлов определяется, в первую очередь, крупностью рудных кусков и типом минерализации металла. Неполное соответствие применимости технологии и условий месторождения могут быть скорректированы [14] (табл. 1).

Выбор технологии с выщелачиванием металлов может быть осуществлен по ряду признаков (табл. 2).

Результаты освоения технологий с выщелачиванием позволяют говорить об экономико-экологических преимуществах их промышленного применения [15–17].

Эффективность разрушения горных пород для целей выщелачивания повышается при усовершенствовании способов бурения взрывных скважин. Например, для управления качеством выщелачивания актуальна разработка конструкций алмазных буровых долот с учетом влияния конструктивных особенностей инструмента, формы, компонентного состава твердосплавных пластин и их расстановки на рабочем торце долота. Повышение точности бурения способствует рациональному распределению энергии взрыва и равномерному дроблению горной массы с последующим улучшением фильтрационных свойств выщелачиваемого массива [18, 19].

Таблица 1. Приемлемость технологии выщелачивания металлов из руд.

Категория	Размеры, см	Недостатки	Процессы корректировки
		Вкрапленная минерализация	
Неприемлемая	Более 10	Весьма малая скорость выщелачивания, повышенные потери	Оптимизация параметров отбойки, дробление при обогащении
Нежелательная	От 10 до5	Пониженная скорость выщелачивания, потери	Дробление при обогащении
Оптимальная	От 5 до 2	Нет	Нет
Мелкая	От 2 до 1	Малая скорость фильтрации растворов, разубоживание попутными минералами	Интенсификация процесса фильтрации
Весьма мелкая	Менее 1	Весьма малая скорость фильтрации растворов, разубоживание попутными минералами	Окомкование вяжущими веществами
		Прожилковая минерализация	
Оптимальная	Более 2	Нет	Нет
Мелкая	От 2 до 1	Малая скорость фильтрации растворов, разубоживание попутными минералами	Интенсификация процесса фильтрации
Весьма мелкая	Менее 1	Весьма малая скорость фильтрации растворов, разубоживание попутными минералами	Окомкование вяжущими веществами

Таблица 2. Типизация технологий выщелачивания металлов из руд.

Характеристика	Признаки		
	Высокая пригодность	Средняя пригодность	Низкая пригодность
Тип руд	Окисленные	Смешанные	Сульфидные
Минерализация	Прожилковая	Ассоциация металлов	Вкрапленная
Форма нахождения	Свободная	Смешанная	Вкрапленная
Образования на поверхности	Отсутствуют	Присутствуют незначительно	Присутствуют
Наличие вредных примесей	Растворимые металлосодержащие частицы	Незначительное количество	Значительное количество
Эффективная пористость	Более 20 % диаметра > 0,009 мм	От 1 до 20 % диаметра до 0,009 мм	Менее 1 % диаметра < 0,001 мм
Крупность руд	Более 60% фракций –25 мм	Менее 40 % фракций –25 мм	Менее 20 % фракций –25 мм
Крупность хвостов	Более 80 % фракций –0,074 мм	Более 50 % фракций –0,074 мм	Менее 50 % фракций – 0,074 мм
Коэффициент фильтрации	0,1–0,2 м/с	0,08–0,15 м/с	0,05 м/с
Возраст хвостов	Более 10 лет	5–10 лет	Менее 5 лет

Технологии с выщелачиванием по сравнению с традиционной технологией при равных условиях характеризуются увеличением технико-экономических показателей в разы. Так, на месторождении Быкогорское экономически приемлемая отработка велась еще 30 лет после отработки балансовых запасов по традиционной схеме.

Технологии с выщелачиванием в плане воздействия на окружающую среду принципиально отличаются от традиционных тем, что процесс извлечения металлов из руд происходит в замкнутом и контролируемом пространстве в отличие от стохастического неуправляемого процесса природного выщелачивания потерянного в недрах и складированного на земной поверхности минерального сырья [20, 21].

Выводы

Реальным шагом по решению проблемы безотходного и комплексного использования минеральных ресурсов недр является извлечение металлов путем их выщелачивания реагентами с изменением фазового состояния. Пригодность месторождений для целей выщелачивания может быть определена на основе типизации технологий, созданной по результатам промышленно-экспериментального освоения технологий с выщелачиванием. Практика применения технологии подтверждает целесообразность применения ее при отработке некондиционного для традиционных технологий сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Golik V. I., Komashchenko V. I. Nature protection technologies of management of a condition of the massif on a geomechanical basis. M.: KDU, 2010. 520 p.
2.Голик В. И., Комащенко В. И., Дребенштедт К. Охрана окружающей среды. М.: Высш. школа, 2007. 270 с.
3. 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. P. 49–52.
4. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал. 2013. № 12. С. 29–33.
5. Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V. Environmental monitoring atmosphere of mining territories // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 6. P. 595–597.
6. Голик В. И., Комащенко В. И., Моркун В. С. Инновационные технологии комплексного использования хвостов обогащения переработки руд // Вісник Криворізького національного університету. 2015. Вип. 39. С. 72–77.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 4. P. 325–329.
8. Голик В. И., Полухин О. Н., Петин А. Н., Комащенко В. И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА // Горный журнал. 2013. № 4. С. 61–64.
9. Голик В. И. Специальные способы разработки месторождений. М.: ИНФРА-М, 2014. 132 с.
10. 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.
11. Голик В. И., Разоренов Ю. И. Проектирование горных предприятий. Новочеркасск, 2007. 262 с.
12. Лизункин В. М., Морозов А. А., Бейдин А. В. Комбинированная геотехнология добычных работ с рентгенорадиометрической сортировкой и выщелачиванием урана из бедной рудной массы в подземных условиях // Горный журнал. 2013. № 8 (2). С. 89–93.
13. Лизункин В. М., Морозов А. А., Гаврилов А. А., Лизункин И. В. Лабораторные исследования процесса выщелачивания урана сернокислыми растворами, активированными ультразвуком // ГИАБ. 2014. № 10. С. 123–129.
14. Логачев А. В., Голик В. И. К вопросу об этапах разработки месторождений // Горный журнал. 2008. № 12. С. 41–43.
15. Голик В. И., Комащенко В. И., Моркун В. С. Механохимические процессы извлечения металлов из некондиционных руд. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 250 с.
16. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures // Metallurgical and Mining Industry. 2015. № 3. P. 38–41.
17. Khasheva Z. M., Golik V. I. The Ways of Recovery in Economy of the Depressed Mining Enterprises of the Russian Caucasus // International Business Management. 2015. № 9 (6). P. 1209–1216.
18. Разоренов Ю. И., Голик В. И. Проблемы глубокой утилизации отходов переработки угля // Маркшейдерия и недропользование. 2013. № 4 (66). С. 52–54.
19. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Страданченко С. Г., Прокопов А. Ю., Масленников С. А. Экспериментальное обоснование возможности извлечения металлов из хвостов обогащения угля // ГИАБ. 2012. № 5. С. 128–134.
20. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Efremenkov A. B. Recycling of metal ore mill tailings // Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 682. С. 363–368.
21. Разоренов Ю. И. Оптимизация рудопотоков при разработке сложных рудных месторождений подземно-открытым способом: дис. … д-ра техн. наук. Новочеркасск, 2000. 324 с.

REFERENCES

1. Golik V. I., Komashshenko V. I. 2010, Nature protection technologies of management of a condition of the massif on a geomechanical basis, Moscow, 520 p.
2.Golik V. I., Komashchenko V. I., Drebenshtedt K. 2007, *Okhrana okruzhayushchey sredy* [Protection of the environment], Moscow, 270 p.
3. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. Metallurgical and Mining Industry, no. 3, pp. 49–52.
4. Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V., Radchenko D. N. 2013, *Rasshirenie syr'evoy bazy gornorudnykh predpriyatiy na osnove kompleksnogo ispol'zovaniya mineral'nykh resursov mestorozhdeniy* [Expansion of the resource base of mining enterprises based on the integrated use of mineral resources of deposits]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 12, pp. 29–33.
5. Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Environmental monitoring atmosphere of mining territories. Metallurgical and Mining Industry, no. 6, pp. 595–597.
6. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V. S. 2015, *Innovatsionnye tekhnologii kompleksnogo ispol'zovaniya khvostov obogashcheniya pererabotki rud* [Innovative technologies for the integrated use of ore processing enrichment tailings]. *Visnik Krivoriz'kogo natsional'nogo universitetu* [Bulletin KTU], no. 39, pp. 72–77.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Zaalishvili V. 2015, Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. Metallurgical and Mining Industry, no. 4, pp. 325–329.
8. Golik V. I., Polukhin O. N., Petin A. N., Komashchenko V. I. 2013, *Ekologicheskie problemy razrabotki rudnykh mestorozhdeniy KMA* [Ecological problems of development of ore deposits of Kursk Magnetic Anomaly]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 4, pp. 61–64.

9. Golik V.I. 2014, *Spetsial'nye sposoby razrabotki mestorozhdeniy* [Special methods of field development], Moscow, 132 p.
10. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. Metallurgical and Mining Industry, no. 4, pp. 321–324.
11. Golik V. I., Razorenov Yu. I. 2007, *Proektirovanie gornykh predpriyatiy* [Designing of mining enterprises], Novocherkassk, 262 p.
12. Lizunkin V. M., Morozov A. A., Beydin A. V. 2013, *Kombinirovannaya geotekhnologiya dobychnykh rabot s rentgenoradiometricheskoy sortirovkoy i vyshchelachivaniem urana iz bednoy rudnoy massy v podzemnykh usloviyakh* [Combined geotechnology of mining operations with X-ray radiometric sorting and uranium leaching from poor ore mass in underground conditions]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 8(2), pp. 89–93.
13. Lizunkin V. M., Morozov A. A., Gavrilov A. A., Lizunkin I. V. 2014, *Laboratornye issledovaniya protsessa vyshchelachivaniya urana sernokislymi rastvorami, aktivirovannymi ul'trazvukom* [Laboratory studies of the uranium leaching process by sulfuric acid solutions activated by ultrasound], *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin], no. 10, pp. 123–129.
14. Logachev A. V., Golik V. I. 2008, *K voprosu ob etapakh razrabotki mestorozhdeniy* [On the issue of the stages of field development], Gornyy zhurnal [Mining Journal], no. 12 pp. 41–43.
15. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V. S. 2015, *Mekhanokhimicheskie protsessy izvlecheniya metallov iz nekonditsionnykh rud* [Mechanochemical processes of metal recovery from sub-standard ores], Saarbrücken, 250 p.
16. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. 2015, Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. Metallurgical and Mining Industry, no. 3, pp. 38–41.
17. Khasheva Z. M., Golik V. I. 2015, The Ways of Recovery in Economy of the Depressed Mining Enterprises of the Russian Caucasus. International Business Management, no. 9(6), pp. 1209–1216.
18. Razorenov Yu. I., Golik V. I. 2013, *Problemy glubokoy utilizatsii otkhodov pererabotki uglya* [Problems of deep utilization of coal processing waste]. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie* [Mine surveying and subsurface use], no. 4(66), pp. 52–54.
19. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Stradanchenko S. G., Prokopov A. Yu., Maslennikov S. A. 2012, *Eksperimental'noe obosnovanie vozmozhnosti izvlecheniya metallov iz khvostov obogashcheniya uglya* [Experimental substantiation of the possibility of extracting metals from tailings of coal enrichment]. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin], no. 5, pp. 128–134.
20. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Efremenkov A. B. 2014, Recycling of metal ore mill tailings. Applied Mechanics and Materials, vol. 682, pp. 363–368.
21. Razorenov Yu. I. 2000, *Optimizatsiya rudopotokov pri razrabotke slozhnykh rudnykh mestorozhdeniy podzemno-otkrytym sposobom* [Optimization of ore flows during the development of complex ore deposits by underground-open method]. *Diss. na soiskanie d-ra tekhnicheskikh nauk* [Dissertation of the candidate of engineering sciences]. Novocherkassk. 324 p.

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

Нияз Гадым оглы Валиев,
gtf.gd@m.ursmu.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

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

Niyaz Gadym ogly Valiev,
gtf.gd@m.ursmu.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 621.879.323:622.371.4 DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-63-66

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА ШАГАНИЯ ЭКСКАВАТОРА

Н. М. Суслов, В. А. Боровков, П. А. Касьянов

Efficiency increase of the excavator walking mechanism

N. M. Suslov, V. A. Borovkov, P. A. Kas'yanov

The basis of excavation technology in conducting the open mining operations are powerful walking excavators. When stationary, the excavator rests on the ground with a support plate at the base, while walking, the weight of the excavator transfers to support shoes placed on both sides of the excavator; two pairs of hydraulic cylinders driven by high-pressure pumps move each shoe. Support shoes are released from the grips, the rods of the traction cylinders are pulled out to the maximum value, and then the lifting cylinders lower the supporting shoes to the ground and lift the leading edge of the base. The uneven distribution of the machine's gravity between the individual components of the excavator and the need to lift the center of gravity to a considerable height significantly complicate the design and exploitation of the walking mechanisms. The article presents and analyzes the features of walking undercarriage in comparison with other types of undercarriage: the possibility of a significant reduction of the ground loading during operation and movement of the machine, increasing the excavator reliability. The author consider features of the three-bearing and four-bearing hydraulic walking mechanisms. The article contains a description of the three-bearing excavator walking mechanism with a single-cylinder drive of the mechanism sides. The authors present the calculations and the results of the kinematic and force analysis of the walking mechanism of considered construction. In kinematic analysis, an equivalent kinematic scheme replaces the original scheme of the mechanism. The authors obtained the motion equations by the method of a closed vector contour in the projections on the coordinate axes. In force analysis, in accordance with the D'Alembert principle, the authors compiled equilibrium equations for the system of active forces, reactions and inertia forces. One can see the presented results of calculating the parameters of the walking mechanism for specific machines that confirm the efficiency of the described scheme of walking undercarriage.

Keywords: excavator; walking mechanism; ground loading; kinematic and power analysis; parameters of the walking mechanism; efficiency of walking undercarriage.

Основу экскавационной техники при выполнении открытых горных работ составляют мощные шагающие экскаваторы. В неподвижном состоянии экскаватор опирается на грунт опорной плитой в основании, при шагании вес экскаватора передается на опорные башмаки, размещенные с двух сторон экскаватора; каждый башмак перемещается двумя парами гидроцилиндров, приводимых в работу насосами высокого давления. Опорные башмаки освобождаются от захватов, штоки тяговых гидроцилиндров выдвигаются на максимальную величину, затем подъемные гидроцилиндры опускают опорные башмаки на грунт и поднимают переднюю кромку базы. Неравномерное распределение силы тяжести машины между отдельными элементами экскаватора и необходимость подъема центра тяжести на значительную высоту существенно усложняют проектирование и эксплуатацию шагающих механизмов. В статье приведены и проанализированы особенности работы шагающего ходового оборудования в сравнении с другими типами ходового оборудования: возможность существенного снижения нагрузки на грунт при работе и передвижении машины, повышение надежности работы экскаватора. Рассмотрены особенности работы трехопорных и четырехопорных гидравлических шагающих механизмов. Приведено описание трехопорного механизма шагания экскаватора с одноцилиндровым приводом сторон механизма. Выполнены расчеты и представлены результаты кинематического и силового анализов шагающего механизма рассмотренной конструкции. В кинематическом анализе исходная схема механизма заменена эквивалентной кинематической схемой. Уравнения движения получены методом замкнутого векторного контура в проекциях на оси координат. При силовом анализе в соответствии с принципом Д'Аламбера составлены уравнения равновесия системы действующих активных сил, реакций и сил инерции. Представлены результаты расчета параметров механизма шагания для конкретных машин, подтвердившие эффективность работы рассмотренной схемы шагающего ходового оборудования.

Ключевые слова: экскаватор; механизм шагания; нагрузка на грунт; кинематический и силовой анализы; параметры механизма шагания; эффективность работы шагающего ходового оборудования.

Основу экскавационной техники при выполнении открытых горных работ составляют мощные шагающие экскаваторы.

Благодаря низкому удельному давлению на грунт, обеспечиваемому шагающим ходовым оборудованием, осуществляется эксплуатация экскаватора на грунтах с низкой несущей способностью [1].

В неподвижном состоянии экскаватор опирается на грунт опорной плитой в основании, при шагании вес экскаватора передается на опорные башмаки, размещенные с двух сторон экскаватора; каждый башмак управляется двумя парами гидроцилиндров, работа которых осуществляется насосами высокого давления [2, 3].

Перемещение экскаватора включает следующие операции. Опорные башмаки освобождаются от захватов, штоки тяговых гидроцилиндров выдвигаются на максимальную величину, затем подъемные гидроцилиндры опускают опорные башмаки на грунт и поднимают переднюю кромку базы. На завершающем этапе тяговые цилиндры перемещают экскаватор на величину шага, затем цикл повторяется.

Неравномерное распределение силы тяжести машины между отдельными элементами экскаватора и необходимость подъема центра тяжести на значительную высоту существенно усложняют проектирование и эксплуатацию шагающих механизмов.

Трехопорные механизмы шагания применяются, как правило, для экскаваторов массой до 5000 т [4, 5]. Экскаваторы с трехопорным механизмом шагания при передвижении опираются на два башмака и на ближайшую к стреле кромку опорной базы. Передвижение происходит в сторону, противоположную направлению стрелы.

При высоких силовых нагрузках из-за большой массы машины на ее перемещение расходуется огромное количество энергии. Оценить энергопотребление и разработать меры для его снижения возможно на основе теоретических расчетов, определяющих кинематические и силовые характеристики машин [6–8]. Теоретические расчеты помогут также усовершенствовать механизм шагания так, чтобы энергопотребление было минимальным. Таким образом, для снижения энергопотребления экскаватора необходимо провести кинематическое и динамическое исследование механизма шагания, на основании которого следует выбрать наиболее экономичную конструкцию механизма.

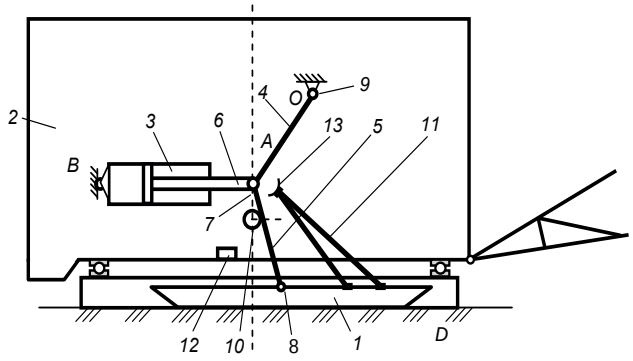


Рисунок 1. Схема механизма шагания.

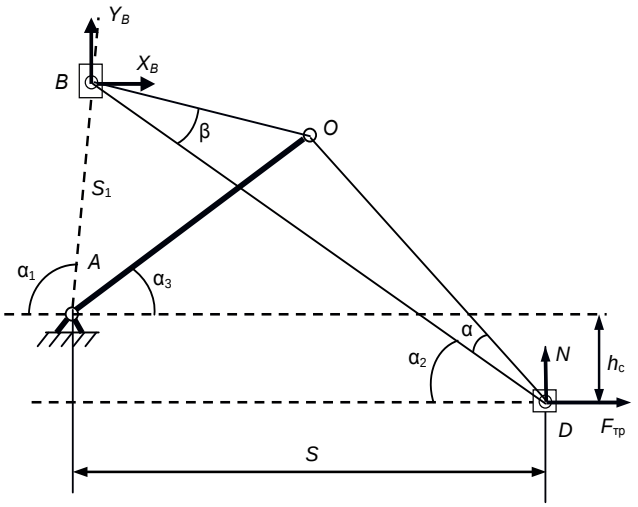


Рисунок 2. Эквивалентная кинематическая схема.

Кинематическое и динамическое исследование процесса шагания трехопорного механизма сводится к анализу скоростей, ускорений и нагрузок для простейшего из механизмов, известного с древнейших времен – кривошипно-ползунного механизма. Анализ движения такого механизма можно проводить как традиционными (для одного расчетного положения), так и современными аналитическими методами.

Современные методы аналитического исследования механизмов позволяют произвести компьютерный расчет полного цикла перемещения экскаватора за один шаг и оценить нагрузки, возникающие в гидроцилиндрах. Разнообразие конструктивных решений, отличающихся различным положением соединительных шарниров, отражается во множестве исследуемых кинематических схем и, соответственно, в количестве полученных результатов.

На рис. 1 представлена схема механизма шагания [9], пример расчета которого приведен далее.

Механизм содержит опорные башмаки *1*, размещенные по обеим сторонам платформы *2*. Каждая сторона имеет силовые гидроцилиндры *3* и распорные рычаги *4* и *5*. Рычаги связаны между собой плунжером *6* и шарниром *7*, с опорными башмаками и платформой они связаны шарнирами *8* и *9*. Между нижним распорным рычагом *5* и опорным башмаком установлен ограничитель *10* угла поворота нижнего рычага. Рычаги *11* соединены с платформой *2* упором *13* и служат для стабилизации поступательного движения башмаков, поддерживаемого регулятором *12*. Такое исполнение механизма шагания существенно упрощает его конструкцию и схему управления приводом, повышает эффективность работы экскаватора.

Для обоснования параметров механизма выполнены теоретические исследования данной машины [10–12]. Этот механизм обеспечивает перемещение по горизонтали за один шаг, примерно на 2 м. Жидкость, подаваемая в полость гидроцилиндра, в течение шага выталкивает поршень гидроцилиндра на такое же расстояние, задавая перемещение точки *B* относительно упора *A*.

Исходная схема заменена эквивалентной кинематической схемой, представленной на рис. 2.

Кинематические уравнения движения в соответствии с указанной эквивалентной схемой получены методом замкнутого векторного контура [6, 12] в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси координат:

$$\begin{cases} -S_1\cos\alpha_1 + BO\cos\left(\beta-\alpha_2\right) - OA\cos\alpha_3 = 0; \\ S_1\sin\alpha_1 + BO\sin\left(\beta-\alpha_2\right) - OA\sin\alpha_3 = 0; \\ -S_1\cos\alpha_1 + BD\cos\alpha_2 - S = 0; \\ S_1\sin\alpha + BD\sin\alpha_2 + h_c = 0. \end{cases} \quad (1)$$

где S_1, S – перемещения ползунов B и D; α, β, α_1, α_2, α_3 – углы, показанные на рис. 2. Уравнения для аналогов скоростей и ускорений получаются прямым дифференцированием по времени уравнений системы (1):

Результаты расчета параметров механизма шагания.

S_1	α_1	α_2	α_3	S	ω_1	ω_2	ω_3	v_D	ε_1	ε_2	ε_3	a_D	N	F_p
м	град			м	c^{-1}			м/с	c^{-2}			$м/с^2$	МН	
4,0	1,01	9,94	78,65	7,62	1,43	0,13	0,79	– 0,52	– 5,45	– 0,64	– 0,96	0,09	0,36	0,38
4,2	1,73	10,22	80,49	7,61	1,14	0,11	0,81	– 0,5	– 4,3	– 0,5	– 0,5	0,06	0,34	0,34
4,4	2,27	10,44	82,36	7,40	0,87	0,09	0,82	– 0,5	– 3,4	– 0,5	– 0,1	0,04	0,32	0,30
4,6	2,65	10,63	84,27	7,20	0,59	0,07	0,84	– 0,5	– 2,7	– 0,5	0,22	0,02	0,29	0,27
4,8	2,87	10,76	86,22	7,00	0,31	0,05	0,86	– 0,5	– 2,0	– 0,5	0,49	0,01	0,27	0,22
5,0	2,95	10,85	88,22	6,79	0,02	0,02	0,88	– 0,5	– 1,5	– 0,6	0,65	0,01	0,24	0,17
5,2	2,89	10,87	90,28	6,59	– 0,2	0 –	0,91	– 0,5	– 1,0	– 0,6	0,66	0,22	0,21	0,10
5,4	2,69	10,83	92,41	6,39	– 0,6	– 0,04	0,94	– 0,5	– 0,4	– 0,7	0,46	0,03	0,17	0,03
5,6	2,36	10,72	94,62	6,19	0,97	– 0,08	0,98	– 0,5	0,12	0,79	– 0,06	0,06	0,12	– 0,08
5,8	1,90	10,53	96,92	6,00	– 1,3	– 0,11	1,02	– 0,5	0,89	– 0,7	– 1,0	0,12	0,07	– 0,11
6,0	– –	10,25	99,31	5,81	– 1,7	– 0,13	1,06	– 0,4	1,06	– 0,5	– 2,7	0,20	0,01	0,28

$$\begin{cases} -\dot{S}_1\cos\alpha_1 + S_1\sin\alpha_1\dot{\alpha} + BO\sin\left(\beta-\alpha_2\right)\dot{\alpha}_2 + OA\sin\alpha_3\dot{\alpha}_3 = 0; \\ \dot{S}_1\sin\alpha_1 + S_1\cos\alpha_1\dot{\alpha}_1 - BO\cos\left(\beta-\alpha_2\right)\dot{\alpha}_2 - OA\cos\alpha_3\dot{\alpha}_3 = 0; \\ -\dot{S}_1\cos\alpha_1 - S_1\sin\alpha_1\dot{\alpha}_1 - BD\sin\alpha_2\dot{\alpha}_2 - \dot{S} = 0; \\ \dot{S}_1\sin\alpha_1 + S_1\cos\alpha_1\dot{\alpha}_1 - BD\cos\alpha_2\dot{\alpha}_2 = 0. \end{cases}$$

Поскольку уравнения для аналогов ускорений довольно сложны, в данной статье мы их не приводим. В результате получена система алгебраических уравнений, позволяющая определить как геометрические, так и кинематические параметры. Так, например, при OD =14 м; BD =18 м; BO =10,6 м; AO =11 м; h_c = 4,2 м; $S_1 = AB$ = 8 м получим: α_1 = 57°, α_2 = 38°, α_3 = 35°, аналоги угловых скоростей $\dot{\omega}_1 = \omega_1 / v_1 = 0,007$ м$^{-1}$, $\dot{\omega}_2 = \omega_2 / v_1 = 0,054$ м$^{-1}$, $\dot{\omega}_3 = \omega_3 / v_1 = 0,043$ м$^{-1}$, угловые ускорения для v_1 = 2 м/с, α_1 = 1 м/с^2 равны следующим величинам: ε_1 = 0,075 с$^{-2}$, ε_1 = 0,57 с$^{-2}$, ε_3 = 0,14 с$^{-2}$. Приведенные результаты послужили контрольным вариантом для компьютерной программы, решающей описанную ранее систему нелинейных уравнений.

При силовом анализе в качестве объекта исследования для принятой кинематической схемы рассматривалось звено BOD (см. рис. 1, 2). В соответствии с принципом Д'Аламбера составлены уравнения равновесия системы действующих активных сил, реакций и сил инерции. Так как масса экскаватора во много раз больше его отдельных подвижных звеньев, входящих в рассматриваемую кинематическую схему, то к действующим отнесена только сила тяжести экскаватора mg (m – масса экскаватора, g – ускорение свободного падения). Реакции в точке B представлены двумя составляющими – X_B и Y_B, а в точке D – нормальной реакцией N и силой трения $F_{тр} = fN$, где f – коэффициент трения скольжения. Инерционные нагрузки сводятся к главному вектору $\vec{F}^{ин}$ и главному моменту сил инерции $M^{ин} = J_c\varepsilon_2$, где J_c – момент инерции корпуса экскаватора.

Уравнения равновесия рассматриваемого объекта имеют вид:

$$\begin{cases} M^{ин} - F_O^{\tau}AO + \left(F_{CO}^{\tau} - mg\right)\left(AO\cos\alpha_3 + CO\right) + F_{тр}h_c + \\ + N\left[AO\cos\alpha_3 + OD\cos\left(\alpha+\alpha_2\right)\right] - F_{CO}^{n}AO\sin\alpha_3 = 0; \\ \left(N - mg + F_{CO}^{\tau}\right)\cos\alpha_1 + \left(F_{тр} + F_{CO}^{n}\right)\sin\alpha_1 - F_O^{\tau}\cos\left(\alpha_1+\alpha_3\right) + \\ + \left(F_O^{n} - S\right)\sin\left(\alpha_1+\alpha_3\right) = 0; \\ -F_{тр}\cos\alpha_1 + \left(F_O^{n} - S\right)\cos\alpha_3 + F_O^{\tau}\sin\alpha_3 + F_{тр} + F_{CO}^{n}, \end{cases}$$

где $F_O^{\tau}, F_O^{n}, F_{CO}^{\tau}, F_{CO}^{n}$ – составляющие главного вектора сил инерции, выраженные через соответствующие составляющие ускорения.

В качестве исходных данных для полного расчета шага экскаватора использованы числовые значения, соответствующие шагающему экскаватору ЭШ 15.90А: AO = 5,5 м; BO = 7,4 м; OD = 10 м; CO = 1 м; h_c = 2 м; скорость поршня гидроцилиндра постоянна и равна v_B = 0,5 м/с; масса экскаватора $m = 1,6 \cdot 10^6$ кг; коэффициент трения скольжения о грунт принят равным f = 0,5. Расчет проводился для условия выдвижения поршня из гидроцилиндра так, что в начальный момент времени AB_0 = 4 м, а в конечный момент $\boldsymbol{AB}_1$ = 6 м. Полученные результаты приведены в таблице.

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

– гидроцилиндр сохраняет почти горизонтальное расположение в течение всего рабочего хода;

– угол наклона рычага AO меняется почти симметрично относительно вертикали и обеспечивает величину шага экскаватора около 2 м;

– угловые скорости гидроцилиндра, корпуса экскаватора, рычага AO меняются незначительно;

– угловые ускорения близки к нулю;

– скорость скольжения крайней точки башмака соответствует скорости движения поршня гидроцилиндра, движение происходит практически равномерно;

– при перемещении экскаватора его корпус сохраняет устойчивое положение равновесия.

Металлоемкость гидроцилиндра в этом случае уменьшается, а уменьшение рабочего давления в гидросистеме, которое обеспечивается конструкцией, будет способствовать повышению надежности механизма шагания.

Энергопотребление за один шаг движения экскаватора теоретически оценивается как сумма работ сил, действующих на механизм в течение шага. Конструктивное решение, соответствующее минимуму энергопотребления, следует считать оптимальным для данного типа механизма шагания, повышающим эффективность работы механизма шагания и экскаватора в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суслов Н. М. Эксплуатационные характеристики существующих шагающих механизмов одноковшовых экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 8. С. 11–14.
2. Подэрни Р. Ю. Шагающие драглайны на открытых разработках. М.: НИИИнформтяжмаш, 1980. 70 с.
3. Суслов Н. М., Суслов Д. Н. Совершенствование шагающего ходового оборудования с гидроприводом // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 8. С. 90–94.
4. Груздев А. В., Бойко Г. Х. Шагающие экскаваторы-драглайны производства корпорации ОМЗ // Горная промышленность. 2003. № 3. С.16–20.
5. Суслов Н. М. Обоснование параметров трехопорного гидравлического механизма шагания экскаватора с одноцилиндровым приводом сторон механизма // Изв. УГГУ. 2012. Вып. 27/28. С. 93–95.
6. Альгин В. Б. Динамика, надежность и ресурсное проектирование трансмиссий мобильных машин. Минск: Наука и техника, 1995. 256 с.
7. Суслов Н. М. Сокращение энергозатрат на перемещение экскаватора // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 3. С. 99–103.
8. Суслов Н. М. Повышение эксплуатационных качеств шагающих механизмов экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 8. С. 44–46.
9. А. с. 1239229 СССР. Механизм шагания / Г. Х. Бойко [и др.] (СССР). Опубл. в Б. И. 1986. № 23. 3 с.
10. Суслов Н. М., Ляпцев С. А. Кинематический и силовой анализ механизма шагания экскаватора // Горные машины и автоматика. 2004. № 7. С. 9–11.
11. Степанова Н. Р., Суслов Н. М. Кинематический анализ четырехзвенного механизма шагания экскаватора // Математическое моделирование механических явлений: материалы Всерос. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2013. С. 88–95.
12. Суслов Н. М. Кинематический анализ трехопорного гидравлического шагающего механизма с одноцилиндровым приводом сторон механизма // Изв. УГГУ. 2011. Вып. 25-26. С. 68–71.

REFERENCES

1. Suslov N. M. 2013, *Ekspluatatsionnye kharakteristiki sushchestvuyushchikh shagayushchikh mekhanizmov odnokovshovykh ekskavatorov* [Performance characteristics of existing walking machines of single bucket excavators]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 8, pp. 11–14.
2. Poderni R. Yu. 1980, *Shagayushchie draglayny na otkrytykh razrabotkakh* [Walking draglines on open-cast mines], Moscow, 70 p.
3. Suslov N. M., Suslov D. N. 2015, *Sovershenstvovanie shagayushchego khodovogo oborudovaniya s gidroprivodom* [Perfecting the walking gear with hydraulic drive]. I*zv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 8, pp. 90–94.
4. Gruzdev A. V., Boyko G. Kh. 2003, *Shagayushchie ekskavatory-draglayny proizvodstva korporatsii OMZ* [Walking excavators-draglines produced by OMZ Corporation]. *Gornaya promyshlennost'* [Mining industry], no. 3, pp. 16–20.
5. Suslov N. M. 2012, *Obosnovanie parametrov trekhopornogo gidravlicheskogo mekhanizma shaganiya ekskavatora s odnotsilindrovym privodom storon mekhanizma* [The justification of the parameters of the three- bearing hydraulic excavator walking mechanism with the single-cylinder drive of the mechanism sides]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 27/28, pp. 93–95.
6. Al'gin V. B. 1995, *Dinamika, nadezhnost' i resursnoe proektirovanie transmissiy mobil'nykh mashin* [Dynamics, reliability and resource design of transmissions of mobile machines], Minsk, 256 p.
7. Suslov N. M. 2012, *Sokrashchenie energozatrat na peremeshchenie ekskavatora* [Reducing energy costs for moving the excavator]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 3, pp. 99–103.

8. Suslov N. M. 2015, *Povyshenie ekspluatatsionnykh kachestv shagayushchikh mekhanizmov ekskavatora* [Improving the performance of the walking excavator mechanisms]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 8, pp. 44–46.
9. Boyko G. Kh. et al. 1986, A. s. 1239229 SSSR. *Mekhanizm shaganiya* [A. s. 1239229 USSR. The pacing mechanism], no. 23, 3 p.
10. Suslov N. M., Lyaptsev S. A. 2004, *Kinematicheskiy i silovoy analiz mekhanizma shaganiya ekskavatora* [Kinematic and power analysis of the excavator walking mechanism]. *Gornye mashiny i avtomatika* [Mining machines and automatics], no. 7, pp. 9–11.
11. Stepanova N. R., Suslov N. M. 2013, *Kinematicheskiy analiz chetyrekhzvennogo mekhanizma shaganiya ekskavatora* [Kinematic analysis of the four-bearing mechanism of the excavator walking]. *Matematicheskoe modelirovanie mekhanicheskikh yavleniy: materialy Vseros. nauch.-tekhn. konf.* [Mathematical modeling of mechanical phenomena: materials of the All-Russian scientific-technial conference], Ekaterinburg, pp. 88–95.
12. Suslov N. M. 2011, *Kinematicheskiy analiz trekhopornogo gidravlicheskogo shagayushchego mekhanizma s odnotsilindrovym privodom storon mekhanizma* [Kinematic analysis of a three-bearing hydraulic walking gear with a single-cylinder drive mechanism sides]. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 25-26, pp. 68–71.

Николай Максимович Суслов,
Валентин Александрович Боровков,
bor402@rambler.ru
Петр Акимович Касьянов,
Уральский государственный горный университет,
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Nikolay Maksimovich Suslov,
Valentin Aleksandrovich Borovkov,
bor402@rambler.ru
Petr Akimovich Kas'yanov,
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 681.5

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-67-70

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАБОЙНОЙ БУРОВОЙ МАШИНЫ С ПОГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

С. Н. Костарев, Т. Г. Середа

The development of the automated monitoring system for the operating parameters of a downhole drilling machine with a submersible electric motor

S. N. Kostarev, T. G. Sereda

The development of models for constructing automated control systems for electric drives of oil production mechanisms currently gains great attention for the purposes of improving the safety and productivity of oil production equipment. For transmission of telemetry system (TMS) data, industrial buses are common, for example, Fieldbus, what allowes solving the problems of frequency regulation by the electric drive, but complicates the general control system. In this paper, the authors consider using as TMS a borehole cable as a medium for data transmission. The authors have developed simulation models of digital signal transmission. To transmit the information signal, there are various models of modulation: amplitude, phase, frequency, etc. For improving the quality of information transfer, one should use filters, for example the Barker filter, the digital cosine filter, the moving average filter. The Barker filter has the best selectivity, but at the same time, the largest amount of service information. To solve the problem of increasing noise immunity of transmitted data and complicating the filter by the degree of interference, the authors proposed the modulation of the information signal using the operator ⊕ (XOR). The conducted experiments on the levels of modulation/noise showed satisfactory results. To solve the tasks of monitoring and controlling the electric drive of the drill, the authors proposed an industrial controller programmed according to the IEC61131-3 standard. The authors developed the relay-contact scheme (RCS) for monitoring the critical parameters of the drive, which affect the safety of the downhole electric motor when drilling wells. Simulation of the operation of the RCS using the operator panel was successful.

Keywords: electric drive; electric motor; microprocessor controller; borehole cable; control and measuring devices; well.

Разработке моделей построения автоматизированных систем управления электроприводом механизмов добычи нефти в настоящее время уделяется большое внимание в целях повышения безопасности и производительности технологического оборудования нефтедобычи. Для передачи данных телеметрической системы (ТМС) широко используются промышленные шины, например Fieldbus, что позволило решать вопросы частотного регулирования электроприводом, но усложнило общую систему управления. В данной работе в качестве ТМС рассматривается применение каротажного кабеля как среды передачи данных. Разработаны имитационные модели передачи цифрового сигнала. Для передачи информационного сигнала существуют различные модели модуляции: амплитудная, фазовая, частотная и др. С целью улучшения качества передачи информации используются фильтры, например фильтр Баркера, цифровой косинус- фильтр, фильтр скользящего среднего. Фильтр Баркера обладает наилучшей избирательностью, но в то же время большим объемом служебной информации. Для решения задачи повышения помехоустойчивости передаваемых данных и усложнения фильтра по степени помех предложена модуляция информационного сигнала с использованием оператора ⊕ (исключающее ИЛИ). Проведенные эксперименты по уровням модуляция/шум показали удовлетворительные результаты. Для решения задач мониторинга и управления электроприводом бура предложен промышленный контроллер, программируемый по стандарту IEC61131-3. Разработана релейно-контактная схема (РКС) по мониторингу критичных параметров привода, влияющих на безопасность работы забойного электродвигателя при бурении скважин. Поведена симуляция работы РКС с использованием панели оператора.

Ключевые слова: электропривод; электродвигатель; микропроцессорный контроллер; каротажный кабель; контрольно-измерительные приборы; скважина.

Актуальность темы. Проблема эффективности и безопасности нефтедобычи стоит остро во всем мире. Добыча нефти представляет сложный технологический процесс, вопросам автоматизации нефтегазовых технологических процессов посвящены работы [1]. Для передачи показаний от телеметрической системы, которая находится в скважине, используются как кабельные, так и беспроводные каналы передачи информации, в которых с большой долей вероятности передаваемые данные по ним подвержены влиянию помех.

Для реализации математического обеспечения мониторинга и управления при бурении скважины необходима разработка инструментальных средств анализа состояний привода бура.

На исследуемом объекте передаваемой информацией являются давление, ускорение вибрации ротора электробура, температура пласта, сила тока, потребляемая мощность и другие параметры. При использовании проводного канала возникает большой уровень электромагнитных помех. Использование систем погружной телеметрии позволит значительно увеличить срок службы оборудования.

Существует необходимость в усовершенствовании передачи данных в скважинных телеметрических системах. Известны подходы по передаче данных с помощью каротажного кабеля [2, 3]. Для улучшения распознавания передаваемых данных предлагалась фазовая модуляция последовательности Баркера [4]. Недостатками данных подходов являлись сложность алгоритма обработки и большой объем служебной информации.

Целью настоящей работы являлось исследование модели передачи данных по каротажному кабелю и проведение исследований параметрической модуляции сигнала (длина несущей последовательности/шум) для обеспечения безопасной эксплуатации нефтяных скважин.

На предварительном этапе моделирования рассмотрена телеметрическая система (ТМС), использующаяся на месторождениях, и описана работа основных узлов, которые непосредственно участвуют при передаче данных с использованием каротажного кабеля. В состав ТМС вошли следующие элементы: силовая электрическая система, блок управления, блок погружной телеметрии, программно-аппаратное обеспечение OMRON.

Через наземный трансформатор передается электрическая энергия на питание насоса. Точка соединения в звезде подключается к наземному блоку телеметрии, а фазные концы заведены в бронированный каротажный кабель, который опускается непосредственно в скважину, подавая высокое напряжение на нефтяной электронасос (НЭН). Измерительную информацию, включающую мониторинг и управление от скважинных приборов, предлагается также передавать по каротажному кабелю. Каротажный кабель является тросом с достаточно большим (до нескольких тонн) разрывным усилием, несущим скважинные приборы в химически и механически агрессивной среде скважин.

Изменения потенциала в точке соединения обмоток приводят к изменению в нулевой точке трехфазного трансформатора,

Таблица 1. Обозначение входных сигналов (датчиков) и выходных управляющих воздействий.

Входной – X Выходной –Y	Адрес бита в ОЗУ контроллера	Обозначение	Адрес памяти Значение DM		Пояснение
			текущее	max	
		Входы контроллера от датчиков			
X0	CIO 201	T	200	210	Измерение температуры обмоток двигателя
X1	CIO 301	P	201	211	Измерение давления окружающей среды
X2	CIO 401	Vx	202	212	Измерение вибрации по оси X
X3	CIO 501	Vy	203	213	Измерение вибрации по оси Y
X4	CIO 601	I	204	214	Сила тока
X5	CIO 801	pH	205	215	Мониторинг pH
X6	CIO 0.06	Z			Термо(влаго)защита насоса
		Выходы на управление			
Y0	CI O 100.00		H0.00	H1.00	Включение бура
Y1	CI O 100.01	КП	H0.01	H1.00	Выключение бура

что позволяет наземному блоку регистрировать изменения и тем самым получать кодовую комбинацию, которую можно использовать для формирования цифровых данных.

Погружной блок телеметрии состоит из двух блоков: процессорного блока и блока сопряжения. Функциями погружного блока являются: измерение температуры обмоток двигателя, измерение давления окружающей среды, измерение вибрации по осям X и Y и измерение температуры внутри устройства. В качестве процессорного блока предложено использовать микроконтроллер OMRON. Обозначение входных сигналов (датчиков) и выходных управляющих воздействий показано в табл. 1.

В настоящей работе исследования модели передачи данных проводились с помощью пакета SimPowerSystems (MATLAB/Simulink), а исследования по мониторингу и управлению электробуром – с помощью программного обеспечения OMRON CX-Programmer и CX-Designer [5].

Языком программирования контроллера OMRON CP1L выступала релейно-контактная логика (стандарт IEC61131-3). Мониторинг текущих значений измеряемых параметров и граничного максимального значения фиксировался в ячейках памяти Data Memory. В качестве параметров мониторинга выступали температура обмоток двигателя, давление пород, вибрация, сила тока, термо(влаго)защита насоса. Панель оператора электробура была спроектирована с использованием CX-Designer (рис. 1).

При превышении допустимых значений на панели оператора загорается красный индикатор и происходит автоматическое выключение бура. Ручное включение/выключение бура происходит на панели управления с помощью кнопок триггерного типа. Фрагмент разработанной релейно-контактной схемы управления аварийным выключением привода бура при превышении потребляемого тока представлен на рис. 2.

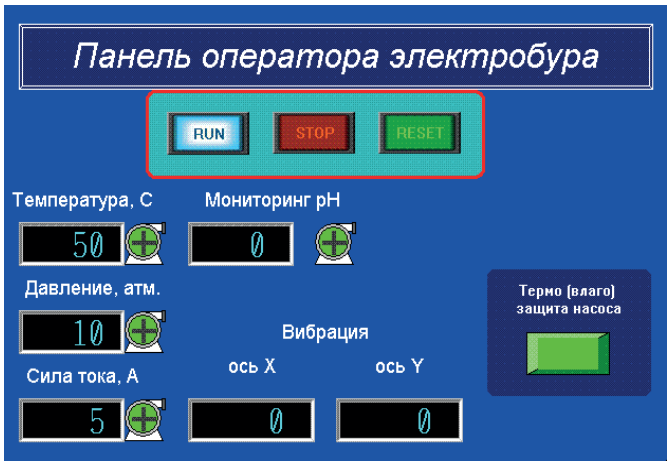


Рисунок 1. Сенсорная панель оператора мониторинга и управления электроприводом бура.

При разработке модели передачи данных предлагалась цифровая передача сигнала с использованием несущего и модулированного сигнала [6, 7]. Исследовалось варьирование различных модуляций с целью фиксации изменения сигнала и определения характера прохождения сигнала через каротажный кабель. Модель представляла собой структуру телеметрической системы. В ней присутствовал источник трехфазного напряжения, в реальности он выступает в роли трехфазного трансформатора питающего электробур. Далее последовательность из RLC моделирует кабель, имеющий активное и реактивное сопротивления R, индуктивность L и емкость C [6, 8, 9].

На рис. 3 представлены результаты исследования модели передачи данных из нефтяной скважины. Верхний график модели показывает имитацию передачи исходного сигнала в блоке погружной телеметрии. Логические уровни напряжений представлены двумя сигналами: уровень 0 соответствует размыканию ключа (на графике желтый меандр), а уровень 1 соответствует замыканию ключа (на графике фиолетовый меандр). На нижнем графике рис. 3 показаны меандры принятого сигнала в наземном блоке управления. Таким образом, показана возможность передачи цифрового сигнала по каротажному кабелю. Следующей задачей являлось определение возможности оценки передаваемой информации при зашумлении канала.

В работе было проведено исследование параметрической модуляции сигнала при моделировании эксперимента (длина несущей последовательности/шум).

Известны типовые виды модуляций: аналоговая, частотная, фазовая и др. При работе в зашумленных линиях передачи используются различные фильтры для выделения полезного сигнала: фильтр скользящего среднего, цифровой косинус-фильтр, полосовые фильтры и др. [10]. В данной работе предложена методика модуляции сигнала, получаемого за счет синхронного наложения информационного двоичного сигнала на несущую

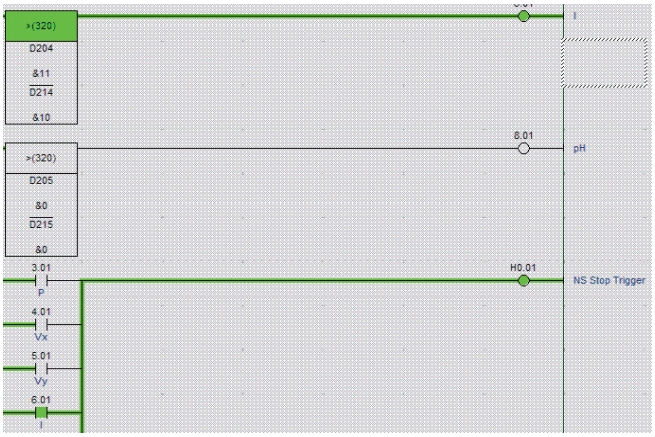


Рисунок 2. Фрагмент релейно-контактной схемы имитации аварийного выключения привода бура при превышении потребляемого тока.

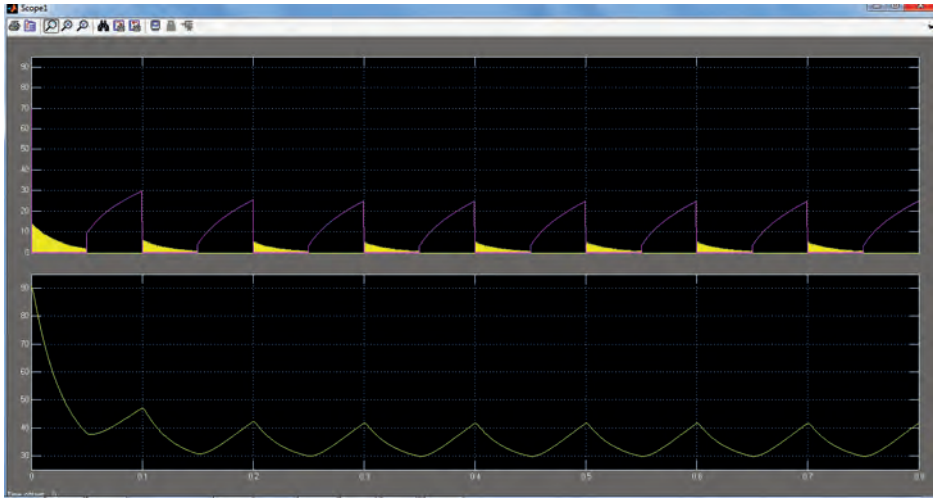


Рисунок 3. Результаты эксперимента по моделированию передачи/приема логических сигналов: верхний график модели показывает имитацию передачи исходного сигнала в блоке погружной телеметрии; на нижнем графике показаны меандры принятого сигнала в наземном блоке управления.

кодированную последовательность с использованием инверсного оператора сложения по модулю 2 (рис. 4). Длина несущей последовательности кодировалась от 4 до 7 бит.

Выбор длины несущей последовательности L определялся по трем параметрам: количеству кодировки информации n, качеству распознавания информационного сигнала k и зашумленности линии sh (количество измененных битов) $L = f(n, k, sh)$.

В табл. 2 приведен пример кодировки информационных сигналов при $L = 4$, т. е. при $L = 4$ можно закодировать $2^4 = 16$ сигналов.

Таблица 2. Пример кодировки информационных сигналов при $L = 4$.

№	Кодировка	Измеряемый параметр
1	0000	Температура
2	0001	Давление
3	0010	Вибрация
	…	
16	1111	Сопротивление изоляции

Устойчивость к зашумлению оценивалась распознаванием модулированного сигнала. Алгоритм распознавания заключался в наложении маски модулированного сигнала на зашумленный с использованием корреляционного анализа парных значений булевых переменных. Результаты эксперимента по определению зависимости длины несущей последовательности/шум приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты зависимости по распознаванию информационного сигнала (длина несущей последовательности/шум).

Длина L, бит	Шум sh, бит	Коэффициент корреляции	Уровень распознавания
4	1	0,75	Хороший
4	2	0,5	Неудовлетворительный
6	2	0,67	Удовлетворительный
7	3	0,57	Удовлетворительный

Результаты поставленных экспериментов показывают, что при использовании параметризированного модулированного сигнала с коэффициентом корреляции более 0,5 достигается удовлетворительный прием/передача информации с использованием каротажного кабеля при нефтедобыче.

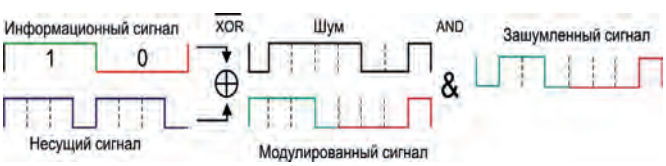


Рисунок 4. Схема модуляции сигнала: ⊕ – оператор суммы по модулю 2; & – оператор логического умножения (конъюнктор).

Заключение

Исходя из представленной модели, с помощью модуля Simulink SimPower Systems была создана виртуальную модель среды передачи данных системы погружной телеметрии. Для подавления помех цифрового сигнала был разработан и исследован фильтр на основе модуляции сигнала с использованием оператора XOR. Данная модель может быть использована в дальнейшем при постановке экспериментов для распознавания передаваемых сигналов из скважины. Для мониторинга и управления приводом электробура разработано программное обеспечение для программирования контроллера OMRON.

ЛИТЕРАТУРА

1. Принцип построения автоматизированной системы управления электроприводом механизмов добычи нефти / Э. Р. Енекеева [и др.] // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. № 7. С. 116–125.
2. Мамлеев Т. С., Давыдов А. В. Импульсная пропускная способность каротажных кабелей // Изв. УГГГА. Сер. Геология и геофизика. 2002. Вып. 15. С. 155–166.
3. Способ передачи информации по каротажному кабелю: пат. 2455697 Рос. Федерация. № 2009128729/08; заявл. 27.07.09; опубл. 10.07.12, Бюл. № 19. 11 с.
4. Волынская А. В., Калинин П. М. Новые помехоустойчивые сигналы для интеллектуального канала телемеханики // Фундаментальные исследования. 2012. № 11 (Ч. 4). С. 922–926.
5. Костарев С. Н., Середа Т. Г. Разработка системы управления доступом в шахту на базе промышленного контроллера OMRON // Изв. УГГУ. 2016. № 1 (41). С. 88–93.
6. Сиберт У. М. Цепи, сигналы, системы. М.: Мир, 1988. Ч. 2. 360 с.
7. Сильвинская К. А., Голышко З. Н. Расчет фазовых и амплитудных корректоров: справочник. М.: Связь, 1980. 104 с.
8. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высш. школа, 2000. 462 с.
9. Шаронов А. А., Володин В. Д., Кариев И. Р., Решетов Р. С., Полевщиков И. С. Моделирование передачи данных через трехфазный каротажный кабель средствами MATLAB Simulink // Молодой ученый. 2015. № 6 (86). С. 64–67.
10. Brackett P. O., Sedra A. S. Active Compensation for high frequency effects in op-amp circuit s with applications to active RC filters // IEEE Transactions on Circuits and Systems. 1976. Vol. 23, no. 2. P. 68–72.

REFERENCES

1. Enekeeva E. R. et al. 2013, *Printsip postroeniya avtomatizirovannoy sistemy upravleniya elektroprivodom mekhanizmov dobychi nefti* [The principle of constructing an automated control system for electric drives of oil production mechanisms]. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining], no. 7, pp. 116–125.
2. Mamleev T. S., Davydov A. V. 2002, *Impul'snaya propusknaya sposobnost' karotazhnykh kabeley* [Pulse throughput of borehole cables]. I*zv. UGGGA. Ser. Geologiya i geofizika* [News of the Ural State Mining University. Series Geology and Geophysics], no. 15, pp. 155–166.

3. *Sposob peredachi informatsii po karotazhnomu kabelyu: pat. 2455697 Ros. Federatsiya. № 2009128729/08; zayavl. 27.07.09; opubl. 10.07.12, Byul. № 19* [Method for transmitting information over a borehole cable: Patent 2455697 Russian Federation. No. 2009128729/08; Claimed 27.07.09; Published 10.07.12, Bul. no. 19.], 11 p.
4. Volynskaya A. V., Kalinin P. M. 2012, *Novye pomekhoustoychivye signaly dlya intellektual'nogo kanala telemekhaniki* [New noise-proof signals for the intelligent telemechanics channel]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], no. 11, pt. 4, pp. 922–926.
5. Kostarev S. N., Sereda T. G. 2016, *Razrabotka sistemy upravleniya dostupom v shakhtu na baze promyshlennogo kontrollera OMRON* [Development of the access control system in the mine on the basis of the industrial OMPON controller]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1(41), pp. 88–93.
6. Sibert U. M. 1988, *Tsepi, signaly, sistemy* [Chains, signals, systems], Moscow, pt. 2, 360 p.
7. Sil'vinskaya K. A., Golyshko Z. N. 1980, *Raschet fazovykh i amplitudnykh korrektorov: spravochnik* [Calculation of phase and amplitude correctors: a reference book], Moscow, 104 p.
8. Baskakov S. I. 2000, *Radiotekhnicheskie tsepi i signaly* [Radio circuits and signals], Moscow, 462 p.
9. Sharonov A. A., Volodin V. D., Kariev I. R., Reshetov R. S., Polevshchikov I. S. 2015, *Modelirovanie peredachi dannykh cherez trekhfaznyy karotazhnyy kabel' sredstvami MATLAB Simulink* [Simulation of data transfer via a three-phase borehole cable using the MATLAB Simulink]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], no. 6(86), pp. 64–67.
10. Brackett P. O., Sedra A. S. 1976, Active Compensation for high frequency effects in op-amp circuit s with applications to active RC filters. IEEE Transactions on Circuits and Systems, vol. 23, no. 2, pp. 68–72.

Сергей Николаевич Костарев,
iums@dom.raid.ru
Татьяна Геннадьевна Середа,
stg41@mail.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, Пермь, Комсомольский просп., 29

Sergey Nikolaevich Kostarev,
iums@dom.raid.ru
Tat'yana Gennad'evna Sereda,
stg41@mail.ru
Perm National Research Polytechnic University
Perm, Russia

УДК 622.322.8

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-71-74

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНОВ РАЗРУШЕНИЯ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМБАЙНОВ ТИПА «УРАЛ»

Д. И. Шишлянников

Enhancement of the bodies of destruction of heading-and-winning machines of the "Ural" type

D. I. Shishlyannikov

The author performed analysis of cutting schemes for massifs of potassium-magnesium salts by the executive body of heading-and-winning machines of the "Ural" type. The author have proved that the accepted design parameters of the rock-breaking executive bodies of these excavating machines determine the significant output of small difficult for concentration classes in breakage products during chip formation, which causes an increased specific energy consumption of the process of destruction of the potassium massif. The cutters of rotary disks realize the most complex cutting schemes for working face, and their trajectories are determined by the frequencies of relative and portable rotation, as well as by the feed rate of the combine. A significant amount of dust-like classes in ore form during the working face destruction by a breaker machine, berm cutters and feed screws, due to the small thickness of the cuts and the sickle-shaped chips, as well as the implementation of a successive cutting scheme. The specific energy costs for the separation of potassium ore by the auxiliary executive bodies are 5-6 times higher than for the destruction of the working face by the cutters of the planetary-disc executive bodies of the combine. The article presents the results of experimental studies of the process of potassium ore destruction by successive, staggered and cross cuts. The author proves efficiency of the cross cutting scheme of cutting potassium salts in comparison with traditional schemes of massif destruction: the specific energy inputs decrease by 25-30% and the output of small unenrichable fractions in ore decreases tenfold. The author proposes the design of the perspective planetary-disk executive body of the combine, which performs the destruction of the potassium massif with crossing cuts. The author substantiates the necessity of using the staggered cutting scheme for the destruction of the potassium massif by auxiliary executive bodies of the "Ural" type combines. Implementation of the proposed technical solutions aimed at improving the executive bodies of tunnel-cleaning combines of "Ural" type does not require significant material costs and a drastic change in the technology of production of these mining machines.

Keywords: heading-and-winning machine; executive body; cross cutting scheme; potash massif; specific energy consumption; unenrichable fractions.

Выполнен анализ схем резания массивов калийно-магниевых солей исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов типа «Урал». Доказано, что принятые конструктивные параметры породоразрушающих исполнительных органов данных выемочных машин определяют значительный выход мелких труднообогатимых классов в продуктах отбойки при стружкообразовании, что обусловливает повышенные удельные энергозатраты процесса разрушения калийного массива. Наиболее сложные схемы резания забоя реализуют резцы поворотных дисков, траектории движения которых определяются частотами относительного и переносного вращения, а также скоростью подачи комбайна. Существенное количество пылевидных классов в руде образуется при разрушении забоя отбойным устройством, бермовыми фрезами и шнеками, что обусловлено малыми толщинами резов и серповидной формой стружек, а также реализацией последовательной схемы резания. Отмечено, что удельные энергозатраты на отделение калийной руды вспомогательными исполнительными органами в 5–6 раз выше, чем при разрушении забоя резцами планетарно-дисковых исполнительных органов комбайна. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса разрушения калийной руды последовательными, шахматными и перекрестными резами. Доказана эффективность перекрестной схемы резания калийных солей по сравнению с традиционными схемами разрушения массива: на 25–30 % снижаются удельные энергозатраты и на порядок выход мелких необогатимых фракций в руде. Предложена конструкция перспективного планетарно-дискового исполнительного органа комбайна, осуществляющего разрушение калийного массива пересекающимися резами. Обоснована необходимость использования шахматной схемы резания при разрушении калийного массива вспомогательными исполнительными органами комбайнов типа «Урал». Реализация предложенных технических решений, направленных на совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов типа «Урал», не требует значительных материальных затрат и кардинального изменения технологии производства данных добычных машин.

Ключевые слова: проходческо-очистной комбайн; исполнительный орган; перекрестная схема резания; калийный массив; удельные энергозатраты; необогатимые фракции.

Для предприятий, осуществляющих добычу калийно-магниевых руд подземным способом, актуальными остаются задачи повышения эффективности использования выемочных машин механизированных комплексов, снижения удельных энергозатрат процесса разрушения забоя и уменьшения количества мелких пылевидных классов в продуктах отбойки. Решение данных задач возможно посредством совершенствования существующих и разработки новых исполнительных органов добычных комбайнов, обеспечивающих разрушение соляных массивов с рациональными параметрами резания.

В настоящее время на калийных рудниках России и стран Таможенного союза наибольшее распространение получили комбайны типа «Урал» производства ОАО «КМЗ» (г. Копейск, Челябинская обл.), которые выпускаются уже более 30 лет и в целом положительно характеризуются сотрудниками инженерно-технических и сервисных служб добывающих предприятий. Данные выемочные машины оснащены гусеничным ходовым оборудованием и комбинированными породоразрушающими исполнительными органами. При работе комбайнов «Урал» большая часть забоя (от 85 до 95 %) обрабатывается резцами поворотных дисков пространственных планетарных исполнительных органов; кровля выработки формируется верхним отбойным устройством, а зачистка почвы и погрузка отбитой руды осуществляются бермовыми фрезами и шнеками.

Анализ схем разрушения забоя исполнительными органами добычных машин и обобщение результатов известных исследований показывают, что наиболее сложные схемы резания реализуют резцы поворотных дисков планетарных исполнительных органов, траектории движения которых определяются частотами относительного и переносного вращения, а также скоростью подачи комбайна [1, 2]. При этом параметры резания у поворотных дисков (толщина h и шаг резания t, углы установки резца относительно поверхности забоя) постоянно меняются в определенных пределах, что ухудшает энергетические показатели процесса разрушения и приводит к неравномерному износу резцов. При стружкообразовании в зонах входа и выхода из контакта с массивом резцов поворотных дисков наблюдается значительный выход мелких, необогатимых фракций (крупность частиц менее 0,25 мм). Повышенное содержание мелких классов в руде приводит как к дополнительным затратам на обогащение руды, так и потерям полезного компонента [3, 4].

Значительное количество пылевидных классов в руде образуется при разрушении забоя отбойным устройством, бермовыми фрезами и шнеками, что обусловлено малой толщиной резов и серповидной формой стружек, а также последовательной схемой разрушения массива. Удельные энергозатраты на отделение калийной руды вспомогательными исполнительными органами в 5–6 раз выше, чем при разрушении забоя резцами планетарно-дисковых исполнительных органов комбайна [5–7].

К достоинствам планетарно-дисковых исполнительных органов горных комбайнов следует отнести возможность создания

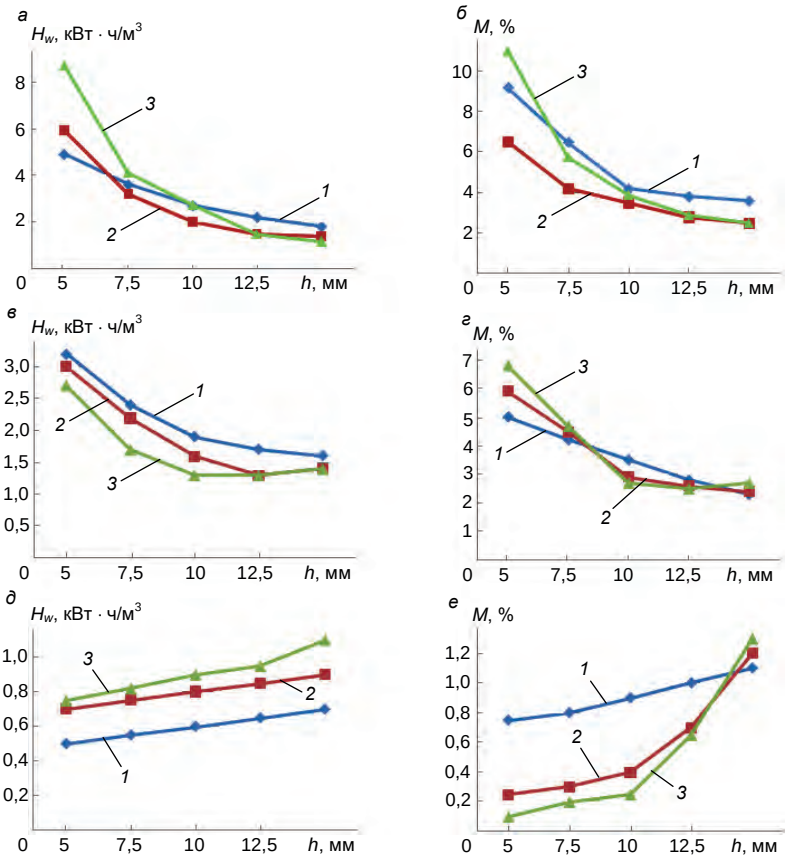


Рисунок 1. Графики изменения удельных энергозатрат (*а*, *в*, *д*) и количества мелких необогатимых классов (*б*, *г*, *е*) при разрушении блоков калийной руды одиночным резцом в зависимости от толщины стружки *h* и шага резания *t*. *а*, *б* – последовательная схема резания; *в*, *г* – шахматная схема резания; *д*, *е* – перекрестная схема резания; *1* – *t* = 30 мм; *2* – *t* = 40 мм; *3* – *t* = 50 мм (резец Д-6.22) [3, 8].

на поверхности забоя сетки пересекающихся резов. Исследования, выполненные сотрудниками Пермского национального исследовательского политехнического университета и Санкт-Петербургского горного университета, показывают, что по сравнению с традиционными схемами разрушения забоя (шахматной и последовательной) использование схемы перекрестного резания позволяет снизить удельные энергозатраты H_w процесса разрушения массива на 25–30 % и уменьшить выход мелких, труднообогатимых классов *M* в продуктах отбойки на порядок (рис. 1) [8–10].

Суть перекрестного резания заключается в том, что разрушение каждого последующего слоя породы осуществляется резами, которые пересекаются под определенным углом с резами предыдущего слоя. Экспериментально доказано, что снижение энергетических показателей процесса отбойки достигается использованием при отработке каждого последующего слоя породы техногенных трещин и ослаблений, оставшихся после разрушения предыдущего слоя [3, 8]. При реализации перекрестной схемы разрушения процесс формирования последовательных элементарных сколов в срезе приобретает более упорядоченный характер и определяется параметрами и расположением пересекающихся резов, которые создают на забое области локальных ослаблений и концентрации напряжений. Сложное сечение стружки и наличие зон локализованных ослаблений обуславливает появление в срезе областей, разрушаемых сколами с устойчивыми значениями параметров, характеризующих их. Иными словами, посредством создания на забое сетки пересекающихся резов формируются участки, которые при отработке последующих слоев будут отделяться от массива единичными устойчивыми сколами с заданными параметрами.

Формируя параметры элементарных сколов в срезе, снижая тем самым объем раздробленной породы, можно уменьшить удельную энергоемкость процесса разрушения массива и существенно снизить выход мелких, труднообогатимых классов руды, а также уменьшить динамические нагрузки на резцы комбайнов, что обусловит повышение наработки породоразрушающего инструмента [11–13].

На практике реализация перекрестной схемы резания может быть обеспечена путем замены существующих двухдисковых планетарных исполнительных органов комбайнов «Урал» на четырехдисковые породоразрушающие рабочие органы (рис. 2).

Предлагаемая конструкция рабочего органа горного комбайна состоит из четырех поворотных дисков *1–4*, разрушающих забой пересекающимися резами посредством установленных на них рабочих инструментов (резцов) *5*. Относительное вращение осуществляется вокруг осей дисков с частотой ω_o. Диски *1* и *3* разрушают забой радиально-тангенциальными резами, направленными от центра к периферии забоя. Диски *2* и *4* вращаются вокруг своих осей в противоположном дискам *1* и *3* направлении и разрушают забой тангенциально-радиальными резами, направленными от периферии к центру забоя. Диски *1–4* устанавливаются на поворотных редукторах *6*, вращающий момент на валы которых передается от раздаточного редуктора *7* (водила). Переносное вращение дисков осуществляется вокруг оси *8* раздаточного редуктора *7* с частотой вращения $\omega_п$.

Наибольшая доля мелких, пылевидных классов руды, образующихся при резании калийного массива планетарно-дисковыми исполнительными органами комбайнов «Урал», формируется при разрушении периферийных участков забоя, где резы характеризуются малой толщиной стружки *h* и значительными шагами резания *t*. С целью обеспечения рациональных параметров резания на периферийных участках забоя на поворотных редукторах *6* устанавливают гребенки ротора *9* с закрепленными на них породоразрушающими инструментами *10*.

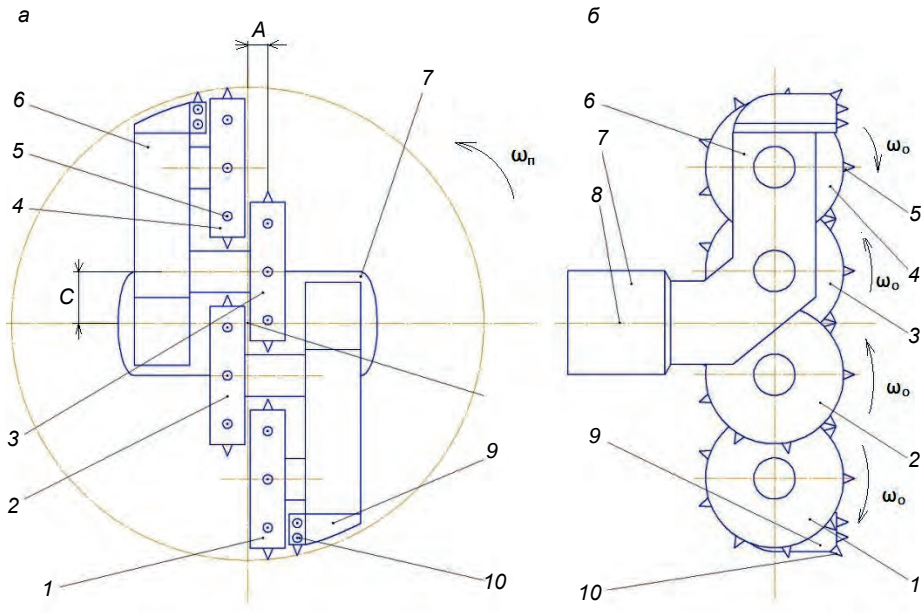


Рисунок 2. Планетарно-дисковый исполнительный орган, реализующий перекрестную схему разрушения калийного массива. *а* – вид спереди; *б* – вид сбоку.

Большая часть забоя разрушается резцами *5* поворотных дисков *1–4*. Разнонаправленное относительное вращение дисков *1, 3* и *2, 4* позволяет компенсировать изгибающий момент на валу раздаточного редуктора *7* исполнительного органа и обеспечить курсовую устойчивость проходческо-очистного комбайна.

Так как поворотные диски предлагаемого исполнительного органа имеют разнонаправленное относительное вращение, а смещение резов осуществляется за счет переносного вращения дисков, то на забое (рис. 3) образуется сетка пересекающихся резов *1*, имеющих тангенциально-радиальное направление (от периферии забоя к центру), и резов *2*, имеющих радиально-тангенциальное направление (от центра к периферии забоя). Взаимное пересечение резов происходит по всей площади забоя, обрабатываемой поворотными дисками. Значения шага резания t и толщины стружки h при разрушении калийного массива резцами поворотных дисков определяется по формулам [2]:

$$t = \frac{\pi\omega_{п}\sqrt{A^2 + \left(C - r_{д}\cos\varphi\right)^2}}{\omega_{о} z_{д}}; \quad h = \frac{v_{п}\sin\varphi}{k_{д}\omega_{о}},$$

где φ – угол поворота диска относительно оси вращения при входе резца в контакт с забоем, рад; $r_{д}$ – радиус поворотного диска, мм; C – расстояние от оси вращения диска до оси вращения водила, мм; A – боковое смещение режущего диска относительно оси вращения водила; $z_{д}$ – количество резцов на поворотном диске, шт.; $\omega_{о}$ – частота относительного вращения дисков, об/мин; $\omega_{п}$ – частота переносного вращения дисков, об/мин; $v_{п}$ – скорость подачи комбайна на забой, мм/мин; $k_{д}$ – количество резцовых дисков на исполнительном органе, шт.

Наибольшая эффективность схемы перекрестного резания обеспечивается при толщине стружки h = 5–10 мм и отношении t/h = 2,5–4,5 [8].

Гребенки ротора, закрепленные на поворотных редукторах исполнительного органа, совершают вращение вокруг оси водила и осуществляют разрушение горного массива тангенциальными резами *3* в виде концентрических окружностей. Толщина стружки $h_{г}$, отделяемой от массива резцами гребенок, постоянная и рассчитывается по формуле

$$h_{г} = v_{п} / \left(\omega_{п} m\right),$$

где m – число резцов в линии резания, шт.

Шаг резов $t_{г}$, реализуемых резцами гребенок ротора, имеет постоянное значение, которое определяется схемой расстановки резцов на исполнительном органе. Следовательно, процесс разрушения периферийных участков забоя можно осуществлять с выбранными рациональными значениями $t_{г}$ и $h_{г}$, что позволит минимизировать образование необогатимых пылевидных классов и уменьшить удельные энергозатраты при отделении калийной руды от массива. Для шахматной схемы резания калийного массива рациональные значения $t_{г}$ = 40–50 мм, $h_{г}$ = 12–15 мм (рис. 1).

Конструкция и привод предлагаемого планетарно-дискового исполнительного органа незначительно отличаются от серийных исполнительных органов, установленных на комбайнах типа «Урал», и поэтому для их внедрения в производство не потребуется больших затрат [14]. Четырехдисковый планетарный исполнительный орган характеризуется большим моментом инерции по сравнению с существующими серийно выпускаемыми плане-

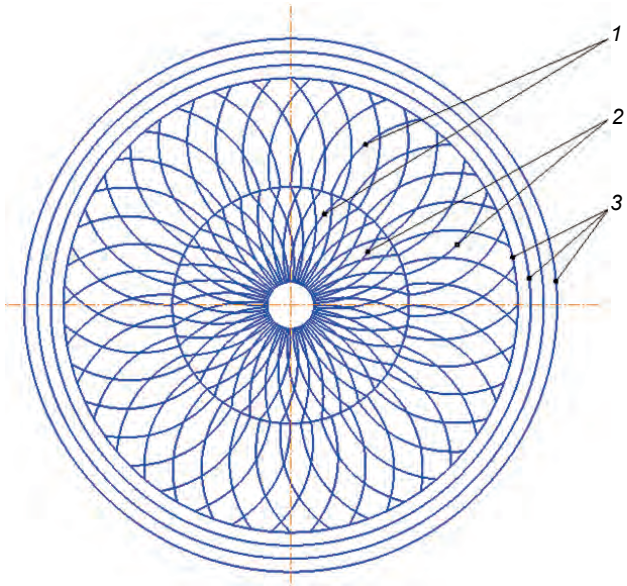


Рисунок 3. Схема расположения резов на забое при разрушении калийного массива предлагаемым планетарно-дисковым исполнительным органом. *1* – резы, направленные от периферии к центру забоя; *2* – резы, направленные от центра к периферии забоя; *3* – тангенциальные резы в виде концентрических окружностей, реализуемые резцами гребенок.

тарными органами комбайнов «Урал». Внедрение предлагаемого исполнительного органа обусловит снижение динамических нагрузок на приводы комбайна, что позволит увеличить время безотказной работы добычной машины [15, 16].

Снижение удельных энергозатрат и уменьшение количества мелких классов в продуктах отбойки при работе вспомогательных исполнительных органов комбайнов «Урал» возможно посредством использования схемы расстановки резцов, позволяющей реализовать разрушение калийного массива шахматными резами. Результаты экспериментальных исследований (рис. 1) показывают, что при разрушении массива шахматными резами глубиной 5 мм по сравнению с последовательными резами той же глубины удельные энергозатраты снижаются с 5–9 кВт · ч/м^3 до 2,7–3,2 кВт · ч/м^3, выход мелких классов сокращается с 7–9 % до 5–6 %.

Таким образом, совершенствование исполнительных органов комбайнов типа «Урал» и реализация рациональных схем резания обеспечивают:

– снижение удельных энергозатрат процесса разрушения массивов калийно-магниевых руд;

– уменьшение количества пылевидных, необогатимых классов в продуктах отбойки;

– уменьшение динамических нагрузок на породоразрушающий инструмент и приводы комбайнов и, как следствие, повышение надежности и времени наработки на отказ исполнительных органов в целом.

Реализация предложенных технических решений не требует значительных материальных затрат и кардинального изменения технологии производства выемочных комбайнов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Разрушение углей выемочными машинами. М.: Недра, 1984. 288 с.
2. Кабиев С. К. Оптимизация параметров комбайнов для добычи калийных руд. М.: Недра, 1992. 239 с.
3. Харламова Н. А., Зильбершмидт В. Г., Леонович М. Ф. Влияние глубины и шага резания на энергоемкость разрушения и выход некондиционной мелкой фракции // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 1/2. С. 8–12.
4. Старков Л. И., Харламова Н. А. Исследование схемы перекрестного резания // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 7/8. С. 121–123.
5. Совершенствование исполнительных органов проходческо-очистных комбайнов «Урал» / В. В. Буевич [и др.] // Горный журнал. 2016. № 4. С. 52–56.
6. Особенности расчета и увеличения производительности скребковых конвейеров проходческо-очистных комбайнов / Н. В. Чекмасов [и др.] // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 7. С. 8–10.
7. Чекмасов Н. В., Сидякин Д. А. Определение рациональных параметров шнекового погрузчика // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 7. С. 52–53.
8. Шишлянников Д. И. Повышение эффективности отделения калийной руды от массива резцами добычных комбайнов: дис. … канд. техн. наук. СПб.: СПГГУ, 2012. 159 с.
9. Simulation of the process of destruction of the array of cambrian clays by cutters actuating device of sinking machinery in terms of OJSC “Metrostroy”, St. Petersburg / S. A. Lavrenko [and others] // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, № 7. P. 16409–16417.
10. Assessment of URAL-20R machine use efficiency while developing potash salt fields / G. D. Trifanov [and others] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 9. P. 5722–5726.
11. Чекмасов Н. В., Немцев В. А. Обоснование направлений совершенствования проходческо-очистных комбайнов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2005. № 6. С. 238.
12. Чеботарев С. И. Опыт работы фрезерного комбайна на Коелгинском месторождении мрамора // Изв. УГГУ. 2015. № 3 (39). С. 42–46.
13. Лавренко С. А., Труфанова И. С. Теоретические исследования процесса разрушения массива кембрийских глин в компьютерной среде ANSYS // ГИАБ. 2015. № 5. С. 236–244.
14. Чекмасов Н. В., Шишлянников Д. И. Способы и устройства для реализации процессов разрушения калийных пластов перекрестными резами // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 11. С. 2–5.
15. Ivanov S. L., Zvonarev I. E. Analysis of changes in hardness of a metal surface layer in areas of high stress and methods of determining residual life of parts for mining machines // International conference on advanced materials and new technologies in modern materials science. 2016. Vol. 116, № 1. P. 101–109.
16. Шишлянников Д. И. Использование регистраторов параметров работы проходческо-очистных комбайнов при прогнозировании газодинамических явлений на калийных рудниках // Изв. УГГУ. 2016. № 1 (41). С. 106–111.

REFERENCES

1. Pozin E. Z., Melamed V. Z., Ton V. V. 1984, *Razrushenie ugley vyemochnymi mashinami* [Destruction of coals by excavating machines], Moscow, 288 p.
2. Kabiev S. K. 1992, *Optimizatsiya parametrov kombaynov dlya dobychi kaliynykh rud* [Optimization of the parameters of combines for the extraction of potash ores], Moscow, 239 p.
3. Kharlamova N. A., Zil'bershmidt V. G., Leonovich M. F. 1997, *Vliyanie glubiny i shaga rezaniya na energoemkost' razrusheniya i vykhod nekonditsionnoy melkoy fraktsii* [Influence of the depth and cutting step on the energy intensity of the fracture and the volume of the substandard fine fractions]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 1/2, pp. 8–12.
4. Starkov L. I., Kharlamova N. A. 1997, *Issledovanie skhemy perekrestnogo rezaniya* [Study of the cross-cutting scheme]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7/8, pp. 121–123.
5. Buevich V. V. et al. 2016, *Sovershenstvovanie ispolnitel'nykh organov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov «Ural»* [Improvement of the executive bodies of heading-and-winning machines "Ural"]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 4, pp. 52–56.
6. Chekmasov N. V. et al. 2006, *Osobennosti rascheta i uvelicheniya proizvoditel'nosti skrebkovykh konveyerov prokhodchesko-ochistnykh kombaynov* [Peculiarities of calculation and increase in productivity of scraper conveyors of heading-and-winning machines]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 7, pp. 8–10.
7. Chekmasov N. V., Sidyakin D. A. 2010, *Opredelenie ratsional'nykh parametrov shnekovogo pogruzchika* [Determination of the rational parameters of a screw-type loader]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 7, pp. 52–53.
8. Shishlyannikov D. I. 2012, *Povyshenie effektivnosti otdeleniya kaliynoy rudy ot massiva reztsami dobychnykh kombaynov: dis. … kand. tekhn. nauk* [Increasing the efficiency of separation of potassium ore from the massif with cutters of mining combines: dissertation of candidate of technical sciences], St. Petersburg, 159 p.
9. Lavrenko S. A. et al. 2015, Simulation of the process of destruction of the array of cambrian clays by cutters actuating device of sinking machinery in terms of OJSC “Metrostroy”, St. Petersburg. International Journal of Applied Engineering Research, vol. 10, no. 7, pp. 16409–16417.
10. Trifanov G. D. et al. 2016, Assessment of URAL-20R machine use efficiency while developing potash salt fields. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, no. 9, pp. 5722–5726.
11. Chekmasov N. V., Nemtsev V. A. 2005, *Obosnovanie napravleniy sovershenstvovaniya prokhodchesko-ochistnykh kombaynov* [Substantiation of directions of improvement of heading-and-winning machines]. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining], no. 6, pp. 238.
12. Chebotarev S. I. 2015, *Opyt raboty frezernogo kombayna na Koelginskom mestorozhdenii mramora* [Experience of milling combine working in Koelginskoe marble field]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 3(39), pp. 42–46.
13. Lavrenko S. A., Trufanova I. S. 2015, *Teoreticheskie issledovaniya protsessa razrusheniya massiva kembriyskikh glin v komp'yuternoy srede ANSYS* [Theoretical studies of the destruction of the Cambrian clay massif in the ANSYS computer environment]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 5, pp. 236–244.
14. Chekmasov N. V., Shishlyannikov D. I. 2013, *Sposoby i ustroystva dlya realizatsii protsessov razrusheniya kaliynykh plastov perekrestnymi rezami* [Methods and devices for the implementation of processes of destruction of potash seams by cross cuts]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics], no. 11, pp. 2–5.
15. Ivanov S. L., Zvonarev I. E. 2016, Analysis of changes in hardness of a metal surface layer in areas of high stress and methods of determining residual life of parts for mining machines. International conference on advanced materials and new technologies in modern materials science, vol. 116, no. 1, pp. 101–109.
16. Shishlyannikov D. I. 2016, *Ispol'zovanie registratorov parametrov raboty prokhodchesko-ochistnykh kombaynov pri prognozirovanii gazodinamicheskikh yavleniy na kaliynykh rudnikakh* [Using registers of operating parameters of heading-and-winning machines in predicting gas-dynamic phenomena on potash mines], *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1(41), pp. 106–111.

Дмитрий Игоревич Шишлянников,
4varjag@mail.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, Пермь, Комсомольский просп., 29

Dmitriy Igorevich Shishlyannikov,
4varjag@mail.ru
Perm National Research Polytechnic University
Perm, Russia

74 Шишлянников Д. И. Совершенствование органов разрушения проходческо-очистных комбайнов типа "Урал" // Известия УГГУ. 2017. Вып. 2(46). С. 71–74. DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-71-74

УДК 622. 532

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-75-77

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВАЛОВ ШАХТНЫХ СЕКЦИОННЫХ НАСОСОВ

С. А. Тимухин, Е. О. Чураков, А. О. Ислентьев

Evaluation of the stress-strain state of shafts of mine section pumps

S. A. Timukhin, E. O. Churakov, A. O. Islent'ev

The authors consider mine sectional centrifugal pumps, in particular, features of the stress-strain state of the shafts of two-flow and single-flow pumps. Due to the development of mine sectional dual-flow pumps, there is a need for a comparative evaluation of the stress-strain state of the shafts. Such an assessment should precede the development and construction of a pump design of any series, since sufficient strength and stiffness of the shaft ensure a stable operation of the pump rotor, and consequently the entire pump unit as a whole. The article presents the stresses of three components: the stresses from bending, torsion and axial force. The authors separately consider the stresses from the axial force for two variants of the pump impellers being fit on the shaft. With loose fit, the stresses from the axial force are distributed evenly over the entire length of the shaft, and with interference fit tensions increase stepwise depending on the number of impellers. In double-flow pumps, the axial force will be half that in comparison with similar single-flow pumps. For interference fit, the nature of tension stresses differs significantly. The authors present equivalent shaft stresses of the pump types under consideration. The authors carried out a comparative evaluation of the equivalent stresses of single-flow and double-flow centrifugal section pumps on the example of CNS-300-600 and CNSD-600-300 pumps. Estimates show that equivalent stresses are lower in CNSD pumps than in CNS pumps, which indicates more favorable operating conditions for their shafts and that the design of dual-flow pumps is more perfect.

Keywords: centrifugal pumps; shaft; stress-strain state; comparative evaluation; equivalent stresses.

Рассматриваются шахтные секционные центробежные насосы, в частности, особенности напряженно-деформированного состояния валов двухпоточных и однопоточных насосов. В связи с разработкой шахтных секционных двухпоточных насосов возникает необходимость в проведении сравнительной оценки напряженно-деформированного состояния валов. Такая оценка должна предшествовать разработке и созданию конструкции насоса любого типоряда, поскольку достаточная прочность и жесткость вала обеспечивают устойчивую работу ротора насоса, а следовательно, и всего насосного агрегата в целом. Приведены схемы напряжений трех составляющих: напряжения от изгиба, кручения и осевой силы. В отдельности рассмотрены напряжения от осевой силы при двух вариантах посадки рабочих колес насоса на вал. При свободной посадке напряжения от осевой силы распределяются равномерно по всей длине вала, а при посадке с натягом напряжения ступенчато возрастают в зависимости от количества рабочих колес. При этом в двухпоточных насосах осевая силы будет в два раза меньше по сравнению с аналогичными однопоточными насосами. При посадке с натягом характер растягивающих напряжений существенно отличается. Также представлены эквивалентные напряжения валов рассматриваемых типов насосов. Проведена сравнительная оценка эквивалентных напряжений однопоточных и двухпоточных центробежных секционных насосов на примере насосов ЦНС-300-600 и ЦНСД-600-300. По данным оценки видно, что эквивалентные напряжения ниже в насосах ЦНСД, чем в насосах ЦНС, что говорит о более благоприятных условиях работы их валов и что конструкция двухпоточных насосов является более совершенной.

Ключевые слова: центробежные насосы; вал; напряженно-деформированное состояние; сравнительная оценка; эквивалентные напряжения.

В связи с разработкой в настоящее время шахтных секционных насосов по двухпоточной схеме [1–4] возникает необходимость сравнительной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) валов одно- и двухпоточных насосов.

С учетом того что в двухпоточных насосах принят принципиально другой способ компенсации осевых сил (за счет симметричного расположения рабочих колес), нагруженность валов этих насосов от осевых сил также будет существенно отличаться. Все это предполагает необходимость всесторонней оценки нагружения валов двухпоточных насосов, являющейся основой для расчета валов на прочность и динамическую устойчивость под действием максимально возможных нагрузок. Такая оценка должна предшествовать разработке и созданию конструкции насоса любого типоряда, поскольку достаточная прочность и жесткость вала обеспечивают устойчивую работу ротора насоса, а следовательно, и всего насосного агрегата в целом.

В качестве исходной информационной базы рассмотрим нагруженность валов центробежных секционных насосов, выполненных по однопоточной гидравлической схеме с рабочими секциями и разгрузочным устройством для компенсации осевого усилия (рис. 1).

В условиях нашей задачи и первого приближения пренебрегаем неравномерностью распределения сил тяжести на валу от всех деталей ротора и заменяем их равномерно распределенной нагрузкой. В соответствии с этим на рис. 2 приведены эпюры изгибающих $\sigma_{изг}$ и крутящих напряжений $\sigma_{кр}$, а также напряжений от осевых сил $\sigma_{раст}$, действующих на вал [5–8].

Отдельно следует проанализировать нагружение вала от осевых сил, которое зависит от характера посадки на него рабочих колес. Здесь возможны два варианта посадок: колеса посажены на вал с натягом, и при этом осевые силы передаются на вал от каждого колеса индивидуально; колеса посажены свободно, и тогда осевые силы передаются по ступицам колес на опорную втулку, жестко закрепленную на валу. В этом случае вал нагружается от осевых сил равномерно по всей длине от разгрузочного диска до опорной втулки (что соответствует прямоугольной эпюре $\sigma_{раст1}$ на рис. 2). В случае посадки колес с натягом эпюра $\sigma_{раст2}$ будет соответствовать трапецеидальной эпюре напряжения. При этом максимальное расчетное значение осевых сил, передаваемых на вал, будет одинаковым. Различными будут участки приложения этих сил (в первом случае они распределяются равномерно по всей длине вала, а во втором – приложены на участке вала, расположенного между разгрузочным диском и последним рабочим колесом.

Анализ нагружений вала однопоточного насоса (рис. 2) показывает, что наиболее опасным участком вала является участок от середины вала до центра тяжести первого рабочего колеса. Рассматривая вал как деталь со сложным сопротивлением (растяжение, изгиб и кручение), необходимо определить наиболее опасное сечение вала на этом участке (с максимальным эквивалентным напряжением, включающим все три вида сопротивлений) для обоих случаев посадки рабочих колес на вал.

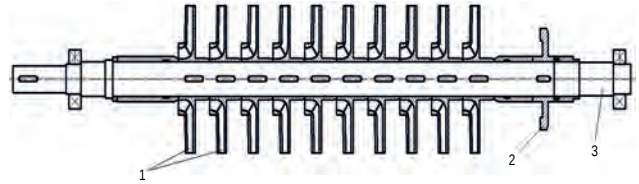


Рисунок 1. Схема ротора однопоточного насоса в сборе. 1 – рабочие колеса; 2 – разгрузочный диск; 3 – вал.

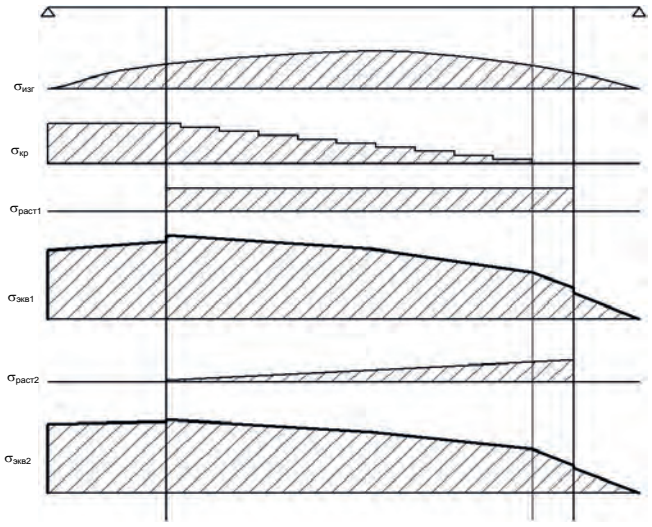


Рисунок 2. Эпюры напряжений вала однопоточного насоса. $\sigma_{раст1}$, $\sigma_{экв1}$ – растягивающее напряжение от осевой силы и эквивалентные напряжения при свободной посадке; $\sigma_{раст2}$, $\sigma_{экв2}$ – растягивающее напряжение от осевой силы и эквивалентные напряжения при посадке с натягом.

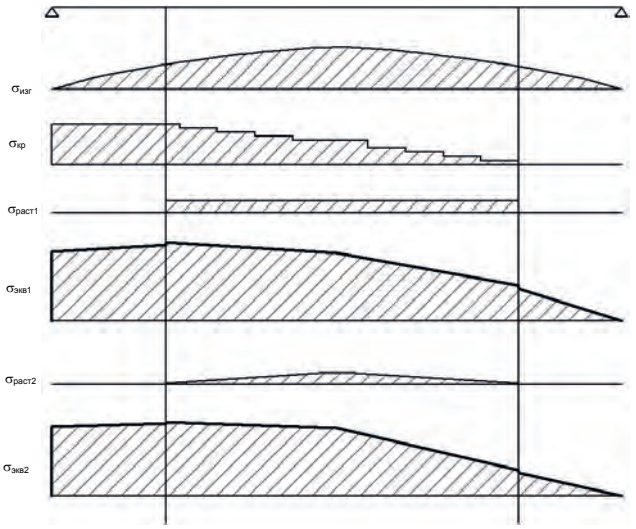


Рисунок 4. Эпюры напряжений вала двухпоточного насоса. $\sigma_{раст1}$, $\sigma_{экв1}$ – растягивающее напряжение от осевой силы и эквивалентные напряжения при свободной посадке; $\sigma_{раст2}$, $\sigma_{экв2}$ – растягивающее напряжение от осевой силы и эквивалентные напряжения при посадке с натягом.

Рассмотрим теперь особенности нагружения валов двухпоточных насосов согласно их гидравлической схеме (рис. 3). В сравнении с однопоточными насосами у двухпоточных отсутствует разгрузочное устройство, и центральная пара однопоточных колес заменяется одним двухпоточным. В сумме два этих преимущества позволяют более эффективно распределить нагрузки на валу двухпоточного насоса. В двухпоточных насосах осевая сила уравновешивается путем симметричного расположения рабочих колес на валу.

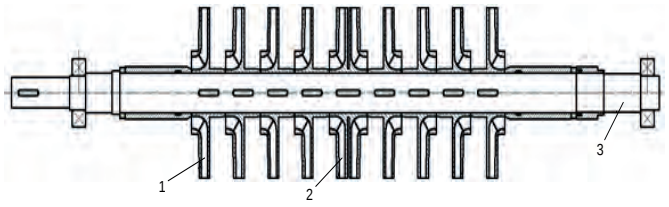


Рисунок 3. Схема ротора двухпоточного насоса в сборе. 1 – рабочее колесо одностороннее; 2 – рабочее колесо двустороннее; 3 – вал.

Схема нагруженности вала такого насоса представлена на рис. 4, откуда следует, что осевая сила в этом случае снижается примерно в два раза, но характер ее воздействия на вал останется аналогичным однопоточным насосам соответственно при посадке рабочих колес с натягом и без него.

На основе изложенного дадим расчетные зависимости $\sigma_{экв} = f(l_{вала})$ для однопоточных и двухпоточных насосов, соответственно для различных посадок рабочих колес на вал. В качестве примера такого расчета рассмотрим насос ЦНС 300–600 с 10 рабочими колесами и аналогичный ему по мощности и габаритным размерам ЦНСД 600–300. Характер изменения $\sigma_{экв}$ по длине вала для этих насосов приведен на рис. 5. Расчет значений осуществлялся в соответствии с 4-й теорией прочности по зависимости, МПа [9–12]:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\left(\sigma_{изг} + \sigma_{раст}\right)^2 + 3\sigma_{кр}^2}.$$

Анализ НДС показывает, что благодаря более совершенной гидравлической схеме, а также более эффективному использованию рабочего участка вала двухпоточных насосов осевая составляющая напряжений уменьшается вдвое по сравнению с однопоточными насосами ЦНС, что соответственно снижает величину эквивалентных напряжений. Для насоса ЦНС-300-600 максимальное эквивалентное напряжение составляют 45,3 МПа при свободной посадке и 42,8 МПа при посадке с натягом. Для насоса ЦНСД-600-300 максимальное эквивалентное напряжение снижается на 4 % и равняется 43,6 МПа при свободной посадке. При посадке с натягом в двухпоточном насосе максимальное значение эквивалентного напряжение не отличается от анало-

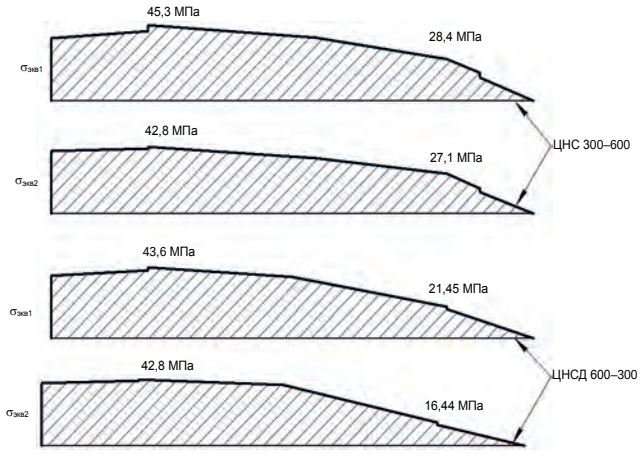


Рисунок 5. Эквивалентные напряжения по длине вала для насосов ЦНС 300-600 и ЦНСД 600-300 при свободной посадке и с натягом.

гичного значения в однопоточном. Полученные результаты могут быть использованы при прочностных расчетах создаваемых двухпоточных насосов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимухин С. А., Долганов А. В., Попов Ю. В., Чураков Е. О., Ислентьев А. О., Торопов Э. Ю. О разработке шахтных центробежных секционных двухпоточных насосов // Изв. УГГУ. 2014. № 2(34). С. 41–44.
2. Ислентьев А. О., Чураков Е. О. Особенности создания шахтных секционных двухпоточных насосов // Изв. УГГУ. 2016. № 1(41). С. 103–105.
3. Центробежный секционный двухпоточный насос: пат. 161013 Рос. Федерация. № 2015131222/06; заявл. 27.07.15; опубл. 10.04.16, Бюл. № 10. 3 с.
4. Долганов А. В., Попов Ю. В., Тимухин С. А., Пискарев А. Н. Сравнительная оценка шахтных секционных двухпоточных насосов // Изв. УГГУ. 2015. № 1 (37). С. 49–52.

5. Попов Д. Н., Сосновский Н. Г., Сиухин М. В. Гидродинамическая нагруженность роторов центробежных насосов при переходных процессах // Наука и образование. 2011. № 12. URL: http://technomag.edu.ru/doc/274914.html
6. Викулов М. А., Овчинников Н. П. Расчет статической прочности вала насоса // Мир современной науки. 2012. № 6. С. 7–13.
7. Baogang W., Schill J. H. A Self-Adjusting Balancing Device for Multistage Centrifugal Pump // First International Conference on Engineering Thermophysiks (August 18–21, 1999). Beijing, China, 1999.
8. Зайниддинов Н. С. Моделирование напряженно-деформированного состояния рамы тележки тепловоза // Изв. ПГУПС. 2010. № 3. С. 98–105.
9. Селиверстов Г. В., Бутырский С. Н., Вобликова Ю. О. Анализ напряженно-деформированного состояния элементов металлоконструкций грузоподъемных машин // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2009. № 2-1. С. 123–126.
10. Корнеев А. А., Соколова Е. И., Любимова А. С., Шилов Н. В. Комплексный подход к процессу восстановления и модернизации центробежных насосов // Сервис в России и за рубежом. 2014. № 1 (48). С. 86–94.
11. Debuchy R., Nour F. A., Bois G. An analytical modeling of the central core flow in a rotor-stator system with several pre-swirl conditions // Journal of Fluids Engineering. 2010. Vol. 132. No. 6.
12. Yao Z., Wang F., Qu L., Xiao R., He C., Wang M. Experimental investigation of time-frequency characteristics of pressure fluctuations in a double-suction centrifugal pump // Journal of Fluids Engineering. 2011. Vol. 133. No. 10, Article ID 101303.

REFERENCES

1. Timukhin S. A., Dolganov A. V., Popov Yu. V., Churakov E. O., Islent'ev A. O., Toropov E. Yu. 2014, *O razrabotke shakhtnykh tsentrobezhnykh sektsionnykh dvukhpotochnykh nasosov* [On the development of shaft centrifugal sectional double-flow pumps]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 2(34), pp. 41–44.
2. Islent'ev A. O., Churakov E. O. 2016, *Osobennosti sozdaniya shakhtnykh sektsionnykh dvukhpotochnykh nasosov* [Features of the construction of sectional double-flow pumps]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1(41), pp. 103–105.
3. *Tsentrobezhnyy sektsionnyy dvukhpotochnyy nasos: pat. 161013 Ros. Federatsiya. № 2015131222/06; zayavl. 27.07.15; opubl. 10.04.16, Byul. № 10* [Centrifugal sectional double-flow pump: patent 161013 Russian Federation. no. 2015131222/06; claimed 27.07.15; published 10.04.16, bull. №10], 3 p.
4. Dolganov A. V., Popov Yu. V., Timukhin S. A., Piskarev A. N. 2015, *Sravnitel'naya otsenka shakhtnykh sektsionnykh dvukhpotochnykh nasosov* [Comparative evaluation of shaft sectional double-flow pumps]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], pp 1(37), pp. 49–52.
5. Popov D. N., Sosnovskiy N. G., Siukhin M. V. 2011, *Gidrodinamicheskaya nagruzhennost' rotorov tsentrobezhnykh nasosov pri perekhodnykh protsessakh* [Hydrodynamic loading of rotors of centrifugal pumps during transient processes]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education of Bauman MSTU], no. 12. Available at: http://technomag.edu.ru/doc/274914.html
6. Vikulov M. A., Ovchinnikov N. P. 2012, *Raschet staticheskoy prochnosti vala nasosa* [Calculation of the static strength of the pump shaft]. *Mir sovremennoy nauki* [World of modern science], no. 6, pp. 7–13.
7. Baogang W., Schill J. H. 1999, A Self-Adjusting Balancing Device for Multistage Centrifugal Pump. First International Conference on Engineering Thermophysiks (August 18–21, 1999), Beijing, China.
8. Zayniddinov N. S. 2010, *Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya ramy telezhki teplovoza* [Modeling of the stress-strain state of the frame of the diesel locomotive carriage]. *Izv. PGUPS* [Proceedings of Petersburg Transport University], no. 3, pp. 98–105.
9. Seliverstov G. V., Butyrskiy S. N., Voblikova Yu. O. 2009, *Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya elementov metallokonstruktsiy gruzopod"emnykh mashin* [Analysis of stress-strain state of metalwork elements of load-lifting machines]. *Izv. TulGU. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the TSU], no. 2-1, pp. 123–126.
10. Korneev A. A., Sokolova E. I., Lyubimova A. S., Shilov N. V. 2014, *Kompleksnyy podkhod k protsessu vosstanovleniya i modernizatsii tsentrobezhnykh nasosov* [Complex approach to the process of restoration and modernization of centrifugal pumps]. *Servis v Rossii i za rubezhom* [Services in Russia and abroad], no. 1(48), pp. 86–94.
11. Debuchy R., Nour F. A., Bois G. 2010, An analytical modeling of the central core flow in a rotor-stator system with several pre-swirl conditions. Journal of Fluids Engineering, vol. 132, no. 6.
12. Yao Z., Wang F., Qu L., Xiao R., He C., Wang M. 2011, Experimental investigation of time-frequency characteristics of pressure fluctuations in a double-suction centrifugal pump. Journal of Fluids Engineering, vol. 133, no. 10, Article ID 101303.

Сергей Андреевич Тимухин,
Sergey.Timuhin@m.ursmu.ru
Евгений Олегович Чураков,
tschurakov.102.evgeniy@mail.ru
Александр Олегович Ислентьев,
alexislentyev@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Sergey Andreevich Timukhin,
Sergey.Timuhin@m.ursmu.ru
Evgeniy Olegovich Churakov,
tschurakov.102.evgeniy@mail.ru
Aleksandr Olegovich Islent'ev,
alexislentyev@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 622.73:621.926.3+681.5

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-78-81

РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОНУСНОЙ ДРОБИЛКИ

В. М. Марасанов, Г. П. Дылдин

Rotation speed regulator of the electric drive of the cone crusher

V. M. Marasanov, G. P. Dyldin

The maximum value of the output and the power consumption, as well as the smallest size of the crushing products, one can achieve with a certain combination of the stroke, the angle of incline and the oscillation frequency of the mobile body of the crusher, and the size of its unloading slot. One way to improve the efficiency of the crushing process is to control the oscillation frequency of the mobile body of the crusher. The authors propose control algorithms for changing the rotation speed of the electric drive that can achieve it. There are three types of control algorithms for implementation. One can implement the algorithm of the first type by including in the algorithmic scheme a relay element that stepwise changes the control signal at the input of the intensity controller with the corresponding changes in the armature current. The intensity controller appears in the structure in order to convert the step changes of the control signal into smooth ones in accordance with the restrictions imposed on the current and the acceleration of the electric motor. The technical implementation of the algorithm of the second type, by using special devices that measure the dynamic component of the current by drive acceleration, solves the problem of separating the static component from the full current of the electric motor during the transition process of handling the corrected task, when the dynamic component of the current appears. In the algorithm of the third type, the authors use the time principle to isolate the static current for control circuits, namely, the control process is carried out in two stages. The first stage is the formation and storage of the correction of the control signal during the steady motion of the electric drive; the second stage - testing of the control signal (realization of the correction signal formed at the first stage). The control process in this case looks like a series of successive corrections. In accordance to the algorithm of the third type, the control device by structure is a PI-regulator with digital input.

Keywords: crusher; performance; fineness; oscillation frequency; control algorithm; regulator with digital input.

Максимальное значение производительности и потребляемая мощность, а также наименьшая крупность продуктов дробления достигаются при определенном сочетании величины хода, угла наклона и частоты качаний подвижного органа дробилки, размера ее разгрузочной щели. Одним из способов повышения эффективности процесса дробления является управление частотой качаний подвижного органа дробилки. Этого можно достичь, изменяя скорость вращения электропривода в соответствии с предложенными авторами алгоритмами управления. Для реализации приняты три типа алгоритмов управления. Реализация алгоритма первого типа достигается путем включения в алгоритмическую схему релейного элемента, ступенчато изменяющего сигнал управления на входе задатчика интенсивности при соответствующих изменениях тока якоря. Задатчик интенсивности введен в структуру для того, чтобы преобразовать ступенчатые изменения сигнала управления в плавные в соответствии с ограничениями, накладываемыми на ток и ускорение электродвигателя. При технической реализации алгоритма 2-го типа путем использования специальных устройств, измеряющих динамическую составляющую тока по ускорению привода, решается задача выделения из полного тока двигателя его статической составляющей во время переходного процесса по обработке скорректированного задания, когда появляется динамическая составляющая тока. В алгоритме 3-го типа использован временной принцип выделения статического тока для цепей управления, а именно – процесс регулирования осуществляется в два этапа. 1-й этап – формирование и запоминание коррекции управляющего сигнала при установившемся движении электропривода; 2-й этап – отработка управляющего сигнала (реализация сформированного на 1-м этапе сигнала коррекции). Процесс управления в данном случае представляется в виде ряда последовательных коррекций. В соответствии с алгоритмом третьего типа управляющее устройство по структуре представляет собой ПИ-регулятор с дискретным входом.

Ключевые слова: дробилка; производительность; крупность; частота качаний; алгоритм управления; регулятор с дискретным входом.

Максимальное значение производительности и потребляемая мощность, а также наименьшая крупность продуктов дробления достигаются при определенном сочетании величины хода, угла наклона и частоты качаний подвижного органа дробилки, размера ее разгрузочной щели [1–7]. Величина максимального значения производительности, мощности, потребляемой на дробление, крупность продуктов дробления определяются прочностью, структурой и крупностью подвергающейся дроблению породы [8, 9]. Одним из способов повышения эффективности процесса дробления является управление частотой качаний подвижного органа дробилки [10–13].

Увеличение частоты качаний дробящего конуса дробилок повышает эффективность измельчения продуктов дробления и обеспечивает значительный экономический эффект, при этом количество крупных фракций в продуктах дробления уменьшается. Получение высокой степени сокращения при значительной производительности практически возможно и целесообразно только при работе с повышенным числом качаний подвижного конуса дробилки [2, 3].

Влияние частоты качаний на гранулометрический состав продуктов дробления.

Число качаний дробящего конуса, мин$^{-1}$ …	224	270	338
Размер разгрузочной щели, мм ……	6,1	7,1	6,3
Содержание фракции +20 мм, % ……	9,5–11,0	2,5–6,0	1,0

С увеличением частоты качаний потребляемая на дробление мощность снижается, так как максимальное значение крутящего момента на приводном валу дробилки в этом случае уменьшается за счет снижения амплитуды колебаний, возникающих при попадании в дробящее пространство кусков руды большей прочности (рис. 1).

Мощность, потребляемая на дробление дробилкой КМД 2200-600.

Частота качаний конуса, мин$^{-1}$ ……	224	270	338
Производительность дробилки, т/ч ……	300	300	300
Степень сокращения ……	4,5	4,5	4,5
Мощность, потребляемая двигателем дробилки, кВт ……	182	138	94

Проведенные специальные исследования позволяют сделать вывод, что повышения эффективности процесса дробления на конусной дробилке можно достичь, изменяя скорость вращения электропривода в соответствии с полученными алгоритмами управления. При разработке регулятора скорости вращения электропривода конусной дробилки необходимо учитывать следующий обстоятельства:

– во-первых, приводной вал подвижного конуса установлен в конусной втулке. При высокой частоте качаний и отсутствии материала в дробящем пространстве подвижный конус выдвигается вверх и упирается в неподвижный, что приводит к разрушению футеровки конусов;

– во-вторых, регулируемый электропривод может быть выполнен принципиально различными схемами: тиристорный электропривод постоянного тока, асинхронный вентильный

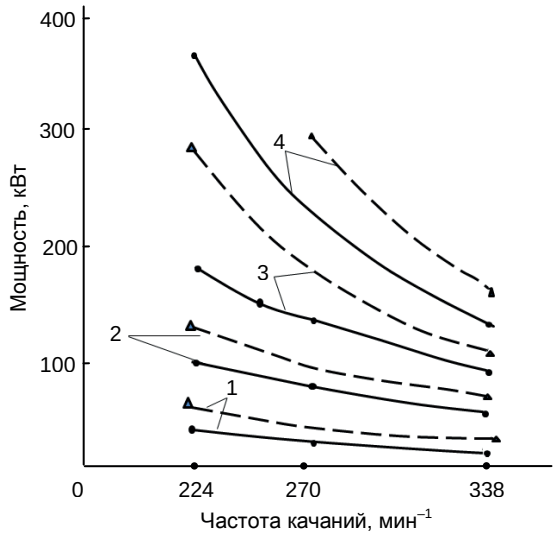


Рисунок 1. Расход энергии на дробление магнетитовых руд дробилкой КМД 2200-600 при степени дробления: i = 4,5 (сплошная линия); i = 5,0 (пунктирная линия); 1, 2, 3, 4 – при производительности 100, 200, 300 и 400 т/ч.

каскад, асинхронный электродвигатель с частотным регулированием и т. д.;

– в-третьих, рекомендуемые алгоритмы управления, достаточно приближенные, могут быть уточнены только в процессе экспериментальных исследований;

– в-четвертых, работа дробилки с высокой частотой качаний может выполняться только при наличии материала в дробящем пространстве.

Перечисленные соображения и обуславливают ряд специфических требований, предъявляемых к конструкции и схеме регулятора:

а) регулятор должен реализовать рекомендуемые алгоритмы управления с достаточной точностью;

б) схема регулятора должна обеспечивать возможность некоторого варьирования структуры и коэффициентов алгоритмов управления;

в) конструкция и параметры регулятора должны обеспечивать возможность комплектования с различными системами регулируемого электропривода;

г) схема регулятора должна обеспечивать возможность согласования с входными устройствами серийно выпускаемых вентильных преобразователей;

д) схема регулятора должна обеспечивать возможность перехода на ручное управление.

Выполнение перечисленных требований позволит решить основные задачи, связанные с применением регулятора в процессе исследований, и экспериментально проверить и уточнить расчетные алгоритмы управления.

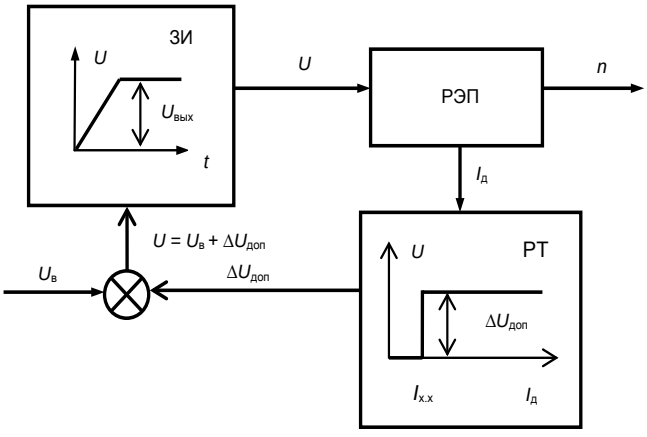


Рисунок 2. Структурная схема алгоритма управления первого типа.

Принципы реализации рекомендуемых алгоритмов управления. Для реализации приняты три типа алгоритмов управления: первый из них достаточно прост, но имеет приближенный характер (алгоритм 1-го типа), второй определяет характер управления более полно (алгоритм 2-го типа). В соответствии с алгоритмом 3-го типа управляющее устройство по структуре представляет собой ПИ-регулятор с дискретным входом.

Алгоритм управления 1-го типа имеет вид:

$$n = n_б + n_{доп} \text{ при } I_{д.с} > 2I_{х.х}, \quad (1)$$

где n – скорость вращения электропривода; $n_б$ – базовая скорость вращения, соответствующая минимальной скорости в процессе регулирования; $n_{доп}$ – рекомендуемая добавочная скорость при работе дробилки под нагрузкой; $I_{д.с}$ – статический ток двигателя; $I_{х.х}$ – статический ток, соответствующий холостому ходу двигателя.

С учетом того что сигнал управления, поступающий с выхода регулятора на вход системы управления приводом, и скорость вращения n связаны однозначной зависимостью

$$n = k_n U, \quad (2)$$

где k_n – коэффициент передачи по каналу *напряжение–скорость*, выражение (1) можно интерпретировать в виде

$$k_n U = k_n U_б + k_n U_{доп} \text{ при } I_{д.с} > 2I_{х.х} \quad (3)$$

или

$$U = U_б + U_{доп} \text{ при } I_{д.с} > 2I_{х.х}. \quad (4)$$

Алгоритмическая структура, реализующая зависимость (1)–(4), представлена на рис. 2. Реализация достигается путем включения в схему релейного элемента, ступенчато изменяющего сигнал управления на входе задатчика интенсивности ЗИ при соответствующих изменениях тока якоря. Задатчик интенсивности введен в структуру для того, чтобы преобразовать ступенчатые изменения сигнала управления в плавные в соответствии с ограничениями, накладываемыми на ток и ускорение электродвигателя. На рис. 2 обозначены: ЗИ – задатчик интенсивности, РЕП – регулируемый электропривод, РТ – реле тока.

Алгоритм управления второго типа

$$n = n_б + n_{доп} + k_1 Q - k_2 I_{д.с} \text{ при } I_{д.с} > 2I_{х.х}, \quad (5)$$

где k_1, k_2 – постоянные коэффициенты; Q – производительность дробилки; $I_{д.с}$ – статический ток двигателя.

Представим скорость в процессе регулирования в виде

$$n = n_б + n_{доп} + \Delta n, \quad (6)$$

где Δn – дополнительный прирост скорости (коррекция скорости) в соответствии с алгоритмом управления:

$$\Delta n = k_1 Q - k_2 I_{д.с}. \quad (7)$$

Разделив обе части выражений (6) и (7) на k_n в соответствии с (3), получим

$$\Delta U = \left| \frac{k_1}{k_n} Q - \frac{k_2}{k_n} I_{д.с} \right| \quad (8)$$

и

$$U = U_б + U_{доп} + \Delta U. \quad (9)$$

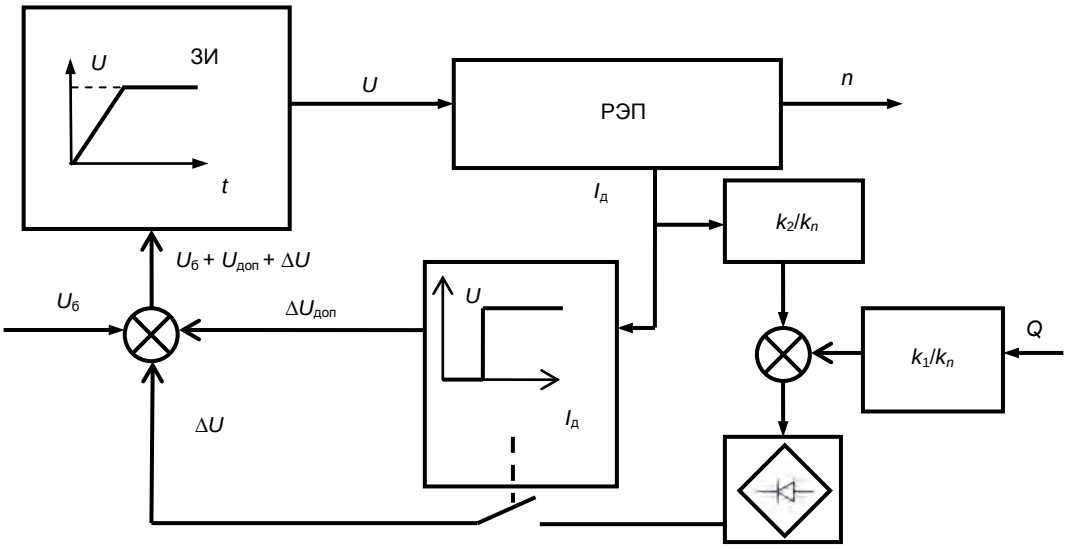


Рисунок 3. Структурная схема алгоритма управления второго типа.

Зависимости (8) и (9), описывающие рекомендованный алгоритм управления, могут быть реализованы с помощью алгоритмической структуры, показанной на рис. 3.

Существенную трудность при технической реализации алгоритма 2-го типа в соответствии с алгоритмической структурой рис. 3 представляет задача выделения из полного тока двигателя его статической составляющей во время переходного процесса по обработке скорректированного задания, когда появляется динамическая составляющая тока. Тогда задача решается путем использования специальных устройств, измеряющих динамическую составляющую тока по ускорению привода, что позволяет выделить статический ток двигателя в соответствии с известной зависимостью

$$I_{д.с} = I_д + I_{д.д}, \qquad (10)$$

где $I_д$ – полный ток двигателя; $I_{д.д}$ – динамическая составляющая тока двигателя.

Однако техническая реализация такого решения относительно сложна. Значительно проще можно решить указанную задачу, если исходить из предпосылки, что на эффективность процесса дробления быстродействие регулятора не оказывает заметного влияния. Действительно, для процесса дробления характерно постоянство возмущающих воздействий, изменение скорости требуется не часто, а появление динамической составляющей тока обусловлено исключительно отработкой управляющего воздействия. В этих условиях можно использовать временной принцип выделения статического тока для цепей управления, а именно, осуществлять процесс регулирования в два этапа.

1-й этап – формирование и запоминание коррекции управляющего сигнала ΔU при установившемся движении электропривода;

2-й этап – отработка сигнала ΔU (реализация сформированного на 1-м этапе сигнала коррекции).

Поскольку при этом формирование корректирующего сигнала управления ΔU предполагается только при условии установившегося режима, когда $I_д = I_{д.д}$ (при обработке коррекции формирование сигнала не производится), то процесс управления

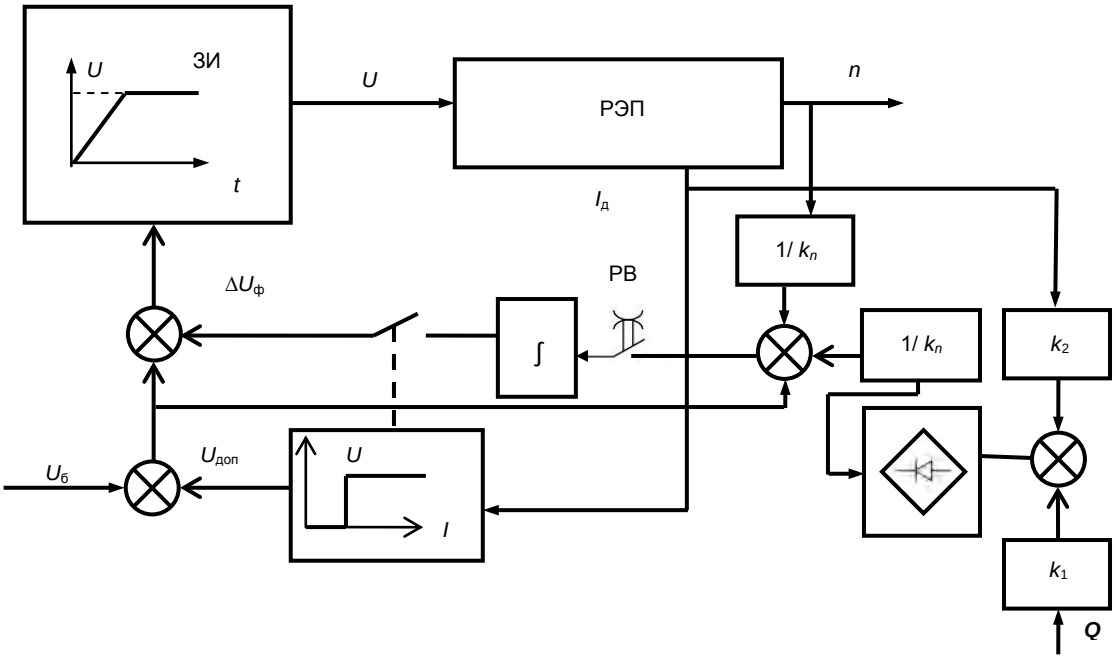


Рисунок 4. Структурная схема алгоритма управления третьего типа.

представляется в виде ряда последовательных коррекций в соответствии с алгоритмом управления.

Реализация алгоритма управления по описанному принципу достигается с помощью алгоритмической структуры, приведенной на рис. 4.

Согласно этой структуре, формирование сигнала коррекции ΔU производится интегратором, вход которого периодически подключается через релейный элемент РВ к выходу сумматора, реализующего отклонение фактического режима от расчетного:

$$\Delta n_{ф} = n - n_{ф} = n_{б} + n_{доп} + \left| k_1 Q - k_2 I_{д} \right| - n_{ф}, \qquad (11)$$

или, с учетом выражений (1)–(3)

$$\Delta U_{ф} = U_{б} + U_{доп} + \frac{1}{k_{и}} I_{д} - \frac{1}{k_{и}} n_{ф}, \qquad (12)$$

где $n_{ф}$ – фактическое значение скорости вращения.

Длительность включения интегратора элементом РВ устанавливается ниже времени запаздывания $t_{зап}$ по каналу *выход интегратора–вход системы управления электроприводом*, а время отключения интегратора $t_{откл}$ выше длительности переходного процесса $t_{п.п}$, обусловленного реализацией электроприводом сигнала коррекции на шаге управления:

$$\Delta t_{и} < t_{зап}, \qquad (13)$$

$$t_{откл} > t_{п.\,п}. \qquad (14)$$

По этой причине процесс интегрирования происходит в период работы электропривода в установившемся режиме. Величина интегрируемого сигнала определяется знаком и величиной сигнала на выходе сумматора и выбранным временем интегрирования $\Delta t_{и}$. При работе электропривода в расчетной точке сигнал $\Delta U_{ф}$ на входе сумматора равен нулю, и при очередном подключении интегратора сигнал коррекции $\Delta U_{к}$ на его выходе не изменяется. При работе привода с отклонением от расчетного режима сигнал коррекции изменяется ступенчато при каждом включении РВ на время $t_{и}$ до тех пор, пока привод в процессе регулирования скорости не станет работать в расчетном режиме.

Для обеспечения плавного изменения сигнала управления на входе преобразователя регулируемого электропривода при ступенчатом изменении сигнала управления $U_{доп} + \Delta U_{к}$ в систему введен задатчик интенсивности ЗИ. Таким образом, в соответствии с 3-м алгоритмом управляющее устройство по структуре представляет собой ПИ-регулятор с дискретным входом.

Заключение

Регулятор скорости конусной дробилки, осуществляющий управление в соответствии с предложенными авторами алгоритмами, позволяет увеличивать частоту качаний дробящего конуса дробилок с целью повышения эффективности измельчения продуктов дробления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белуженко В. М., Марасанов В. М. Расчет оптимальных режимов работы конусных дробилок // Изв. вузов. Горный журнал. 1984. № 2. С. 99–102.
2. Панкратов С. А., Болдов Ю. В., Пихаленко И. Г. Повышение эффективности процессов мелкого дробления // Горный журнал. 1968. № 2. С. 60–64.
3. Марасанов В. М., Дылдин Г. П. Идентификация, оптимизация и автоматизация процесса дробления. Екатеринбург: УГГУ, 2017. 268 с.
4. Прокофьев Е. В. Автоматизация технологических процессов и производств. Екатеринбург: УГГУ, 2013. 356 с.
5. Определение режимов работы ДСЦ Г.-П.П. «Гора Хрустальная» с целью повышения выпуска требуемых фракций с минимальной себестоимостью: отчет о НИР / СГИ; науч. рук. Марасанов В. М., отв. исп. Дылдин Г. П. Екатеринбург, 1997. № ГР 01970000392. Инв. № 02980000377.
6. Дылдин Г. П. Оптимизация производства технического кварца // Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья: междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2003. С. 462–464.
7. А. с. 1020160 СССР, МКИ В 02 25/00. Способ регулирования режима работы дробилки / В. М. Марасанов (СССР). № 3397510/29–33; заявл. 21.01.82; опубл. 30.05.83, Бюл. № 20.
8. Андреев Е. Е., Тихонов О. Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. СПб., 2007. 439 с.
9. Газалеева Г. И., Цыпин Е. Ф., Червяков С. А. Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение. Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. 914 с.
10. Определение оптимальных режимов работы технологической линии ДСЦ Исетского щебзавода с целью повышения ее эффективности: отчет о НИР / СГИ; науч. рук. Марасанов В. М., отв. исп. Дылдин Г. П. Свердловск, 1991. № ГР 01910013294.
11. Боровков В. А., Марасанов В. М., Дылдин Г. П. Система автоматического регулирования режима работы дробилки // Автоматическое управление технологическими процессами в горной промышленности: межвуз. науч.-темат. сб. Свердловск, 1987. С. 104–107.
12. Лагунова Ю. А., Лазарев Е. А., Жиганов П. А. Новые направления в проектировании и эксплуатации горно-обогатительного оборудования // ГИАБ. 2006. Вып. № 6. С. 301–305.
13. RU 2508948 C2. Method of control over crusher and crusher. Inventor: LEKhTONEN Tommi (FI), POTILA Tapio (FI). Proprietor: METSO MINEREhLZ INK. (FI); Application 2009137456/02, 05.04.2007; Date of publication 10.03.2014 Bull. 7.

REFERENCES

1. Beluzhenko V. M., Marasanov V. M. 1984, *Raschet optimal'nykh rezhimov raboty konusnykh drobilok* [Calculation of optimum operating conditions of cone crushers]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2, pp. 99–102.
2. Pankratov S. A., Boldov Yu. V., Pikhalenko I. G. 1968, *Povyshchenie effektivnosti protsessov melkogo drobleniya* [Increase of efficiency of processes of fine crushing]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 2, pp. 60–64.
3. Marasanov V. M., Dyldin G. P. 2017, *Identifikatsiya, optimizatsiya i avtomatizatsiya protsessa drobleniya* [Identification, optimization and automation of the crushing process], Ekaterinburg, 268 p.
4. Prokof'ev E. V. 2013, *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv* [Automation of technological processes and productions], Ekaterinburg, 356 p.
5. Marasanov V. M., Dyldin G. P. 1997, *Opredelenie rezhimov raboty DSTs G.-P,P, «Gora Khrustal'naya» s tsel'yu povysheniya vypuska trebuemykh fraktsiy s minimal'noy sebestoimost'yu: otchet o NIR / SGI* [Defining modes of DSC Mining and Industrial Engineering "Crystal Mountain" to increase the release of the required fractions with minimal cost: research report], Ekaterinburg, № GR 01970000392. Inv. № 02980000377.
6. Dyldin G. P. 2003, *Optimizatsiya proizvodstva tekhnicheskogo kvartsa [Optimization of production of technical quartz]. Nauchnye osnovy i praktika razvedki i pererabotki rud i tekhnogennogo syr'ya: mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Scientific bases and practice of prospecting and processing of ores and technogenic raw materials: international scientific-technical conference], Ekaterinburg, pp. 462–464.
7. A. s. 1020160 SSSR, MKI V 02 25/00. *Sposob regulirovaniya rezhima raboty drobilki / V. M. Marasanov (SSSR). № 3397510/29–33; zayavl. 21.01.82; opubl. 30.05.83, Byul. № 20* [A. s. 1020160 USSR, MKI V 02 25/00. A way of regulating the operating mode of the crusher. Marasanov V. M. (USSR), no. 3397510/29-33; claimed 21.01.82; published 30.05.83, Bull. no. 20].
8. Andreev E. E., Tikhonov O. N. 2007, *Droblenie, izmel'chenie i podgotovka syr'ya k obogashcheniyu* [Crushing, grinding and preparation of raw materials for enrichment], St. Petersburg, 439 p.
9. Gazaleeva G. I., Tsypin E. F., Chervyakov S. A. 2014, *Rudopodgotovka. Droblenie, grokhochenie, obogashchenie* [Ore preparation. Crushing, screening, dressing], Ekaterinburg, 914 p.
10. Marasanov V. M., Dyldin G. P. 1991, *Opredelenie optimal'nykh rezhimov raboty tekhnologicheskoy linii DSTs Isetskogo shchebzavoda s tsel'yu povysheniya ee effektivnosti: otchet o NIR / SGI* [Determination of the optimal operating modes of the shunting controller of Isetsky chipper plant for the purpose of increasing its efficiency: research report], Sverdlovsk, № GR 01910013294.
11. Borovkov V. A., Marasanov V. M., Dyldin G. P. 1987, *Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya rezhima raboty drobilki* [Automatic control system of crusher operation mode]. *Avtomaticheskoe upravlenie tekhnologicheskimi protsessami v gornoy promyshlennosti: mezhvuz. nauch.-temat. sb.* [Automatic control of technological processes in the mining industry: interuniversity scientific-thematical collection], Sverdlovsk, pp. 104–107.
12. Lagunova Yu. A., Lazarev E. A., Zhiganov P. A. 2006, *Novye napravleniya v proektirovanii i ekspluatatsii gorno-obogatitel'nogo oborudovaniya* [New directions in the design and operation of ore mining and processing equipment]. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin], no. 6, pp. 301–305.
13. RU 2508948 C2. Method of control over crusher and crusher. Inventor: LEKhTONEN Tommi (FI), POTILA Tapio (FI). Proprietor: METSO MINEREhLZ INK. (FI); Application 2009137456/02, 05.04.2007; Date of publication 10.03.2014 Bull. 7.

Виктор Михайлович Марасанов,
v.marasanoff@yandex.ru
Герман Петрович Дылдин,
German.Dyldin@yandex.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Viktor Mikhailovich Marasanov,
v.marasanoff@yandex.ru
German Petrovich Dyldin,
German.Dyldin@yandex.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 539.(4+4.011+42)+622.(011.4+02+023.23) DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-82-87

ЗАКОНЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ДЕСТРУКЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

А. В. Жабко

Laws of plastic deformation and destruction of solids

A. V. Zhabko

The work is devoted to establishing the regularities of plastic deformation of solids. The author proposes using the functions of surface fluidity and plastic potential, based on his earlier studies. The limiting surface for these functions is the surface of destruction of solids (rocks), described by well-known Coulomb law. In fact, the proposed function is the law of plastic deformation of solids. The author analytically proves that during the process of plastic deformation, a reversal of the structural elements of a solid occurs. These studies explain some of the inconsistencies one observes during rock testing for strength. The author substantiates the possibility of using the rotation of structural elements during plastic deformation for predicting and controlling fracture processes. The article contains energy variational principle of destruction of solids. Based on it, there is the laconic explanation of the appearance of ring structures near some mine workings - the phenomenon of zonal disintegration of rocks. The author proposes a dependence for calculating the scale factor of this phenomenon. The author substantiates the geometric proximity of the slip surface shape in the slopes to the circle arc. In deriving the equations, the author used the fundamental laws and principles of mechanics in a rigorous mathematical formulation of problems.

Keywords: failure criterion; differential equation; principal stresses; angle of inclination of sliding platform; fluidity surface; function of plastic potential; coulomb's law, plastic deformation; dilatancy; variational principle.

Работа посвящена установлению закономерностей пластического деформирования твердых тел. На основании ранее выполненных автором исследований предлагаются функции поверхности текучести и пластического потенциала. Предельной поверхностью для данных функций является поверхность разрушения твердых тел (горных пород), описываемая известным законом Кулона. Фактически предлагаемая функция является законом пластического деформирования твердых тел. Аналитически доказывается, что в процессе пластического деформирования происходит разворот структурных элементов твердого тела. На основании данных исследований объясняются некоторые несоответствия, наблюдаемые в процессе испытаний горных пород на прочность. Обосновывается возможность использования поворота структурных элементов при пластическом деформировании для предсказания и контроля процессов разрушения. Получен энергетический вариационный принцип разрушения (деструкции) твердых тел. На его основе в достаточно лаконичной форме объясняется появление кольцевых структур в окрестности некоторых горных выработок – явление зональной дезинтеграции горных пород. Предложена зависимость для расчета масштабного фактора данного явления. Обосновывается геометрическая близость формы поверхности скольжения в откосах к дуге окружности. При выводах уравнений использовались фундаментальные законы и принципы механики в строгой математической постановке задач.

Ключевые слова: критерий разрушения; дифференциальное уравнение; главные напряжения; угол наклона площадки скольжения; поверхность текучести; функция пластического потенциала; закон Кулона, пластическое деформирование; дилатансия; вариационный принцип.

Вопрос прочности материалов – «краеугольный камень» практически во всех сферах деятельности человека. Можно сказать без всякого преувеличения, что тот, кто научится управлять прочностью материалов (твердых тел), получать материалы с заданной прочностью, будет владеть миром во всех смыслах, прежде всего в военном и экономическом. На сегодняшний день изучением вопросов прочности твердых тел занимается не один десяток академических и научно-исследовательских институтов, вузов и производственных объединений на самых разных масштабных уровнях – от наноразмеров до размеров тектонических плит (сотни и тысячи километров). Однако вопрос прочности твердых тел остается открытым по сей день.

Теоретическое значение прочности, получаемое из физических (естественнонаучных) предпосылок на молекулярно-ионном уровне, в 500–1000 раз выше прочности реальных твердых тел. Невозможность использования простой экстраполяции для перехода от атомного строения материалов к практическому определению их свойств и прочности явилось, пожалуй, крупнейшим разочарованием в физической науке о поведении материалов. Это способствовало развитию технического (феноменологического, континуального или сплошносредного) подхода к обоснованию прочности твердых тел. Условно уровни исследования вопросов прочности материалов можно подразделить на: 1) микромасштабный уровень (физический); 2) мезоскопический уровень (физико-технический); 3) макроуровень (континуальный, технический). Еще раз укажем на условность такого разделения, так, например, микродефектные теории прочности оперируют техническим понятием – механическим напряжением, при этом модель подразумевает рассмотрение ансамблей дефектов кристаллических решеток, а в физике твердого тела рассматриваются причины их образования (появления) и движения в поле градиента напряжений. Таким образом, объектом исследования на микромасштабном уровне является реальная кристаллическая решетка со своими дефектами структуры, на макромасштабном уровне – сплошная или континуальная среда, абстрактно введенная для возможности использования аппарата дифференциального исчисления (непрерывность функций). Элементарными носителями пластического течения на мезоуровне являются трехмерные структурные элементы (зерна, конгломераты зерен, субзерна, ячейки дислокационной субструктуры, деформационные домены и т. д.).

Физическая мезомеханика, являясь самой молодой из наук, изучающих прочность твердых тел (около 35 лет), основывается на синергетических (междисциплинарных) принципах и рассматривает твердое тело как многоуровневую иерархическую систему, в которой процессы локальной потери сдвиговой устойчивости на микро-, мезо- и макромасштабном уровнях органически взаимосвязаны. Только в рамках многоуровневого подхода физики и механики твердого тела возможно корректно описать синергетическую природу пластической деформации и разрушения твердых тел. При этом механика деформируемого твердого тела играет ведущую роль, а движение дислокаций на микромасштабном уровне является аккомодационным процессом [1].

В работах [2–6] автором получен и проанализирован аналитический критерий разрушения горных пород (континуума), имеющий в компонентах главных нормальных напряжений следующий вид:

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 2C\sqrt{1 + \frac{\operatorname{tg}\varphi\,\sigma_1}{C}}, \qquad (1)$$

где σ_3, σ_1 – главные напряжения; C – сцепление; φ – угол внутреннего трения ($f = \operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент внутреннего трения).

Согласно критерию (1), угол наклона наиболее опасной площадки среза зависит от уровня напряжений. С другой стороны,

мы знаем, что наиболее опасная площадка отклонена от минимального главного напряжения на угол $\psi = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$, что обеспечивает максимальную разность между сдвигающими и удерживающими силами на площадке среза. Но это возможно только в случае нелинейности закона изменения касательных напряжений на площадке среза от нормальных. Для определения данного закона, используя критерий (1), запишем следующее дифференциальное уравнение:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right) - \sqrt{1+\frac{\left(d\tau / d\sigma_n\right)\sigma_1}{C}} = 0. \qquad (2)$$

Таким образом, получим:

$$\frac{d\tau}{d\sigma_n} = \frac{C\sin\varphi}{\sigma_n}. \qquad (3)$$

Подставим в уравнение (3) значение нормального напряжения на площадке среза, соответствующее пределу прочности на одноосное сжатие:

$$\frac{d\tau}{d\sigma_n}\left(\sigma_n = \sigma_{сж}\cos^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\right) =$$

$$2C\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)\cos^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right) = C\cos\varphi = \operatorname{tg}\varphi. \qquad (4)$$

То есть в точке $\sigma_n = \sigma_{сж}\cos^2\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)$ угловой коэффициент касательной равен коэффициенту внутреннего трения. Таким образом, под углом внутреннего трения в дальнейшем будем подразумевать угол наклона графика функции $\tau(\sigma_n)$ к оси σ_n именно в этой точке.

Интегрируем дифференциальное уравнение (3) при соблюдении равенства (4) и следующих граничных условий –

$$\tau = C + C\sin\varphi\left(1+\ln\left|\frac{\sigma_n}{C\cos\varphi}\right|\right) = C\left(1+\sin\varphi\ln\left|\frac{e\sigma_n}{C\cos\varphi}\right|\right). \qquad (5)$$

Таким образом, уравнение (5) является отображением критерия (1) на координатную плоскость τ, σ_n. Критерии (1) и (5) являются поверхностями текучести, т. е. определяют в своих координатных осях начало пластических деформаций или предел упругости. То есть начало пластических деформаций проявляется в образовании площадок среза, наклоненных к минимальному главному напряжению на угол $\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}$ и расположенных на определенном расстоянии друг от друга. Далее происходит процесс упрочнения вплоть до разрушения.

Критерий (1) может быть обобщен на случай развивающейся пластической деформации. Используя условие равновесия призмы смещения [6] и проделав аналогичные операции, что и при выводе зависимости (1) [2, 6], получим следующий критерий:

$$\sigma_3 = \sigma_1 - 2C\sqrt{\left(1+\frac{\operatorname{tg}\varphi\,\sigma_1}{C}\right)\left(1+\frac{\operatorname{tg}\varphi\,k\sigma_3}{C}\right)}, \qquad (6)$$

где $0 \le k \le 1$ – параметр упрочнения.

Критерий (6) определяет в координатной плоскости компонент главных напряжений начальную поверхность текучести (при $k = 0$), поверхность пластического потенциала (поверхность текучести) (при $0 < k < 1$) и предельную поверхность (поверхность разрушения) (при $k = 1$). На рис. 1 приведены характеристические поверхности пластического деформирования и направление развития пластической деформации.

При этом наклон к минимальному главному напряжению определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}\psi = \sqrt{\left(1+\frac{\operatorname{tg}\varphi\,\sigma_1}{C}\right)\Big/\left(1+\frac{\operatorname{tg}\varphi k\,\sigma_3}{C}\right)}. \qquad (7)$$

Заметим, что при $k = 0$ выражения (6), (7) эквивалентны зависимости (1).

Согласно вышесказанному, параметр упрочнения k должен входить в зависимости (6) и (7) посредством выражений:

$$\sigma_n = \sigma_1\cos^2\psi + k\sigma_3\sin^2\psi;$$
$$\tau = \frac{1}{2}\left(\sigma_1 - \sigma_3\right)\sin 2\psi. \qquad (8)$$

Анализ зависимости (8) показывает, что в общем случае ($k \ne 1$) угол наклона критической площадки среза также является величиной переменной, зависящей от напряженного состояния и отличной от угла $\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}$. Кроме того, угол меняется по мере упрочнения (увеличения k). Другими словами, при одина-

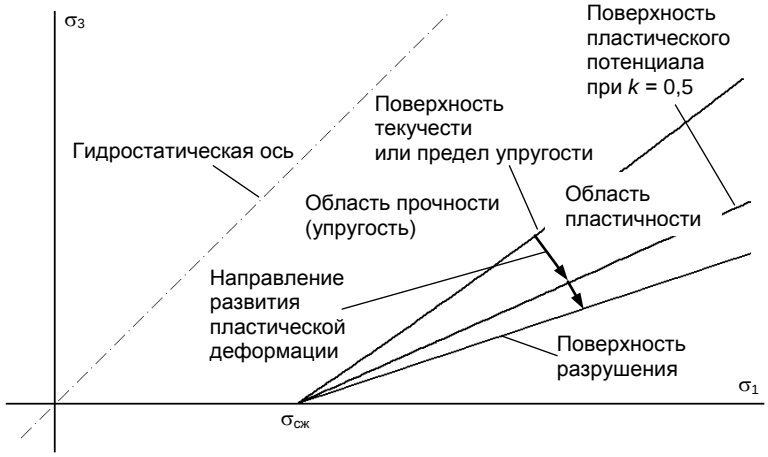


Рисунок 1. Поверхности пластического деформирования в координатной плоскости компонент главных напряжений.

ковом напряженном состоянии, но разной степени упрочнения имеем разные углы отклонения площадок от значения $\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}$. Но это возможно только в двух случаях: 1) изменение ориентировки главных напряжений; 2) поворот напряженной области относительно осей главных напряжений (или неподвижной системы координат). Таким образом, если в процессе испытаний ориентировка главных напряжений (нагрузок) не меняется, то это однозначно означает разворот объемов среды. Следуя терминологии авторов [7], можно назвать данные объемы структурными элементами деформации (мезообъемы). Очевидно, что на разных масштабных уровнях они будут представлять различные объекты.

Таким образом, упрочнение буквально означает разворот некоторых структурных элементов, т. е. по мере упрочнения увеличивается разворот, но ведь именно разворот зерен и соответствующее увеличение объема в направлении минимального главного напряжения и принято называть дилатансией. Круг замкнулся.

Ранее дано аналитическое доказательство разворота структурных элементов при пластической деформации на макромасштабном уровне при использовании макроскопических параметров.

На данном этапе уместно вспомнить описание пластической деформации на мезоскопическом уровне по схеме *сдвиг + поворот* [1, 7], а также многочисленные примеры ротационных, вихревых или турбулентных процессов в геодинамике [8, 9]. Кроме того, на сегодняшний день разработан некоторый математический аппарат для описания данных процессов [7, 10, 11].

Данный механизм пластического деформирования становится более явным, если учесть сугубо релаксационную роль деструкции или пластической деформации. И действительно, образование трещины – это диссипация (сброс) накопившейся энергии деформации. Таким образом, структурный элемент, поворачиваясь, как бы «предоставляет» новые плоскости для разгрузки напряжений, которые впоследствии и будут являться его окаймляющими границами. То есть разрушаемая область, прежде чем «сдаться» (разрушиться), расходует все возможные энергетические ресурсы для недопустимости этого.

Запишем дифференциальное уравнение, определяющее закон изменения угла наклона функции пластического потенциала с увеличением нормальных напряжений на площадке среза в состоянии упрочнения, подобно уравнению (2):

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)-\sqrt{\left(C+\frac{\sigma_1 d\tau}{d\sigma_n}\right)\Big/\left(C+\frac{k\sigma_3 d\tau}{d\sigma_n}\right)}=0. \qquad (9)$$

Уравнение (9) определяет динамику развития пластического деформирования. Решение уравнения (9) при тех же граничных условиях, что и для уравнения (2), и с учетом зависимостей (6)–(8) дает:

$$\tau = C\left(1+\sin\varphi\right)+\frac{1+k}{1-k}C\sin\varphi\ln\left|\frac{\left(1-k\right)\sigma_n+2kC\cos\varphi}{\left(1+k\right)C\cos\varphi}\right|. \qquad (10)$$

Критерий (10) определяет в координатной плоскости компонент напряжений на площадке среза начальную поверхность текучести (при $k = 0$), поверхность пластического потенциала (при $0 < k < 1$) и предельную поверхность (поверхность разрушения), развертывающуюся в линейную функцию закона Кулона (при $k \to 1$). На рис. 2 приведены характеристические поверхности пластического деформирования.

Таким образом, в начале пластической деформации на некотором расстоянии друг от друга образуются площадки среза под углом $\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}$. В процессе пластического деформирования происходит разворот этих площадок, по-видимому, с образованием новых поверхностей среза или отрыва (деструкция). При развороте структурных элементов на некоторый угол процесс пластического деформирования переходит в стадию локализации нарушений вдоль некоторой линии (поверхности) и заканчивается разрушением.

То есть процесс пластического деформирования в этом смысле отличается от разрушения различной ориентировкой и протяженностью площадок среза. На это обстоятельство автором уже указывалось в [6]. Причем символично, что ориентировка площадок среза по отношению к направлению главных напряжений не меняется и составляет постоянный угол. Несовпадение площадок обусловлено динамикой пластической деформации – разворотом структурных элементов.

Используя выражения (6) и (7), угол разворота структурного элемента в процессе упрочнения выразим зависимостью:

$$\Omega = \operatorname{arctg}\frac{2C\left(1+\dfrac{\operatorname{tg}\varphi\,\sigma_1}{C}\right)}{\sigma_1-\sigma_3}-\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right). \qquad (11)$$

Из уравнения (11) следует, что при увеличении напряженного состояния разворот элементов при пластическом деформировании увеличивается. Чисто теоретически максимальный разворот может составлять угол $\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi}{2}\right)$, однако рост угла пово-

Рисунок 2. Поверхности пластического деформирования в координатной плоскости компонент напряжений на площадке среза.

рота от предельного напряженного состояния идет достаточно медленно. Так, при $\varphi = 30^\circ$ и значениях $\sigma_3/C = 2, 10, 20, 100$ имеем приблизительные значения соответственно $\Omega = 5^\circ, 13^\circ, 16^\circ, 23^\circ$.

Продифференцируем выражение (11) с учетом критерия (6):

$$\frac{d\Omega}{d\sigma_1} = 2\operatorname{tg}\varphi \frac{\left(\sigma_1 - \sigma_3\right) - C\left(1+\frac{fk(\sigma_1+\sigma_3)}{C}+k\right)\Big/\left(fk+\sqrt{1+\frac{fk\sigma_3}{C}}\Big/\sqrt{1+\frac{f\sigma_1}{C}}\right)}{\left(\left(\sigma_1 - \sigma_3\right)^2 + 4C^2\left(1+\frac{f\sigma_1}{C}\right)^2\right)}. \quad (12)$$

Из уравнения (12) прежде всего следует, что в идеально связных материалах поворот структурных элементов отсутствует. Уравнение (12) можно использовать для экспериментального определения параметра упрочнения. Используя уравнение (12) посредством теоремы об изменении кинетического момента, можно определить момент пары сил, действующих на структурный элемент при пластическом деформировании.

Описанный ранее процесс пластического деформирования многое объясняет. Например, кардинальное несовпадение предельных огибающих, полученных в стабилометрических испытаниях и методом косого среза [12]. В действительности при косом срезе разрушение происходит по заданной поверхности, т. е. поверхность пластичности совпадает с поверхностью разрушения. Именно поэтому предельная поверхность, полученная косым срезом, значительно положе своего объемного аналога. Обнаружение в раздавленных образцах трещин отрыва, параллельных максимальному сжимающему напряжению, например [13], очень просто и логично объясняется дилатансией, т. е. поперечным расширением с увеличением объема. Именно данные трещины, согласно предлагаемой теории, и являются причиной снижения нормального напряжения на площадке среза. Обнаружение в образцах после испытания сколовых трещин с углом падения, превышающим $\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)$, например [14], объясняется разворотом структурных элементов, т. е. самих трещин. Поворот структурных элементов в процессе пластического деформирования, на взгляд автора, является весьма информативным параметром. Данное явление может использоваться для определения ориентировки и значений компонент главных напряжений в естественных условиях, по крайней мере пополнить об этом представления [15]. Значения углов поворота может являться параметром, характеризующим степень пластической деформации, т. е. определяет время до разрушения – прогноз землетрясений или разрушения других сооружений.

В работах [6, 16] автором поставлена и решена задача по определению наиболее слабых поверхностей скольжения в однородных откосах. Условие для нахождения данных поверхностей можно свести к следующей вариационной задаче:

$$\int\left[A\left(x,y,y'\right)\left(\tilde{y}-y\right)-\mu\eta\left(x,y,y'\right)\sqrt{1+y'^2}\right]dx = \int A(x,y,y')dS - \mu\int\eta(x,y,y')\,dl \to \max, \quad (13)$$

где $A(x, y, y')$ – некоторая функция координат и производной функции поверхности скольжения; $\eta(x, y, y')$ – некоторая функция; μ – постоянная; dS – элементарная площадка; dl – дифференциал длины дуги поверхности скольжения (разрушения).

Заметим, что выражение (13) можно представить как вариационное уравнение:

$$\delta\left[\frac{\int A\left(x,y,y'\right)dS}{\int\eta\left(x,y,y'\right)dl}\right] = 0, \text{ или } \frac{\int A\left(x,y,y'\right)dS}{\int\eta\left(x,y,y'\right)dl} \to \max, \quad (14)$$

где δ – вариация функционалов или их функции.

Вариационные задачи (13)–(14) получены исходя из принципа возможных перемещений [6, 16], который, как известно, является энергетическим. В связи с этим функция $A(x, y, y')$ представляет собой удельную работу внутренних (приложенных внутри призмы смещения или объемных) сил и внешних сил, зависящих от объемных (трение), на возможном перемещении всей механической системы (призмы смещения). По сути, функция $A(x, y, y')$ является удельной потенциальной энергией деформации твердого тела на возможном перемещении. А функция $\eta(x, y, y')$ является половиной удельной поверхностной энергии разрушения на возможном перемещении системы.

Рассмотрим случай, когда A и η постоянны, т. е. работа внутренних и объемных сил на возможном перемещении (удельная потенциальная энергия деформации) и удельная поверхностная энергия разрушения не зависят от координат точки. В этом случае решением вариационного уравнения (14) при отсутствии дополнительных условий для объемной задачи является шар, а в плоском случае – круг. Данный результат следует из так называемой изопериметрической задачи (задача Дидоны) и закона ее взаимности, например [6]. То есть при фиксированном числителе в уравнении (14) знаменатель минимизирован и, наоборот, при постоянном знаменателе числитель максимален. Приведем несколько примеров.

Как известно, капля воды в невесомости принимает сферическую форму, минимизируя посредством площади энергию поверхностного натяжения. Другим примером является одиночный мыльный пузырь, также принимающий в полете форму шара. Согласно теореме Пуассона, средняя кривизна поверхности раздела двух физических сред, находящихся в равновесии, пропорциональна разности давлений в этих средах (для пузыря разность давлений отлична от нуля, тогда средняя кривизна постоянна и отлична от нуля). Мыльные пленки впервые подробно исследовал Плато, который вывел следующие правила: 1) три поверхности могут сходиться под углом только 120°; 2) разграничивающие кривые обязаны встречаться только по четыре и только под углом примерно 109°28’ – это углы, под которыми в правильном тетраэдре расходятся отрезки, соединяющие его центр с вершинами.

Кошка, сворачивающаяся в клубок, отдает в окружающее пространство меньше теплоты, но самое удивительное, что кошка не может мыслить, она это делает в угоду инстинкту. Замерзший человек также подгибает ноги и горбится, сам не понимая, для чего он это делает, это получается как бы произвольно, как будто им кто-то управляет, в том числе во сне. По этой же причине, например, Солнце, Земля и Луна имеют шарообразную форму.

Шары как экстремальные геометрические фигуры не могут абсолютно компактно заполнить предоставленное им трехмерное пространство, наилучшая упаковка шаров составляет $\pi/\sqrt{18} \approx 74\,\%$ (задача Кеплера, 1611 г.), а для плоского аналога – $\pi/\left(\sqrt{12}\right) \approx 90\,\%$. В связи с этим дополнительным условием к принципу (14) может являться требование полного заполнения фигурами всего предоставленного им пространства. В случае постоянных A и η приходим к задаче Кельвина (Томсона), 1887 г. То есть необходимо найти форму фигур с наименьшими поверхностями, непрерывно заполняющими бесконечное пространство, при одинаковых и заданных объемах. Последним решением-приближением является форма Уэйра–Фелана, для плоского случая решением, по-видимому, является система шестигранников, напоминающих пчелиные соты. С другой стороны, при одинаковом числе сторон и равных периметрах площадь правильного многоугольника больше, чем неправильного. Из двух правильных многоугольников с равными периметрами площадь больше у того многоугольника, у которого больше сторон. Необходимо

также отметить, что на форму оптимальных объемов сильно влияет граница области, в которой они находятся, т. е. геометрия границы тела. Таким образом, реальная форма тел деструкции в конечном итоге будет зависеть от особенностей распределения энергии по объему тела, его формы, структурных особенностей на микро-, мезо- и макроуровне.

Приведем примеры из горного дела. Примером из геомеханики открытых горных работ является так называемая «круглоцилиндрическая» поверхность скольжения, предложенная Петерсоном в 1916 г. и подтверждаемая Шведской геотехнической комиссией. И действительно, при равномерности распределения энергий поверхность скольжения представляла бы собой дугу окружности. Однако, как показано в работах [6, 16], функция поверхности скольжения лишь кусочно гладкая, т. е. производная имеет разрыв. Это говорит о сложном распределении энергии вдоль поверхности скольжения. С другой стороны, каждый из трех участков поверхности скольжения в однородных откосах в отдельности достаточно тесно описывается дугой окружности. Кроме того, обращает на себя внимание тот факт, что на первых двух участках (нижних) поверхность скольжения вогнутая, а на третьем (верхнем) – выпуклая, но все равно по форме достаточно близка к дуге некоторой окружности (рис. 1). Зададимся вопросом, чем принципиально отличаются первый, второй и третий участки поверхности скольжения. Ответ очевиден – на третьем участке внутренние (межблоковые) реакции E, T не совершают работы на возможном перемещении. Таким образом, данный участок можно ассоциировать с идеальной пластичностью. По-видимому, для пластичной среды необходимо использовать не работу деформаций, а дополнительную работу. Математически это означает, что перед числителем в (14) нужно поставить знак «минус». То есть оставшаяся часть горного массива экономит площади (объемы) с низкой потенциальной энергией (пластичные) и отбрасывает, не скупясь, объемы с повышенной потенциальной энергией (перенапряженные), во всех случаях минимизируя площадь вновь образованных поверхностей разрушения. Другими словами, экономится суммарная потенциальная энергия при разрушении. Е. М. Морозов [17] еще в 1961 г. для условия равномерного двухосного растяжения выдвигал условие минимизации длины периметра при охвате наибольшей возможной по условиям разрушения площади в качестве принципа деструкции. Однако, как показано ранее, для условий сдвигового разрушения и сложного распределения энергии по объему данное условие может оказаться несостоятельным.

Примером из геомеханики подземных горных работ является зональная дезинтеграция горных пород вокруг горных выработок в сильнонапряженных горных массивах [18]. Суть явления заключается в образовании вокруг горизонтальных выработок нескольких (в зависимости от уровня напряжений) кольцевых или квазипараллельных выработке зон упругих и пластических (разрушения) состояний горных пород, поочередно сменяющих друг друга. С вариационных позиций данный факт достаточно просто объясним. Кольцо разрушенных горных пород обладает минимальной длиной при заданной мощности (определяется напряженным состоянием), посредством чего минимизируется диссипация (рассеяние) энергии при разрушении, при этом оконтуривается максимальная площадь пород с высокой потенциальной энергией деформации (сильнонапряженные участки).

Используя теорию работ [6, 16], можно показать, что радиусы зон дезинтеграции формируются согласно некоторой постоянной

$$m = 2\sin\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right). \qquad (15)$$

Примечательно, что если положить в (15) φ = 0 (идеально пластичные породы), то $m=\sqrt{2}$, что соответствует масштабному фактору [18]. Максимальное же значение (15) соответствует идеально хрупким породам и приближенно составляет $m \approx 1{,}85$, что соответствует постоянной модифицированного закона Тициуса–Боде (1,89) [19].

Убедительного объяснения явления зональной дезинтеграции не существует до сих пор. Считается, что зоны дезинтеграции являются результатом снятия сжимающих напряжений на контурах пройденной выработки, т. е. действия растягивающих напряжений. Однако как в этом случае объяснить увеличение размеров зон дезинтеграции по мере удаления от выработки? С позиций развиваемой в данной работе теории, а именно разворотов структурных элементов в процессе пластического деформирования, становится достаточно очевидным, что зоны дезинтеграции имеют сдвиговый характер происхождения. Выработка играет двоякую роль. Во-первых, она снижает нормальные напряжения в зонах дезинтеграции, а, во-вторых, является концентратором напряжений и переводит окружающие породы в фазу пластического деформирования. Увеличение же мощности зон дезинтеграции по мере удаления от выработки является следствием вовлечения в пластическое деформирование иерархических уровней более высокого порядка (ранга), т. е. обладающих большей энергией.

Таким образом, из выражения (14) и его подробного анализа следует, что тело при деструкции, дезинтеграции (диссипации энергии) стремится отделить от себя части тела с повышенной потенциальной энергией и, наоборот, сохранить части тела с пониженной потенциальной энергией, при этом минимизируя площадь (длину для плоской задачи) поверхности отделения (деструкции). Во всех случаях выполняется условие предельного равновесия. Заметим, что при деструкции потенциальная энергия деформации тела отсекается некоторыми порциями (отделяемые тела имеют определенные размеры) – квантами энергии.

Обобщая уравнение (14), запишем вариационный принцип деструкции в общем виде:

$$\frac{\int\limits_V A(x,y,z)\,dV}{2\int\limits_{S_\tau}\eta_\tau(x,y,z)\,dS_\tau+2\int\limits_{S_\sigma}\eta_\sigma(x,y,z)\,dS_\sigma}\to \text{extr}, \qquad (16)$$

где A – потенциал работы деформации или дополнительная работа (для пластического состояния); η_τ; S_τ – удельная поверхностная энергия разрушения при срезе и площадь вновь образованных поверхностей; η_σ; S_σ – удельная поверхностная энергия разрушения при разрыве и площадь вновь образованных поверхностей; V – отделяемый при деструкции объем.

Принцип (16) подразумевает стационарность процесса деструкции. Однако в принципе его можно модифицировать с учетом фактора времени. Коэффициент «2» в знаменателе формулы (16) формален и показывает, что при разрушении тела (образование трещины) образуются две поверхности, однако на наличие экстремума выражения он не влияет.

Что касается вопроса физических предпосылок выполнения условий (14) и (16), то нужно признать, что это проблема будущих исследований, собственно, это касается и других вариационных принципов механики, да и не только механики. Однако можно предположить существование некоторого более общего вариационного принципа разрушения и созидания (самоорганизации) в природе.

Если учесть, что энтропия является не только мерой хаоса, но и мерой качества энергии, мерой ее концентрации и направленности, то неизбежность самоорганизации в природе можно вывести также из вариационного принципа минимума диссипации (рассеяния) энергии: если возможно множество сценариев

протекания процесса, согласных с законами сохранения и связями, наложенными на систему, то в реальности процесс протекает по сценарию, которому отвечает минимальное рассеяние энергии, т. е. минимальный прирост энтропии. Другими словами, если в ходе процесса возможно образование упорядоченных устойчивых статических или динамических структур в локальных областях системы, то они обязательно возникнут, уменьшая тем самым суммарный прирост энтропии. Впрочем, данный принцип пока не имеет математического выражения.

В заключение хотелось бы отметить, что все приведенные ранее уравнения и зависимости получены в строгом соответствии с фундаментальными законами механики и на основе строгих математических подходов [2–6, 16], в связи с этим возможные отклонения от экспериментальных результатов должны объясняться, прежде всего, модельными представлениями о континуальности твердых тел.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панин В. Е. Синергетические принципы физической мезомеханики // Физическая мезомеханика. 2000. № 3(6). С. 5–36.
2. Жабко А. В. Напряженное состояние земной коры // Изв. УГГУ. 2014. № 3(35). С. 57–60.
3. Жабко А. В. Условие прочности горных пород // Изв. УГГУ. 2014. № 4(36). С. 24–28.
4. Жабко А. В. Предельное напряженное состояние горных пород // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 5. С. 50–55.
5. Жабко А. В. Критерий разрушения твердых тел // Проблемы недропользования: сетевое периодич. науч. изд. 2015. Вып. 2 (5). С. 46–51. URL: http://trud.igduran.ru
6. Жабко А. В. Аналитическая геомеханика. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. 224 с.
7. Панин В. Е., Лихачев В. А., Гриняев Ю. В. Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск: Наука, 1985. 255 с.
8. Викулин А. В., Мелекесцев И. В. Вихри и жизнь // Ротационные процессы в геологии и физике. М.: КомКнига, 2007. С. 39–102.
9. Викулин А. В., Махмудов Х. Ф., Иванчин А. Г., Герус А. А., Долгая А. А. О волновых и реидных свойствах земной коры // Физика твердого тела. 2016. Т. 58. Вып. 3. С. 547–557.
10. Морозов Н. Ф. Математические вопросы теории трещин. М.: Наука, 1984. 256 с.
11. Гарагаш И. А., Николаевский В. Н. Механика Коссера для наук о Земле // Вычислительная механика сплошных сред. 2009. Т. 2. № 4. С. 44–66.
12. Карташов Ю. М., Матвеев Б. В., Михеев Г. В. и др. Прочность и деформируемость горных пород. М.: Недра, 1979. 269 с.
13. Одинцев В. Н. Отрывное разрушение массива скальных горных пород. М.: ИПКОН РАН, 1996. 166 с.
14. Ставрогин А. Н., Тарасов Б. Г. Экспериментальная физика и механика горных пород. СПб: Наука, 2001. 343 с.
15. Ребецкий Ю. Л. Тектонические напряжения и области триггерного механизма возникновения землетрясений // Физическая мезомеханика. 2007. № 10 (1). С. 25–37.
16. Жабко А. В. Теория расчета устойчивости откосов и оснований. Общая теория расчета устойчивости однородных откосов // Изв. УГГУ. 2016. №1(41). С. 72–83.
17. Левин В. А., Морозов Е. М., Матвиенко Ю. Г. Избранные нелинейные задачи механики разрушения. М.: Физматлит, 2004. 408 с.
18. Опарин В. Н. Научные открытия межтысячелетия в геомеханике и перспективы их применения // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: труды конф. с участием иностранных ученых (Новосибирск, 2–5 окт. 2007 г.). Новосибирск: ИГД СО РАН, 2007. С. 7–30.
19. Кашубин С. Н., Виноградов В. Б., Кузин А. В. Физика Земли. 2-е изд., испр. и перераб. Екатеринбург: УГГУ, 2005. 188 с.

REFERENCES

1. Panin V. E. 2000, *Sinergeticheskie printsipy fizicheskoy mezomekhaniki* [Synergetic principles of physical mesomechanics]. Fizicheskaya mezomekhanika [Physical Mesomechanics], no. 3(6), pp. 5–36.
2. Zhabko A. V. 2014, *Napryazhennoe sostoyanie zemnoy kory* [Stress state of the earth's crust]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 3(35), pp. 57–60.
3. Zhabko A. V. 2014, *Uslovie prochnosti gornykh porod* [The condition of rock strength]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 4(36), pp. 24–28.
4. Zhabko A. V. 2015, *Predel'noe napryazhennoe sostoyanie gornykh porod* [Extreme stress state of rocks]. *Izv. vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 5, pp. 50–55.
5. Zhabko A. V. 2015, *Kriteriy razrusheniya tverdykh tel* [Criteria for the destruction of solids]. *Problemy nedropol'zovaniya* [Subsoil use problems], no. 2(5), pp. 46–51. Available at: http://trud.igduran.ru
6. Zhabko A. V. 2016, *Analiticheskaya geomekhanika* [Analytical geomechanics], Ekaterinburg, 224 p.
7. Panin V. E., Likhachev V. A., Grinyaev Yu. V. 1985, *Strukturnye urovni deformatsii tverdykh tel* [Structural levels of deformation of solids], Novosibirsk, 255 p.
8. Vikulin A. V., Melekestsev I. V. 2007, *Rotatsionnye protsessy v geologii i fizike* [Rotational processes in geology and physics], Moscow, pp. 39–102.
9. Vikulin A. V., Makhmudov Kh. F., Ivanchin A. G., Gerus A. A., Dolgaya A. A. 2016, *O volnovykh i reidnykh svoystvakh zemnoy kory* [On the wave and reid properties of the earth's crust]. *Fizika tverdogo tela* [Physics of the Solid State], vol. 58, no. 3, pp. 547–557.
10. Morozov N. F. 1984, *Matematicheskie voprosy teorii treshchin* [Mathematical problems in the theory of cracks], Moscow, 256 p.
11. Garagash I. A., Nikolaevskiy V. N. 2009, *Mekhanika Kossera dlya nauk o Zemle* [Cosserat Mechanics for Earth Sciences]. *Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred* [Computational Continuum Mechanics], vol. 2, no. 4, pp. 44–66.
12. Kartashov Yu. M., Matveev B. V., Mikheev G. V. et al. 1979, *Prochnost' i deformiruemost' gornykh porod* [Strength and deformability of rocks], Moscow, 269 p.
13. Odintsev V. N. 1996, *Otryvnoe razrushenie massiva skal'nykh gornykh porod* [Separated destruction of rock massif], Moscow, 166 p.
14. Stavrogin A. N., Tarasov B. G. 2001, *Eksperimental'naya fizika i mekhanika gornykh porod* [Experimental physics and mechanics of rocks], St. Petersburg, 343 p.
15. Rebetskiy Yu. L. 2007, *Tektonicheskie napryazheniya i oblasti triggernogo mekhanizma vozniknoveniya zemletryaseniy* [Tectonic stresses and regions of trigger mechanism of earthquake occurrence]. *Fizicheskaya mezomekhanika* [Physical Mesomechanics], no. 10(1), pp. 25–37.
16. Zhabko A. V. 2016, *Teoriya rascheta ustoychivosti otkosov i osnovaniy. Obshchaya teoriya rascheta ustoychivosti odnorodnykh otkosov* [The theory of calculating the stability of slopes and bases. General theory of calculating the stability of homogeneous slopes]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1(41), pp. 72–83.
17. Levin V. A., Morozov E. M., Matvienko Yu. G. 2004, *Izbrannye nelineynye zadachi mekhaniki razrusheniya* [Selected nonlinear problems of fracture mechanics], Moscow, 408 p.
18. Oparin V. N. 2007, *Nauchnye otkrytiya mezhtysyacheletiya v geomekhanike i perspektivy ikh primeneniya* [Scientific discoveries of the inter-millennium in geomechanics and prospects for their application]. *Geodinamika i napryazhennoe sostoyanie nedr Zemli: trudy konf. s uchastiem inostrannykh uchenykh (Novosibirsk, 2–5 okt. 2007 g.)* [Geodynamics and the stressed state of the Earth's interior: the works of the conference with the participation of foreign scientists (Novosibirsk, October 2-5, 2007)], Novosibirsk, pp. 7–30.
19. Kashubin S. N., Vinogradov V. B., Kuzin A. V. 2005, *Fizika Zemli* [Physics of the Earth], Ekaterinburg, 2 ed., 188 p.

Андрей Викторович Жабко,
Zhabkoav@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Andrey Viktorovich Zhabko,
Zhabkoav@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 504.06

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-88-91

ЭКОНОМИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В. В. Балашенко

Saving water resources in the development of placer deposits

V. V. Balashenko

The author considers the issues of resources saving and protection during mining operations in the northern territories. The article contains an analysis of the state of the natural water of the placers. By itself, the water of the surface reservoirs of the Urals North contains little oxygen, and has a low self-cleaning capacity. Exploration and mining operations with traditional technologies lead to the unacceptable pollution of watercourses, the reduction of fish resources, the replacement of valuable varieties of fish with low-value ones. Damage to fish resources, in spite of numerous methods, it is impossible to calculate. Preventive fish protection measures are not effective. The author analyzes studies on the effect of gold mining on river ecosystems of the eastern and western slopes of the Urals. In the developed mathematical simulation model, a significant fraction of parameters had approximate values, so the results obtained are only indicative. There was no continuation of this work. Common belief is that preventing negative changes is possible by regulating the incoming pollutants, but the author proves that for vulnerable northern territories one needs the approaches that eliminate pollution using technologies and production processes that prevent them. The article shows an example of the replacement of traditional technology of the bulldozer-hydraulic method with the excavating method with the corresponding basic and auxiliary equipment that does not require large water flows. According to calculations, the total water discharge after excluding the hydraulic monitors and hydroelevator decreased by 8.3 times. One can see a consecutive calculation of the annual economic damage from the implementation of the measure and the environmental effect.

Keywords: economic damage to fish resources; development technologies; economic effect.

Рассмотрены вопросы экономии и защиты водных ресурсов при горных работах на северных территориях. Анализируется состояние природной воды районов россыпей. Сама по себе вода поверхностных водоемов Уральского Севера содержит мало кислорода, обладает небольшой способностью к самоочищению. Геологоразведочные и добычные работы с традиционными технологиями приводят к недопустимому загрязнения водотоков, к сокращению рыбных ресурсов, замещению ценных сортов рыб на малоценные. Ущерб рыбным ресурсам, несмотря на многочисленные методики, подсчитать невозможно. Предупредительные рыбоохранные мероприятия эффекта не дают. Анализируются исследования по воздействию золотороссыпных разработок на речные экосистемы восточного и западного склонов Урала. В разработанной математической имитационной модели в информационном обеспечении существенную долю составляли приближенные значения параметров, в силу чего полученные результаты могут рассматриваться лишь как ориентировочные. Продолжения работ не последовало. Считается, что предотвратить негативные изменения возможно путем регламентации поступающих загрязнителей, автор же доказывает, что для уязвимых северных территорий необходимы подходы по исключению загрязнений с использованием технологий и процессов производства, их предотвращающих. Приводится пример замены традиционной технологии бульдозерно-гидравлического способа на экскаваторный способ с соответствующим основным и вспомогательным оборудованием, не требующим больших расходов воды. По расчету общий расход воды при исключении работы гидромониторов и гидроэлеватора уменьшился в 8,3 раза. Приводится последовательный расчет годового экономического ущерба от внедрения мероприятия и экологического эффекта.

Ключевые слова: экономический ущерб рыбным ресурсам; технологии разработки; экономический эффект.

Разведка и разработка золотороссыпных месторождений в северных условиях (и не только в северных) влечет за собой множество отрицательных воздействий и последствий, одними из которых являются загрязнение открытых водных источников и ущерб рыбным ресурсам [1]. Загрязнение подземных вод на участках зоны влияния россыпного месторождения и превышение норм безвозвратного изъятия поверхностного стока, как правило, незначительные и на состоянии водных экосистем не сказываются. Твердый материал, поступающий в водоток с площади водосбора во время паводков, половодий, обильных дождей, увеличивается по сравнению с поступлением его во время эксплуатационных работ. В весеннее половодье при высоком уровне реки, озера, болота сливаются в один водный поток, где происходит обмен гидрохимическими веществами, гидробионтами, ихтиофауной и др. Антропогенное влияние заключается в миграции загрязняющих веществ от водного транспорта, топливных заправочных баз, хоть и немногочисленных, но расположенных в прибрежной зоне рек, где ведутся геологоразведочные и эксплуатационные работы. Формирование химического состава речных вод бассейна р. Северная Сосьва и ее притоков происходит под влиянием климатических условий, характера почв, растительности, а также особенностей геоморфологии и геологии. Природные речные воды бассейна реки слабоминерализованные, однако особенно во время половодья, в межень минерализация возрастает до 150–300 мг/л. На залесенных и заболоченных водосборах поверхностно-склоновые и почвенно-поверхностные воды выщелачивают из лесной подстилки и торфа продукты неполного разложения растительных и животных остатков и обогащаются органическими веществами. Содержание растворенных в воде органических и некоторых минеральных веществ в целом очень высокое. Цветность воды на подъеме половодья достигает 300–370°. Высокая окисляемость объясняется усиленным притоком в воды гуминовых кислот с болотными водами. Степень насыщения воды кислородом летом достигает иногда 40–45 % [2]. Таким образом, вследствие малого количества растворенного кислорода, его повышенным расходом на окисление органических веществ, поступающих с многочисленными ручьями и мелкими речками с заболоченных пространств, воды обладают малой способностью к самоочищению, а несмотря на сезонность отработки россыпных месторождений, загрязнение водных источников происходит и в межсезонный период. Главным же загрязняющим веществом при разработке россыпей являются взвешенные вещества (частицы). Взвешенные вещества выше ПДК (для рыбохозяйственных водоемов более 25 мг/л) уменьшают прозрачность воды, интенсивность фотосинтеза, объем фитопланктона. Из-за более быстрого прогрева взмученной воды изменяется состав фауны рыб [3] (лососевые приспособлены к холодной воде, они заменяются на сорную рыбу) и т. д. Экономический ущерб от ухудшения состояния рыбных ресурсов (ущерб от снижения товарных качеств рыбы, от снижения продуктивности водоемов, от необ-

ходимости восстановления воспроизводства рыбных ресурсов, от гибели кормовых организмов и т. д.) определяется в соответствии с Методическими рекомендациями («Временная методика оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоемах» утв. Минрыбхозом СССР 18.12.89, Госкомприроды СССР 20.10.89, действует в 2017 г.). Экономическая оценка ущерба рыбным ресурсам производится по сравнению численности популяции рыб до разработки месторождения и при эксплуатации месторождения, т. е. определяются и сравниваются численные стада рыбы и ее уловы в денежном выражении при наличии и отсутствии экологической нагрузки. Результаты отрицательного воздействия эксплуатации предприятий, не устраняемые предупредительными рыбоохранными мерами, определяются размером ожидаемого ущерба рыбным запасам водоема в натуральном выражении. Экономический ущерб будет определяться как часть неполученной прибыли в результате сокращения улова от ухудшения условий естественного воспроизводства рыбных ресурсов из-за загрязнения водоемов. В настоящее время промышленного вылова всех видов рыб (и даже браконьерского вылова) в исследуемом районе нет в силу его труднодоступности. Ограниченный промысловый лов ведется на р. Северная Сосьва в 360 км от россыпей Усть-Маньинского россыпного района (реки Арбынья, Луоцулья, Бол. Сосьва, Манья (южная) и др.). Подсчитать ущерб и в денежном, и в натуральном выражении в этом случае невозможно.

На северных территориях многие предупредительные рыбоохранные мероприятия, позволяющие сохранить улов рыбы в объеме улова до эксплуатации предприятия, пригодны для более мягких климатических условий. При этом нужно учитывать уникальность и ценность видов рыб в золотоносных северных районах Приполярного Урала (Хальмерьинский, Усть-Маньинский, Щекурьинский, Ляпинский, Северо-Сосьвинский), которые более требовательны к условиям нереста и проживания. Обычно это холодолюбивые рыбы, приспособленные к жизни в чистой воде с высокой концентрацией кислорода. При изменении условий меняются численность популяции, динамика численности.

В мире осталось небольшое число крупных месторождений золота с богатыми запасами (в основном в Южной Африке), и в то же время имеются большие запасы руд и песков с пониженным средним содержанием металла, разрабатывать которые было нерентабельно. Отработка месторождений с большими запасами, существенное повышение цен на золото, позволяют рассматривать в качестве перспективных неосвоенные районы с небогатыми и мелкими месторождениями. Крупный золотоносный район с такими месторождениями расположен на Приполярном Урале. Общие прогнозные ресурсы россыпного золота составляют 60,4 т (Хальмерьинский, Усть-Маньинский, Щекурьинский, Ляпинский, Северо-Сосьвинский рудно-россыпные районы). Прогнозные ресурсы рудного золота – 603 т, запасы по категории C_2 – 6,7 т [4]. Среди этих россыпей выделяются следующие геолого-промышленные типы: элювиально-склоновые (к ним относятся россыпи кор химического выветривания с гравитационным и мелким золотом), аллювиальные (неглубокие россыпи с гравитационным золотом малых и средних рек и глубокозалегающие россыпи этих же долин) и техногенные, трудно-промывистые типы.

Современные эффективные технологии с подземным и кучным выщелачиванием металлов не совсем применимы к добыче золота, так как оно не поддается воздействию обычных растворителей, которые используются для растворения медных, никелевых, урановых и других руд. Существующие растворители золота (цианиды, тиомочевина и др.) очень ядовиты, с медленным процессом растворения золота. Поэтому при применении технологий с выщелачиванием необходим целый комплекс природоохранных мероприятий, гарантирующих безопасность работающих и исключающих возможность проникновения ядовитых жидкостей за пределы участка работ, что требует значительных затрат на выполнение этих мероприятий [5, 6]. Для исключения техногенных аварий в настоящее время при отработке россыпей применяются традиционные схемы добычи, где главный технологический процесс – гидравлический (промывка горной массы). Наиболее уязвимыми из природных ресурсов при этом являются водные ресурсы и, соответственно, главное значение в решении природоохранных проблем имеет охрана вод (рыбных ресурсов). В 1980-х гг. был проведен ряд исследований по воздействию золотороссыпных разработок на речные экосистемы восточного и западного склонах Урала (Мингео СССР совместно с Институтом экологии растений и животных и Институтом экономики УНЦ [7]). Была разработана математическая имитационная модель *месторождение–река*, ее информационное обеспечение для эталонного района и методические рекомендации для адаптивной оценки ущерба рыбным ресурсам при разведке и разработке россыпных месторождений. Разработанные методические рекомендации предлагалось использовать для определения экологического ущерба при геолого-экономической оценке россыпных месторождений и выбора рационального способа разработки с точки зрения охраны природы. При этом оговаривалось, что в информационном обеспечении имитационной модели существенную долю составляют приближенные значения параметров, использованы экспертные оценки, т. е. получаемые результаты расчетов должны расцениваться как ориентировочные, в основном была представлена только качественная оценка последствий. В дальнейшем работы с целью уточнения параметров модели не продолжались, количественного выражения последствий воздействия разработок месторождений соответственно также не было, следовательно, и оценить ущерб нельзя даже приблизительно.

Специалисты в области рыбохозяйственной токсикологии считают, что предотвратить негативные изменения в загрязненном водоеме можно путем регламентации поступающих в водоемы токсических веществ на основе экспериментально установленных в лабораторных условиях и опытах на рыбах предельно допустимых концентраций. «Пока неизвестно ни одного случая, когда бы гибель рыбы в водоеме происходила при содержании токсикантов в воде, грунтах или в самом организме на уровне рекомендованных ПДК концентраций. Лишь при многократном (в десятки и сотни раз) превышении величины ПДК отмечаются неблагоприятные изменения в экосистемах водоемов, снижение численности, продуктивности или гибель рыб и других гидробионтов. Следовательно, важно только соблюдать экспериментально установленные ПДК и не допускать их многократного превышения» [8]. С точки зрения автора, такой принцип не подходит к разработке россыпей, так как при ударно-гидравлической технологии разработки в отработанной воде образуются ультрасуспензии со сверхвысокой геохимической активностью [9], с набором известных и неизвестных токсикантов в конкретной геохимической системе отстойников [10], а в лабораторных условиях и опытах на рыбах нужно устанавливать сотни ПДК (и сколько рыбы надо загубить). Для уязвимых северных территорий (и не только северных) необходимы подходы по «предотвращению загрязнений» с использованием технологий и процессов производства, предотвращающих или минимизирующих загрязнения (со стимулированием их разработки и внедрения), которые уже используются в мировой практике (например, по положениям Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78) (англ. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL 73/78, Директивам ЕС, касающихся предупреждения загрязнений). В

последние годы государство ввело ряд мер в этом направлении (по переходу на наилучшие доступные технологии (НТД) ФЗ № 219 от 24.06.2014, распоряжение Правительства № 398-р от 19.03. 2014 и др.), но для малых предприятий они недоступны.

При выполнении проекта разработки и рекультивации россыпи «Двуречье» (с участием автора) на реке Луоцулья в Усть-Маньинском рудно-россыпном районе Приполярного Урала в пределах Березовского района ХМАО – Югра было рекомендовано отказаться от бульдозерно-гидравлического способа. Этот способ традиционный и можно сказать единственный, применяемый в настоящее время на действующих приисках Урала. Основные достоинства этого способа – небольшие капитальные вложения и простота оборудования. Запасы и геометрия россыпей, которые можно разрабатывать гидравлическим способом, могут быть любыми, т. е. изменяться в широких пределах, но расход воды на размыв, транспортировку, укладку породы в отвал и обогащение песков при этом способе большой и достигает 35 м^3 на 1 м^3 горной массы. После соответствующих предварительных технико-экономических расчетов для разработки россыпи был предложен экскаваторный способ с соответствующим основным и вспомогательным оборудованием, не требующий больших расходов воды. По расчету количественной схемы обогащения удельный расход технологической воды составил 4,57 м^3/м^3, часовой 186,6 м^3. По расчету общий расход воды при исключении работы гидромониторов и гидроэлеватора уменьшился в 8,3 раза.

Годовой экономический эффект Э от внедрения мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов при производстве продукции определяется по формуле:

$$Э = (З_1 – З_2)Q,$$

где $З_1$, $З_2$ – приведенные затраты на единицу продукции до и после проведения мероприятии или по сопоставляемым проектным вариантам соответственно, руб.; Q – годовой объем производства продукции после внедрения мероприятия, в натуральных единицах.

В соответствии с расчетами годовой экономический эффект от внедрения мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов получился незначительным по следующим причинам:

– удельные капитальные вложения, связанные с изменением технологии работ, влияющей на уменьшение водопотребления, превышают удельные капитальные вложения до изменения технологии, так как стало значительно дороже выемочно-обогатительное оборудование;

– уменьшение водопотребления в 8,3 раза не оказало существенного влияния на себестоимость продукции и величину ущерба. Ставка платы за забор (изъятие) водных ресурсов из поверхностных водных объектов в пределах объема допустимого забора (изъятия) водных ресурсов, установленного договором водопользования, – 270 руб./тыс. м^3 для бассейна Оби в пределах ХМАО (Постановления Правительства РФ от 01.12.2007 № 832). Объем забранной воды определяется исходя из времени работы и производительности технических средств, т. е. обогатительной установки (включая оборотную воду):

$$4460 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot 150 \text{ сут} = 669\,000 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Стоимость воды 669 000 м^3/год × 270 руб./тыс. м^3 = 180 630 руб./год. До внедрения мероприятий стоимость воды составила бы:

$$180\,630 \text{ руб./год} \cdot 8{,}3 = 1\,499\,000 \text{ руб./год};$$

– годовой объем производства продукции после внедрения мероприятия (значительного с природоохранной точки зрения) почти не увеличился; дополнительные капитальные затраты увеличились за счет разницы в стоимости экскаватора и бульдозерно-гидравлического оборудования (1 400 000 руб.);

– компенсация ущерба рыбным ресурсам – 162 тыс. руб. (была бы без мероприятий).

Таким образом, при большом экологическом эффекте (только по одной россыпи) частный (для предприятия) экономический эффект оказался незначительным. По критерию НТД «экономическая эффективность внедрения и эксплуатации и период внедрения» (п. 7 Приказа Минпрома от 31 марта 2015 года № 665 «Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии», возможно, предлагаемая технология не войдет в Справочник НТД, так как применение ресурсо- и энергосберегающих методов рекомендовано рассматривать в качестве дополнительного положительного фактора при принятии решения в отношении определения технологии.

Статья подготовлена за счет средств проекта № 15-14-7-13 «Сценарные подходы к реализации уральского вектора освоения и развития российской Арктики в условиях мировой нестабильности» программы УрО РАН № 14 «Фундаментальные проблемы региональной экономики».

ЛИТЕРАТУРА

1. Татаркин А. И., Балашенко В. В., Душин А. В. и др. Геоэкосоциоэкономическая модель освоения природного потенциала северных малоизученных территорий с позиции системности // Изв. УГГУ. 2016. № 1. С. 118–125.
2. Селиванова Д. А. Гидрохимические особенности поверхностных вод восточного макросклона Приполярного Урала // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: материалы II Всерос. молодеж. геолог. конф. Уфа: Дизайн-ПолиграфСервис, 2014. С. 183–189.
3. Русанов В. В., Турицина О. С. Влияние глинистых взвесей на ранней стадии онтогенеза рыб // Рыбохозяйственные исследования водоемов Урала. Л., 1979. С. 122–128.
4. Пахомов В. П., Золоев К. К., Душин А. В. и др. Состояние и оценка минерально-сырьевых ресурсов ХМАО – Югры в системе горнопромышленного кластера. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2009. 193 с.
5. Кутлиахметов А. Н. Геоэкологическое состояние природно-технических систем районов золотодобычи в Башкирском Зауралье: дис. д-ра геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2015. 297 с.
6. Низамутдинова Н. Р. Оценка воздействия технологии подземного выщелачивания золота на окружающую среду // Вода: химия и экология. 2014. № 10. С. 9–14.
7. Разработка методических рекомендаций по определению экологического ущерба при разведке и разработке россыпных месторождений в условиях Севера. Воркута: Мингео СССР, 1987. № ГР 24-85-5/67.
8. Лукьяненко В. И. Экологические аспекты ихтиотоксикологии. М.: Агропромиздат, 1987. 240 с.
9. Урьев Н. Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. М.: Химия.1980. 312 с.
10. Гавриленко В. В. Экологическая минералогия и геохимия месторождений полезных ископаемых. СПб.: СПГИ, 1993. 150 с.

REFERENCES

1. Tatarkin A. I., Balashenko V. V., Dushin A. V. et al. 2016, *Geoekosotsioekonomicheskaya model' osvoeniya prirodnogo potentsiala severnykh maloizuchennykh territoriy s pozitsii sistemnosti* [Geoecosociological model of development of natural potential of northern poorly studied territories from the systemic viewpoint]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1, pp. 118–125.
2. Selivanova D. A. 2014, *Gidrokhimicheskie osobennosti poverkhnostnykh vod vostochnogo makrosklona Pripolyarnogo Urala* [Hydrochemical features of surface waters of the eastern macroslope of the Subpolar Urals]. *Geologiya, geoekologiya i resursnyy potentsial Urala i sopredel'nykh territoriy: materialy II Vseros. molodezh. geolog. konf.* [Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories: materials of II all-russian youth geologist conference], Ufa, pp. 183–189.
3. Rusanov V. V., Turitsina O. S. 1979, *Rybokhozyaystvennye issledovaniya vodoemov Urala* [Fisheries researches of the Urals reservoirs], Leningrad, pp. 122–128.
4. Pakhomov V. P., Zoloev K. K., Dushin A. V. et al. 2009, *Sostoyanie i otsenka mineral'no-syr'evykh resursov KhMAO – Yugry v sisteme gornopromyshlennogo klastera* [The state and assessment of the mineral resources of the Hmao-Ugra in the mining cluster system], Ekaterinburg, 193 p.
5. Kutliakhmetov A. N. 2015, *Geoekologicheskoe sostoyanie prirodno-tekhnicheskikh sistem rayonov zolotodobychi v Bashkirskom Zaural'e: dis. d-ra geol.-min-*

eral. nauk [Geoecological state of natural-technical systems of gold mining areas in the Bashkir Trans-Urals: dissertation of Doctor of geology-mineralogy sciences], Ekaterinburg, 297 p.
6. Nizamutdinova N. R. 2014, *Otsenka vozdeystviya tekhnologii podzemnogo vyshchelachivaniya zolota na okruzhayushchuyu sredu* [Assessment of the impact of the technology of underground leaching of gold on the environment]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology], no. 10, pp. 9–14.
7. 1987, *Razrabotka metodicheskikh rekomendatsiy po opredeleniyu ekologicheskogo ushcherba pri razvedke i razrabotke rossypnykh mestorozhdeniy v usloviyakh Severa* [Development of methodological recommendations for determining environmental damage during the exploration and development of placer deposits in the North], Vorkuta, № GR 24-85-5/67.
8. Luk'yanenko V. I. 1987, *Ekologicheskie aspekty ikhtiotoksikologii* [Environmental Aspects of Ichthyotoxicology], Moscow, 240 p.
9. Ur'ev N. B. 1980, *Vysokokontsentrirovannye dispersnye sistemy* [Highly concentrated disperse systems], Moscow, 312 p.
10. Gavrilenko V. V. 1993, *Ekologicheskaya mineralogiya i geokhimiya mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* [Ecological mineralogy and geochemistry of mineral deposits], St. Petersburg, 150 p.

Валерий Васильевич Балашенко,
bala10@mail.ru
Институт экономики УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Московская, 29

Valeriy Vasil'evich Balashenko,
bala10@mail.ru
Institute of Economy of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

УДК (358.2:622):330.15 DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-92-95

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ, ФОРМИРУЮЩИХ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ

О. В. Косолапов, Л. В. Власова

Assessment of the influence factors that form the economic damage

O. V. Kosolapov, L. V. Vlasova

The authors substantiate the relevance of studies on the assessment of the environmental hazard of facilities that have anthropogenic impact on the environment, including mining enterprises, negatively affecting all its constituent elements. The factors of influence along with the factors of perception and state determine the amount of economic damage, so there is a need to predict the level of environmental hazard. The authors propose a method for rapid assessment of environmental hazards, involving the theory of fuzzy sets, taking into account that in addition to the estimated factors that determine the nature of the environmental hazard of the facility, a much larger number of unaccountable factors influence its formation. The article contains a list of fundamental principles and an algorithm for implementing the proposed guidelines. According to the algorithm, one should successively perform the following operations: the choice of factors causing the environmental hazard of the facility, the substantiation of the classifier of the levels of evaluated factors, the recognition of factor levels based on the binary number system, determining the importance of factors, determining the weight of the identified subsets of factors, calculation of the integral indicator characterizing ecological hazard, construction of an environmental hazard classifier, according to which the obtained integral indicator corresponds to a certain level of environmental hazard. For example, according to the proposed step-by-step methodological recommendations, the authors determine the level of environmental hazard of JSC "Southern Mining Processing plant". The performed calculations make it possible to estimate it as average.

Keywords: ecological hazard; factors; classifier; recognition.

Обосновывается актуальность исследований по оценке экологической опасности объектов, оказывающих антропогенное воздействие на окружающую среду, в том числе горных предприятий, отрицательно воздействующих на все слагающие ее элементы. Факторы воздействия наряду с факторами восприятия и состояния определяют размер экономического ущерба, в силу чего возникает необходимость прогнозирования уровня экологической опасности. Авторами предлагается методика экспрессной оценки экологической опасности, предусматривающая обращение к теории нечетких множеств с учетом, что помимо оцениваемых факторов, определяющих характер экологической опасности объекта, на ее формирование оказывает влияние гораздо большее число факторов, которые остаются неучитываемыми. Приводятся перечень основополагающих принципов и алгоритм реализации предлагаемых методических рекомендаций. Согласно алгоритму, последовательно выполняются следующие операции: выбор факторов, обуславливающих экологическую опасность объекта, обоснование классификатора уровней оцениваемых факторов, распознавание уровней факторов на основе двойственной системы счисления, установление значимости факторов, определение весомости выделенных подмножеств факторов, расчет интегрального показателя, характеризующего экологическую опасность, построение классификатора экологической опасности, согласно которому полученный интегральный показатель соответствует тому или иному уровню экологической опасности. Для примера согласно предлагаемой этапности методических рекомендаций выполняется определение уровня экологической опасности ОАО «Южный ГОК». Выполненные расчеты позволяют оценить его как средний.

Ключевые слова: экологическая опасность; факторы; классификатор; распознавание.

Формирование экономического ущерба, обусловленного последствиями антропогенного воздействия на окружающую среду, происходит под влиянием трех групп факторов [1–3]: влияния, восприятия и состояния. Факторы влияния характеризуют уровень загрязнения окружающей среды или ее отдельных элементов; факторы восприятия соотносятся с перечнем реципиентов, воспринимающих отрицательное воздействие загрязнения окружающей среды. Согласно [4], к ним относятся: население, лесные, сельскохозяйственные и рыбохозяйственные угодья, основные фонды промышленных предприятий, рекреационные ресурсы и др. Факторы состояния характеризуют те экономические показатели и параметры, которые дают возможность натуральные показатели переводить в стоимостные.

Предприятия горнопромышленного комплекса в процессе освоения ресурсов недр оказывают негативное антропогенное воздействие на все элементы природной среды; при этом одно из его самых вредных воздействий связано с загрязнением [5, 6]. Загрязнение атмосферы, водных ресурсов и почвы влияют на экологическое состояние фауны и флоры, которые, в свою очередь, определяют благополучие жизнедеятельности человека, ибо основное количество тяжелых металлов попадает в организм человека с пищей [7]. Имеет место и прямое воздействие на человека через загрязненные воздух и воду, и формирование соответствующих отрицательных последствий (рост заболеваемости, инвалидности, смертности) [8–11].

Улучшение экологического состояния окружающей среды требует прогнозирования возможных последствий при освоении ресурсов недр (соответственно определение величины экономического ущерба) с целью обоснования наиболее эффективных путей предотвращения или хотя бы облегчения последних. С этих позиций возникает потребность в оценке экологической опасности источников воздействия, выявления степени устойчивости природной среды к антропогенным воздействиям и устойчивости человеческих организмов к воздействиям загрязнения.

Актуальность проблемы подтверждает востребованность тематики для проводимых исследований. В частности, несомненную востребованность представляет собой оценка экологической опасности предприятий. Как следует из анализа [12], речь идет о прямом, косвенном и смешанном подходе к оценке экологической опасности предприятий горнопромышленного комплекса. Результатом оценочных процедур выступают показатели, характеризующие экологическую опасность воздействия на отдельные элементы окружающей среды, либо интегральные оценки воздействия. Не меньшую проработку имеет и проблема устойчивости окружающей среды, воспринимающей воздействия. В целом следует констатировать, что методический инструментарий оценки как источников воздействия, так и объектов их восприятия еще не до конца выстроен, и исследования данной направленности продолжаются.

Авторами предлагается методика экспрессной оценки экологической опасности антропогенного воздействия на окружающую среду при освоении ресурсов недр, к числу основополагающих принципов которой относятся следующие:

– разделение комплексного воздействия на отдельные составляющие для их последующего анализа;

– оценка наиболее значимых воздействий, формирующихся в процессе производственной деятельности предприятия;

– возможность оценки экологической опасности;

– выбор наиболее достоверных параметров, характеризующих каждый из видов воздействия;

– учет разнозначимости воздействий;

– возможность использования экспертного анализа и балльных оценок, обеспечивающих интерпретацию полученных результатов;

– пригодность для широкого использования.

С учетом наиболее частой встречаемости источника воздействия в виде химического загрязнения окружающей среды при недропользовании предлагается методика, используемая в первую очередь для оценки экологической опасности предприятия с позиции химического загрязнения. При экспрессной оценке экологической опасности предприятий и, соответственно, их воздействий на окружающую среду рекомендуется обращение к теории нечетких множеств, так как помимо оцениваемых факторов на характер воздействия оказывает влияние неизмеримо большее их количество, которое не попадает под оценку, т. е. остается неучитываемым. Указанное обстоятельство формирует неопределенность в определении уровня экологической опасности. Адаптация методического подхода А. О. Недосекина [13] к оценке уровня экологической опасности в условиях неопределенности позволяет рекомендовать следующий порядок расчетов:

1. Выбор факторов, обуславливающих интенсивность и агрессивность воздействий на окружающую среду, выделение среди них тех, которые в наибольшей степени влияют на загрязнение атмосферы, гидросферы, и интегральных, оказывающих равнозначное воздействие на все элементы окружающей среды.

2. Обоснование классификатора уровней оцениваемых факторов, при котором критерием разбиения по уровням служат балльные значения факторов. При наличии обширного статистического материала могут быть использованы натуральные показатели, которые устанавливаются на основе построения гистограмм. При этом для каждого из подмножеств обосновываются интервальные границы фактора. В результате получаем классификатор значений факторов, который служит основой разбиения всего множества факторов на подмножества.

Классификатор уровней факторов, баллы.

Характеристика уровня	Очень высокий	Высо-кий	Сред-ний	Относи-тельно низкий	Низ-кий
Оценка фактора ...	10–9	8–7	6–5	4–3	2–1

Примечание: максимальное значение баллов, равное 10, характеризует самый экологически опасный фактор.

С учетом классификатора каждому из факторов присваивается балльное значение.

3. Распознавание уровня факторов на основе двойственной системы счисления и их разбиение на подмножества. При этом если фактор критериально соответствует одному из подмножеств, ему присваивается значение 1, а во всех остальных случаях – 0.

4. Установление значимости факторов. При разнозначимости их весомость определяется обычно по правилу Фишберна [14]:

$$r_i = \frac{2(N-i+1)}{(N+1)N}, \quad (1)$$

где r_i – значимость i-го фактора, N – количество факторов, i – порядковый номер фактора, значимость которого оценивается (при равнозначности факторов r_i определяется как $r_i = 1/N$).

Предлагается весомость факторов определять (вместо правила Фишберна (1)) в соответствии с их значимостью согласно экспертным оценкам [15]:

$$r_i = \bar{x}_i' / \sum_{i=1}^{N} \bar{x}_i', \quad (2)$$

где $\bar{x}_i' = 5 - \bar{x}_i$ – средняя балльная оценка значимости i-го фактора, пересчитанная из $\bar{x}_i$ [15] в связи с тем, что в классификаторе уровней факторов максимальное значение баллов соответствует самому экологически опасному фактору, а эксперты выставляли наибольшие баллы самым безопасным, с их точки зрения, факторам.

5. Определение весомости каждого из выделенных подмножеств, соответствующих определенным уровням факторов – γ_i. Величина γ_i рассчитывается по формуле, приведенной в [13]:

$$\gamma_i = 0{,}9 - 0{,}2(j-1), \quad (3)$$

где j – порядковый номер подмножества (j – 1,…,m); например, при m = 3 весомость подмножеств составит:

$$\gamma_1 = 0{,}9 - 0{,}2(1-1) = 0{,}9;$$
$$\gamma_2 = 0{,}9 - 0{,}2(2-1) = 0{,}7;$$
$$\gamma_3 = 0{,}9 - 0{,}2(3-1) = 0{,}5.$$

6. Построение классификатора экологической опасности предприятия, в котором значение интегрального показателя $J_э$ отвечает определенному уровню экологической опасности воздействия и, соответственно, экологической опасности предприятия (табл. 1) и оценка уровня экологической опасности предприятия согласно табл. 1.

Таблица 1. Классификатор экологической опасности воздействия (предприятия).

Значение $J_э$	Уровень экологической опасности
1,0–0,8	Предельно высокая
0,79–0,6	Высокая
0,59–0,4	Средняя
0,39–0,2	Относительно низкая
0,19–0,0	Низкая

7. Расчет интегрального показателя, характеризующего экологическую опасность воздействия:

$$J_э = \sum_{j=1}^{m} \gamma_i \sum_{i=1}^{N} r_i \lambda_{ji}, \quad (4)$$

где λ_{ij} – суммарное значение факторов j-го подмножества.

Для примера согласно методическим рекомендациям была оценена экологическая опасность ОАО «Южный ГОК». Для оценки экологической опасности предприятия был обоснован перечень оценочных показателей [15]. В их число вошли: тип полезного ископаемого x_1; производственная мощность (добыча полезного ископаемого) x_2; масса размещаемых отходов x_1; интенсивность взрывных работ x_4; мощность взрывных работ x_5; крепость вмещающих пород x_6; глубина залегания подземных вод x_7; степень обводненности x_8; глубина карьера x_9; протяженность транспортировки x_{10}; общая землеемкость x_{11}; тип транспортных средств x_{12}. Первые три фактора относятся к числу интегральных; $x_4 – x_6$ – факторы, отражающие воздействие на атмосферу; $x_7 – x_9$ – на гидросферу; $x_{10} – x_{12}$ – на почву. С использованием статистического материала были выполнены классификация факторов и их перевод в балльные показатели.

Классификатор факторов, баллы.

Характеристика степени воздействия ...	Низ-кая	Относи-тельно низкая	Сред-няя	Вы-сокая	Очень высокая
Оценка фактора ……..	2–1	4–3	6–5	8–7	10–9

Примечание: максимальное значение баллов, равное 10, характеризует самый влиятельный фактор.

Таблица 2. Распознавание факторов.

Фактор	Степень опасности воздействия				
	Низкая	Относительно низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
x_1			1		
x_2				1	
x_3				1	
x_4			1		
x_5			1		
x_6				1	
x_7			1		
x_8			1		
x_9		1			
x_{10}				1	
x_{11}				1	
x_{12}			1		
Итого λ		1	6	5	

Характеристика оцениваемых факторов на ОАО «Южный ГОК»: интегральные (x_1, x_2, x_3) – 6; 7; 8; факторы воздействия на атмосферу (x_4, x_5, x_6) – 6; 6; 8; факторы воздействия на гидросферу (x_7, x_8, x_9) – 5; 5; 4; факторы воздействия на почву (x_{10}, x_{11}, x_{12}) – 8; 7; 6.

В табл. 2 выполнено распознавание степени экологической опасности факторов.

Результаты пересчета и расчета r_i приведены в табл. 3.

Далее осуществляется определение весомости подмножеств, соответствующих определенной степени фактора $\gamma_i = 0{,}9 - 0{,}2(j - 1)$, где j – порядковый номер подмножества при $m = 5$:

$$\gamma_1 = 0{,}9 - 0{,}2(1 - 1) = 0{,}9;$$
$$\gamma_2 = 0{,}9 - 0{,}2(2 - 1) = 0{,}7;$$
$$\gamma_3 = 0{,}9 - 0{,}2(3 - 1) = 0{,}5;$$
$$\gamma_4 = 0{,}9 - 0{,}2(4 - 1) = 0{,}3;$$
$$\gamma_5 = 0{,}9 - 0{,}2(5 - 1) = 0{,}1.$$

Интегральный показатель $J_э$ в этом случае составил:

$$J_э = 1/38{,}70\ [0{,}1 \cdot 0 + 0{,}3 \cdot 3{,}57 + 0{,}5\ (3{,}86 + 3{,}43 + 3{,}43 + 3{,}21 + 3{,}07 + 2{,}71) + 0{,}7\ (3{,}64 + 3{,}50 + 3{,}07 + 2{,}64 + 2{,}57) + 0{,}9 \cdot 0] = 0{,}561.$$

Согласно классификатору (табл. 1) экологическая опасность ОАО «Южный ГОК» оценивается как средняя.

Таблица 3. Оценка весомости факторов.

Фактор	Номер фактора по [15]	Место фактора по значимости [15]	$\bar{x}_i$	$\bar{x}'_i$	r_i
x_1	8	1	**1,14**	**3,86**	0,09974
x_2	5	2	**1,36**	**3,64**	0,09406
x_9	14	3	**1,43**	**3,57**	0,09225
x_{10}	1	4	**1,50**	**3,50**	0,09044
x_4	4	5	**1,57**	**3,43**	0,08863
x_5	12	6	**1,57**	**3,43**	0,08863
x_7	9	7	**1,79**	**3,21**	0,08295
x_3	7	8	**1,93**	**3,07**	0,07933
x_{12}	15	9	**1,93**	**3,07**	0,07933
x_8	17	10	**2,29**	**2,71**	0,07003
x_{11}	11	11	**2,36**	**2,64**	0,06822
x_6	13	12	**2,43**	**2,57**	0,06641
$\sum_{i=1}^{12}$				**38,70**	1

ЛИТЕРАТУРА

1. Балацкий О. Ф., Мельник Л. Г., Яковлев А. Ф. Экономика и качество окружающей среды. М.: Гидрометеоиздат, 1984. 190 с.
2. 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.
3. Рюмина Е. В. Экономический анализ ущерба от экологических нарушений. М.: Наука, 2009. 331 с.
4. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиненного народному хозяйству загрязнением окружающей среды. М.: Экономика, 1986. 96 с.
5. Семячков А. И., Игнатьева М. Н., Литвинова А. А. Выявление и типология последствий воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2008. 90 с.
6. Михайлов Ю. В., Коворова В. В., Морозов В. Н. Горнопромышленная экология. М.: Изд. центр «Академия», 2011. 336 с.
7. Об особенностях миграции тяжелых металлов в системе «почва–растение» / М. П. Коземчук [и др.] // Материалы I Урал. Междунар. экологич. конгресса. Екатеринбург: УГГУ, Ин-т экономики УрО РАН, 2007. С. 15–17.
8. Протасов В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 2001. 672 с.
9. Ревич Б. А., Сидоренко В. Н. Экономические последствия воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье населения / отв. ред. В. М.Захаров, С. Н. Бобылев.М.: Акрополь, ЦЭПР, 2007. 56 с.
10. Эколого-экономический анализ, программное обеспечение и снижение эколого-экономического ущерба / В. Г. Лисиенко [и др.]. Екатеринбург, УГТУ – УПИ, 2005. 310 с.
11. Козлова Н. И. Социально-экономические проблемы, оценка ущерба от радиационной чрезвычайной ситуации. Курган: Изд-во Кург. гос. ун-та, 2004. 253 с.
12. Косолапов О. В., Игнатьева М. Н. Методические подходы к оценке экологической опасности предприятий // Изв. УГГУ. 2015. № 4. С. 75–82.
13. Недосекин А. О. Методологические основы моделирования финансовой деятельности с использованием нечетко-множественных описаний: дис. … д-ра экон. наук. СПб., 2004. URI:http://www.mirkin.ru/-docs/doctor005/pd/
14. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. 352 с.
15. Косолапов О. В., Власова Л. В. Совершенствование прогноза экономического ущерба при освоении ресурсов недр // Изв. УГГУ. 2015. № 4. С. 93–98.

REFERENCES

1. Balatskiy O. F., Mel'nik L. G., Yakovlev A. F. 1984, *Ekonomika i kachestvo okruzhayushchey sredy* [Economy and quality of the environment], Moscow, 190 p.
2. Ignat'eva M. N., Litvinova A. A., Loginov V. G. 2010, *Metodicheskiy instrumentariy ekonomicheskoy otsenki posledstviy vozdeystviya gornopromyshlennykh kompleksov na okruzhayushchuyu sredu* [Methodological toolkit for economic evaluation of the impact of mining complexes on the environment], Ekaterinburg, 168 p.
3. Ryumina E. V. 2009, *Ekonomicheskiy analiz ushcherba ot ekologicheskikh narusheniy* [Economic analysis of damage from environmental violations], Moscow, 331 p.
4. 1986, *Vremennaya tipovaya metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti osushchestvleniya prirodookhrannykh meropriyatiy i otsenki ekonomicheskogo ushcherba, prichinennogo narodnomu khozyaystvu zagryazneniem okruzhayushchey sredy* [Temporary standart methodology for determining the economic efficiency of implementing environmental measures and assessing the economic damage caused to the economy by environmental pollution.], Moscow, 96 p.
5. Semyachkov A. I., Ignat'eva M. N., Litvinova A. A. 2008, *Vyyavlenie i tipologiya posledstviy vozdeystviya gornopromyshlennykh kompleksov na okruzhayushchuyu sredu* [Identification and typology of the impact of mining complexes on the environment], Ekaterinburg, 90 p.
6. Mikhaylov Yu. V., Kovorova V. V., Morozov V. N. 2011, *Gornopromyshlennaya ekologiya* [Mining industry ecology], Moscow, 336 p.
7. M. P. Kozemchuk et al. 2007, *Ob osobennostyakh migratsii tyazhelykh metallov v sisteme «pochva–rastenie»* [On the peculiarities of migration of heavy metals in the soil-plant system]. *Materialy I Ural. Mezhdunar. ekologich. kongressa* [Materials of the I Ural international ecological congress], Ekaterinburg, pp. 15–17.
8. Protasov V. F. 2001, *Ekologiya, zdorov'e i okhrana okruzhayushchey sredy v Rossii* [Ecology, health and environmental protection in Russia], Moscow, 672 p.
9. Revich B. A., Sidorenko V. N. 2007, *Ekonomicheskie posledstviya vozdeystviya zagryaznennoy okruzhayushchey sredy na zdorov'e naseleniya* [Economic consequences of the impact of the polluted environment on the health of the population], Moscow, 56 p.
10. V. G. Lisienko et al. 2005, *Ekologo-ekonomicheskiy analiz, programmnoe obespechenie i snizhenie ekologo-ekonomicheskogo ushcherba* [Ecological and economic analysis, software and reduction of environmental and economic damage], Ekaterinburg, 310 p.
11. Kozlova N. I. 2004, *Sotsial'no-ekonomicheskie problemy, otsenka ushcherba ot radiatsionnoy chrezvychaynoy situatsii* [Socio-economic problems, assessment of damage from radiation emergency], Kurgan, 253 p.
12. Kosolapov O. V., Ignat'eva M. N. 2015, *Metodicheskie podkhody k otsenke ekologicheskoy opasnosti predpriyatiy* [Methodical approaches to the assessment of environmental hazards of enterprises]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 4, pp. 75–82.

13. Nedosekin A. O. 2004, *Metodologicheskie osnovy modelirovaniya finansovoy deyatel'nosti s ispol'zovaniem nechetko-mnozhestvennykh opisaniy: dis. … d-ra ekon. nauk* [Methodological basis for modeling financial activities using fuzzy-multiple descriptions: dissertation of Doctor of Economical sciences], St. Petersburg. Available at:http://www.mirkin.ru/-docs/doctor005/pd/

14. Fishbern P. 1978, *Teoriya poleznosti dlya prinyatiya resheniy* [Theory of utility for decision-making], Moscow, 352 p.

15. Kosolapov O. V., Vlasova L. V. 2015, *Sovershenstvovanie prognoza ekonomicheskogo ushcherba pri osvoenii resursov nedr* [Improvement of the forecast of economic damage in the development of mineral resources]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 4, pp. 93–98.

Олег Вениаминович Косолапов,
Управление Росприроднадзора по Республике Хакасия
Россия, Республика Хакасия,
Абакан, ул. Хакасская, 21

Людмила Витальевна Власова,
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург

Oleg Veniaminovich Kosolapov,
Russian Environmental Control
Abakan, Khakassia, Russia

Ludmila Vital'evna Vlasova,
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 338.45

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-96-103

ОСОБЕННОСТИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПОРТФЕЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ФИНАНСОВО-ОПЕРАЦИОННОГО ПОДХОДА

П. П. Крылатков, В. А. Шабалина, Н. Е. Калинина

Features of restructuring of the business portfolio of an industrial enterprise on the basis of a financial and operational approach

P. P. Krylatkov, V. A. Shabalina, N. E. Kalinina

The article introduces the concept of an integral business portfolio from the point of view of the financial and production approach of the owner of an industrial enterprise. The authors formulate the peculiarities of the market of industrial business that distinguish it from the stock market and are common for both, which makes it possible to use the stock market *methodological approaches* to form and manage industrial business portfolios. To assess the degree of reliability of the company's portfolio, one should identify groups of diversifiable risks associated with its external surroundings and internal environment. The authors formulate heuristic principles of preserving the integrity of an industrial enterprise and propose the criteria for selecting business objects that determine the level of integrity of the business portfolio, as well as the algorithm for its restructuring. As a tool for restructuring the company's business portfolio, the authors developed a table of owner's strategic preferences in the form of a two-dimensional representation of three factors: profitability, risk level, and the owner's attitude to the risk of investments. Proposed approach provides an opportunity for a quantitative justification for making decisions within the framework of integration and business diversification strategies. A feature of this approach is the simplification of the task of risk assessment, since it is intended to evaluate not the absolute values of risks, which is not an easy task, but only the degree of dispersion or consistency of risk structures.

Keywords: industrial enterprise; integrity; business portfolio; restructuring; integration strategy; diversification strategy; risks.

В статье с позиции финансово-производственного подхода собственника промышленного предприятия введено понятие целостного бизнес-портфеля. Сформулированы особенности рынка промышленного бизнеса, отличающие его от фондового рынка и являющиеся общими для обоих, что позволяет использовать *методологические подходы* фондового рынка для формирования и управления промышленными бизнес-портфелями. Для оценки степени надежности портфеля предприятия предложено выделить группы диверсифицируемых рисков, связанных с его внешним окружением и внутренней средой. Сформулированы эвристические принципы сохранения целостности промышленного предприятия. Предложены критерии выбора объектов бизнеса, определяющих уровень целостности бизнес-портфеля, а также алгоритм его реструктуризации. В качестве инструментального средства реструктуризации бизнес-портфеля предприятия разработана таблица стратегических предпочтений его собственников в виде двумерного представления трех факторов: доходности и уровня риска, а также отношения собственника к риску вложений. Предлагаемый в работе подход дает возможность количественного обоснования принятия решения в рамках стратегий интеграции и диверсификации бизнеса. Особенностью изложенного подхода является упрощение задачи оценки рисков, поскольку предполагается оценивать не абсолютные значения рисков, что является непростой задачей, а только лишь степень разброса или согласованности структур рисков.

Ключевые слова: промышленное предприятие; целостность; бизнес-портфель; реструктуризация; стратегия интеграции; стратегия диверсификации; риски.

Введение

Структуризация предприятий всегда была одним из инструментов совершенствования бизнеса, адаптации его к изменяющимся внешним и внутренним условиям. Следует отметить, что в XX в. понятийный аппарат теории структурного анализа значительно расширился, но достаточно длительное время управленческой моделью предприятия являлась его организационная структура и значительная масса исследователей, начиная с Ф. Тейлора и Г. Эмерсона, изучали исключительно организационные структуры, практически не уделяя внимания другим подходам к управлению структурами предприятий.

Значительный вклад в теорию и методологию организационных структур управления внесли А. А. Богданов [1], Р. Акофф [2], Р. Джонсон [3], С. Бир, М. Месарович, Г. Минцберг, С. Оптнер и др. Среди российских ученых наиболее известны труды Б. Мильнера [4], Э. Короткова [5], А. Пригожина [6], В. Мишина, В. Мухина и многих других.

Современный этап развития российской промышленности можно охарактеризовать множеством позитивных изменений, в том числе стремлением предприятий повысить свою конкурентоспособность прежде всего за счет реструктурирования как самой организации, так и систем ее управления [7].

В эпоху командной экономики промышленные предприятия создавались и реструктурировались в соответствии с направлениями развития производственно-экономической структуры всей страны как единой целостной системы. Следовательно, реформирование предприятия в период командной экономики в его компетенцию не входило, и проблемами адаптации оно не занималось, поскольку потребности как промышленного, так и потребительского рынка ему давались свыше директивными планами. Предприятие должно было всего лишь выполнять, а лучше и перевыполнять директивный план имеющимися производственными мощностями.

Целостные формы промышленных предприятий и объединений

Теория и практика управления промышленными предприятиями наглядно показывают, что они как сложные системы обладают свойством целостности. Целостность, являясь имманентной характеристикой организации, актуализируется и через совокупность структур предприятия, являясь, в свою очередь, основой оценки его потенциала, что особенно важно в современной рыночной среде. *Целостность промышленного предприятия* рассматривается авторами как комплексное, многофакторное, системное свойство, которое определяет технологическую уникальность, самоидентификацию и позиционирование компетенций предприятия в рыночном пространстве [8]. Предприятие существует в виде целостного организационно-технологического образования, что и позволяет получать от него ожидаемые результаты. Развитие понятий предприятия и объединения связано с усложнением самого объекта исследования, действующего в рыночной среде. В соответствии с Гражданским кодексом Российской Федерации предприятие – это самостоятельный хозяйствующий субъект, созданный для производства продукции, выполнения работ и оказания услуг с целью удовлетворения общественных потребностей и получения прибыли. Такая трактовка совершенно не учитывает рыночные реалии и прежде всего наличие и роль собственника предприятия. В целях исследования и в соответствии с концепцией целостности понятие предприятия необходимо расширить и дополнить. Под предприятием авторы

Систематизация основных факторов субъект-объектных отношений.

Наименование фактора	Содержание фактора
Форма собственности	Государственная, частная, смешанная (с участием или под контролем государства)
Статус собственности	Индивидуальная, коллективная, акционерная
Основные мотивы владения собственностью	Выпуск продукции, получение прибыли, рост капитала, поддержка социума
Общие результаты деятельности предприятия	Стратегические, экономические, финансовые, инвестиционные, инновационные, технико-технологические, конъюнктурные, спекулятивные, социальные
Формы и методы управления объектом	Разделение, объединение, выделение, поглощение, инжиниринг, реинжиниринг, банкротство
Формы целостности	Унитарная, интегрированная производственная (технопарк), конгломератная финансово - производственная (бизнес-портфель), дополненная производственная (заказчик–аутсорсер), координируемая производственная (координатор–сеть предприятий)

понимают юридически оформленную *целостную совокупность объединенных в бизнес-портфель структур*, которые собственник предприятия считает необходимыми и целесообразными для достижения экономических целей, проявления специфических компетенций, а также создания конкурентных преимуществ на рынке выпускаемой продукции или оказываемых услуг.

Данное определение по сравнению с традиционно существующими дефинициями содержит ряд уточнений:

– оно может быть отнесено к любой форме собственности и конфигурации данного объекта: предприятию, компании, холдингу, объединению, технопарку, корпорации и т. п.;

– в нем выделяется главенствующая роль собственника в формировании целей, функций, компетенций и архитектуры предприятия;

– в определении подчеркивается целостный характер предприятия как необходимое условие его функционирования и конкурентной успешности.

В результате разделений и объединений промышленных предприятий на основе новых организационно-правовых форм (ООО, ЗАО, ОАО – впоследствии ПАО, УП) возникло много форм производственных целостностей. В работе [9] приведена систематизация и классификация видов и результатов реструктурирования предприятий, образующихся в результате реорганизации. В силу многообразия целей, средств и возможностей их достижения рыночное пространство представлено как независимыми предприятиями, так и их различными организационно-правовыми, технологическими, инновационными, финансовыми и прочими институциональными формами объединений. На основе проведенных авторами исследований разработана следующая систематизация целостных форм промышленных предприятий и их объединений.

Унитарная производственная целостность, в рамках которой реализуются централизованно принятые решения – концентрация на одном промышленном предприятии однотипного производства.

Интегрированная производственная целостность, как правило, представлена следующими образованиями:

– технопарки – совокупность инновационно ориентированных производств, интегрированных с целью возможности использования синергетического эффекта от совместного объединения на общей территории;

– горизонтально диверсифицированные производства, структурированные по *видам продукции*; *клиентам*; *территориям*;

– вертикально диверсифицированные производства, связанные с разными этапами обработки продукции, выпускаемой и реализуемой предприятием;

– горизонтальные холдинги – объединение бизнесов, связанных схожей технологией, продукцией, компетенциями, представляющие собой филиальные структуры, управляемые головным предприятием;

– вертикальные холдинги – объединение предприятий в

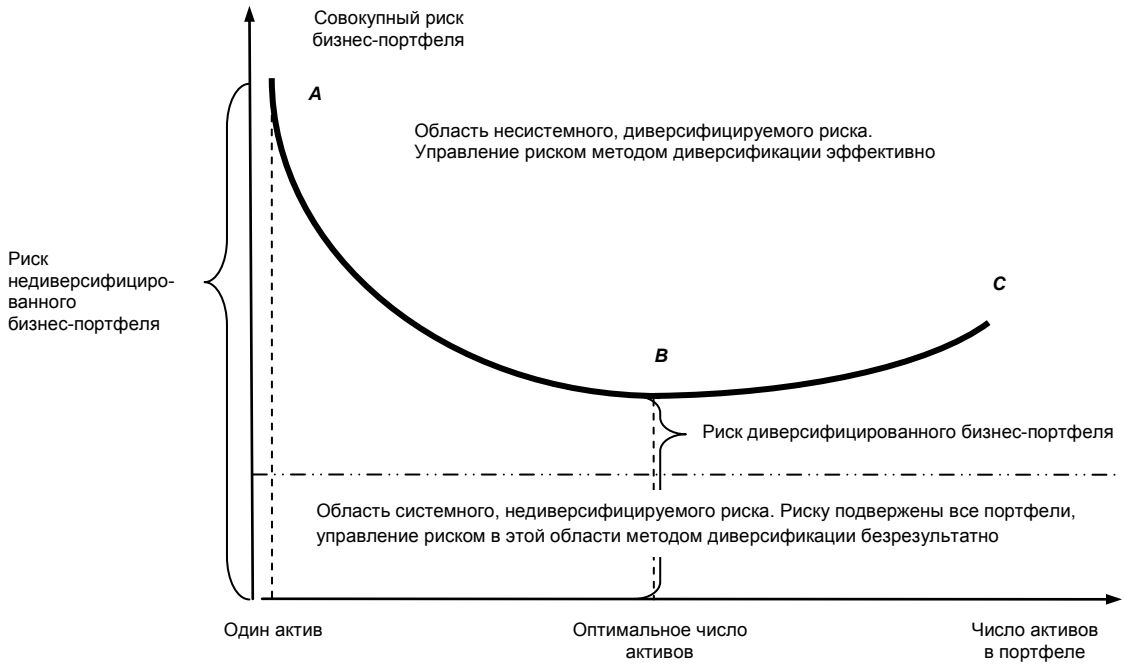


Рисунок 1. Эффект диверсификации бизнес-портфеля.

Рисунок 2. Алгоритм реструктуризации бизнес-портфеля предприятия.

одной производственной цепочке: добыча сырья, переработка, выпуск продукции, сбыт.

Конгломератная финансово-производственная целостность. В такой холдинг входят экономические субъекты, напрямую не связанные производственно-технологическими отношениями. Основой таких объединений могут быть инвестиционные фонды или компании, банки, вкладывающие средства в выбранный портфель предприятий.

Дополненная производственная целостность – предусматривает сетевую топологию бизнеса, включающую головную компанию и аутсорсинговых партнеров.

Координируемая производственная целостность – предполагает координацию сети промышленных предприятий (например, через распределение заказов).

Специфика субъект-объектных отношений собственников промышленных предприятий

Собственник опосредует требования внешней и внутренней среды предприятия в стратегические, тактические и операционные управленческие решения по формированию и развитию производящей целостности. Степень соответствия решений собственника указанным требованиям позволяет предприятию занимать ту или иную конкурентную позицию на рынке. В таблице представлены результаты систематизации основных факторов, определяющих субъект-объектные отношения, складывающиеся между собственником предприятия и предприятием как организационно-экономической производственной целостностью.

В сложившемся в результате рыночных преобразований современном экономическом пространстве можно выделить две основные группы субъектов-собственников, мотивация и интересы которых определяют стратегическую ориентацию предприятий, их технологическую и продуктовую конфигурацию. Проведенные авторами на ряде предприятий Свердловской области исследования убедительно подтверждают предположения о том, что эти группы собственников имеют существенно различающиеся подходы к созданию и управлению целостностью предприятий, а также методы достижения результатов их деятельности [10, 11].

1 группа (собственник–государство). В собственности государства (полной или частичной) находятся в основном унитарные производственные предприятия и интегрированные объединения. Основная мотивация собственника предприятия – выпуск значимой для государства продукции и поддержка социума.

Государство (в лице федеральных органов) создает и реорганизует стратегически важные для страны предприятия, а также осуществляет оперативное управление ими.

Субъекты федерации, муниципалитеты (в лице субфедеральных и муниципальных органов) поддерживают экономическую состоятельность и социальную значимость предприятий на территориях.

2 группа (частные собственники). Основная их мотивация – получение прибыли и рост капитала.

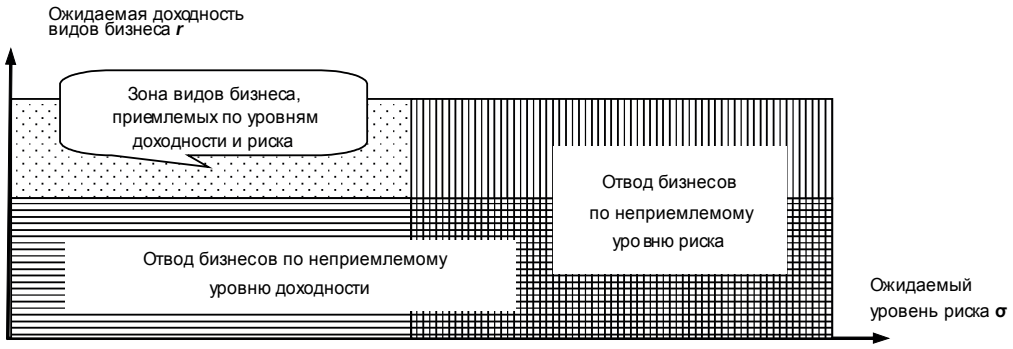


Рисунок 3. Диаграмма выбора видов бизнеса в пространстве *доходность–риск*.

Доходность	ПОДХОД СОБСТВЕННИКА К ФОРМИРОВАНИЮ ЦЕЛОСТНОГО БИЗНЕС-ПОРТФЕЛЯ											
	КОНСЕРВАТИВНЫЙ				УМЕРЕННЫЙ				АГРЕССИВНЫЙ			
В	Пр	*Уход*	*Уход*	*Уход*	Пр	Пр	*Уход*	*Уход*	Пр	Пр	Пр	ЧД
ВС	Пр	ЧД	*Уход*	*Уход*	Пр	Пр	ЧД	*Уход*	Э-И	Э-И	Э-И	Э-И
С	Пр	Пр	ЧД	*Уход*	Э-И	Э-И	Э-И	ЧД	*Уход*	*Уход*	*Уход*	*Уход*
Н	Э-И	Э-И	Э-И	*Уход*	*Уход*	*Уход*	*Уход*	*Уход*	*Уход*	*Уход*	*Уход*	*Уход*
Риски	**Н**	**С**	**ВС**	**В**	**Н**	**С**	**ВС**	**В**	**Н**	**С**	**ВС**	**В**

Рисунок 4. Структура матрицы предпочтений собственников бизнес-портфелей. Доходность (рентабельность инвестированного капитала): Н – низкая, С – средняя, ВС – выше средней, В – высокая; уровень риска: Н – низкий, С – средний, ВС – выше среднего, В – высокий; степень отношения инвесторов к риску: консервативная, умеренная, агрессивная.

Собственник-производственный инвестор (эффективный собственник) формирует конкурентоспособное предприятие и управляет им, обеспечивая тем самым соответствующее выполнение требований рынка, государства, общества и обязательств перед своими работниками.

Авторы, используя дефиницию *эффективный собственник*, вкладывают в нее понятие субъекта, который на длительный период связал свое благополучие с продуктивным, эффективным и устойчивым функционированием своего бизнеса. Это предполагает также, что эффективный собственник мотивирован на добросовестное выполнение обязательств перед государством (платит налоги), обществом (его бизнес не наносит ущерба здоровью, благополучию и нравственности людей), рынком (он честный конкурент) и своими работниками (выплачивает им достойную заработную плату и обеспечивает безопасные условия труда). Также уместно говорить о приоритете фактора целостности, принадлежащего эффективному собственнику предприятия, поскольку это условие является одной из главных детерминант получения им высоких доходов.

Собственник-финансовый инвестор (чаще всего это мажоритарный акционер промышленного предприятия или собственник управляющей компании, соучредитель банка и т. п.) формирует долгосрочный финансовый актив в виде бизнес-портфеля предприятий.

Собственником-финансовым инвестором промышленные предприятия, входящие в бизнес-портфель, рассматриваются как активы с соответствующими наборами показателей. Решение же производственно-технологических задач финансовый инвестор лишь опосредованно включает в свой управленческий инструментарий. Управляемой целостностью для него служит совокупный портфель предприятий, в который должны входить те и только те, которые в соответствии с правилами диверсификации вложений обеспечивают формирование наиболее доходного и менее рискованного портфеля. Показателями эффективности финансового портфеля, как известно, являются доходность, надежность (величина обратная степени риска) и ликвидность [12].

Особенностью финансово-производственного портфеля является то, что предприятия в него импортируются и экспортируются из него исходя из соображений достижения лучших финансовых показателей всего портфеля в целом, а не отдельных входящих в него предприятий. Проблемы формирования и развития целостной конфигурации конкретных промышленных предприятий тем самым переводятся на уровень производственно-технологического менеджмента, который чаще всего не имеет достаточных полномочий и ресурсных возможностей для их решения. В этом заключается одно из главных противоречий холдинговых схем.

Собственник-спекулянт скупает и продает предприятия и их отдельные активы в спекулятивных сделках. В отличие от собственника-финансового инвестора спекулянт имеет краткосрочные финансовые цели. Предприятие или только часть его представляет для спекулянта финансово-производственный актив с желательно минимальной стоимостью покупки и по возможности максимальной стоимостью продажи. При этом в его управленческий инструментарий никоим образом не входит решение долгосрочных производственно-технологических задач. Ради объективности следует заметить, что собственники-спекулянты, наподобие хищников в природе, проводят зачистку экономического пространства от неконкурентоспособных предприятий. При этом чаще всего предприятия ими же преднамеренно доводятся до состояния банкротства, чтобы приобрести их по минимальной цене. Роль собственников-спекулянтов и последствия их действий на отечественном промышленном рынке требуют отдельного экономического исследования.

Неэффективный собственник (такая дефиниция также встречается в управленческой терминологии) рассматривает предприятие исключительно как источник личной прибыли. Прежде всего, он нарушает обязательства перед государством (скрывает от налогообложения прибыль за счет «серых» зарплат, «липовых» контрактов и т. п.). Очень часто он нечестен перед обществом (его бизнес наносит ущерб здоровью людей, их благополучию и нравственности) и рынком (ведет недобросовестную конкуренцию, «кидает» партнеров). Практически всегда он нарушает права своих работников (нерегулярно выплачивает им заработную плату, не обеспечивает безопасные условия труда, не вносит взносы в пенсионные фонды). Авторы статьи считают, что одна из основных проблем неэффективного собственника заключается в отсутствии у него необходимых рыночных компетенций, следствием чего и является его контрпродуктивная деятельность, приносящая большие убытки государству и социуму.

В соответствии с приведенной классификацией выделяются следующие управленческие подходы собственников, направленные на поддержание и совершенствование целостности промышленного предприятия: *операционный (производственный), финансово-производственный, спекулятивный, нерациональный*. По результатам анализа субъект-объектных отношений можно сделать важный для предмета исследования вывод. В качестве надежных участников создания и управления целостным промышленным предприятием, выпускающим продукцию для народного хозяйства, рассматриваются только следующие субъекты экономического пространства: *государство, субъекты Федерации и муниципалитеты, эффективные собственники, финансовые инвесторы.*

Реструктуризация и оптимизация бизнес-портфеля промышленного предприятия

Одним из нерешенных вопросов стратегического управления бизнес-портфелем промышленного предприятия остается следующий: как при реализации стратегий диверсификации и

интеграции сохранить или даже увеличить уровень целостности того множества бизнес-процессов, которыми приходится при этом управлять. Дело в том, что даже если стратегии развития предприятия и не предполагают выделения, объединения, замены бизнесов, то и в этих условиях сохранение целостности промышленного предприятия является непростой задачей. Предприятие может и должно менять свою конфигурацию, приспосабливаясь к изменяющейся рыночной конъюнктуре [13]. В этом смысле целостность предприятия неизбежно оказывается достаточно динамичным свойством и параметром. Реструктуризация промышленного предприятия предполагает ликвидацию прежних и создание или приобретение новых бизнес-процессов, при этом исключаются, в первую очередь, слабые или нестабильные бизнесы, которые потеряли стратегическую значимость для собственника.

Таким образом, использование стратегий интеграции и диверсификации неизбежно приводит к нарушению целостности бизнес-портфеля: необходимости выделения отдельных бизнесов или появлению не вполне соответствующих имеющимся технологиям, формату управления, корпоративной культуре предприятия. В таких условиях особое внимание менеджмента предприятия должно уделяться:

– формированию четкого представления о целостном бизнес-портфеле и средствах его реализации;

– устранению количественной избыточности функций, структур и ресурсов предприятия, не увеличивающих его целостности, зато приводящих к необоснованным финансовым затратам;

– восстановлению нарушенной целостности при вынужденном экспорте бизнеса из предприятия и импорте новых форм бизнеса;

– повышению целостности интеграционных бизнес-образований.

Целостный бизнес-портфель промышленного предприятия должен соответствовать следующим требованиям:

– обладать достаточно полной, но не избыточной целостностью бизнесов в стратегически значимых для успешной работы секторах рынка;

– содержать интегративную среду, соорганизующую входящие в портфель бизнесы (производственно-технологическое «родство», единая управленческая технология, общая сбытовая сеть и т. д.);

– не содержать бизнесов, способствующих кумуляции общего риска;

– соответствовать уровню освоенной компетенции, технологии и производственной мощности, а также другим ресурсным возможностям.

При рассмотрении диверсифицированного бизнес-портфеля промышленного предприятия возникает аналогия с инвестиционным портфелем фондового рынка, который также создается и управляется с целями роста капитала или получения текущего дохода. Объектом управления при этом является портфель с объемом и соотношением ценных бумаг различного качества, но у рынка промышленного бизнеса конечно же имеются серьезные отличия от фондового рынка.

1. Промышленный бизнес позволяет получать экономические результаты только опосредованно, через производство и реализацию продуктов и услуг в отличие от фондового рынка, где результат получается непосредственно через операции с финансовыми активами. *Как следствие, существуют специфические требования к формированию бизнес-портфеля предприятия с учетом технологических и производственных ограничений.* Целостный бизнес-портфель – это в первую очередь целостный *производственный организм* и только потом – портфель активов с желаемым соотношением рентабельности и риска.

2. Промышленный бизнес представлен не пакетами стандартных бизнесов с набором параметров, а уникальными технолого-экономическими объектами, различными по стоимости, доходности, риску, содержанию и качеству. Как правило, практически все промышленные предприятия «отягощены» своей историей, технологиями, связями, обязательствами, персоналом, традициями и т. д.

3. Рынок промышленного бизнеса менее ликвиден, чем фондовый, т. е. далеко не в любое время можно купить нужный вид бизнеса или продать ненужный.

4. Рынок промышленного бизнеса в отличие от фондового менее волотилен, что дает возможность более обстоятельного анализа и принятия обоснованных и не срочных решений. В короткий срок оценить эффективность операций весьма сложно, поскольку необходим определенный временной интервал, чтобы получить результат и только тогда его корректно проанализировать. Это еще раз подчеркивает важность правильного формирования бизнес-портфеля промышленного предприятия, поскольку ошибки при выборе подходящего бизнеса (селективный риск) могут дорого стоить.

5. Доходность промышленного бизнеса в значительной мере зависит от созданных для него условий, усилий собственника и управляющих в отличие от ценных бумаг, доходность которых определяется ситуацией на рынке и усилиями их эмитента, а не текущего владельца. Грамотное управление конкретным бизнесом позволяет улучшить показатели всего бизнес-портфеля промышленного предприятия в отличие от фондового рынка, где качеством приобретенного актива владелец чаще всего управлять не может, кроме как заменить одну ценную бумагу на другую.

Сформулированные факторы определяют отличные от фондового рынка условия формирования и результативности бизнес-портфеля промышленного предприятия:

– необходимость приоритетного учета производственно-технологических ограничений промышленных активов;

– весьма низкая вероятность приобретения лучшего по сочетанию уровня доходности и степени риска промышленного актива;

– недетерминированный характер получаемых экономических результатов от качества приобретаемых активов.

В то же время имеется общность обоих рынков обоих рынков, что позволяет использовать уже имеющийся инструментарий анализа активов фондового рынка с учетом приведенной ранее специфики промышленных активов:

1. Применение стратегии диверсификации активов, т. е. снижения внешних и внутренних рисков предприятия за счет диверсификации его бизнесов и соответствующего подбора компонентов бизнес-портфеля (аналог безрискового инвестиционного портфеля);

2. Использование метода экспорта-импорта активов. Так же, как и на фондовом рынке, в промышленном бизнес-портфеле можно заменять одни виды бизнеса на другие, больше соответствующие интересам собственника, стратегии предприятия и компетенциям его менеджмента, т. е. показатели бизнес-портфеля и целостность всего промышленного бизнеса можно регулировать за счет управления его конфигурацией.

Указанные специфические особенности рынка промышленного бизнеса только подчеркивают необходимость обоснованного формирования бизнес-портфеля предприятия, поскольку допущенные при этом ошибки не всегда можно исправить даже за счет эффективного управления.

Внешняя среда промышленного предприятия традиционно подразделяется на области слабого и сильного взаимодействия. К первой из них относятся факторы, опосредованно влияющие на само предприятие: политика, экономика, социально-демографическая сфера и технологии (область PEST-анализа). Ко второй

области (сильного взаимодействия) относятся факторы актуальной среды: потребители, конкуренты, поставщики, товары-субституты (область отраслевого анализа). Риски первой области относятся к классу системных, не диверсифицируемых рисков [14], поскольку их изменение в негативном направлении снижает доходность и повышает риск практически любого бизнес-портфеля. Их надо принимать как неизбежную объективность, как внешние условия управления бизнес-портфелем, поскольку управлять этими рисками методом диверсификации вложений невозможно. Причем верно и обратное: изменение факторов системного риска в положительном направлении снижает риски практически любого бизнес-портфеля и способствует росту его доходности. Риски второй области являются диверсифицируемыми и за счет этого - управляемыми.

С помощью инструмента диверсификации бизнес-портфеля промышленного предприятия достигается *снижение совокупного риска при выбранном уровне доходности*. Конкретное сочетание показателей *риска–доходности* бизнес-портфеля определяется спецификой отрасли, уровнем цен, состоянием рынка и предпочтениями собственника промышленного предприятия. Конечно, выигрыш от реструктуризации бизнес-портфеля происходит не сам по себе, а в результате осмысленного использования тех возможностей, которые этот процесс предоставляет собственнику. На рис. 1 представлены области рисков и проиллюстрирован эффект диверсификации.

Кривая *AC* на рисунке показывает зависимость уровня риска от числа видов бизнеса в зоне эффективного управления риском путем диверсификации бизнес-портфеля. На участке *AB* за счет диверсификации риск удается снизить, и он достигает своей наименьшей величины в точке *B*. Участок кривой *BC* иллюстрирует возможное увеличение риска при дальнейшей диверсификации, т. е. снижение ее эффективности. В этой зоне риск по мере расширения бизнес-портфеля возрастает из-за увеличения транзакционных издержек, роста сложности управления и повышения вероятности попадания в портфель более рискованных видов бизнеса.

По мнению авторов, для выявления и оценки группы рисков, входящих в область факторов непосредственного взаимодействия на виды бизнеса и бизнес-портфели промышленного предприятия в целом, лучше всего подходит предложенная М. Портером [15] схема анализа отрасли. В соответствии с этой схемой можно выделить пять групп рисков, связанных:

– с поставщиками – p_1;
– потребителями – p_2;
– товарами-субститутами – p_3;
– конкурентами из других отраслей – p_4;
– конкуренцией внутри самой отрасли – p_5.

Кроме того, к данному перечню необходимо добавить и группу рисков, действующих внутри самого предприятия:

– технологические, управленческие и т. д. – p_6.

Отсюда следует, что каждый отдельный бизнес и совокупный риск бизнес-портфеля предприятия характеризуются структурой (кортежем) рисков p_1–p_6.

Если происходит объединение бизнесов при формировании и реструктуризации бизнес-портфеля, то соответственно происходит и сложение структур рисков. При этом необходимо добиваться того, чтобы в результате диверсификации не нарушалось выбранное соотношение *риск–доходность*, т. е. при установленной ожидаемой доходности портфеля риск должен не увеличиваться, а оставаться в установленных пределах, а еще лучше уменьшаться. С учетом сказанного для уменьшения уровня совокупного риска, следовательно, обеспечения большей целостности бизнес-портфеля промышленного предприятия предлагается использовать следующие *эвристические принципы диверсификации*:

1. Недопустима кумуляция какой-либо группы риска, поскольку это снижает эффект диверсификации;

2. Должна обеспечиваться равномерность структуры рисков бизнес-портфеля предприятия, т. е. оценки степени риска из кортежа p_1–p_6 должны иметь низкую степень разброса (дисперсии);

3. Процесс диверсификации бизнес-портфеля предприятия должен уменьшать разброс оценок риска из кортежа p_1–p_6, а не увеличивать его;

4. Если какая-либо группа рисков из кортежа p_1–p_6 в процессе диверсификации имеет тенденцию к росту, то необходима такая реструктуризация бизнес-портфеля предприятия, чтобы эта динамика была компенсирована появлением другой группы риска с отрицательной корреляцией по отношению к растущей.

Для оценки вводимых в портфель видов бизнеса при его реструктуризации или расширении можно использовать коэффициент конкордации [16]. Величина коэффициента конкордации колеблется в границах от нуля, соответствующего полной несогласованности кортежей, что желательно для рисков бизнес-портфеля, до единицы, указывающей на полную согласованность кортежей, что нежелательно для рисков бизнес-портфеля. Для обоснованного анализа и выбора тех видов бизнеса, которые необходимо экспортировать из предприятия или, наоборот, импортировать в предприятие, необходимо сформировать оценочные критерии. Проведенные авторами исследования позволяют предложить две группы таких критериев: критерии отбора бизнесов и выбора бизнесов.

Первая группа *(основные критерии отбора)* предполагает производственно-технологическую оценку соответствия видов бизнеса по следующим факторам:

1) стратегическим целям собственника (видению, миссии, текущей стратегии);
2) структуре рыночного спроса;
3) освоенным технологиям;
4) производственным мощностям;
5) ресурсным возможностям предприятия;
6) компетенциям менеджмента;
7) структуре капитала предприятия;
8) структуре персонала предприятия;
9) структуре каналов распределения.

Представленные ранее критерии отбора видов бизнеса позволяют обеспечить целостность бизнес-портфеля промышленного предприятия с точки зрения операционного подхода к его управлению. Понятно, что такой список не может быть исчерпывающим для каждого конкретного случая, здесь приведены лишь основные критерии.

Вторая группа *(критерии выбора)* предполагает оценку соответствия видов бизнеса экономическим целям собственника, а именно:

10) по уровню доходности;
11) по степени риска.

Алгоритм реструктуризации бизнес-портфеля предприятия представлены на рис. 2.

Важным нововведением предложенного алгоритма является то, что первый этап реструктуризации проводится *производственным менеджментом* предприятия. Результаты анализа в виде рекомендаций по реформированию бизнес-портфеля передаются *собственнику и финансовому менеджменту* предприятия для проведения второго и третьего этапов процедуры выбора на основе критериев 10, 11. Диаграмма выбора видов бизнеса в пространстве *доходность–риск* на этапе 2 представлена на рис. 3.

Цели собственника бизнес-портфеля могут быть формализованы в виде следующих показателей выбора:

– рентабельность инвестированного капитала (например, ROIC);
– уровень риска бизнес-портфеля (надежность вложений).

Доходность бизнес-портфеля традиционно рассчитывается как средневзвешенная величина доходности видов бизнеса, составляющих портфель [17]. В качестве весовых коэффициентов при этом логично принять доли стоимости конкретного вида бизнеса в стоимости всего бизнес-портфеля. Величину совокупного риска можно оценивать стандартным отклонением доходности бизнес-портфеля от ожидаемого значения. Учитывая возможные трудности определения на практике величины совокупного риска бизнес-портфеля предприятия, авторы предлагают использовать экспертные оценки. Как правило, производится три оценки: пессимистическая, наиболее вероятная и оптимистическая. Можно с достаточной уверенностью утверждать, что в условиях рисковой внешней среды выбор той или иной стратегии формирования бизнес-портфеля предприятия не может не определяться отношением его собственника к риску. Даже если собственником или менеджерами это не осознается, то по результатам инвестиционных решений это может быть выявлено.

Стратегии собственников бизнес-портфелей представлены в матрице на рис. 4. В матрице выделены зоны, наиболее приемлемые для ведения бизнеса соответственно консервативными, умеренными и агрессивными собственниками. Если с точки зрения риска и доходности внешние условия соответствуют предпочтениям собственника бизнес-портфеля, то он принимает риск, т. е. развивает свой бизнес.

Для каждой комбинации перечисленных факторов может использоваться та или иная стратегия формирования или реструктуризации бизнес-портфеля. Нахождение бизнеса собственника в зоне не его предпочтения побуждает его к принятию решения о диверсификации (**ЧД**) или экспорте-импорте (**Э-И**) бизнеса, а возможно и полном уходе (**Уход**) с рынка.

Принятие риска (***Пр***), т. е. поддержание и увеличение целостности бизнес-портфеля за счет внутренних ресурсов предприятия. Под этим имеется в виду согласие собственника бизнес-портфеля с данными уровнями риска и доходности. Бизнес может расширяться за счет привлечения новых клиентов, роста товарооборота, расширения ассортимента, освоения новых рынков, внедрения результатов бенчмаркинга и т. д.

Экспорт-импорт бизнеса, т. е. поддержание и увеличение достигнутой целостности предприятия за счет привлечения высокодоходных бизнесов или(и) выделения неэффективных бизнесов. Под стратегией **ЭИ** объектов бизнеса в данном случае имеется в виду согласие собственника бизнес-портфеля с данным уровнем риска, но при этом использование мер по возможному повышению его доходности. Это может быть реализовано, например, за счет привлечения высокодоходного или путем отказа от низкодоходного бизнеса – выделение его в аутсорсинг путем создания дочерней компании, использование аутстаффинга и т. п. За счет этого при той же степени риска появляется возможность повысить доходность бизнес-портфеля предприятия.

«Чистая диверсификация», т. е. расширение бизнеса за счет вложений в другие отрасли или сектора рынка. Выбор собственником стратегии **ЧД** позволяет ему по возможности уменьшить риск при прежнем уровне доходности, т. е. перейти в более предпочтительную для него зону ведения бизнеса.

Уход с рынка – перемещение предприятия как целостности в другую зону экономического пространства. Стратегия **ухода с рынка** означает непринятие внешних условий для развития своего бизнеса и перевод его на другой рынок. Очевидно, что это реализуется путем реструктуризации бизнес-портфеля предприятия.

Заключение

С позиции финансово-производственного подхода собственника промышленного предприятия введено понятие целостного бизнес-портфеля. Сформулированы особенности рынка промышленного бизнеса, отличающие его от фондового рынка и являющиеся общими для обоих, что позволяет использовать методологические подходы фондового рынка для формирования и управления промышленными бизнес-портфелями.

Для оценки рисков бизнес-портфеля предложено использовать классическую схему М. Портера и выделить группы диверсифицируемых рисков, связанных с поставщиками, потребителями, товарами-субститутами, конкурентами из других отраслей, с конкуренцией внутри самой отрасли, а также действующие внутри самого предприятия технологические, управленческие и т. д. Предложены эвристические принципы сохранения целостности бизнес-портфеля, суть которых заключается в таком подборе рисков объектов бизнеса, чтобы степень их разброса не увеличивалась.

Предложены две группы критериев выбора объектов бизнеса, определяющих уровень целостности бизнес-портфеля при его реструктуризации, а также схема этапов реструктуризации бизнес-портфеля предприятия и диаграмма выбора видов бизнеса в пространстве *доходность–риск*. В качестве инструментального средства реструктуризации бизнес-портфеля предприятия предложена таблица стратегических предпочтений собственников бизнес-портфеля в виде двумерного пространства трех факторов: доходности и уровня риска, а также отношения собственника к риску вложений.

Предлагаемый в работе подход дает возможность количественного обоснования принятия решения в рамках стратегий интеграции и диверсификации бизнеса. Особенностью изложенного подхода является упрощение задачи оценки рисков, поскольку предполагается оценивать не абсолютные значения рисков, что является непростой задачей, а только степень разброса или согласованности структур рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов А. А. Тектология. Всеобщая организационная наука. М.: Финансы, 2003. 496 с.
2. Акофф Р., Эмери М. О целеустремленных системах: пер. с англ. М.: Сов. радио, 1974. 248 с.
3. Джонсон Р., Каст Ф., Розенцвейг Д. Системы и руководство (теория систем и руководство системами) М.: Сов. радио, 1971. 647 с.
4. Мильнер Б. З. Теория организации. М.: ИНФРА-М, 2006. 864 с.
5. Коротков Э. М. Исследование систем управления. М.: Дека, 2000. 336 с.
6. Пригожин А. И. Методы развития организаций. М.: МЦФЭР, 2003. 863 с.
7. Григорьева Е. А. Реструктуризация как форма адаптации промышленного предприятия к изменениям внешней среды // Экономика и предпринимательство. 2013. № 3(32). С. 323–325.
8. Крылатков П. Управление целостностью бизнеса. Saarbrucken: Academic Publishing GmbH & KG, 2011. 441 с.
9. Баев И. А., Гусева Т. И. Формы реструктуризация предприятий в Российской экономике // Вестник УГТУ – УПИ. Сер. «Экономика и управление». 2010. № 2. С. 24–31.
10. Калабина Е. Г., Ершова И. В. Управление взаимоотношениями «работник–работодатель». Институциональный и экономический аспекты. Екатеринбург: Ин-т экономики УРО РАН, 2009. 186 с.
11. Крылатков П. П. Типология управленческих подходов к целостности машиностроительного предприятия // Организатор производства. 2012. № 2 (53). С. 30–38.
12. Markowitz G. Portfolio Selection // The Journal of Finance. 1952. Vol. 7, № 1. P. 77–91.
13. Хэнди Ч. Время безрассудства: пер. с англ. СПб.: Питер, 2001. 288 с.
14. Долгова Е. В., Васильева Е. Е. Системный риск в современном мире: понятие, оценка, управление // Изв. УГГУ. 2016. № 1 (41). С. 112–117.
15. Портер М. Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов: пер. с англ. М.: Альпина Бизнес-Букс, 2006. 454 с.
16. Венецкий И. Г., Венецкая В. И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе: справочник. М.: Статистика, 1979. 447 с.
17. Гитман Л. Дж., Джонк М. Д. Основы инвестирования: пер. с англ. М.: Дело, 1997. 1008 с.

REFERENCES

1. Bogdanov A. A. 2003, Tektologiya. *Vseobshchaya organizatsionnaya nauka* [Tectology. General Organizational Science], Moscow, 496 p.
2. Akoff R., Emeri M. 1974, *O tseleustremlennykh sistemakh* [About purposeful systems], Moscow, 248 p.
3. Dzhonson R., Kast F., Rozentsveyg D. 1971, *Sistemy i rukovodstvo (teoriya*

sistem i rukovodstvo sistemami) [Systems and guidance (theory of systems and systems management)], Moscow, 647 p.
4. Mil'ner B. Z. 2006, *Teoriya organizatsii* [Theory of organization], Moscow, 864 p.
5. Korotkov E. M. 2000, *Issledovanie sistem upravleniya* [Research of management systems], Moscow, 336 p.
6. Prigozhin A. I. 2003, *Metody razvitiya organizatsiy* [Methods of development of organizations], Moscow, 863 p.
7. Grigor'eva E. A. 2013, *Restrukturizatsiya kak forma adaptatsii promyshlennogo predpriyatiya k izmeneniyam vneshney sredy* [Restructuring as a form of adaptation of an industrial enterprise to changes in the external environment]. *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economy and entrepreneurship], no. 3(32), pp. 323–325.
8. Krylatkov P. 2011, *Upravlenie tselostnost'yu biznesa* [Business Integrity Management], Saarbrucken, 441 p.
9. Baev I. A., Guseva T. I. 2010, *Formy restrukturizatsiya predpriyatiy v Rossiyskoy ekonomike* [Forms of restructuring of enterprises in the Russian economy]. *Vestnik UGTU – UPI. Ser. «Ekonomika i upravlenie»* [Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management], no. 2, pp. 24–31.
10. Kalabina E. G., Ershova I. V. 2009, *Upravlenie vzaimootnosheniyami «rabotnik–rabotodatel'». Institutsional'nyy i ekonomicheskiy aspekty* [Employee-employer relationship management. Institutional and economic aspects], Ekaterinburg, 186 p.
11. Krylatkov P. P. 2012, *Tipologiya upravlencheskikh podkhodov k tselostnosti mashinostroitel'nogo predpriyatiya* [Typology of management approaches to the integrity of engineering enterprises]. *Organizator proizvodstva* [Organizer of Production], no. 2 (53), pp. 30–38.
12. Markowitz G. 1952, Portfolio Selection. The Journal of Finance, vol. 7, no. 1, pp. 77–91.
13. Khendi Ch. 2001, *Vremya bezrassudstva* [Time of recklessness], St. Petersburg, 288 p.
14. Dolgova E. V., Vasil'eva E. E. 2016, *Sistemnyy risk v sovremennom mire: ponyatie, otsenka, upravlenie* [Systemic risk in the modern world: concept, assessment, management]. *Izv. UGGU* [News of the Ural State Mining University], no. 1(41), pp. 112–117.
15. Porter M. 2006, *Konkurentnaya strategiya: metodika analiza otrasley i konkurentov* [Competitive strategy: a technique of the analysis of branches and competitors], Moscow, 454 p.
16. Venetskiy I. G., Venetskaya V. I. 1979, *Osnovnye matematiko-statisticheskie ponyatiya i formuly v ekonomicheskom analize: spravochnik* [Basic mathematical-statistical concepts and formulas in economic analysis: a handbook], Moscow, 447 p.
17. Gitman L. Dzh., Dzhonk M. D. 1997, *Osnovy investirovaniya* [Fundamentals of Investing], Moscow, 1008 p.

Петр Петрович Крылатков,
pekryl@mail.ru
Валентина Андреевна Шабалина,
vash2003@mail.ru
Наталья Евгеньевна Калинина,
NKalinina@rambler.ru
Уральский федеральный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Petr Petrovich Krylatkov,
pekryl@mail.ru
Valentina Andreevna Shabalina,
vash2003@mail.ru
Natal'ya Evgen'evna Kalinina,
NKalinina@rambler.ru
Ural Federal University
Ekaterinburg, Russia

УДК 378.6

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-104-108

КОНЦЕПЦИЯ CDIO КАК ОСНОВА ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ИТОГИ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИИ

Р. А. Долженко

CDIO concept as the basis of engineering education: interim results and directions for further use in Russia

R. A. Dolzhenko

The author analyzes CDIO concept - a new integrated approach to engineering education, describes the history of its formation, presents interim results of its implementation in the national universities, as well as the directions for further use in the Russian Federation. The paper contains analysis of the dynamics of academic publications on the topic of CDIO in Russia and abroad, provides a list of foreign journals that highlightened this subject was the most, has the reviews of the most quoted scientific papers that reflect the content of CDIO initiative. The author describes the advantages of CDIO concept and the content of this approach to engineering education, which is spreading in foreign universities and appears in a number of Russian educational organizations. From the point of view of the creators of CDIO, this approach will help to educate such a future graduate of the university, who can come up with a new product or a new technical idea, carry out all the design work for its implementation, and introduce the result into production. The article also highlights a list of factors that hamper the development of CDIO in Russian pedagogical practice. The author proposes a set of recommendations and an algorithm for the introduction of this approach to the Russian university practice. In order to implement the CDIO in its practice, the university must first verify its activities for compliance with CDIO standards, which set out 12 directions for implementing this initiative and possible levels of their evaluation. The analysis showed that the formalized procedure for joining the CDIO association does not carry significant preferences for the educational organization, while CDIO open standards will improve its activities.

Keywords: education; engineering education; technical specialties; CDIO; education standards; publications.

Проанализирована концепция CDIO – новый комплексный подход к инженерному образованию, описана история ее становления, представлены промежуточные итоги ее внедрения в отечественных вузах, а также направления дальнейшего использования в РФ. В работе проанализирована динамика академических публикаций на тему CDIO в России и за рубежом, приведен список зарубежных журналов, в которых данная тематика нашла наибольшее отражение, проведен обзор наиболее цитируемых научных работ, в которых отражено содержание инициативы CDIO. Описано содержание подхода CDIO к инженерному образованию, который получает распространение в зарубежных вузах и точечно используется рядом российских образовательных организаций, показаны преимущества данной концепции. С точки зрения создателей CDIO, данный подход позволит обучить такого будущего выпускника вуза, который сможет придумать новый продукт или новую техническую идею, осуществить все конструкторские работы по ее воплощению, внедрить в производство то, что получилось в итоге. В статье также был выделен перечень факторов, которые сдерживают развитие CDIO в отечественной педагогической практике. Предложен комплекс рекомендаций и описан алгоритм для внедрения указанного подхода к деятельности российского вуза. Для того чтобы внедрить CDIO в свою практику, университет должен прежде всего проверить свою деятельность на соответствие стандартам CDIO, в которых прописаны 12 направлений реализации данной инициативы, а также возможные уровни оценки. Анализ показал, что формализованная процедура вступления в ассоциацию CDIO не несет в себе значительных преференций для образовательной организации, в то время как выложенные в открытом доступе стандарты позволят улучшить ее деятельность.

Ключевые слова: обучение; инженерное образование; технические специальности; CDIO; стандарты образования; публикации.

Будущая судьба российского общества, успех экономики нашей страны во многом зависят от результатов модернизации отечественного образования. Отдельное значение в этом направлении имеет обучение инженерным специальностям. Новый технологический уклад, к которому вплотную подошла Россия, требует пересмотра подходов к обучению инженеров. С подобной проблемой столкнулась ранее и зарубежная общественная мысль, в итоге одним из направлений развития инженерного образования за рубежом стала инициатива CDIO, инициированная в начале XXI в. совместными усилиями Массачусетского технологического института и нескольких европейских вузов. В России она была принята рядом образовательных организаций и внедрена в практику на рубеже 2013 г., за последние 4 года к ней присоединились еще около 10 вузов. Однако до сих пор не была сделана попытка обобщить интерес к данной тематике со стороны исследователей, практиков, педагогов и определить направления развития инициативы CDIO в контексте отечественной специфики.

Именно этому и посвящена данная работа. В статье будет проанализирован интерес к CDIO в академических публикациях, изложено ее актуальное содержание, а также определены направления внедрения и развития в отечественной образовательной практике.

CDIO в академических публикациях: от динамики к приоритетам

Проблемы в системе высшего и, в частности, инженерного образования вызывают пристальное внимание со стороны ученых. Понимая насущную необходимость в пересмотре подходов к обучению в новых условиях, некоторые из них предлагают свои подходы к реформированию системы высшего образования. Одна из таких инициатив CDIO – новый комплексный подход к инженерному образованию, который был зарожден в качестве идеи в 1997 г. и окончательно сформировался и оформился в 2001 г. благодаря сотрудничеству Массачусетского технологического института (США) с рядом шведских университетов. Хронология событий, связанных с развитием CDIO, представлена на рис. 1.

Первые публикации в научных изданиях по данной тематике, согласно данным Scopus, датированы 2002 г. С тех пор интерес к данной теме со стороны научного сообщества стал проявляться больше. Так, к настоящему времени ежегодное количество академических публикаций, связанных с темой CDIO, увеличилось в 6 раз: если в 2002 г., по данным базы Scopus, количество таких работ составляло 5, то в 2016 г. – уже 30 (рис. 2). Рост количества публикаций наблюдается также и в отечественных журналах (см. динамику по базе публикаций eLIBRARY.ru на рис. 2). Более того, интерес российских ученых к данной теме был значительно выше по сравнению с таковым у зарубежных коллег (112 публикаций в 2014 г. согласно РИНЦ по сравнению с 54 работами, проиндексированными в Scopus). Отметим, что первая русскоязычная статья в журнале на тему CDIO датирована 2011 г., а пик интереса в 2014 г. также обусловлен изданием целого номера журнала «Инженерное образование», посвященного CDIO.

В связи с постепенным расширением сферы публикаций на тему CDIO можно попытаться определить тенденции в интересах исследователей. В то же время следует отметить, что интерес

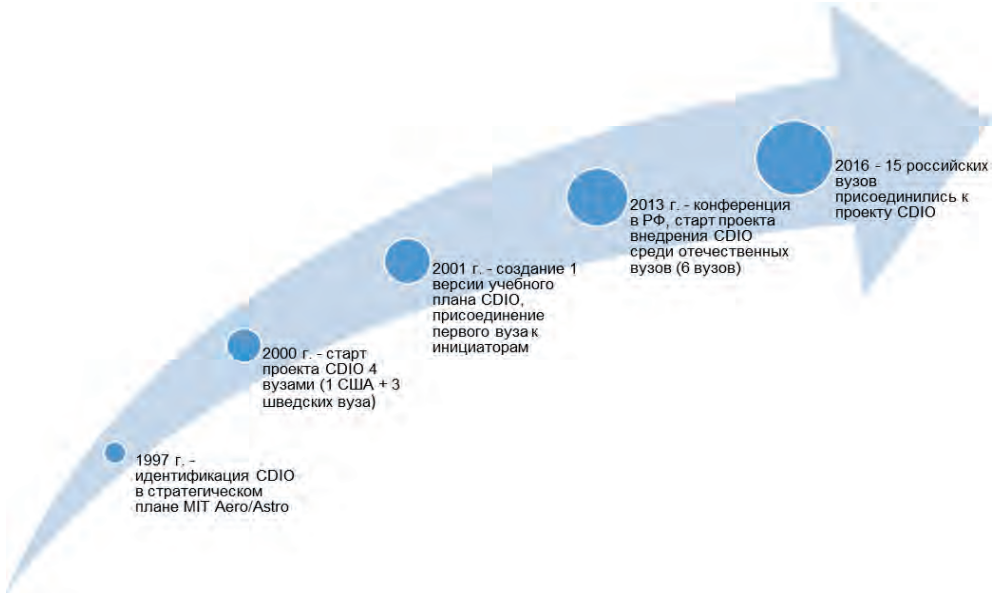


Рисунок 1. История развития CDIO в мировом и российском образовательном сообществе.

ученых находит свое отражение больше в сборниках научных конференций, чем в академических изданиях. Из общего числа статей на тему CDIO в базе Scopus (410 записей) лишь 93 опубликованы в журналах, 14 в книгах и отдельных главах, 286 статьи изложены в сборниках конференций.

Проведенный автором статьи анализ публикационной активности исследователей CDIO за последние 10 лет показал тенденцию к небольшому сокращению и стабилизации числа публикаций, при этом количество публикаций в отечественных журналах демонстрирует ту же тенденцию (рис. 2). В качестве источников автор использовал базы публикаций Scopus, Web of Science и отечественную базу РИНЦ. В целях анализа использовались работы, в которых термин «CDIO» присутствовал в названии статьи, аннотации, либо в перечне ключевых слов. Учитывались статьи в научных журналах, а также сборниках конференций. Публикации рассматривались в период с 2000 по 2016 г. Итак, интерес к проблематике CDIO возник относительно недавно, он достиг пика за рубежом в 2011–2013 гг.; в России – в 2013–2014 гг., и количество публикаций стабилизировалось.

Для анализа ключевых направлений исследований в области CDIO автором рассматривалось содержание наиболее цитируемых статей в данной области (по данным Scopus и РИНЦ), а также работ, опубликованных в журналах в последние годы. Отбор публикаций осуществлялся по принципу наличия в названии термина «CDIO». Всего за период с 2000 по 2016 г. в базе Scopus были выявлены 93 такие статьи. В табл. 1 приведен список журналов, в которых опубликовано наибольшее количество исследований по тематике CDIO.

Данной тематике посвящены работы широкого круга исследователей. Из наиболее цитируемых работ можно выделить

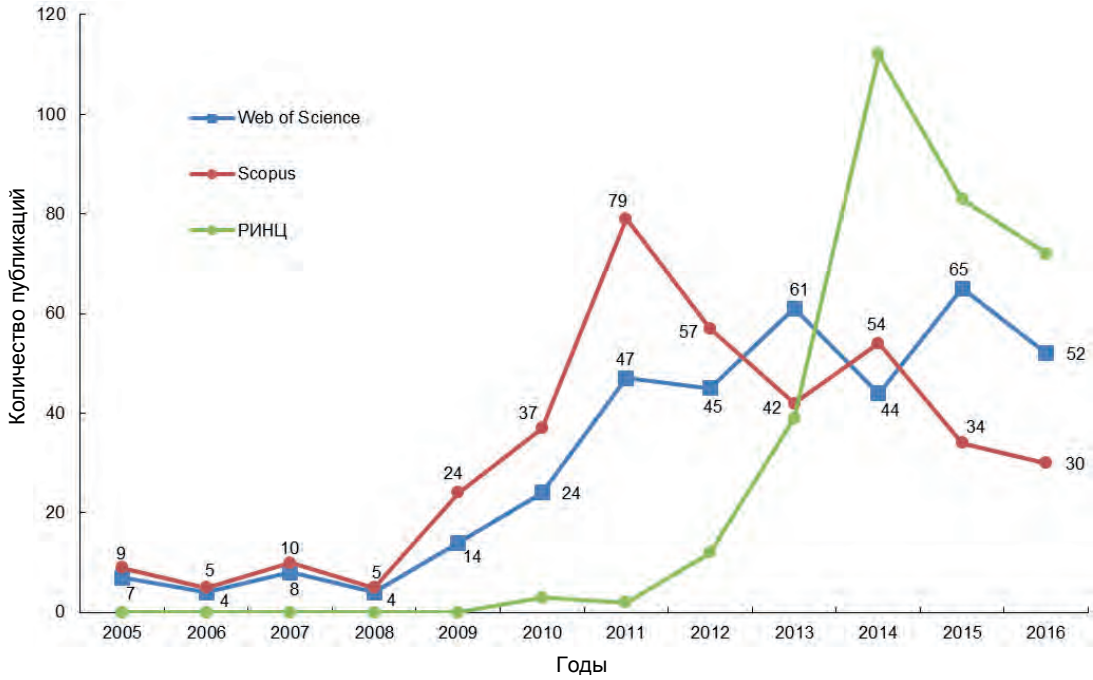


Рисунок 2. Количество публикаций на тему CDIO, индексируемых в базах Scopus, Web of Science, РИНЦ.

Таблица 1. Список журналов, в которых было опубликовано наибольшее количество статей на тему CDIO.

Издание	Количество статей на тему CDIO
World Transactions On Engineering And Technology Education	18
European Journal Of Engineering Education	5
Journal Of Engineering Science And Technology	5
Australasian Journal Of Engineering Education	4
Energy Education Science And Technology Part A: Energy Science And Research	4

зарубежные исследования следующих авторов: E. F. Crawley, D. R. Brodeur, D. H. Soderholm в 2008 г. [1], K. Edström, A. Kolmos в 2014 г. [2], A. Lunev, I. Petrova, V. Zaripova в 2013 г. [3], L. C. Woollacott в 2009 г. [4], G. D. Padfield в 2006 г. [5], работу китайских ученых Y. Wang, Z. Qi, Z. Li, L. Zhang в 2011 г. [6]. Среди русскоязычных исследований самыми цитируемыми являются работы Н. В. Гафуровой, С. И. Осиповой в 2013 г. [7], А. И. Чучалина в 2011 г. [8], А. Н. Яковлева, К. С. Костикова, Н. В. Мартюшева, Н. А. Шепотенко, Ю. В. Фалькович в 2012 г. [9], О. М. Замятиной, П. И. Мозгалевой в 2013 г. [10], О. К. Миневой, Р. И. Акмаевой, Л. В. Усачевой в 2013 г. [11].

Тематика данных работ связана с практическими возможностями использования подхода CDIO в металлургическом образовании, обучении будущих инженеров математике, в нескольких работах приведены результаты исследования ожиданий стейкхолдеров по поводу профессионализма обучившихся по стандартам CDIO [12, 13].

Прежде всего, следует отметить несколько моментов, характеризующих всю совокупность рассматриваемых статей об инициативе CDIO (как наиболее цитируемых, так и современных).

Большинство статей носят эмпирический характер, они описывают анализ конкретных случаев (case study) внедрения, использования CDIO в практике вуза, образовательной программы. Это еще раз подчеркивает, что концепция CDIO требует более детального понимания, объяснения и обобщения.

Преобладают исследования, проводимые в Китае (41 публикация согласно Scopus), затем в США (8 публикаций), в России (6 публикаций) и в Швеции (6 публикаций) на базе крупных технических вузов.

Среди наиболее цитируемых работ в Scopus присутствует лишь 1 публикация, выполненная коллективом русских ученых. В то же время становится все более очевидным, что опыт совершенствования инженерного образования в России имеет существенный потенциал для дальнейших исследований в данной области и необходим его переход в международное научное сообщество.

Рассмотрим далее, что представляет собой подход CDIO и каковы направления его использования в практике отечественных технических вузов.

Содержание подхода CDIO к обучению техническим специальностям

Как позиционируют создатели CDIO, – это комплексный подход к инженерному образованию (в первую очередь, бакалавриата), включающий в себя набор общих принципов создания учебных программ, их материально-технического обеспечения, подбора и обучения преподавателей. Аббревиатура складывается из первых букв четырех ключевых понятий данного подхода: Conceive (Замысел), Design (Разработка), Implement (Внедрение), Operate (Использование). Таким образом, CDIO предполагает системную подготовку инженеров, умеющих генерировать идеи, проектировать, производить, эксплуатировать и утилизировать продукты инженерной деятельности [12]. Декларируемая цель CDIO: инженер-выпускник вуза, который умеет придумать новый продукт или новую техническую идею, осуществить все конструкторские работы по ее воплощению, внедрить в производство то, что получилось.

Как отмечено в работе С. А. Подлесных и А. В. Козлова, внедрение CDIO в отечественную образовательную практику сдерживается отсутствием необходимой лабораторной базы для реализации экспериментальной компоненты парадигмы, а также низким уровнем развития возможностей внедрения и использования инженерных наработок на практике [14]. Можно добавить к числу ограничителей и слабое развитие педагогических компетенций у преподавателей, а также отсутствие возможности у вузов осуществлять постоянное обучение педагогов, предусмотренное стандартами CDIO. Создатели подхода попытались стандарти-

Таблица 2. Отечественные вузы – участники ассоциации CDIO.

Наименование вуза	Год вступления в ассоциацию CDIO
Томский политехнический университет (Tomsk Polytechnic University)	2011
Астраханский государственный университет (Astrakhan State University)	2012
Сколковский институт науки и технологий (Skolkovo Institute for Science and Technology)	2012
Московский авиационный институт (Moscow Aviation Institute)	2012
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics)	2013
Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина (Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)	2013
Московский физико-технический институт (Moscow Institute of Physics and Technology)	2013
Сибирский федеральный университет (Siberian Federal University)	2014
Казанский (Приволжский) федеральный университет (Kazan Federal University)	2014
Донской государственный технический университет (Don State Technical University)	2014
Череповецкий государственный университет (Cherepovets State University)	2014
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (National Research Nuclear University MEPhI)	2014
Якутский государственный университет имени М. К. Аммосова (The Ammosov North-Eastern Federal University)	2015
Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Bauman Moscow State Technical University (BMSTU))	2015
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation)	2015
Орловский государственный университет (Oryol State University)	2016

Рисунок 3. Перечень стандартов CDIO.

зировать все ключевые аспекты деятельности образовательной организации, которая пытается внедрить в свою практику CDIO. В настоящий момент разработано и используется 12 стандартов.

Как известно, стандарты – это образцы, эталоны, модели, принимаемые за исходные, для сопоставления с ними других подобных объектов. Объектами стандартизации могут выступать практически любые объекты в организации: продукты, услуги, процессы, документы, деятельность и др. Таким образом, стандарт устанавливает комплекс правил и требований к объекту стандартизации. В то же самое время, стандарт – это не жестко зафиксированное требование, а отправная точка для мероприятий по совершенствованию деятельности, так как деятельность по стандартизации предполагает регулярное изменение стандартов в целях повышения эффективности деятельности образовательной организации.

Вуз также является организацией, его деятельность в силу общественной значимости в России почти полностью стандартизирована. Любое отклонение от стандарта предполагает вариации, а значит, необходимы дополнительные усилия по контролю. Если образовательная деятельность контролируются в России Министерством образования и науки, а также соответствующими надзорными органами, то следование стандартам CDIO предполагает взятие вузом на себя обязательств по реализации прописанных в них требованиях. Держателем компетенций в этой области какое-то время позиционировали себя Агентство национальных инициатив и Сколтех. К сожалению, данная инициатива не получила широкого распространения в российской образовательной практике. За последние 4 года к инициативе CDIO к первоначальным 6 вузам присоединились лишь 10 образовательных организаций (табл. 2).

В настоящее время сообщество CDIO включает в себя более 100 университетов с практико-ориентированным обучением, использующих стандарты CDIO. Ряд российских вузов уже длительное время входит в число участников ассоциации CDIO: Томский политехнический университет, Сколтех, Астраханский государственный университет, Московский авиационный институт, МФТИ, ТУСУР и др. По факту данная инициатива не получила широкого распространения среди отечественных вузов, дальнейшая судьба инициативы CDIO в нашей стране вызывает сомнения, в первую очередь, из-за ухода создателя концепции и ключевого инициатора внедрения Эдварда Кроули с поста ректора Сколтеха, под эгидой которого и было реализовано масштабное информирование вузов в 2013 г. В частности, в 2016 г. в ассоциацию вступил лишь один отечественный вуз. Остаются неясными преимущества от участия в ассоциации, все стандарты находятся в открытом доступе, в том числе в переведенном варианте, поэтому следование им возможно и без прохождения формализованной процедуры вступления в CDIO.

Рассмотрим содержание стандартов CDIO версии 2.1, которые представлены на сайте www.cdio.org. В каждом стандарте приведено описание, обоснование использования, ожидаемые результаты от следования, а также таблица с критериями оценки уровня выполнения требований стандарта (от 0 до 5). Нулевое значение оценки по каждому из стандартов показывает, что образовательная организация не имеет каких-либо программ, не совершает никаких действий по внедрению различных аспектов CDIO в своей деятельности. Каждый последующий уровень предполагает выполнение предыдущего, в результате возможно ложное представление о выполнении требований последнего уровня, а значит, и представление о полном соответствии требованиям стандарта. Разработчики уточняют, что именно 4-й уровень показывает, что организация внедрила все требования, предусмотренные стандартом; 5-й уровень необходим для подтверждения факта наличия в организации процедур, предполагающих гарантированное продолжение внедрения и использования требований.

Наименования стандартов приведены на рис. 3. Все стандарты могут быть сгруппированы: 1 стандарт описывает общий контекст инициативы; 2, 3, 4 описывают требования к разработке учебных программ; 5, 6 – к проектной деятельности и рабочему пространству; 7, 8 – к методам, используемым при обучении студентов; 9, 10 – к формам повышения квалификации преподавателей, задействованных в обучении; 11, 12 – к оценке результатов следования программе.

Каждый из стандартов предполагает оценку текущего уровня развития соответствующего направления образовательной деятельности, а также меры, которые должен принять вуз, для того, чтобы соответствовать стандарту CDIO. Ряд требований каждого из стандартов формализован и ограничивает развитие инициативы минимальным уровнем в случае, если руководство вуза не обратилось в ассоциацию CDIO для внедрения подхода. Таким образом, более важной является формализация желания вступить в CDIO по сравнению с реальными наработками, которые уже были сделаны менеджментом образовательной организации. Какую именно процедуру должен пройти вуз в этом случае?

Для вступления в CDIO сообщество образовательная организация должна пройти ряд шагов (рис. 4).

Как видно из рис. 4, вузу необходимо пройти ряд формальных процедур, одна из которых (презентация вуза на конференции CDIO) может быть связана со значительными временными и финансовыми затратами, в то время как формализованная проверка соответствия подходов к образованию стандартам CDIO не проводится. Регистрационный взнос за участие в конферен-

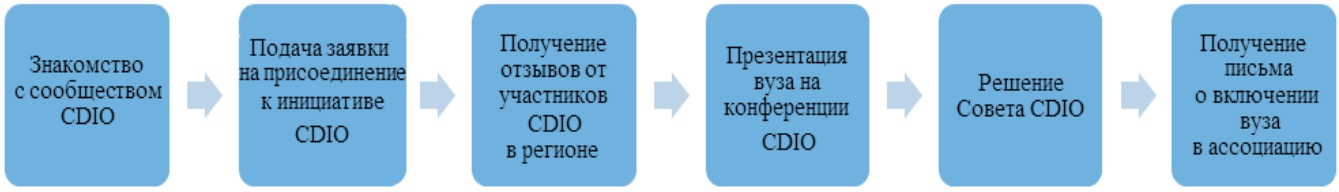


Рисунок 4. Последовательность шагов для вступления в ассоциацию CDIO.

ции составляет 425 €. Поддержка вуза, планирующего попасть в ассоциацию CDIO, со стороны держателей данной инициативы (Агентства национальных инициатив и Сколтеха), в качестве которых они себя позиционировали в 2013 г., не осуществляется. Последняя актуализация информации на сайте cdiorussia.ru датирована 9 июля 2013 г. Сообщество российских вузов, участников ассоциации CDIO, не оформлено. Таким образом, вступление в нее возможно только в рамках собственной инициативы вуза, планирующего стандартизировать свою образовательную деятельность в соответствии с требованиями CDIO. В любом случае приобщение технического вуза к данной инициативе создает добавочную ценность, которая может иметь различный вид, не только стоимостной [15].

Заключение

Таким образом, проведенный автором анализ показал актуальность дальнейших изысканий в области перспектив развития инженерного образования в отечественных технических вузах. Подход CDIO является одним из самых видных воплощений представлений о том, каким должно быть обучение в вузе и с помощью каких инструментов этого можно добиться. В нашей стране интерес научного и педагогического сообществ к CDIO проявляет себя в большей степени, чем в зарубежных странах (за исключением Китая). Однако, если азиатские исследователи пытаются транслировать свои наработки и исследования в мировую научную среду, то публикации российских исследователей почти все представлены в русскоязычных изданиях.

Несмотря на явную специфику инженерной мысли в России, в научных работах российских ученых и мыслителей существуют отдельные попытки сформулировать свое национальное видение будущего инженерного образования, оформленное в рамках стройной концепции, схожей со CDIO, однако ее продвижение в образовательной среде затруднено и осуществляется в виде отдельных инициатив, как и внедрение CDIO в отечественных технических вузах. Из анализа следует, что без поддержки подобной концепции со стороны государства ее внедрение и развитие в российской образовательной практике будет затруднено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crawley E. F., Brodeur D. R., Soderholm D. H. The education of future aeronautical engineers: Conceiving, designing, implementing and operating // Journal of Science Education and Technology. 2008, 17(2). P. 138–151.
2. Edström K., Kolmos A. PBL and CDIO: Complementary models for engineering education development // European Journal of Engineering Education. 2014. Vol. 39(5). P. 539–555.
3. Lunev. A., Petrova. I., Zaripova. V. Competency-based models of learning for engineers: a comparison // European Journal of Engineering Education. 2013. Vol. 38(5). P. 543–555.
4. Woollacott L. C. Validating the CDIO syllabus for engineering education using the taxonomy of engineering competencies // European Journal of Engineering Education. 2009. Vol. 34(6). P. 545–559.
5. Padfield G. D. Flight handling qualities // Aeronautical Journal. 2006. Vol. 110(1104). P. 73–84.
6. Wang Y., Qi Z., Li Z., Zhang L. Institute-industry interoperation model: An in-dustry-oriented engineering education strategy in China // Asia Pacific Education Review. 2011. Vol. 12(4). P. 665–674.
7. Гафурова Н. В., Осипова С. И. Металлургическое образование на основе идеологии CDIO // Высшее образование в России. 2013. № 12. С. 137–139.
8. Чучалин А. И. Модернизация бакалавриата в области техники и технологий с учетом международных стандартов инженерного образования // Высшее образование в России. 2011. № 10. С. 20–29.
9. Yakovlev A. N., Kostikov K. S., Martyushev N. V., Shepotenko N. A., Falkovich Yu. V. Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with Russian and international companies in the domain of material science and physics of high-energy systems // Изв. вузов. Физика. 2012. Т. 55, № 11-3. С. 261–263.
10. Замятина О. М., Мозгалева П. И. Усовершенствование программы элитной технической подготовки: компетентностно-ориентированный подход // Инновации в образовании. 2013. № 10. С. 36–45.
11. Минева О. К., Акмаева Р. И., Усачева Л. В. Реализация стратегии развития университета на основе построения стратегической карты // Вестник СГТУ. 2013. Т. 1, № 1 (69). С. 297–304.
12. Чучалин А. И. Модернизация инженерного образования на основе международных стандартов CDIO // Инженерное образование. 2014. № 16. С. 14–29.
13. Kuptasthien N., Triwanapong S., Kanchana R. Разработка интегрированного учебного плана для программ промышленной инженерии в рамках инициативы CDIO // Инженерное образование. 2014. № 16. С. 30–39.
14. Подлесный С. А., Козлов А. В. CDIO: цели и средства достижения // Инженерное образование. 2014. № 16. С. 9–13.
15. Душин А. В. Некоторые аспекты развития теории ценности // Журнал экономической теории. 2009. № 3. С. 218–222.

REFERENCES

1. Crawley E. F., Brodeur D. R., Soderholm D. H. 2008, The education of future aeronautical engineers: Sonceiving, designing, implementing and operating. Journal of Science Education and Technology, no. 17(2), pp. 138–151.
2. Edström K., Kolmos A. 2014, PBL and CDIO: Complementary models for engineering education development. European Journal of Engineering Education, no. 39(5), pp. 539–555.
3. Lunev. A., Petrova. I., Zaripova. V. 2013, Competency-based models of learning for engineers: a comparison. European Journal of Engineering Education, no. 38(5), pp. 543–555.
4. Woollacott L. C. 2009, Validating the CDIO syllabus for engineering education using the taxonomy of engineering competencies. European Journal of Engineering Education, no. 34(6), pp. 545–559.
5. Padfield G. D. 2006, Flight handling qualities. Aeronautical Journal, no. 110(1104), pp. 73–84.
6. Wang Y., Qi Z., Li Z., Zhang L. 2011, Institute-industry interoperation model: An in-dustry-oriented engineering education strategy in China. Asia Pacific Education Review, no. 12(4), pp. 665–674.
7. Gafurova N. V., Osipova S. I. 2013, *Metallurgicheskoe obrazovanie na osnove ideologii CDIO* [Metallurgical education based on CDIO ideology]. *Vysshee obrazovanie v Rossii* [Higher Education in Russia], no. 12, pp. 137–139.
8. Chuchalin A. I. 2011, *Modernizatsiya bakalavriata v oblasti tekhniki i tekhnologiy s uchetom mezhdunarodnykh standartov inzhenernogo obrazovaniya* [Modernization of bachelor's degree in engineering and technology taking into account international standards of engineering education]. *Vysshee obrazovanie v Rossii* [Higher Education in Russia], no. 10, pp. 20–29.
9. Yakovlev A. N., Kostikov K. S., Martyushev N. V., Shepotenko N. A., Falkovich Yu. V. 2012, Institute of high technology physics experience in masters of engineering and doctoral training: the platform for cooperation with Russian and international companies in the domain of material science and physics of high-energy systems. *Izv. vuzov. Fizika* [Russian Physics Journal], vol. 55, no 11-3, pp. 261–263.
10. Zamyatina O. M., Mozgaleva P. I. 2013, *Usovershenstvovanie programmy elitnoy tekhnicheskoy podgotovki: kompetentnostno-orientirovanyy podkhod* [Improvement of the program of elite technical training: competence-oriented approach]. *Innovatsii v obrazovanii* [Innovation in Education], no. 10, pp. 36–45.
11. Mineva O. K., Akmaeva R. I., Usacheva L. V. 2013, *Realizatsiya strategii razvitiya universiteta na osnove postroeniya strategicheskoy karty* [Implementation of the university development strategy based on the construction of a strategic map]. *Vestnik SGTU* [Vestnik Saratov State Technical University], vol. 1, no. 1(69), pp. 297–304.
12. Chuchalin A. I. 2014, *Modernizatsiya inzhenernogo obrazovaniya na osnove mezhdunarodnykh standartov CDIO* [Modernization of engineering education on the basis of international CDIO standards]. *Inzhenernoe obrazovanie* [Engeneering Education], no. 16, pp. 14–29.
13. Kuptasthien N., Triwanapong S., Kanchana R. 2014, *Razrabotka integrirovannogo uchebnogo plana dlya programm promyshlennoy inzhenerii v ramkakh initsiativy CDIO* [Development of an integrated curriculum for industrial engineering programs under the CDIO initiative]. *Inzhenernoe obrazovanie* [Engeneering Education], no. 16, pp. 30–39.
14. Podlesnyy S. A., Kozlov A. V. 2014, *CDIO: tseli i sredstva dostizheniya* [CDIO: goals and means of achieving]. *Inzhenernoe obrazovanie* [Engeneering Education], no. 16, pp. 9–13.
15. Dushin A. V. 2009, *Nekotorye aspekty razvitiya teorii tsennosti* [Some aspects of the development of the theory of value]. *Zhurnal ekonomicheskoy teorii* [Russian Journal of Economic Theory], no. 3, pp. 218–222.

Руслан Алексеевич Долженко,
snurk17@gmail.com
Технический университет УГМК
Россия, Свердловская область,
Верхняя Пышма, Успенский просп., 3

Ruslan Alekseevich Dolzhenko,
snurk17@gmail.com
Technical University of UMMC
Verkhnyaya Pyshma, Russia

УДК 658

DOI 10.21440/2307-2091-2017-2-109-113

МЕТОДЫ ПОВЫШАТЕЛЬНОЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ РЕНОВАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ф. Я. Леготин, Д. Н. Григорьев

Methods of upward investment and innovation activity of renovation of technological equipment

F. Ya. Legotin, D. N. Grigor'ev

The normative useful life of the active part of primary equipment (group OC No. 4-7) is 20 years in Russia in accordance with the law "On Corporate Profits Tax", Federal Law No.110 of 5.08. 2001, chapter XXV of the Tax Code of the Russian Federation. Active systems of preventive repairs of machines and equipment provide technical condition and 100-percent passport productivity of this machinery. Competitive advantages of enterprises form due to renovation and modernization of working mechanisms of the active part of machines and equipment. The scientific and technical development of Russian heavy industry enterprises in the mass modernization of the main high-performing capital exceeding the world level automatically provides extended reproduction of new technology, which includes new construction, reconstruction, innovative technical and high-tech rearmament, expansion of existing capacities of workshops, sites, production facilities. It also includes modernization, mechanization, robotization, automation of large industrial complexes, technological systems, units and facilities, combined in time with major equipment repairs, and other methods, including financial leasing of machinery and equipment. The most important source of investment and innovation activity of scientific and technical modernization is its own net income in the form of exponential, linear, non-linear depreciation accumulators and accumulated net profit of enterprises. The exponential depreciation multiplier that the authors propose in this work is the crucial basis for the financial and economic mechanism that creates an upward investment activity of the scientific and technological development of heavy industry enterprises.

Keywords: mechanism; depreciation; renovation; accumulator; investment, innovative activity.

Нормативный срок полезного использования активной части основных средств (группы ОС № 4–7) составляет в России 20 лет согласно закону «О налоге на прибыль организаций», ФЗ №110 от 5.08. 2001 г., глава XXV НК РФ. Техническое состояние и паспортную 100-процентную производительность этой техники обеспечивают действующие системы планово-предупредительных ремонтов машин и оборудования. Конкурентные же преимущества предприятий создаются за счет реновации и модернизации рабочих механизмов активной части машин и оборудования. Научно-техническое развитие предприятий тяжелой промышленности России при массовой модернизации основного высокопроизводительного капитала, превышающего мировой уровень, автоматически обеспечивает расширенное воспроизводство новой техники, которое включает новое строительство, реконструкцию, инновационное техническое и высокотехнологическое перевооружение, расширение действующих мощностей цехов, участков, производств; модернизацию, механизацию, роботизацию, автоматизацию крупных промышленных комплексов, технологических систем, узлов и объектов, совмещаемых по срокам с капитальными ремонтами техники, и другие способы, включая финансовый лизинг машин и оборудования. Важнейшим источником инвестиционной и инновационной активности научно-технической модернизации является собственный чистый доход в виде экспоненциальных, линейных, нелинейных амортизационных накопителей и накопленной чистой прибыли предприятий. Предлагаемый в работе экспоненциальный амортизационный мультипликатор представляет собой важнейшую основу финансово-экономического механизма, создающего повышательную инвестиционную активность научно-технического развития предприятий тяжелой промышленности.

Ключевые слова: механизм; амортизация; реновация; накопитель; инвестиционная, инновационная активность.

Вопросам циклического развития экономики, причинам колебаний экономической активности уделяли внимание многие выдающиеся ученые-экономисты: К. Жугляр, К. Маркс, М. Туган-Барановский, Дж. М. Кейнс, Р. Кана, П. Самуэльсон, Дж. Хикс, Ф. Хайек, Й. Шумпетер, Я. Тинберген, Э. Хансен и др. [1]. Важнейшая теория экономических циклов (длинных волн, или больших циклов 48–55 лет) принадлежит русскому экономисту Н. Д. Кондратьеву [2]. Повторяемость длинных волн он связывал с особенностями обновления основного капитала, вложенного в долгосрочные производственные фонды: здания, сооружения, коммуникации. Другие экономические циклы можно классифицировать как [3]: цикл Кузнеца – продолжительность 20 лет, импульсом являются сдвиги в воспроизводственной структуре производства; цикл Джаглера – продолжительность 7–11 лет, импульсом является взаимодействие денежно-кредитных факторов; цикл Китчина – продолжительность нормального большого промышленного цикла 8–12 лет и малого цикла 3–5 лет, импульсом является истощение запасов товарно-материальных ценностей на предприятиях и массовое обновление основного капитала; частные хозяйственные циклы продолжительностью от 1 года до 12 лет, они связаны с колебанием инвестиционной активности.

Все перечисленные циклы различаются природой своего происхождения и длительностью, но вместе они организуют цикличное спиралевидное развитие экономики, связанное с реновацией основного капитала и с ограниченностью природных ресурсов. По мнению авторов, циклами нужно управлять, циклы можно устранить, рецессии можно избежать, если исключить отрицательный человеческий фактор.

Алгоритм расчета амортизационного фонда предприятий России

Амортизационный фонд – это крупнейший финансовый источник целевых средств предприятия, которые использовались до 1998 г. строго по назначению на полное воспроизводство или на реновацию основных средств как капитальные вложения на простое производственное развитие. Именно до 1998 г. амортизационные отчисления, в том числе рассчитываемые ускоренным методом, использовались строго «по целевому назначению»; в противном случае они не включались в себестоимость продукции, а направлялись в прибыль для налогообложения. Правительством РФ (ПП № 1672 от 31.12.1997 г.) были отменены соответствующие пункты Положения о составе затрат [4].

Таким образом, с 1998 г. все амортизационные отчисления, в том числе рассчитанные ускоренным методом и использованные «не по назначению», согласно установленным нормам (ПП РФ № 967 от 19.08.1994 г.) включаются в себестоимость продукции (работ и услуг). Другими словами, амортизационные отчисления – это право на налоговые вычеты, а не на обязанность осуществлять капитальные вложения на реновацию основных средств данного предприятия. Тем не менее амортизация как источник капитальных вложений должна инвестироваться и ныне в эффективных инновационных направлениях производственного развития, создавая конкурентоспособное производство согласно

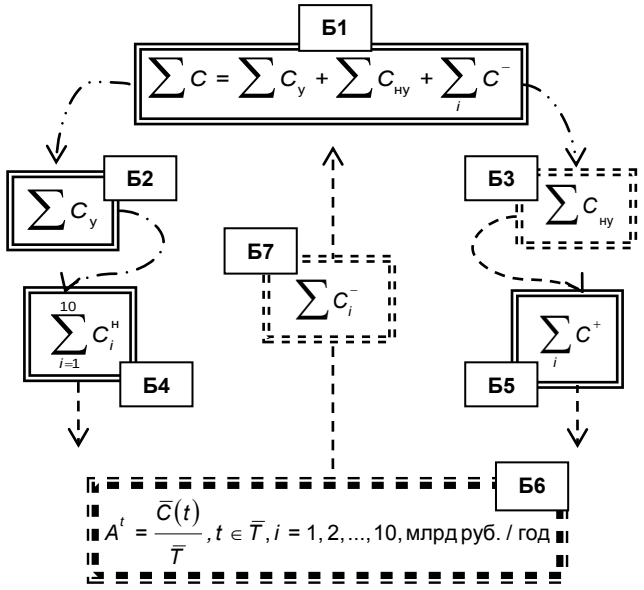


Рисунок 1. Алгоритм амортизационного фонда в динамике A^t без ускорителя $J_{A(t)} = 1{,}0$.

Условные обозначения на рис. 1:

Блок 1. $\sum C$ – стоимость всего наличного оборудования (основные средства) предприятия, которые условно подразделяются на три части: установленное оборудование Б2; не установленное оборудование Б3; работающее оборудование Б4, в том числе а) амортизируемое, б) работающее самортизированное Б7;

Блок 2. $\sum C_{\text{у}}$ – установленное оборудование – это смонтированное и сданное в эксплуатацию оборудование. Установленное оборудование в свою очередь подразделяется на работающее и неработающее. К работающему относится оборудование, проработавшее в течение суток более 15 мин. Неработающим считается оборудование, находящееся в планово-предупредительном ремонте, в модернизации, в простое и в резерве. Работающее оборудование делится в свою очередь на амортизируемое и неамортизируемое;

Блок 3. $\sum C_{\text{ну}}$ – не установленное оборудование, например, в монтаже, наладке и пр., которое не амортизируется;

Блок 4. $\sum_{i=1}^{10} C_i^{\text{н}}$ – работающее оборудование: сумма амортизируемых первоначальных стоимостей этих основных средств на начало года $t \in \bar{T}$, $t = 1{,}2{,}...,\bar{T}$ в группах от $i = 1{,}2{,}\cdots{,}10$ прибывает из числа установленного, т. е. из Б2 в Б6;

Блок 5. $\sum_i C^+$ – стоимость введенных амортизируемых ОС из Б3 (+) в группах $i = 1{,}2{,}\cdots{,}10$ в плановом году t;

Блок 6. A^t – амортизационный фонд: $A^t = \frac{\bar{C}(t)}{\bar{T}}, t \in \bar{T}$, $i = 1{,}2{,}\cdots{,}10$;

Блок 7. $\sum_i C^-$ – работающее оборудование, но уже самортизированное по группам ОС, выбывающее из состава амортизируемых (–) в году t.

принятой стратегии развития технико-экономической политики предприятия. Амортизационный фонд (А) предприятия – это прежде всего инвестиционный и инновационный источник расширенного воспроизводства основных средств (ОС) и нематериальных активов (НМА) предприятия, а не простого, как это было принято ранее «Положением о составе затрат...». Докажем это утверждение.

Согласно действующему законодательству РФ [5], определяем амортизационный фонд A^t в плановом году t формулой:

$$A^t = \bar{C}(t)\bar{N}_i = \frac{\bar{C}(t)}{\bar{T}}, t \in \bar{T}, t = 1,2,...,\bar{T}, i = 1,2,...,10, \quad (1)$$

где A^t – амортизационный фонд в плановом году t, млрд руб./год; $\bar{C}(t)$ – среднегодовая амортизируемая стоимость ОС в году t; $\bar{N}_i$ – средневзвешенная норма амортизации групп ОС; $\bar{T}$ – средневзвешенный оборот обновления ОС, лет; i = 1, 2, …,10 – номера групп и виды ОС согласно [6].

Среднегодовую амортизируемую стоимость основных средств в году t по первоначальной оценке определяем выражением:

$$\bar{C}(t) = \sum_{i=1}^{10} C_i^{\text{н}} + \frac{\sum_i C_i^+ \cdot t_i^{\text{а}}}{12} - \frac{\sum_i C_i^- \cdot t_i^{\text{н.а}}}{12}, t \in \bar{T}, i = 1,2,...,10,$$

а средневзвешенный оборот реновации

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \{\bar{C}_i t_i\} C_i^{\text{н}}}{\sum_i \bar{C}_i}, \quad (2)$$

где C_i^+, C_i^- – стоимость ОС в i-й группе введенных (+) и выбывающих из состава амортизируемых (–) в году t соответственно;

$t_i^{\text{а}}$, $t_i^{\text{н.а}}$ – число месяцев до конца периода: соответственно амортизируемых и не амортизируемых по объекту ОС.

Преобразуем статический алгоритм амортизационного фонда в динамический и уточним его выражением согласно схеме на рис. 1:

$$A^t = \frac{\bar{C}(t)}{\bar{T}}, t \in \bar{T}, i = 1,2,...,10.$$

Некоторые нормативные показатели для оценки параметров амортизационного фонда A^t сведем в таблицу.

Экспоненциальный интегратор-ускоритель амортизационного фонда

Идея создания экспоненциального амортизационного интегратора-ускорителя, отраженная следующей формулой, основана на применения коэффициента производственной мощности (КМ) Ломана–Рухти при формировании A^t [7]:

$$\text{КМ} = 2\Big/\left(1+\frac{1}{T}\right). \quad (3)$$

Амортизационный интегратор-ускоритель получим после преобразования A, средневзвешенного оборота обновления ОС $\bar{T}$ и коэффициента производственной мощности КМ (формулы (1)–(3)), который имеет вид:

$$\exp J(A) = 2\Big/\left(1+\frac{1}{\bar{T}}\right) = \frac{2\bar{T}}{T+1}, t \in \bar{T}; t = 1, 2, ..., \bar{T}; i = 1, 2, ..., 10, ... \quad (4)$$

Амортизационный интегратор при $J_{A(t)} \geq 1{,}0$ можно представить в виде дифференциального уравнения с разделяющимися переменными по [8]: $\frac{\partial A}{\partial t} = tA$ при $A(0) = A$, откуда разделение переменных согласно теореме Коши дает $\frac{\partial A}{A} = t\partial t$. Интегри-

Среднегодовая стоимость, нормативный срок службы, коэффициент ускорения и норма нелинейного способа (НЛС) амортизации ОС предприятия.

Номер группы ОС i = 1, 2, …,10	Коэффициент ускорения K_y по группам ОС i = 1, 2, …,10	Среднегодовая стоимость $\overline{C}_i$, млрд руб.	Нормативный срок службы ОС T, лет, согласно учетной политике	$\overline{C}_i T$, i = 1, 2, …,10	Норма амортизации за месяц НЛС, %
I	1	41	*2*	*82*	*14,3*
II	1	750	3	2250	8,8
III	1	1750	4	7000	5,6
IV	1; 2; 3	–	–	–	3,8
V	1; 2; 3	3500	8	28 000	2,7
VI	1; 2; 3	–	–	–	1,8
VII	1; 2; 3	500	16	8000	1,3
VIII	1	–	–	–	1,0
IX	1	1500	28	4200	0,8
X	1	1000	45	45 000	0,7

По данным таблицы: средневзвешенный оборот обновления ОС $\overline{T}$ = 15 лет; амортизационный фонд в плановом году A^t = 599,5 млрд р.

руя левую и правую части уравнения по A и по t, получим $\ln|A| = \frac{t^2}{2} + \ln A$. После потенцирования находим общий вид амортизационного интегратора $A(t) = A\exp\left(\frac{t^2}{2}\right)$. Заменим в формуле «потенциометра» Коши экспоненту $\exp\left(\frac{t^2}{2}\right)$ на экспоненциальный ускоритель множитель Ломана–Рухти. Преобразуя формулу (4), получим амортизационный индекс-ускоритель

$$A(t) = A\exp J\left(\frac{2\overline{T}}{\overline{T}+1}\right),$$

где $\exp J(A_t) \geq 1,0$ – экспоненциальный ускоритель в обороте; $t \in \overline{T}$, или $\int_{t=1}^{\overline{T}} \frac{\partial A}{\partial t}$ – финансово-экономический интегратор, млрд руб./год;

$$\int_{t=1}^{\overline{T}} \frac{\partial A}{\partial t} = A\exp J(A_t) = A\ \exp J\left\{\frac{2\overline{T}}{T+1}\right\}, \qquad (5)$$

На рис. 2 приведен экспоненциальный финансово-экономический амортизационный накопитель в обороте при амортизационном фонде от 100 млрд руб., рассчитываемый по формуле (5).

Амортизационный накопитель – это новый гомеостатический уровень инвестиционной активности, основанный на применении экспоненциального индекса-ускорителя амортизационного капитала. Амортизационный интегратор, основанный на применении экспоненциального индекса-ускорителя, обеспечивает положительную обратную связь в кибернетической системе управления модернизации техники и способен вывести ее на совершенно новую орбиту экономического развития и не допустить ожидаемой рецессии промышленного предприятия [9].

Методический подход повышательной активности реновации компьютерных технологических комплексов

На рис. 3 показаны накопитель и ускоритель оборачиваемости амортизационного капитала на примере технологических комплексов на базе персональных компьютеров ПК при условиях (цифры условные): предприниматель приобрел на собственные средства всего 2 комплекса ПК (ПК № 1 в конце 2017 и ПК № 2 в конце 2018 г. за 90 млн р. каждый, срок полезного использования T = 3 года).

Решение. Компьютерные технологические комплексы № 3, 4, 5 предприниматель приобрел на амортизационные отчисления, начисленные линейным способом. Таким образом, через 2 года эксплуатации двух ПК в 2018 и 2019 гг. у предпринимателя появится 3-й технологический комплекс ПК в эксплуатации: № 1, 2, 3 в 2020 г.; № 2, 3, 4 в 2021 г. и № 3, 4, 5 в 2022 г. и т. д., откуда линейный индекс – интегратор амортизационного капитала ПК составит: $J(A_{t\in T}) = \left\{2\Big/\left(1+\frac{1}{T}\right)\right\} = 2\Big/\left(1+\frac{1}{3}\right) \approx 1,5.$

Он и интерпретируется как индекс роста производственной мощности предприятия в 1,5 раза с 2020 г. Траектория поступательного расширенного экономического развития заложена не только в чистой прибыли, но и в составе и структуре основного капитала, т. е. в амортизационной и научно-технической политике предприятия.

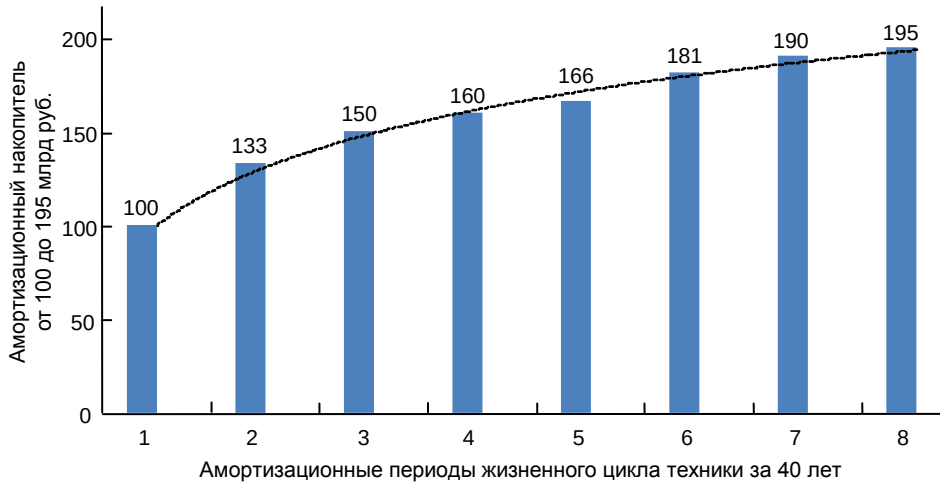


Рисунок 2. Экспоненциальный финансово-амортизационный накопитель.

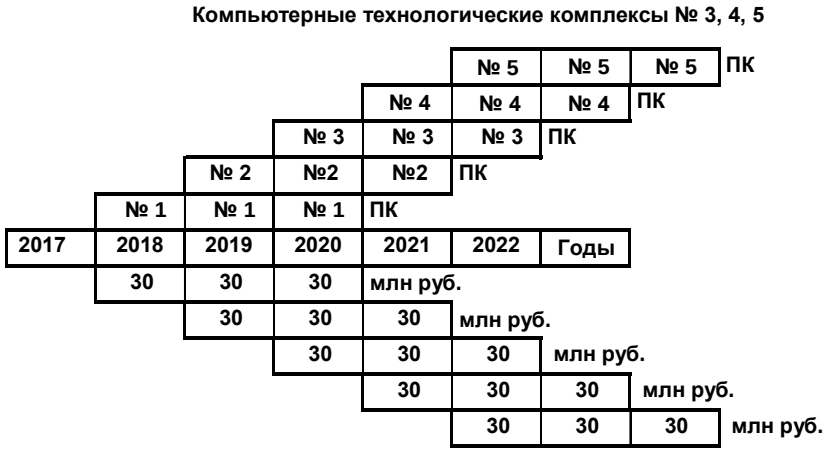


Рисунок 3. Амортизационные линейные накопители повышательной активности с 30 до 90 млн руб.

Нелинейные амортизационные накопители повышательной инвестиционной и инновационной активности

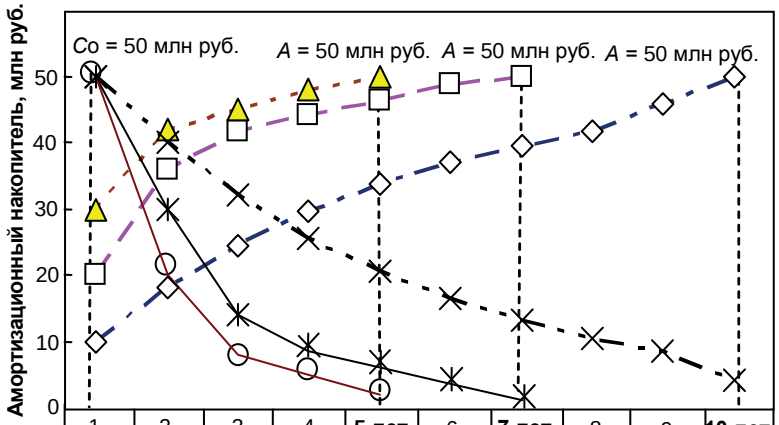
На рис. 4 показаны нелинейные амортизационные накопители по объекту VI группы ОС со сроком полезного использования T = 10 лет, первоначальной стоимостью C = 50 000 тыс. руб. при значениях коэффициентов ускорения $K_y = 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, где им соответствуют накопленная амортизация, ряды в таблице к рис. 4 (1; 2; 3 и их остаточные стоимости – ряды 4; 5 и 6).

Выбор амортизационной политики согласно рис. 4 включает три состояния.

Инвестиционная активность с применением нелинейных накопителей повышается при ускоренной амортизации по сравнению с линейными накопителями:

1) в 1,4 раза (при амортизационном периоде 10 лет при $K_y = 1$);

2) в 2,5 раза (амортизационный период снижается с 10 до 7 лет при $K_y = 2$);



	1	2	3	4	5 лет	6	7 лет	8	9	10 лет
Ряд1	10 000	18 000	24 400	29 520	33 616	36 893	39 514	41 611	45 806	50 000
Ряд2	20 000	36 000	41 600	44 000	46 400	48 800	50 000			
Ряд3	30 000	42 000	45 000	48 000	50 000					
Ряд4	50 000	40 000	32 000	25 600	20 480	16 384	13 107	10 486	8388,6	4194,3
Ряд5	50 000	30 000	14 000	8400	6000,1	3600,2	1200,4			
Ряд6	50 000	20 000	8000	5000	2000					

Рисунок 4. Нелинейные амортизационные накопители от 10 до 50 млн руб. повышательной инвестиционной и инновационной активности.

3) в 3,6 раза (амортизационный период сокращается в 2 раза при $K_y = 3$).

Таким образом, нелинейные амортизационные накопители представляют собой важнейшую теоретическую и практическую ценность как основу финансово-экономического механизма альтернативной амортизационной политики, создающего повышательную инвестиционную и инновационную активность предприятий тяжелой промышленности России за счет ускоренной амортизации:

– при инновационном техническом и технологическом перевооружениях;

– при массовом обновлении основного производственного капитала промышленных организаций, предприятий и комплексов.

Впервые амортизационные экспоненциальные, линейные и нелинейные накопители повышательной инвестиционной и инновационной активности применены при реновациях технологического оборудования медеплавильного цеха АО «Уралэлектромедь» УГМК [10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Курс экономической теории / под ред. М. Н. Чепурина, Е. А. Киселевой. Киров: АСА, 2003. 830 с.

2. Кондратьев Н. Д. Рынок хлебов и его регулирование во время войны и революции. М.: Наука, 1991. 87 с.
3. Бердюгина Л. А., Леготин Ф. Я. Развитие механизмов принятия управленческих решений при антикризисном управлении предприятием. Екатеринбург: Изд-во ЕАИУиП, 2008. 224 с.
4. О мерах по совершенствованию порядка и методов определения амортизационных отчислений: Постановление Правительства РФ от 31 декабря 1997 г. № 1672. URL: http://www.consultant.ru/
5. Касьянова Г. Ю. Налог на прибыль: просто о сложном. 2-е изд. М.: АБАК, 2017. 592 с.
6. О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы: Постановление Правительства РФ № 1 от 01.01.2002 г. № 1 // Собрание законодательства Рос. Федерации. 2002. № 1 (ч. 2), ст. 52.
7. Ширенбек Х. Экономика предприятия / пер. с нем. под ред. И. П. Бойко, С. В. Валдайцева, К. Рихтера. СПб.: Питер, 2007. 760 с.
8. Лагоша Б. А. Оптимальное управление в экономике. М.: Финансы и статистика, 2003. 289 с.
9. Леготин Ф. Я. Арендная плата и амортизация на реновацию // Цветные металлы. 1990. № 10. С. 76–82.
10. АО «Уралэлектромедь» – головное предприятие цветной металлургии в составе ОАО «Уральская горно-металлургическая компания» УГМК: Ru. Wikipedia.Org/wiki/

REFERENCES

1. Chepurin M. N., Kiseleva E. A. 2003, *Kurs ekonomicheskoy teorii* [Course of economic theory], Kirov, 830 p.
2. Kondrat'ev N. D. 1991, *Rynok khlebov i ego regulirovanie vo vremya voyny i revolyutsii* [The market of bread and its regulation during the war and revolution], Moscow, 87 p.
3. Berdyugina L. A., Legotin F. Ya. 2008, *Razvitie mekhanizmov prinyatiya upravlencheskikh resheniy pri antikrizisnom upravlenii predpriyatiem* [Development of mechanisms for making managerial decisions in case of crisis management of an enterprise], Ekaterinburg, 224 p.
4. *O merakh po sovershenstvovaniyu poryadka i metodov opredeleniya amortizatsionnykh otchisleniy: Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 31 dekabrya 1997 g. № 1672* [On measures to improve the procedure and methods for determining depreciation charges: Resolution of the Government of the Russian Federation of December 31, 1997 No. 1672].
5. *O naloge na pribyl' organizatsiy: FZ № 110 ot 5.08. 2001 g., gl. XXV NK RF / v red. 2016–2017 gg.* [On the profit tax of organizations: Federal Law No. 110 of 5.08. 2001, Ch. XXV of the Tax Code of the Russian Federation / in red. 2016-2017].
6. *O klassifikatsii osnovnykh sredstv, vklyuchaemykh v amortizatsionnye gruppy: Postanovlenie Pravitel'stva RF № 1 ot 01.01.2002 g. № 1* [On the classification of fixed assets included in depreciation groups: Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1 of 01/01/2002 No. 1].
7. Shirenbek Kh. 2007, *Ekonomika predpriyatiya* [Enterprise economy], St. Petersburg, 760 p.
8. Lagosha B. A. 2003, *Optimal'noe upravlenie v ekonomike* [Optimal management in the economy], Moscow, 289 p.
9. Legotin F. Ya. 1990, *Arendnaya plata i amortizatsiya na renovatsiyu* [Rent and depreciation for renovation]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals], no. 10.
10. *AO «Uralelektromed'» – golovnoe predpriyatie tsvetnoy metallurgii v sostave OAO «Ural'skaya gorno-metallurgicheskaya kompaniya» UGMK* [JSC "Uralelectromed" – the parent enterprise of non-ferrous metallurgy, part of OJSC "Ural Mining and Metallurgical Company" UMMC].

Федор Яковлевич Леготин,
Legotin@usue.ru
Дмитрий Николаевич Григорьев,
ddimcha@mail.ru
Уральский государственный экономический университет
Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45

Fedor Yakovlevich Legotin,
Legotin@usue.ru
Dmitriy Nikolaevich Grigor'ev,
ddimcha@mail.ru
Ural State University of Economics
Ekaterinburg, Russia

История горного дела на Урале

ОНИ БЫЛИ ПЕРВЫМИ, ИЛИ ДОРОГИ, КОТОРЫЕ НАС ВЫБИРАЮТ

В. В. Филатов

Первые собственные кадры кафедра геофизики получила в 1929 г. Это были выпускники еще кафедры маркшейдерии Иван Иванович Дерябин и Мануил Федорович Богатырев, закончившие в этом году теоретическое обучение. В свидетельствах, полученных ими в начале следующего года, было написано, что они удостоены звания горного инженера по горно-геометрической и геофизической специальности.

Кто они, первые выпускники кафедры – первые уральские инженеры-геофизики?

Иван Иванович – коренной уралец, родился 28 мая 1900 г. на Надеждинском заводе в Пермской губернии. В его студенческом деле есть несколько документов, написанных в разное время, в которых он очень подробно, даже с некоторой рисовкой и самолюбованием рассказывает о себе, о своей семье и о годах учебы. Они так хороши и поучительны, что их грех пересказывать. Поэтому я их приведу почти полностью.

Самым интересным из всех документов является «Жизнеописание», в котором Иван написал, что его «семья состояла из 8 человек: я, отец, мать, брат и 4 сестры находились на иждивении отца, который был дежурным мастером в газоэлектрическом цехе. Там я прожил до 1905 г., когда волна революции докатилась до Надеждинского завода, где проходили забастовки рабочих, как сейчас помню взрывы бомб, приезд черкесов, затем аресты и жизнь стала дороже и труднее и осенью семья переехала в Богословский завод, где имелся свой небольшой дом, хозяйство и один сенокосный участок. Старшая сестра училась тогда в Верхотурской гимназии и из-за отсутствия средств кончила только 4 класса. Остальные находятся дома, которых надо учить в гимназии, но, увы и ах! не приходится в силу материальных условий».

Семья Дерябиных так и осталась жить в Богословском заводе. Отец, которого Иван жалеючи называл стариком, хотя ему в 1923 г., когда писалось «жизнеописание», было 54 года, работал электромонтером в железнодорожном депо, а старшая сестра служила руководительницей в местном Доме коммуны.

«В Богословском заводе, – продолжал Иван, – в 1914 г. я окончил 2-х классную школу и поступил в Горное училище, находящееся в 12 верстах от нашего завода в селе Турьинских рудников и где учение было бесплатное и учились дети рабочих Богословского завода. В период летних каникул, начиная с 1914 г., я всё время находился на практике и был в следующих цехах: электроремонтном, электрическом, механическом и чертёжной механического цеха … и на угольных копях, чтобы помочь семье, а старший брат (на 3 года старше меня) по окончании 2-х классного училища пошел работать и сейчас работает слесарем в заводе, потом женился, отделился от семьи и в настоящее время в семье 7 человек. Я являюсь главным работником.

В Горном училище в 17 г. с самого начала революции основался политический кружёк, в котором я принимал участие, в котором мы изучали революционное движение в России, Французскую революцию. Горняки всегда были настроены революционно.

В 1918 г. по окончании Горного училища летом для отбывания двухгодичной практики я поступил в город Надеждинск в Техническое Бюро Богословского Горного округа, где и пробыл до 22 августа 1919 г. В солдатах я не был совсем, был освобождён по болезни по чистой из-за порока сердца. Во время эвакуации белых я приехал домой в Богословский завод, где поступил чертёжником-съёмщиком во вновь организованный Земельный комитет, где пробыл до 24 ноября 1919 г. Осенью же 1918 г. Горное училище было преобразовано в среднетехническое Горнозаводское училище и я, желая продолжить… образование, поступил в него осенью на 1 семестр горного отделения,… так как старшие курсы в Горнозаводском училище за неимением преподавателей не были открыты и, чтобы ученики не были выброшены за борт, для нас 7 человек были устроены курсы для подготовки в Уральский Горный Институт, куда мы все и выдержали».

В июне 1920 г. Иван закончил училище, а в конце июля, получив удостоверение, написал заявление о зачислении его на геологоразведочный факультета УГИ, приписав в конце, будучи человеком обстоятельным и обязательным, что «фотографические карточки сейчас прислать не могу, за неимением фотографа в Богословском Горном округе, пришлю позже».

Из хранящихся в личном деле Дерябина документов заслуживает внимания удостоверение об окончании «Турьинского Профессионально-Технического Горнозаводского училища». В нем перечислены предметы (без оценок), включенные в программу обучения: на первом месте стоит русский язык, потом – алгебра, геометрия, тригонометрия, физика и химия (все предметы в объеме 6–7 классов реального училища), геология, минералогия, теоретическая механика, техническое черчение и рисование.

Программа обучения впечатляет продуманной сбалансированностью предметов, а деятельность заведующего училищем П. Г. Огурцова вызывает уважение тем, что он в условиях Гражданской войны и нехватки преподавателей сумел так организовать учебу, что учащиеся получали полноценное образование. Учащиеся же восхищают своей целеустремленностью и настойчивостью, с какой они вопреки трудностям учились. Трудности их укрепляли, вырабатывали в них важнейшее жизненное качество – умение держать удар и не ломаться. Это качество ох как пригодилось им во время учебы в институте.

Осенью 1920 г. в Екатеринбурге был открыт Уральский государственный университет, в состав которого вошел Горный институт. Так что Иван, поступивший в Горный институт, через несколько месяцев стал студентом университета. Пережив первую студенческую зиму, Иван в конце мая 1921 г. попросил двухнедельный отпуск: «Дело в том, – писал он, – что я с Рождества не ездил домой … За время учёбы я достаточно пообносился. Остался сейчас в худых сапогах и не имею белья, в апреле с/г я отдал последние штиблеты в починку в студенческую мастерскую, но там не оказалось кожи и так они и остались не починенными. На время мой дядя дал мне сапоги, в которых я сейчас хожу и которые требуют починки … Домашние обстоятельства заставляют меня ехать домой, так как сейчас идут горячие работы (рубка дров, а главное копка огородов), а помощников дома нет, а отцу 52 года… кроме того медицинской комиссией я освобождён от рубки дров совсем. Ввиду таких неблагоприятно сложившихся для меня обстоятельств единственным рациональным средством, я считаю, поездку домой и прошу дать мне отпуск до начала летней практики».

На листе с заявлением директор Горного института А. А. Гапеев (1881–1958) размашисто, через всю страницу начертал тупым карандашом: «Дать отпуск до 6 июня». Рядом, наискось, бисерными буковками синими чернилами была написана резолюция проректора Уральского университета Н. П. Горина (1892–1938): «Отпуск до 6 июня». А ниже кто-то детским почерком

добавил: «Отпуск дать можно. От рубки по медкомиссии освобождён».

Иван поехал домой сажать картошку и заготавливать семье дрова на зиму, несмотря на запрещение врачей, ведь своя ноша не тянет. Летом он прошел практику по геодезии в Уктусе, а «затем, – по его словам, – оставшееся время лета был на практике на железнодорожных изысканиях дороги Верхотурье–Туринск–Тюмень и 14 октября приехал к началу занятий в Горном институте, но их не было до 1 ноября. До начала занятий… работал по оборудованию своего факультета и перевозке кабинетов, коллекций и библиотеки из дома б(ывшего. – *В. Ф.*). Главного Начальника (Уральского горного управления. – *В. Ф.*) в здание 2 женской гимназии. С 1 ноября начались занятия по механике и интегралам, каковые лекции … слушал до 24 ноября, когда по семейным обстоятельствам был вынужден уехать домой».

В этот раз Иван просил откомандировать его на Богословские угольные копи почти на год, до 1 сентября 1922 г. Почему? Потому что не на что было жить. «Я приехал в Екатеринбург, – писал он в Правление университета, – к началу занятий… И вот прошло уже больше месяца, занятий нормальных нет, а жить дальше на 1 ф. хлеба без столовой и без копейки денег… я не могу, так как это влечёт ужасное существование вплоть до полного истощения как физических, так и умственных сил. Кроме того, … копи находятся в 4 верстах от дома, где семейные обстоятельства для меня слагаются не благополучно… у меня дома остались сейчас старики родители и 2 младшие сестры, которые нуждаются в моей помощи. В силу таких… обстоятельств, приходится прервать учёбу пока на год». А там видно будет.

Разрешение прервать учебу он опять получил. Но упование на работу на копях не осуществилось. Вместо копей пришлось устроиться преподавателем математики в Турьинском техникуме, «так как другой работы не мог найти благодаря тяжёлому положению и определённому количеству пайков в Округе, где я пробыл по май месяц. С 1 июня я был на съёмочных работах постройки Богословско-Сосьвинской железной дороги в качестве техника. 30 сентября я приехал в Екатеринбург и продолжил своё образование», – минорно подытожил Иван результаты очередного учебного года.

Но его злоключения на этом не закончились. В конце 1923 г. проверочный комитет горного факультета решил отчислить Ивана за неуспеваемость. Не вышло. Иван защищался смело, напористо и мотивированно и отстоял свое право быть студентом. Его заявление в Президиум горного факультета с саркастической концовкой привожу почти без купюр, специально для студентов-геофизиков XXI века:

«21–22 учебный год я совершенно отсутствовал и прилагаю документ от Уралуниверситета. За 2 года … мной сдано 54 очка (в начале 20-х годов успеваемость студентов оценивалась очками, а не баллами и для перевода с курса на курс необходимо было набрать определенное число очков. – *В. Ф.*) и ещё на руках зачетная карточка по техническому черчению … и кроме того, у меня почти готов отчёт об летней практике… Сдать же отчёт к 1 окт. я не имел возможности, так как я только 7 в субботу вечером приехал с практики. Задержался так долго… из-за расчета, из-за отсутствия денег в Округе и, при том я был на самой дальней дистанции в Исовском горном округе, на Верх-Косьинском прииске и то, поспешив уехать, не дополучил 2000 р. денег и документ о службе.

Minimum в 20–21 уч. году я выполнил (это видно из зачётной ведомости) и только учебная часть у меня была плохо выполнена в прошлом году, но тому было много причин, именно: я не был стипендиатом, хотя в рамку студентов, получающих стипендию, я вполне подходил, но не хватило стипендий, как мне сказал Б. В. Дидковский (в 1920–1922 гг. Дидковский (1883–1938) был председателем Уральского горного комитета. – *В. Ф.*). Поэтому, естественно, вынужден был изыскивать средства для существования… Затем, с 1 января по 1 марта я был командирован Губстатбюро для обследования промышленных заведений в Верхотурском уезде… Перед Пасхой я вынужден был жить только уроками (давал уроки по математике и учил играть на гитаре). Кроме того, в начале года я был без квартиры, сегодня ночуя у одного, а завтра у другого товарища, так что не могло быть и речи о занятиях. Позже я нашел угол на Гоголевской ул. подвальное помещение, холодное, сырое, низкое, где и прожил до 1 апреля 1923 г. Заниматься в таком месте я имел возможность только ночью и ввиду холода в шубе и пимах. Далее, на подготовку общей и динамической геологии я потратил 3 месяца, причём общую сдал, вторую сначала нет, а потом Гапеев уехал в Петроград и приехал в июне, когда я поехал на летнюю практику, так что, я потратил только даром время на подготовку второй.

Принимая во внимание вышесказанное, когда день проходил в поисках уроков и их подготовке и, находясь в плохих материальных и жилищных условиях…, нет ничего удивительного, что я сдал только 12 очков, когда мои товарищи-стипендиаты, сдали ещё меньше меня, но, однако не красуются в списках исключённых, а оставлены на первом курсе».

Проверком принял апелляцию Ивана, и он не был отчислен. Молодец!

Пройдя за 10 лет учебы все мыслимые огни и воды, Иван Дерябин мощно и уверенно подошел к медным трубам успеха. В отзыве кафедры о кандидатуре горного инженера Дерябина на право занять им место аспиранта Соболевский написал: «В отношении Ивана Ивановича Дерябина заслуживает внимание справка о том, как созрело в нём решение работать именно по горно-геометрической и геофизической специальности. Выбор этой специальности им сделан, когда он находился уже на старших курсах… В 1927 году Иван Иванович впервые знакомится с сущностью горной геометрии. Будучи геологом-разведчиком летом 1928 г. он был командирован на геологоразведочные работы и тут впервые понял, что нельзя составить точной пластовой карты вне методов горной геометрии.

Таким образом, в 28–29 учебном году Иван Иванович принялся за изучение группы горно-геометрических и геофизических дисциплин и летом 1929 г. работает в качестве старшего производителя работ в Алапаевской геофизической экспедиции. Лекционные записки, составленные… Дерябиным по Современному Маркшейдерскому Искусству и Горной Геометрии, известны всем студентам. В их составлении им было обнаружено умение выбирать наиболее существенное, из прочитанного и сжато излагать свои мысли. Работая в качестве старшего производителя работ на Верхней Синячихе… Дерябин обнаружил… ряд положительных качеств как будущий научный работник, главнейшее из которых это научный подход к наблюдаемым явлениям, систематичность и настойчивость в работе.

Кафедра возлагает на… Дерябина серьёзные надежды. Необходимо отметить, что Иван Иванович уже в настоящий момент должен приступить к исполнению лабораторно-исследовательских работ по геоэлектричеству».

«Одиссея» второго первого выпускника кафедры Мануила Федоровича Богатырева трагичнее дерябинской. Он приехал в Свердловск из Феодосии в первых числах ноября 1925 г. Приехал не один, с семьей: молодой 27-летней женой Таисией Ивановной и двумя малолетними детьми; дочери Ольге было около четырех лет, сыну Игорю – около двух. На следующий год к нему из Крыма перебралась и 60-летняя мать Евгения Владимировна. Переезд был поступком смелым, но не отчаянным. У Богатыревых на Урале никого и ничего не было, и никто их здесь не ждал. Да и уезжали они из Крыма поспешно. Мануил Федорович не получил ни подъемных, ни командировочных, даже вынужден был «ликвидировать остатки домашней рухляди», чтобы иметь деньги на дорогу. Но Мануил Федорович был не авантюрист, чтобы

обрекать родных на трудности, которых в его 37-летней жизни было и так уже немало.

На Урал он приехал не как частное лицо, а по командировке Крымского Обкома РКП (б) в распоряжение Уральского Обкома РКП (б) «для окончания… специального образования». В разговорах с заведующим агитпропотделом Уралобкома Оршанским, заведующим УралОНО Я. А. Истоминым и ректором Уральского политехнического института С. А. Бессоновым (1892–1941) Мануил Федорович говорил, что он чувствует, что «ещё не утерял сил и способностей для окончания института» и просил «предоставить возможность окончить обучение при Уральском политехническом институте на горном факультете по рудничному отделению».

Если он приехал в Свердловск «для окончания института», то значит, раньше он учился в каком-то высшем учебном заведении? Да, учился. Предположительно в 1912 г. он после окончания реального училища поступил в Петербургский горный институт. Учился и одновременно работал. Работать он начал рано, еще до поступления в институт. Работал техником, кооператором, педагогом. С 1911 г. началась его общественно-профессиональная деятельность в различных партийных и профсоюзных организациях. В 1915 г. его как военнообязанного направили служить техником в Управление строительства Холмской военной ветки Привисленской железной дороги.

За политическую деятельность в сентябре 1916 г. он по распоряжению министра торговли и промышленности был отчислен из института, мобилизован и направлен в команду молодых солдат запасного электробатальона. В батальоне он был так же политически активен, как и в институте. Поэтому когда произошла Февральская революция, его избрали председателем батальонного солдатского комитета. Потом около полугода Мануил Федорович служил в должности руководителя инженерных работ при штабе 5-й армии на Уральском фронте. Тогда-то и узнал, что на Урале есть Горный институт.

Службу в армии он называл досадной «задержкой». И как только представилась возможность, демобилизовался и в конце 1918 г. вернулся в Петроград. Первого января 1919 г. студенты избрали его заместителем председателя Совета старост Горного института. Он продолжил учебу и «сдал несколько предметов: электротехнику с проектом и паровые котлы… Но голодные условия жизни 19 г. не позволили мне,– вспоминал он позже,– вести работу дальше и я уехал домой, где получил сыпной тиф с осложнением в виде туберкулёза. Впредь до его излечения находился на партийной работе в Крыму». Там в Крыму он в 1921 г. стал членом РКП (б).

Феодосия, в которой Мануил Федорович прожил пять лет и стал семьянином, по климатическим условиям место идеальное, санаторно-курортное для лечения туберкулеза. Но город стала для него не только местом лечения, но и, вероятно, местом подпольной работы, поскольку, когда он приехал в Феодосию, Крым был еще врангелевским. Советская власть в городе была установлена спустя месяц после того, как он 16 октября устроился на работу в обозно-технические мастерские.

После установления Советской власти в Крыму началась кровавая вакханалия победителей над побежденными, идеологами и руководителями которой стали Розалия Землячка (1876–1947) и Бела Кун (1886–1938). Богатырев в ней не участвовал. Его «бросили» на профсоюзно-кооперативный фронт для мобилизации трудящихся по восстановлению народного хозяйства полуострова. Работал он много, место работы менял часто, но не потому, что не справлялся с поручениями. Напротив, каждая новая должность была на ступень выше и важнее предыдущей: секретарь фабзавкома объединенных механических заводов, секретарь уездного бюро профсоюзов, зав. кооперативным отделом Президиума Феодосийского Окрпрофбюро, заместитель председателя коллегии феодосийского отделения Крымсоюза, член Феодосийского Окрисполкома, заместитель председателя Окрпрофбюро, заместитель заведующего ОкрОНО, зав. политпросветом, преподаватель истории и теории кооперации в торговой школе и так далее и так далее.

В 30-тысячной Феодосии он был известен почти каждому жителю, и там он, без сомнения, мог бы сделать успешную карьеру на профсоюзно-кооперативном поприще. Но его влекла иная цель. Более значимая и высокая. Он хотел завершить образование и стать горным инженером. Все эти годы он как зеницу ока хранил свою зачетную книжку. С ней он и приехал в Свердловск, как только вылечил туберкулез. Приехал, не дожидаясь весны, чтобы не потерять учебный год. Его желание учиться было таким сильным, что он был согласен на любые условия, лишь бы стать студентом. «Если не представится возможность принять меня в настоящее время сразу,– писал он в Правление УПИ,– прошу … предоставить мне возможность сдавать зачёты в качестве экстерного студента», «чтобы в дальнейшем по ходу сдачи зачётов, перевести меня в действительные студенты». А поскольку его материальное положение было тяжелым, то он просил Правление «в случае приёма экстерн-студентом, освободить … от причитающегося при этом взноса в размере 50 руб.».

Прошение Богатырева было принято, и уже через два дня, 6 ноября, накануне самого главного в СССР праздника, Правление УПИ постановило «представить на разрешение Главпрофобра (Главное управление профессионально-политехнических школ и вузов Наркомпроса. – *В. Ф.*) вопрос о приёме в число студентов горного факультета… бывшего студента Ленинградского горного института тов. Богатырёва с условием… повторного испытания по некоторым предметам». Президиум горного факультета сообщил, что «препятствий к разрешению тов. Богатырёву занятий на факультете не встречается», что он может быть принят на 3-й курс с повторным испытанием… не дожидаясь решения Главпрофобра». С первого января 1926 г. Мануил Федорович стал полноправным студентом УПИ.

Очень быстро для него, опытного общественника, профсоюзного и кооперативного функционера, нашлась и работа. В конце ноября он уже сидел за столом секретаря-экономиста в плановом бюро Уралоблсоюза, а с нового года стал еще преподавать курс организации торговли и рынков в кооперативно-торговом училище. Убедившись в ценности нового сотрудника, руководство Облсоюза через пять месяцев назначило его на должность ответственного секретаря комиссии по рационализации аппарата Облсоюза, а позже заведующим Бюро рационализации. Высоко он был оценен и руководством Свердловского окружкома ВКП (б), которое командировало его в Уральский промышленно-экономический техникум преподавать общественно-политические предметы. Жизнь обрела устойчивость и материальное благополучие. От этого ближе становилась заветная цель, к которой он теперь не шел, а летел, как на крыльях и готов был для ее достижения свернуть любые горы.

Надо ли говорить о том, с каким жадным желанием он учился. И вот цель достигнута: 19 февраля 1930 г. ему вручили свидетельство об окончании УПИ, месяцем раньше зачислили на должность младшего ассистента; в апреле он стал аспирантом, а спустя год ему поручили заведование геофизической лабораторией. О таком успехе он и не мечтал, уезжая шесть лет назад из Крыма. Теперь можно ставить перед собой другую цель – научную.

И вдруг! Поговорки о таких ситуациях говорят: ты за пирог, а черт за порог, ты на гору, а черт за ногу. За день до нового 1932 года Богатырева, как обухом по голове «ударил» приказ: «Исключается из аспирантов Ин-та, т. к. состоя аспирантом… не оправдал себя перед общественностью и дирекцией… как будущий руководитель советской высшей школы, проявивший

себя не способным бороться за перестройку высшей школы и её идеологическую чистоту, оказавшись политически близоруким в борьбе за внедрение марксистско-ленинской методологии и методики преподавания».

Досадно, но пока еще не катастрофа. Нет, не катастрофа. Вот и в институте позволили остаться, правда, пока только ассистентом-совместителем. Пока… Если бы только знать, что ждет там впереди, а узнав, предотвратить беду. Но уже был кем-то безжалостно «расписан распорядок действий и неотвратим конец пути». Впереди были арест, суд, ссылка, трагедия семьи. Обо всем этом в институте узнали спустя шестнадцать лет, уже и забыв о том, что когда-то на кафедре геофизики работал некто Мануил Федорович Богатырев.

В начале мая 1959 г. директор Свердловского горного института Е. Ф. Ратников (1912–1998) получил из г. Борисоглебска письмо:

«Адвокатом Борисоглебской юридической консультации тов. Шаровой в феврале 1959 г. Вам было направлено письмо с просьбой, выслать справку о зарплате инженера-геофизика Богатырёва Мануила Фёдоровича… В 1937 году он был осуждён и в ссылке умер. В настоящее время Верховным Судом реабилитирован. На запрос адвоката… было получено сообщение, что справку о зарплате… Вы не можете выслать за отсутствием в архиве ведомостей. В марте мой брат Овчинкин С. И. лично с Вами об этом говорил и оставил заявление. Вы обещали выяснить это дело и ответить после 10 апреля по возвращении из отпуска заведующего архивом. До сих пор я никакого ответа от Вас не имею. Убедительно прошу прислать мне необходимую для суда справку с указанием зарплаты мужа моего Богатырёва Мануила Фёдоровича.

Богатырёва Таисия Ивановна

25 апреля 1959 г.»

Заведующая архивом Е. Раевская ответила Таисии Ивановне, что справку она выслать не может, поскольку последний приказ, в котором упоминается ее муж, датирован 22 января 1933 г. и что данных о нем за 1934–1937 годы нет.

Вот и все о тех первых выпускниках кафедры геофизики.

Владимир Викторович Филатов,
filatov47@bk.ru
Владимирский государственный университет
Россия, Владимир, ул. Горького, 87

УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ПРОФЕССОРА ВЛАДИМИРА ЗИНОВЬЕВИЧА КОЗИНА

Ю. А. Поленов

С возобновлением по инициативе Свердловского горного института проведения горнопромышленных съездов Урала в 1991 г. было решено возобновить и издание «Уральского горного обозрения» в виде журнала. Рубрики журнала: минеральные ресурсы Урала; горное производство; обогащение; экономика и право; экология и переработка техногенного сырья; история горного Урала; официальные материалы; визитные карточки горных предприятий; геологические маршруты и др. В 1993–2006 гг. вышло в свет 33 номера. «Уральское горное обозрение» охватило обобщающим взглядом горную промышленность Урала конца XX в., превратившись, по сути, в Уральскую горную энциклопедию.

Ключевые слова: Уральское горное обозрение; горнопромышленные съезды; Свердловский горный институт; Горный журнал; геологические маршруты.

Свердловский горный институт (Уральский государственный горный университет) с января 1958 г. и по настоящее время издает **«Известия вузов. Горный журнал»** – основной теоретический журнал высшей школы по проблемам горной науки.

С 1993 по 2006 г. журнал издавал специальные выпуски под историческим названием **«Уральское горное обозрение».** Их редакцию возглавлял проф. В. З. Козин. Вышло в свет 33 номера, посвященных геологии, экономике, технологии горных работ и переработке разных видов минерального сырья в Уральском экономическом регионе.

Журнал «Уральское горное обозрение» издавался в Екатеринбурге в 1901–1905 гг. В нем печатались законы и распоряжения правительства, статьи о торгово-промышленной жизни Урала, отчеты и обзоры о деятельности горнопромышленных съездов, оригинальные и переводные статьи по горнозаводской, золотоплатиновой и горно-лесной промышленности; был отдел торгово-экономический, хроник и местных известий, технической литературы, изобретений, объявлений, рекламы.

В связи с возобновлением по инициативе Свердловского горного института проведений горнопромышленных съездов Урала в 1991 г. было решено возобновить издание «Уральского горного обозрения» в виде журнала. Рубрики журнала: минеральные ресурсы Урала; горное производство; обогащение; экономика и право; экология и переработка техногенного сырья; история горного Урала; официальные материалы; визитные карточки горных предприятий; геологические маршруты и др.

В 1993–2006 г. вышло в свет 33 номера (рис. 1)**. «Уральское горное обозрение» охватило обобщающим взглядом горную промышленность Урала конца XX в. Идеологом содержания всех номеров журнала был его главный редактор проф. В. З. Козин.**

Редколлегия «Уральского горного обозрения»: В. З. Козин (главный редактор), А. М. Вандышев, Э. Ф. Емлин, Ю. А. Поленов, Б. Д. Половов, В. Е. Строевский, В. В. Филатов, А. В. Хохряков, А. А. Ястребков. В 1995 г. А. А. Ястребков выведен из состава редколлегии, в него введены И. В. Дементьев и Е. С. Горев.

СОДЕРЖАНИЕ ВЫПУСКОВ «УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО ОБОЗРЕНИЯ»

(номер и год выпуска издания «Известия вузов. Горный журнал»)

№ 5/1993 – Уголь. Техногенез

№ 6/1993 – Железо. Рациональное землепользование

№ 10/1993 – Алюминий. Подземные работы в условиях горных ударов

№ 11/1993 – Драгоценные и поделочные камни

№ 5/1994 – Медь. Горные работы на медных рудниках

№ 6/1994 – Золото; разработка коренных руд и россыпей

№ 9-10/1994 – Нефть и газ. Уральская сверхглубокая скважина. Подземное пространство

№ 11-12/1994 – Облицовочные камни. Метрополитен

№ 5/1995 – Вода, загрязнение и очистка вод

№ 6/1995 – Калийная соль. Поваренная соль

№ 8/1995 – Кварц. Минералы кварца. Яшма

№ 10-12/1995 – Редкие и редкоземельные металлы. Геотехнология. Гидрометаллургия

№ 3-4/1996 – Вольфрам. Редкие и рассеянные элементы. Хвостохранилища фабрик

№5-6/1996 – Торф. Сапропель

№ 8-9/1996 – Никель. Техногенез

№ 10-11/1996 – Глины. Пески. Дробление и дробилки

№ 3-4/1997 – Хром. Марганец, Цемент

№ 5-6/1997 – Месторождения Башкортостана

Рисунок 1. Выпуски «Уральского горного обозрения».

Спецвыпуск/1997 – Горное образование. Наука. Музеи
№ 11-12/1997 – Техногенные месторождения и технологии
№ 3-4/1998 – Цемент Урала. Освоение подземного пространства
№ 7-8/1998 – Нефть. Геологическое картографирование
№ 5-6/1999 – Месторождения Оренбургской области
№ 7-8/1999 – Буровзрывные работы
№ 9-10/1999 – Буровзрывное дело. Асбест
№ 3/2000 – Минерально-сырьевая база Урала. Месторождения Челябинской области
№ 3/2001 – Титан. Ванадий. Уральская сверхглубокая скважина СГ-4
№ 4-5/2001 – Проблемы обогащения
№ 3/2002 – Марганец. Месторождения Республики Коми
№ 4/2003 – Цирконий. Неметаллы. Месторождения Курганской области
№ 3/2004 – Учалинский ГОК. Уральский горнопромышленный комплекс. Месторождения УрФО
№ 5/2005 – Технология обогащения и опробования
№ 3/2006 – Железные руды. Высокогорский ГОК

Юрий Алексеевич Поленов,
fgg.gl@ursmu.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

История УГГУ

УРАЛЬСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА. К 80-ЛЕТИЮ

Д. А. Клейменов, Ю. А. Поленов, В. В. Григорьев, В. И. Кайнов, Л. И. Позднякова

Мировая известность Уральского геологического музея Уральского государственного горного университета обусловлена, прежде всего, его сугубо региональным характером. Если остальные музеи такого рода демонстрируют геологию всей планеты, целого континента или страны, то наш музей рассказывает именно о подземных богатствах Урала.

Музей разносторонне показывает уральский камень и руды региона не только в том виде, в каком они встречаются в природе, но и во всевозможных продуктах и изделиях из них.

Первоначально организованный в 1937 г. как выставка достижений советской геологии в освоении недр Урала для делегатов XVII Международного геологического конгресса, музей постепенно превратился в настоящий храм камня, имеющий научное, культурно-просветительское и учебное значение.

В музей с одинаковым интересом приходят и опытные специалисты-геологи, ищущие ответы на те или иные научные или производственные вопросы, и студенты, пополняющие свои знания по геологическим дисциплинам, и школьники, познающие родной край и его богатства, а также российские и зарубежные гости, знакомящиеся с разнообразием минеральных богатств Урала.

За каждым из многих тысяч экспонатов стоит тяжелый, кропотливый и самоотверженный труд многих людей. Среди них первопроходцы, известные геологи и безвестные рудознатцы, сумевшие в глухой тайге найти надежно спрятанные месторождения, рабочие, геологи и инженеры предприятий по добыче минерального сырья, увидевшие в забое интересный образец и сохранившие его от переработки, энтузиасты, которые в годы, предшествовавшие созданию музея, смогли сохранить бесценные экспонаты и сделать их всеобщим достоянием, патриоты родного края, которые бескорыстно и безвозмездно отдавали свои лучшие личные коллекции и отдельные уникальные экспонаты для того, чтобы музей стал еще богаче, интересней и привлекательней, поколения музейных работников, которые сохранили уникальное собрание.

Коллекция музея в настоящий момент насчитывает около 50 тыс. музейных предметов, четвертая часть из которых демонстрируется в экспозиционных залах на четырех этажах, а остальные хранятся в фондах.

Кроме постоянных экспозиций, в музее всеобщее внимание привлекают тематические выставки, которые более детально и обстоятельно знакомят посетителей с наиболее интересными представителями минерального царства, результатами полевых выездов и экспедиций, новыми поступлениями в собрание музея.

Собрание музея разделено на три отдела: минералогии и кристаллографии (второй этаж), полезных ископаемых (третий этаж), общей геологии и палеонтологии (четвертый этаж).

Отдел минералогии и кристаллографии

Минералогический отдел музея включает систематическую коллекцию минералов, коллекцию кристаллов и минеральных агрегатов, коллекцию метеоритов, коллекцию драгоценных металлов и драгоценных камней, хранящуюся в «Золотой кладовой» и собрание камнерезных изделий.

Царство минералов в настоящее время насчитывает около 5000 минеральных видов. Каждый год этот список увеличивается еще на 100–150 наименований. В пределах Урала установлено примерно 1,5 тыс. минеральных видов, большинство из которых представлено в систематической коллекции минералов отдела, которая располагается в двух обширных залах музея.

В основе музейного собрания лежит минералогическая коллекция Свердловского горного института (ныне – УГГУ), собранная профессором К. К. Матвеевым и представленная для организации выставки для делегатов XVII Международного геологического конгресса в 1937 г. После передачи выставки на баланс института коллекция стала пополняться дарами частных лиц и предприятий. Так, обширную подборку южноуральских минера-

Отдел минералогии, 30-е годы XX века

Отдел минералогии, 2017 г.

Выставка метеоритов, 2017 г.

Отдел полезных ископаемых, 2017 г.

лов передали сотрудники Ильменского государственного заповедника. Большой вклад в пополнение собрания внесли О. К. Иванов, В. Н. Авдонин, Б. В. Чесноков, Ю. С. Кобяшев, А. В. Немцов, Э. Ф. Емлин и многие другие ученые, геологи, любители камня.

Начинается экспозиция тематической выставкой «Минералы, впервые открытые на Урале», где представлены свыше 100 минеральных видов, впервые описанных на уральских образцах. Следует отметить, что два новых минерала – гидроксилклиногумит и бушмакинит – были открыты на образцах из собрания Уральского геологического музея УГГУ.

Среди уникальных собраний систематической коллекции хотелось бы особо отметить коллекцию кварца, систематизированную профессором Г. Н. Вертушковым, коллекцию эпидота (пушкинита) из месторождения Кацна Яма, поступившую от Н. А. Мамина, сборы полевого отряда Ю. С. Кобяшева, коллекцию пирита и галенита Березовского месторождения, подаренную в 2014 г. выпускником вуза М. В. Демидовым.

Коллекция метеоритов Уральского геологического музея УГГУ является крупнейшей на Урале и одной из крупнейших в России. Основателем этой коллекции является И. А. Юдин, работавший с 1946 по 1955 г. заведующим отделом полезных ископаемых, а затем два года возглавлявший музей. Коллекция включает представительную подборку уральских метеоритов – от Оханского метеорита, выпавшего в виде «каменного дождя» 30 августа 1887 г., до самого последнего по времени находки метеорита Яраткулова, найденного 3 мая 2016 г. и подаренного музею одним из авторов находки С. В. Колисниченко.

Из новых пополнений метеоритной коллекции следует отметить обширную подборку фрагментов каменного метеорита Челябинск, собранную во время полевых выездов отряда музея в 2013–2016 гг., сувенирные медали с фрагментами марсианских и лунных метеоритов, спилы каменных метеоритов из пустынь Омана и Ирана, подаренные поисковиком-любителем Е. С. Захарчуком.

Метеоритное собрание особо интересно практически всем посетителям музея, поскольку дает представление о внеземном веществе и позволяет постигнуть некоторые тайны мироздания в окружающей нас Вселенной.

Собрание минеральных агрегатов отдела в 2017 г. пополнилось уникальной подборкой «окаменевших молний» – фульгуритов, найденных в песчаных барханах Бурятии. Для демонстрации этих удивительных природных образований сотрудники музея пошли на нарушение своих принципов – пополнять собрание только уральским материалом. Для коллекции фульгуритов было сделано исключение.

Фульгуриты представляют собой неправильной формы трубки, выполненные пузырчатым стеклом из кремнезема, пронизывающие песок или твердую горную породу и образовавшиеся в результате удара молнии и расплавления породы.

На нашей планете ежесекундно происходит около 100 разрядов молний. Молния может разогреть канал, по которому она движется, до 30 000 °С, что в пять раз выше температуры поверхности Солнца. Эти значения гораздо выше температуры плавления песка: 1600–2000 °С. При попадании в песок молнии происходит мгновенное сплавление зерен кварца, полевого шпата и других минералов в стекло. Пористая текстура стекла

Отдел общей геологи и палеонтологии, 2017 г.

Фульгуриты – окаменевшие молнии.
Экспонат тематической выставки, 2017 г.

Тематическая выставка флюоресцирующих минералов, 2017 г.

Экскурсия в музее, 2017 г.

обусловлена наличием воздуха и влаги, которые за доли секунды оказываются раскаленными до огромных температур и испытывают расширение. Последующее быстрое охлаждение фиксирует фульгурит (стеклянную трубочку) в песке. Часто аккуратно выкопанный из песка фульгурит по форме напоминает корень дерева или ветвь с многочисленными отростками. Такие ветвистые фульгуриты образуются при попадании разряда молнии во влажный песок.

На выставке в Уральском геологическом музее Горного университета представлено свыше 20 фрагментов фульгуритов, размером от первых сантиметров до 40 см в длину и 7 см в поперечнике. Общая протяженность «громовой трубки», состоящей из фрагментов, может превышать 1 м. Большие по диаметру тупые концы – места входа разрядов молнии. В одном из таких фрагментов отмечается толстый провод, сыгравший роль громоотвода и ставший причиной попадания молнии и образования фульгурита.

Отдел полезных ископаемых

Более чем за 300-летнюю историю горной промышленности нашего края в его недрах было обнаружено около 13 тыс. месторождений и проявлений разнообразнейших рудных и нерудных полезных ископаемых. Большинство крупных месторождений было отработано в прошлом или отрабатывается в настоящее время.

В собрании отдела полезных ископаемых представлены руды, вмещающие породы и нерудные полезных ископаемые наиболее известных и знаменитых месторождений и рудопроявлений региона. Многие месторождения уже истощены и выработаны, и собрание музея является уникальной возможностью сохранить и донести до следующих поколений эту уникальную геологическую информацию. На коллекциях отдела полезных ископаемых обучались и постигали основы геологии целые поколения студентов, которые после окончания вуза занимались поиском и разведкой недр, трудились участковыми геологами на горнодобывающих предприятиях.

Если на момент открытия музея в 1937 г. в отделе было зафиксировано по инвентарным книгам 3700 образцов, то сегодня собрание отдела превышает 9700 музейных предметов.

Первым заведующим отделом полезных ископаемых, который обобщил и систематизировал обширный материал, был доцент, заведующий кафедрой Горного института Н. А. Ушаков.

В дальнейшем собрание отдела пополнялось дарами геологов, геологических партий и экспедиций Уральского геологического управления, Оренбургского геологического управления, производственного объединения «Уралкварцсамоветы» и других организаций. Многие уникальные экспонаты переданы известными уральскими учеными и геологами, среди которых хотелось бы отметить М. О. Клера, профессора М. И. Альбова, профессора А. Е. Малахова, С. А. Вахромеева. В 1940–1941 гг. в отдел поступила интересная коллекция руд, вмещающих пород и минералов Березовского рудника.

Значительный вклад в пополнение отдела внес сотрудник музея А. Е. Рыцк, благодаря которому были собраны и поступили на постоянное хранение представительные коллекции по Гайскому, Козыревскому, Малоседельниковскому, Куржункульскому, Лисаковскому, Сарбайскому, Качарскому, Исовскому месторождениям.

В последние годы собрание отдела музея пополнилось эталонными коллекциями по Ямало-Ненецкому автономному округу, Республике Башкортостан, Оренбургской области.

В 2014 г. при подготовке к 100-летию УГГУ был проведен ремонт отдела. В светлых просторных залах, освещенных хрустальными люстрами, по-новому стали смотреться раритетные витрины и коллекции, собранные поколениями уральских геологов.

Продолжается пополнение коллекций отдела. Так, выпускником УГГУ Михаилом Цыганко в 2016 г. собрана и передана в дар уникальная коллекция редких минералов и руд крупнейшего на Урале Воронцовского месторождения золота.

Отдел общей геологи и палеонтологии

Обширная коллекция отдела включает коллекции по общей и исторической геологии, палеонтологии и региональной геологии, петрографии. Особый зал отведен для монографических коллекций.

В собрании отдела хранится коллекция по Уральской сверхглубокой скважине, пройденной в окрестностях г. Верхняя Тура. Работы вела Уральская геологоразведочная экспедиция сверхглубокого бурения (УГРЭ СГБ) в 1985–2004 гг. Расчетная глубина скважины составляла 15 км. Фундаментальные геологические исследования, проводимые в связи с реализацией Программы сверхглубокого бурения в СССР, позволили начать строительство новой скважины на территории Среднего Урала. К середине 1980-х гг. на месте бурения был возведен комплекс производственных и административных зданий, в Верхней Туре для обслуживающего персонала был сдан жилой поселок Каменка-Геолог. Бурение Уральской сверхглубокой скважины началось 15 июня 1985 г. Первоначально работы велись буровой установкой «Уралмаш-4Э», обычно используемой для нефтеразведки. Уже к концу года был пройден первый километр. Бурение проводилось с непрерывным отбором керна и сопровождалось геофизическими исследованиями, включающими 28 различных методов каротажа. В 1990 г. после достижения глубины 4 км (максимально возможной для имеющегося технологического оборудования) был начат монтаж новой буровой установки, рассчитанной на глубину проходки в 15 км, аналогичной используемой на СГ-3. По завершении замены оборудования в следующем, 1991 г. работы были продолжены. На 1 июля 2000 г. глубина Уральской сверхглубокой скважины составляла 5470 м. Несмотря на постоянное получение ценных научных данных, было принято решение о сворачивании проекта. Работы были остановлены в декабре 2004 г., когда до получения важного этапного результата – достижения нижней границы кабанского рудоносного комплекса

и нижележащих пород – оставалось всего несколько метров. Официально проект был закрыт 1 января 2005 г. Сама скважина была законсервирована.

Коллекция керна Уральской сверхглубокой скважины, хранящаяся в собрании музея, является уникальным геологическим документом, позволяющим проникнуть на значительные глубины и понять фактическое геологическое строение и металлогению Урала. Для получения подробной геологической информации сегодня потребуются вложения в десятки миллиардов рублей.

Одним из интересных и уникальных экспонатов петрографической коллекции, привлекающих внимание посетителей, является образец израндита – магматической горной породы, впервые описанной на Южном Урале в 1960-х гг. и получившей название по реке Изранда. Это древнейшая из найденных на Урале горных пород, абсолютный возраст которой составляет 1,8–2,0 млрд лет.

В палеонтологическом собрании хотелось бы обратить особое внимание на коллекцию Г. Т. Мауэра, имеющую мировую известность. Среди особо значимых экспонатов – отпечаток зубного аппарата геликоприона из окрестностей г. Красноуфимска.

В последние годы собрание отдела пополнилось коллекциями трилобитов Н. Я. Анцыгина и В. А. Наседкиной, коллекцией ископаемых морских лилий В. С. Милициной. Отдельно хотелось бы отметить палеонтологическую коллекцию по району г. Красноуфимска, собранную О. В. Абросимовой.

Музей сегодня

Новый этап в развитии Уральского геологического музея УГГУ начался в XXI в.

На Урале, как и по всей России, при производственных объединениях, рудниках, шахтах часто создавались ведомственные небольшие музеи, в которых собирались и экспонировались наиболее интересные образцы минералов, минеральных агрегатов, горных пород, руд или окаменелостей. С ликвидацией предприятия такие музеи постигала незавидная судьба – образцы либо растаскивались по личным коллекциям, либо попросту выкидывались как ненужный хлам. Благодаря содействию Территориального Управления Росимущества по Свердловской области, Управлению культуры по УрФО Минкультуры РФ, Управлению ФСБ по Свердловской области удалось спасти от возможного разграбления и приватизации ведомственные музеи Малышевского рудоуправления, ООО «Норфин», производственного объединения «Уралкварцсамоцветы». Их собрания пополнили коллекцию Уральского геологического музея УГГУ и в настоящее время проходят научное изучение и описание, регистрируются в Государственном каталоге Музейного фонда Российской Федерации.

Особое внимание в последние годы уделяется учетно-хранительской работе, приведению ее в соответствие с действующим законодательством. Музей зарегистрирован в Государственном каталоге Музейного фонда Российской Федерации. Начиная с января 2017 г. в Госкаталог внесены данные о 3300 музейных предметов, каждому из которых присвоен индивидуальный регистрационный номер. Эта работа будет продолжена до тех пор, пока информация о всех значимых музейных предметах не будет внесена в этот государственный реестр.

Одно из крупнейших поступлений последнего десятилетия – частная коллекция Юрия Степановича Кобяшова, охватывающая значительную часть известных на сегодняшний момент минеральных видов из месторождений мира. Это уникальное собрание было подарено музею коллекционером в последние годы жизни. Работа с коллекцией, представляющей огромный научный интерес, затрудняется отсутствием авторского каталога.

Начиная с 2011 г. Уральский геологический музей принимает участие в Международной акции «Ночь музеев». Для полуночных посетителей готовятся особые выставки, мастер-классы. Так, в 2017 г. была подготовлена и открыта выставка флюоресцирующих минералов, которая позволяет не только познакомиться с этим удивительным свойством минерального вещества, но и узнать, как оно используется при добыче алмазов и янтаря.

В перспективе развития Уральского геологического музея УГГУ планируется больше внимания уделить развитию познавательных, интерактивных элементов экскурсий и занятий. Сотрудниками музея ведется разработка тематических экскурсий для школьной программы, позволяющих в форме открытого урока познакомить учащихся с миром минералов, полезными ископаемыми нашего региона и его геологической историей.

Хоть возраст Уральского геологического музея Горного университета (относительно других музеев) невелик и сопоставим с возрастом человека, но накопленные в нем уникальные образцы и коллекции – носители геологической информации – будут востребованы еще многими поколениями геологов. Кроме того, музей стал настоящей визитной карточкой для гостей города Екатеринбурга – «Самоцветной столицы России».

Дмитрий Алексеевич Клейменов,
dmitry_kleimenov@mail.ru
Юрий Алексеевич Поленов,
fgg.gl@ursmu.ru
Валерий Васильевич Григорьев,
vagrigoriev@yandex.ru

Валерий Иванович Кайнов,
muzei_xran@mail.ru
Людмила Ивановна Позднякова,
muzei_xran@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

ЗДАНИЯ УРАЛЬСКОГО ГОРНОГО[1]

А. Г. Шорин

Вторая часть статьи посвящена истории зданий, которые сейчас являются учебными корпусами УГГУ.

Современные здания УГГУ

Прежде чем перейти к рассказу о современных зданиях Горного, напомним общую историческую канву. В 1920 году Горный был разделен на два института – собственно Горный институт и Политехнический, которые вошли в состав Уральского государственного университета. Причем металлургический факультет, позже отнесенный к УПИ, сначала был факультетом Горного. Но деление на институты вскоре было отменено, поэтому мы уже будем говорить лишь о нескольких факультетах, из которых потом вновь был собран Горный институт.

Также нужно отметить, что сам проект университета, созданного в 1920 году, оказался нежизнеспособным: в 1925 году он был упразднен, а оставшиеся факультеты объединили в новый вуз – Уральский политехнический институт (УПИ). Но и это был еще не совсем тот политехнический, который позже назывался УГТУ – УПИ (ныне – УрФУ): в 1930 году УПИ разделили на целых 8 институтов (позже они еще разделились, и число их дошло до 10). И лишь после нового укрупнения (с 1932 по 1934 год) шесть институтов объединились в Уральский индустриальный институт (УИИ), который вновь начал называться Политехническим (УПИ) лишь в 1948 году, а два института в 1932 году объединили в Уральский горный институт, который с 1934 года надолго стал СГИ – Свердловским горным институтом[2]. Начиная с этого времени о Горном уже снова можно говорить, как о самостоятельном вузе, который имел собственные здания, а потом еще и строил новые.

В этом разделе мы расскажем об истории зданий четырех учебных корпусов, а также о здании, в котором расположены Геологический музей института и кафедра геологии.

1-й (главный) учебный корпус УГГУ – бывшая вторая женская Александровская гимназия. Адрес: ул. Куйбышева, 30

Это здание на углу Сибирского проспекта (ныне – ул. Куйбышева) и ул. Тихвинской (сейчас ул. Хохрякова) строилось специально для Второй женской гимназии.

Вторая женская гимназия. Для того чтобы понять, чем была для Екатеринбурга женская гимназия и почему она была «второй», для начала коротко пройдемся по истории женского образования в городе. Первым женским учебным заведением в Екатеринбурге была частная школа – «благородный женский пансион», открытый некой мадам Штикель еще в 1841 году. Были и другие пансионы, все частные: например, в 1844 году пансион открыла «девица Юст, дочь губернского секретаря», но он оказался непопулярен и в 1849-м закрылся «за неимением учениц». Та же участь годом позже, в 1850-м, постигла пансион мадам Николаевой. В 1850-х годах были еще три попытки, которые предприняли девица Бервальд («дочь чиновника»), а также госпожа Вурм и госпожа Ландезен. Все эти попытки тоже не увенчались успехом, но благодаря им была создана почва для открытия городского женского училища, которое и открылось летом 1861 года – на деньги городских благотворителей. И эта попытка оказалась успешной во многом благодаря харизме и энергии первой начальницы – Е. И. Кук. Это училище и было преобразовано в 1874 году в женскую гимназию. О специально для него построенном здании мы уже упоминали – в 1921 году там размещался медицинский факультет Уральского государственного университета, а сейчас это корпус Уральского государственного педагогического университета (ул. Карла Либкнехта, 9/ул. Толмачева, 8).

Вопрос об открытии нового учебного заведения для девочек, который впервые был поднят в городской управе в 1897 году, говорит о том, что к этому времени общественный запрос уже изменился – существующие учебные заведения (а кроме женской гимназии действовали три частных школы) не могли принять всех желающих. В 1903 году новое учебное заведение открылось. Изначально это была четырехклассная прогимназия, которая получила статус Второй женской гимназии в 1908 году. Первое местоположение – второй этаж дома на углу Покровского проспекта и улицы 2-й Береговой (ныне – угол улиц Малышева и Максима Горького) – в том самом доме Полякова, где в декабре 1915 года работала канцелярия Горного института и размещался кабинет Веймарна. В1906 году это учебное заведение переехало в здание общежития реального училища (ныне – один из учебных корпусов УрФУ по адресу: просп. Ленина, 13б). Кроме того, там же у гимназии был собственный пансион, построенный на углу Главного проспекта и ул. Усольцевской (ныне – просп. Ленина – ул. Сакко и Ванцетти), в здании которого была освящена домовая Александро-Невская церковь (средства на убранство этой церкви выделил известный екатеринбургский купец И. И. Симанов в память об умершем сыне Александре).

Здание для нового училища, строившееся на соединенные средства города и земства по проекту архитектора К. А. Полкова, начало проектироваться в 1909 году и было заложено в 1910-м, а в январе 1913 года сюда уже переехала гимназия, хотя после этого корпуса достраивались еще два года. Это был комплекс в виде буквы «Е», включавший в себя административный и учебный корпуса (с внутренними двориками), церковь (которая, кстати, была построена, но так и не освящена) и общежитие. Любопытно, что в отличие от других женских учебных заведений города Вторая женская гимназия была бесплатной[3] – поэтому в нее сложно было попасть. В дореволюционном Екатеринбурге гимназистки были

Вторая женская гимназия в начале 1913 года

Вторая женская гимназия после завершения строительства (1915 год)

[1] Продолжение, начало в № 1 (Изв. УГГУ. 2017. Вып.1 (45). С. 109–125).

[2] Подробнее об этом см. краткий исторический очерк на первых страницах.

[3] Примером может служить выписка из протокола заседания педагогического совета от августа 1909 года: «Принимая во внимание тяжелое положение Макаровой, могущее лишить ее дочь возможности продолжать образование, Педагогический совет постановил обратиться с ходатайством к Попечителю Оренбургского Учебного Округа о разрешении принять сверх нормы в число учениц III класса Е. Макарову» (ГАСО. Ф. 4. Оп. 1. Ед. хр. 1).

известны своим хором и театральными постановками. Первой начальницей гимназии была Е. К. Федорова, обладавшая непререкаемым авторитетом как среди учениц, так и в учительской среде. Она умерла 5 января 1917 года, тем самым миновав все потрясения, выпавшие на долю руководства гимназии.

Все изменилось после Февральской революции 1917 года.

Во-первых, изменилось само название гимназии – из Александровской (в честь императора Александра II) она стала «Второй казенной женской гимназией».

Во-вторых, начались проблемы с финансированием – к примеру, нехватка средств даже заставила и. о. начальницы второй женской гимназии М. А. Агафонову, занявшую место Федоровой, обратиться в торговый дом «Братья Степановы» за кредитом в 5 тыс. рублей.

В-третьих, изменилось поведение самих учащихся: события в Петрограде обсуждались на собраниях, и обычные требования преподавателей соблюдать порядок в классах стали восприниматься как попытка нарушения их прав. Уже с марта 1917 года официально был упразднен внеклассный надзор педагогического персонала за учениками. На собрании старших классов учебных заведений, состоявшемся во Второй женской гимназии, была создана ученическая организация «Цекапос». В каждом учебном заведении выбирались старосты, которые являлись представителями классов в контактах с преподавателями. Сами учащиеся разбились на политические фракции. Во Второй женской гимназии лидером «правого крыла», поддерживающего Временное правительство, была Наталья Аничкова[4], а «левого крыла» (большевиков) – Римма Юровская[5].

В-четвертых, с 30 октября 1917 года Вторая женская гимназия перестала быть собственно женской, став смешанной (для мальчиков и девочек). Начальником этой новой гимназии, куда было принято 160 учеников и учениц, стала М. Л. Закожурникова, преподаватель этой гимназии и гласная Екатеринбургской городской думы, а М. А. Агафонова была отстранена от должности исполняющей обязанности начальницы гимназии – «за отказ подчиняться постановлениям Советской власти»[6].

Также в 1917 году учебные здания в Екатеринбурге использовались для проведения политических мероприятий. Не стала исключением и Вторая женская гимназия, где с 9 по 14 июня проходил Екатеринбургский окружной съезд Советов рабочих и солдатских депутатов, где большую роль сыграли большевики. Кстати, избранный на этом съезде Екатеринбургский окружной комитет Советов рабочих и солдатских депутатов разместился в бывшем доме главного начальника горных заводов Хребта Уральского, о котором мы уже писали ранее.

Любопытно, что в октябре 1917 года посетили это здание и студенты Уральского горного института: 14 октября 1917 года здесь состоялся концерт-бал, посвященный началу занятий в Горном. В нем было концертное отделение (пение г-на Бузаковского с аккомпанементом на скрипке г-на Форкача, выступление артиста драмы г-на Казарского, авторское чтение стихов г-на Макеева и другие номера). После чего студенты последовали в «буфет» (еда имела важное значение в то непростое время), а в 12.30 (ночи) начались танцы.

Чтобы представить себе атмосферу этого бала, обратимся к воспоминаниям В. П. Аничкова[7]: «В переполненном огромном и высоком зале гимназии едва двигались, тесня друг друга, сотни танцующих пар. Во всей этой тысячной толпе не было ни одного кавалера, одетого во фрак или смокинг, и ни одной дамы в бальном платье. Среди военных френчей, косовороток и пиджаков можно было встретить кавалеров просто в шинелях и даже в валенках. Дамскими костюмами служили форменные гимназические платья, и весь шик заключался в невероятно коротких, иногда выше колен, юбках и прозрачных, как паутина, чулках, что создавало впечатление, будто вы находитесь на балу у босоножек.

Несмотря на внешний вид танцующей массы, несмотря на ужасы переживаемой революции, несмотря на разность политических воззрений, молодёжь танцевала с тем же увлечением, что и я на фешенебельных балах Петербурга в былые времена. Те же лукавые, горящие огнём глазки, тот же румянец ланит, та же неутомимость, тот же смех, те же шутки и всё та же неизменная любовь…

Однако нравы сильно изменились, начиная с юбок выше колен и кончая циничным характером танцев «танго» и «кекбок».

Так, в тоске бродя по коридорам гимназии, я видел много сценок чересчур откровенных. Видел, как парочки входили в тёмные классы или удалялись на время из гимназии и через часик возвращались обратно. Словом, делалось откровенно то, что ранее так тщательно скрывалось. Мне, ещё не старому мужчине, не приходило в голову завидовать этой перемене в тонкостях любви. Эти отношения носили более циничный и менее поэтический характер, чем четверть века назад, когда сближение полов было менее доступно: не существовало тогда тёмных залов кинематографов, не существовало телефонов, на которых по целым часам висит молодёжь…[8]».

В 1918 году комиссариатом просвещения города были назначены выборы преподавателей училищ и школ, которые многие учителя, не признававшие Советскую власть, решили игнорировать. Выборы состоялись в апреле, причем те учебные заведения, где эти выборы игнорировались, просто закрывали. В гимназии заявки на участие в выборах подали лишь трое преподавателей – Н. П. Младов[9] (словесность), Е. В. Бушинский (физика и математика), Е. В. Броновская (математика). Им и были переданы имущество и дела гимназии.

После июля 1918 года, когда Екатеринбург был захвачен Чехословацким корпусом, в системе образования произошел «откат» – примерно к позициям после Февральской революции, однако образовательным учреждениям в качестве начальства пришлось сначала иметь дело с Уральским временным правительством, сформированным в Екатеринбурге, а с ноября 1918 года подчиняться Омскому правительству Колчака. В июле 1919 года после победы Красной Армии передел системы образования был продолжен, причем более жесткими методами. В итоге женские учебные заведения вообще перестали существовать.

[4] Будущая студентка Уральского горного института, дочь В. П. Аничкова, мемуары которого «Екатеринбург–Владивосток (1917–1922)» мы будем цитировать ниже. В 1919 году вместе с отцом уехала сначала во Владивосток, затем эмигрировала.

[5] Дочь революционера, партийного деятеля и будущего участника расстрела Николая II и его семьи Я. М. Юровского. В будущем стала одним из организаторов молодежного коммунистического движения на Урале, в честь нее в Кировском районе Свердловска была названа улица (ныне – ул. В. Высоцкого).

[6] До революции руководство гимназии избиралось попечительскими советами.

[7] Владимир Петрович Аничков – отец Натальи Аничковой, которую мы упоминали выше. В 1917 году был управляющим Екатеринбургским отделением Волжско-Камского банка, одновременно являясь директором-распорядителем Алапаевского горного округа. В 1919 году уехал вслед за войсками Колчака во Владивосток, откуда с семьей эмигрировал сначала в Шанхай, затем в США, где в Сан-Франциско открыл книжный магазин «Русская книга» и основал калифорнийское литературное общество «Труженики пера». Здесь цитируется фрагмент из его книги «Екатеринбург–Владивосток (1917–1922)».

[8] Скорее всего, тут Аничковым описан не тот самый бал, так как упоминалось, что «если раньше делался один бал на каждое училище в год, то теперь каждый класс устраивал свой собственный бал», однако это описание важно тем, что передает атмосферу ученических балов того времени, а описанный бал проходил в стенах Второй женской гимназии.

[9] Это был преподаватель, который завоевывал симпатии учащихся политической пропагандой. Незадолго до этого он был уволен, причем девочки из-за его ухода объявили забастовку, из-за чего целый класс (шестой) временно был исключен из гимназии. Кстати, из-за невыплат жалования объявляли забастовки и учителя.

Ситуация усугубилась тем, что многие учебные заведения перед приходом Красной Армии были эвакуированы на восток. В городе было огромное количество военных соединений, а также много раненых и больных тифом людей. Повсеместно здания учебных заведений начали использоваться либо под госпитали, либо под войсковые штабы, причем практиковалось это как при Колчаке, так и уже тогда, когда в Екатеринбург снова вернулась Советская власть.

Главный сыпнотифозный госпиталь Екатеринбурга. В конце 1918–начале 1919 года Екатеринбург накрыла эпидемия тифа[10]. Существующие больницы не справлялись с количеством пациентов, поэтому многие здания города, в том числе и учебные, стали использоваться как госпитали. О Главном сыпнотифозном госпитале города, под который отдали здание гимназии, мы знаем из воспоминаний К. А. Белобородовой[11]: «Госпиталь был рассчитан на 500 сыпно-тифозных больных. Все этажи были заняты под больных; полуподвальное помещение этого здания было отведено под общежитие среднего и низшего медперсонала, также там помещались кухня, склады и кочегарка».

Так как врач, возглавлявший госпиталь, вместе с двумя другими врачами перед приходом Красной Армии эвакуировался, Белобородова, которой только исполнился 21 год, осталась за главного врача. Причем эвакуировавшиеся вывезли белье, деньги, продукты, почти все медикаменты, а из персонала остались только три врача (не считая самой Белобородовой), да средний и низший персонал. Сама Белобородова, отказавшаяся бросить больных, сначала едва не была расстреляна «белыми» за отказ от эвакуации, а затем «красными», которые поначалу во всех видели пособников Колчака.

Госпиталь в здании бывшей гимназии просуществовал до 1920 года, когда в связи с образованием Уральского государственного университета здания начали освобождать от госпиталей под учебные цели.

Медицинский факультет Уралуниверситета. Медицинский факультет Уральского государственного университета (Уралуниверситета, или УГУ, такое тогда было принято сокращение) начал занятия в сентябре 1920 года – раньше всех остальных факультетов – и даже раньше официального декрета об открытии университета. Причем на медицинский факультет сразу принимались студенты 1–4 курсов: на первый – обычный прием, а на 2–4 брали «бывших студентов и лекпомов со стажем» – в зависимости от опыта. Количество их было большим – благодаря декрету Совнаркома, который освобождал из армии желающих учиться[12]. Медицинский факультет в 1920–1921 учебном году стал самым большим (503 студента) после Рабочего факультета – рабфака (690 студентов). Для сравнения: на геолого-разведочном факультете было 224 студента, на рудничном – 120[13].

Первым деканом медицинского факультета был член правления Уральского университета известный врач И. Н. Кавалеров[14], который параллельно возглавлял кафедру пропедевтики внутренних болезней и заведовал терапевтическо-хирургической клиникой.

К сожалению, этот медицинский факультет не стал базой для создания в Екатеринбурге самостоятельного медицинского вуза: в 1924 году из-за сокращения («ужимания») университета медицинский факультет был переведен в Пермь, где влился в состав Пермского университета. А Свердловский медицинский институт (ныне – Уральский государственный медицинский университет) создавался уже в 1931 году.

Считается, что медицинский факультет университета располагался в здании первой женской гимназии (о ней мы уже упоминали, ныне это корпус УрГПУ – Уральского государственного педагогического университета по ул. Карла Либкнехта, 9/ул. Толмачева, 8), однако это не совсем так. Этот факультет начал работать именно в здании бывшей Второй женской гимназии, а в другое здание переехал вынужденно.

В октябре 1920 года Особая военная комиссия приняла решение отдать здания рабфака и медицинского факультета под госпиталь. Однако вновь госпиталь там открыть не успели: в том же октябре в студенческом общежитии (кроме учебных аудиторий в том же здании размещалось и общежитие) от неосторожного обращения с железной печью сгорела почти вся крыша здания. Вследствие этого было надолго испорчено центральное отопление и сильно пострадал весь верхний этаж, вследствие чего было сорвано развитие факультета, а университет на всю зиму 1920–1921 года потерял это здание.

После ремонта (в том числе силами студентов и преподавателей) в 1921–1922 учебном году здание вновь стало университетским: там открылся Горный факультет, который через годы стал основой для Свердловского горного института. Однако и студенты-медики переехали в здание бывшей первой женской гимназии не полностью: часть занятий по медицине проходила в этом здании вплоть до августа 1924 года, когда факультет полностью был переведен в Пермь.

Горный факультет Уралуниверситета. В начале 1921 года Горный перестал существовать как институт в составе университета. Два факультета бывшего института – рудничный и геолого-разведочный – переименовали в «отделения» и объединили в один горный факультет университета. Этот факультет уже в начале года решено было разместить в здании бывшей Второй женской гимназии, однако фактически это произошло лишь в сентябре, к началу 1921–1922 учебного года – до этого из-за последствий пожара здание было непригодно для использования.

Сохранились воспоминания студента тех лет, впоследствии лауреата Государственной премии, старейшего геолога Урала К. Е. Кожевникова о том, что здание было в плохом состоянии, ему требовался ремонт: «Вместе с нами работал и профессор А. В. Шубников[15]. Все делали сами: двери, рамы, перегородки, столы, стулья и т. д.».

Впоследствии Горный факультет стал «гостевым» – т. е. своеобразной «визитной карточкой» всего университета – так, например, в декабре 1922 года его показывали делегации Коминтерна, в августе 1923 года – группе американских сенаторов. Летом того же 1923-го в этом здании выступал с лекцией «Интеллигенция и революция» один из вождей победившего пролетариата А. В. Луначарский.

О вузе Луначарский высказался сдержанно – заметив, что он «цепко утверждает себя в жизни и является полезным элементом нового строительства». На самом деле даже это могло считаться большой похвалой, потому что университет, едва успев сформи-

[10] Например, у К. К. Матвеева в 1919 году от тифа погибли двое детей.

[11] Клавдия Андреевна Белобородова (Мышкина) родом из Пермской губернии. Получила диплом Петроградского женского медицинского института в 1915 году. А еще раньше вышла замуж за врача Г. С. Мышкина, мобилизованного в армию, поэтому она иногда упоминается с двойной фамилией: Белобородова-Мышкина. В Екатеринбург она приехала вместе с мужем в 1919 году еще при власти Колчака и стала работать в сыпнотифозном госпитале, а после отступления Белой армии осталась там главврачом, одновременно являясь главврачом Первой городской больницы. Всю жизнь эта семья проработала в медицине Екатеринбурга-Свердловска. Кстати, их дочь, Зера Мышкина, стала известным в городе краеведом.

[12] Не только из Красной Армии, но и из сдавшихся частей Белой армии.

[13] Екатеринбург за 200 лет: сборник. Екатеринбург: Уралкнига, 1923. С. 215.

[14] Иван Николаевич закончил в 1896 году медицинский факультет Московского университета. Стажировался в Париже и Ницце, работал на юге России. Перед приездом в Екатеринбург работал в Москве, где организовал больницу для сыпнотифозных больных. После Екатеринбурга работал в Харькове, Донецке, а с начала 1930-х до середины 1940-х годов – в Горьком (Нижнем Новгороде), основал кафедру гигиены труда и профессиональной патологии и руководил ею до самой смерти в 1946 году.

[15] Алексей Васильевич Шубников – выдающийся кристаллограф, будущий зав. лабораторией кристаллографии АН СССР.

Фото того же здания, сделанное в 1920-х годах

Тоже снимок 1920-х годов, сделанный во дворе здания

роваться, уже начал разваливаться. Постоянное сокращение и «ужимание» факультетов привело к тому, что к 1924–1925 учебному году, после того как медицинский факультет был переведен в Пермь, в университете осталось всего три факультета: горный, химико-металлургический и лесопромышленный. Университет уже «не котировался» и в Москве: яркий пример тому тот факт, что когда после смерти Ленина поступила просьба присвоить вузу имя вождя, то она не была удовлетворена.

В мае 1925 года Уральский государственный университет был упразднен и переименован в Уральский политехнический институт – УПИ.

Горный факультет в составе УПИ. Любопытно, что университет сначала хотели переименовать в Уральский горный институт, сохранились даже документы, где институт именуется Горным, но потом решение было изменено в пользу Политехнического института – скорее всего, потому, что два факультета их трех оставшихся считались техническими. Однако вскоре Горный факультет едва не закрылся – в Главпрофорбе сложилось мнение о такой необходимости в связи с тем, что «в стране уже есть три вуза, в которых готовят инженеров для горной промышленности» (имелись в виду Петроградский горный институт, Московская горная академия и Сибирский технологический институт), причем профессор Беккер из МГА даже бросил: «Зачем Уралу горфак? Там и угля-то нет»[16]. Отстоять факультет перед Главпрофорбом удалось лишь к 1926 году, а до этого он «висел на волоске».

Однако уже в 1930 году ситуация изменилась кардинальным образом: на Урале был запланирован промышленный бум, и институты, еще вчера казавшиеся ненужными, начали, наоборот, расширять, в итоге снова был сформирован Уральский горный институт[17].

УГИ–СГИ–УГГГА–УГГУ. В марте 1930 года на базе геологоразведочного отделения горного факультета УПИ был создан Уральский геологоразведочный институт, а рудничное отделение того же факультета было отдано Институту цветных металлов и названо Горным факультетом. В сентябре того же года новое преобразование: из части уже нового горного факультета создан Уральский горный институт угольных и нерудных ископаемых. И, наконец, 5 июня 1932 года этот вуз был объединен с Уральским геологоразведочным институтом в единый Уральский горный институт. Здание бывшей второй женской гимназии стало главным зданием этого вуза, получившего снова самостоятельность.

В январе 1934 года перестала существовать Уральская область, а бывший Екатеринбург, переименованный в Свердловск, стал центром Свердловской области. Из-за этого чередой пошли переименования, которые коснулись и Горного – с 18 декабря 1934 года он надолго стал Свердловским горным институтом.

С тех пор название вуза менялось еще несколько раз: с 1947 года – Свердловский горный институт им. В. В. Вахрушева, с 1969-го – Свердловский ордена Трудового Красного Знамени горный институт им. В. В. Вахрушева, с 1991-го – Уральский ордена Трудового Красного Знамени горный институт им. В. В. Вахрушева, с 1993-го – Уральская государственная горно-геологическая академия и, наконец, с 2004-го носит свое нынешнее название – Уральский государственный горный университет (УГГУ). И все эти годы в названии вуза всегда было слово «горный», а главным зданием был корпус на ул. Куйбышева, 30.

С начала 1920-х годов в здании были не только учебные аудитории, как сейчас, но и жилье – в основном для преподавателей. До 1980 года в этом здании располагалась институтская библиотека (там, где сейчас находится бухгалтерия). Сейчас в здании кроме ректората и различных служб расположен горно-механический факультет УГГУ.

Нужно отметить, что со времен второй женской гимназии планировка здания изменилась. В 1926 году достроен третий

Главное здание Свердловского горного института (фото 1980-х годов)

Современный вид здания. Фото автора.

[16] Филатов В. В. «Быть по сему!». Екатеринбург, 2014. С. 580.
[17] Подробнее об этом см. краткий исторический очерк в начале статьи.

этаж, сохранились перегородки, которые когда-то были поставлены временно, но так и остались постоянными. В одном пристрое изначально была небольшая церковь, гимнастический зал, аудитория, физический и химический кабинеты, в другом – котловая, архив и различные службы. Кстати: до 1990-х годов одну из лестниц украшало дореволюционное зеркало.

Изменения произошли и на внешнем фасаде здания. На стенах здания можно увидеть мемориальные доски – Н. К. Келлю[18], С. А. Федорову[19], Л. Д. Шевякову[20], Н. В. Мельникову[21], а также мемориальную доску студентам института – Героям Советского Союза[22]. Рядом со зданием в 1948 году установлен бюст В. В. Вахрушева, имя которого вуз носил с 1947 по 1993 год, а также мемориальный комплекс студентам и сотрудникам Горного института, павшим в боях в годы Великой Отечественной войны, установленный в 1975 году и реконструированный в 2005-м. В 2014 году в честь 100-летнего юбилея со дня основания вуза на фасаде здания к надписи «Горный институт» по бокам добавились цифры: «1914» и «2014».

2-й учебный корпус УГГУ – бывшее здание женского епархиального училища. Адрес: пер. Университетский, 9

Для того, чтобы рассказать историю этого здания, которое часто называют зданием нового епархиального училища, мы сначала расскажем в целом о женском епархиальном училище, имевшем в Екатеринбурге несколько зданий, а потом уже перейдем к истории этого отдельного здания.

Женское епархиальное училище было в Екатеринбурге своеобразной «кузницей кадров» для подготовки учителей церковно-приходских школ, которых в Екатеринбургской епархии[23] к середине 1890-х годов было 117, а к 1900 году уже стало 162. Кроме этого училище выполняло задачи подготовки учительниц церковно-приходных училищ, а также давало духовное образование.

Училище ведет свою историю с 1838 года, когда при Ново-Тихвинском женском монастыре[24] была открыта школа-приют. В 1868 году школа была преобразована в четырехклассное епархиальное училище, а в 1880 году получила статус шестиклассного училища. В то время училище называлось Зауральское, с 1886 года – Екатеринбургское женское епархиальное училище. Принимались туда девочки не моложе 9 лет, окончившие церковно-приходские школы. Обучение было платным, однако дочерям священнослужителей обучение полностью или частично оплачивалось за счет епархии, поэтому девочек из других сословий здесь училось мало: родителям таких учениц, которые назывались «своекоштными», приходилось полностью оплачивать и обучение, и проживание в пансионе. Училище находилось в ведении Священного синода и духовного комитета при нем, преподавание подчинялось требованиям устава. Преподаватели из числа светских лиц появились там лишь в начале XX века[25], когда программы епархиальных училищ стали сближаться с программами светских учебных заведений. Первой начальницей училища (до 1890 года) была игуменья Магдалина (в миру – М. А. Неустроева). А последней начальницей (с 1903 по 1918 год) была выпускница Казанского Родионовского института благородных девиц В. В. Рогинская.

До получения статуса училища это учебное заведение располагалось в стенах Ново-Тихвинского монастыря, а в 1880 году получило собственное здание, которое сейчас принято называть старым епархиальным училищем. В нем были устроены не только кабинеты для рисования, рукоделия и музыки, но и, например, кабинет физики, где имелись приборы для лабораторных занятий. Здание располагалось в начальном квартале Александровского проспекта (ныне – ул. Декабристов). Позже – в 1952–1953 гг. – оно было значительно перестроено по проекту архитектора С. А. Васильева. Сейчас в нем находится Екатеринбургский монтажный колледж, современный адрес: ул. Декабристов, 83.

Помимо учебного здания училище имело собственное общежитие – пансион епархиального училища, располагавшийся в двухэтажном здании на углу Александровского проспекта (ныне – ул. Декабристов) и Щепной площади (ныне – пер. Университетский). Это здание было построено в 1897 году как детский приют Ново-Тихвинского монастыря. В 1920 году здесь разместили правление Уральского государственного университета и инженерно-лесной факультет. Позже здесь обосновался техникум пищевой промышленности, ныне – Екатеринбургский экономико-технологический колледж. Современный адрес здания: ул. Декабристов, 58.

Финансировалось епархиальное училище за счет Екатеринбургской епархии при участии Пермской епархии, взносов от отдельных церквей и Екатеринбургского земства. Проблемы с финансированием начались во время Первой мировой войны,

Новое женское епархиальное училище (1917 год)

Химико-металлургический факультет УПИ в здании бывшего епархиального училища (начало 1930-х годов)

[18] «Здесь в 1917–1921 гг. работал член-корреспондент Академии наук СССР профессор Келль Николай Георгиевич – один из организаторов института и кафедры геодезии».
[19] «Здесь в 1933–1967 гг. работал профессор, доктор технических наук Федоров Сергей Алексеевич – ведущий учёный в области строительства шахт, заведующий кафедрой шахтного строительства».
[20] «Здесь в 1932–1944 гг. работал академик Академии наук СССР Шевяков Лев Дмитриевич – основатель аналитических методов в горном деле».
[21] «Академик Николай Васильевич Мельников (1909–1980) – выдающийся учёный и организатор науки и промышленности, Герой Социалистического труда, лауреат Государственных премий СССР, выпускник Свердловского горного института 1933 года».
[22] «Студенты Свердловского горного института, участники Великой Отечественной войны, Герои Советского Союза: Богданов Пётр Антонович, Крутошинский Андрей Михайлович, Кудрявицкий Давид Абрамович, Опрокиднев Борис Константинович, Якимов Алексей Петрович».
[23] Самостоятельная Екатеринбургская епархия, выделенная из Пермской епархии, была учреждена в 1885 году. В нее входили Екатеринбургский, Верхотурский, Ирбитский, Камышловский и Шадринский уезды.
[24] О самом Ново-Тихвинском монастыре мы расскажем отдельно далее, когда речь пойдет об общежитиях Горного.
[25] Например, с 1907 по 1913 год в этом училище преподавал церковнославянский язык, русский язык и основы алгебры П. П. Бажов – будущий известный уральский писатель. А его жена Валентина Александровна (в девичестве Иваницкая) была из числа его учениц, он сделал ей предложение на выпускном вечере.

из-за чего в 1915 году число учениц снизилось на треть, а в 1916 году те ученицы, которые учились за казенный счет, лишились поддержки государства. Однако, несмотря на последовавшие две революции 1917 года и смены власти в 1918 и 1919 годах, занятия хотя временами прерывались[26], но окончательно были прекращены лишь весной 1920 года.

Новое епархиальное училище, в котором сейчас расположен 2-й учебный корпус УГГУ, поначалу называлось так лишь в просторечье – потому что это было новое здание, построенное для епархиального училища: в то время еще не начались потрясения, связанные сначала с мировой войной, а затем революциями, и епархиальному училищу нужно было расширяться. Это просторечное название «прижилось» и используется в различной литературе до сих пор. Весь дальнейший наш рассказ будет уже о нем.

Первый камень в основание нового здания епархиального училища был положен 30 мая 1913 года преосвященным Митрофаном, сотворившим молебен по случаю закладки этого камня. Место для строительства в квартале улиц Уктусской (ныне 8 Марта), Монастырской (Народной Воли) и Александровского проспекта (ул. Декабристов) Екатеринбургская епархия купила у Ново-Тихвинского женского монастыря за 100 тысяч рублей. Строилось оно с 1913 по 1916 год по проекту архитекторов Станилевича и Полкова[27]. Это было кирпичное трехэтажное здание с полуподвалом, освящение и открытие которого состоялось 10 января 1917 года. На втором этаже (слева от лестницы) находилась церковь[28], вмещавшая до 700 молящихся. Третий этаж был жилым: там находились спальни для учениц.

Такое было время, что здание начали использовать не для тех целей, для которых его строили, почти сразу. Так, есть упоминания о том, что уже весной 1917 года девочек-учениц потеснили, разместив в нем госпиталь[29]. А с 17 июля по 2 августа того же года в большом зале училища заседал 2-й Уральский областной съезд Советов[30]. Весной 1918 года в здании училища разместили переехавшую из Петрограда академию Генштаба.

Академия Генерального штаба. В современных источниках эту академию обычно называют Николаевской академией Генерального штаба (чтобы не путать с созданной позже академией РККА), однако в 1918 году, после двух революций, она называлась просто академией Генерального штаба и была на тот момент единственной в стране.

Это высшее военное учебное заведение было основано 26 ноября 1832 года на базе расквартированного в Москве, затем в Петербурге училища колонновожатых, существовавшего с 1810 года. Из выпускников формировался корпус офицеров Генерального штаба (центральный орган военного управления государства) чином не ниже поручика. Обучение там считалось почетным и приравнивалось к особому отличию, а выпускники занимали высокие военные должности – например, в годы Первой мировой войны из числа выпускников академии были почти все командующие фронтами и армиями. То есть, по сути, это была «кузница» будущих высших военных начальников страны. Официальные названия до 1917 года: при создании – Императорская военная академия, с 1855 – Николаевская академия генерального штаба (в честь императора Николая I), с 1909 – Императорская Николаевская военная академия.

По итогам Гражданской войны эту академию принято считать «белой» («белогвардейской»), однако в начале 1918 года она таковой не была. В ней, безусловно, были люди как среди преподавателей, так и среди курсантов, настроенные против Советской власти, однако она в 1917–1918 годах продолжала работать в уже советском Петрограде и была эвакуирована в советский Екатеринбург – по приказу одного из советских же лидеров Л. Д. Троцкого. Причины перевода указываются разные: от голода и разрухи, которые в то время начались в столице, до опасности прорыва фронта. Скорее всего, Троцкий, зная о том, что в академии много противников Советской власти, просто решил отправить ее в глубокий тыл, подальше от столицы, не предполагая в то время, что на Урале начнется Гражданская война. Один из преподавателей этой академии Михаил Иностранцев, оставивший воспоминания об этом периоде, писал, что в начале 1918 года в Петрограде состоялась конференция академии, делегаты которой высказывались за перевод ее в какой-нибудь южный город, однако Троцкий, знавший о том, что юг – оплот белых сил, ответил начальнику академии полковнику (позже – генерал-майору) А. И. Андогскому: «Мы не так просты и наивны полковник, как думает ваша конференция. Академия будет и должна служить нам и никому другому (…) … я намерен предложить эвакуировать Академию на восток, например, в Екатеринбург». Так, в марте 1918 года было принято решение о передислокации академии в столицу Урала.

Здание епархиального училища в Екатеринбурге для академии было выбрано не случайно: место это в то время считалось удаленным от центра города, позволяло все занятия проводить автономно – в общем, оказалось идеальным для властей, которым было приказано «присматривать» за потенциально неблагонадежными гостями. По крайней мере именно установленной за ними слежкой офицеры, перешедшие позже на сторону «белых», оправдывали свою пассивность в отношении расстрела семьи Николая II, который произошел как раз в то время, когда академия была в Екатеринбурге. При этом сам город гостям, приехавшим из растерзанного революциями Петрограда, понравился[31].

В июле 1918 года, когда стала явной угроза захвата Екатеринбурга Чехословацким корпусом, часть преподавателей и курсантов (в основном старшекурсников), несмотря на угрозу расстрела, сумели остаться в Екатеринбурге и с восторгом встретили новую власть, однако основной состав академии был эвакуирован Советской властью в Казань. И только с падением советской Казани, которая была захвачена частями Народной армии под командованием В. О. Каппеля[32] настолько быстро, что эвакуация «красных» была больше похожа на паническое бегство, слушатели академии смогли разбежаться или перейти на сторону «белых». Позже академия, доставшаяся «белым» со всеми документами, материальной и научной базой, продолжила работу, сначала эвакуировавшись в уже «белый» Екатеринбург, потом Томск, Омск, и, наконец, во Владивосток. Последний выпуск академии состоялся в 1921 году на острове Русский. При этом не нужно считать, что все преподаватели и курсанты академии сражались на стороне «белых». Среди них было немало и тех, кто пришли служить «военспецами» в Красную Армию, причем в то время было не редкостью, когда тот или иной офицер успевал «отметиться» и среди «красных», и среди «белых», что, порой, было просто делом случая: таковы особенности Гражданской войны.

Часть слушателей и преподавателей академии из числа эвакуированных в Казань в августе 1918 года встретились с товари-

[26] Декретом Совнаркома от 11 декабря 1917 года епархиальные училища были ликвидированы, а их имущество стало «достоянием народа», однако смена власти в июле 1918 года еще продлила жизнь училища.
[27] К. А. Полков – архитектор здания второй женской гимназии, о котором мы уже писали ранее.
[28] Об этой церкви мы подробнее расскажем далее.
[29] Ефремова У. П., Попов М. В. Епархиальное женское училище и подготовка учительских кадров в Екатеринбурге (1880–1920-е гг.) // Педагогическое образование в России. 2012. № 6. С. 17.
[30] Филатов В. В. «Быть по сему!». Екатеринбург, 2014. С. 646.
[31] Иностранцев пишет: «Это был хотя и провинциальный, но чисто русский город и притом довольно благоустроенный».
[32] Один из руководителей белого движения на востоке России. В указанный период – полковник, позже – генерал-лейтенант. Умер в 1920 году от воспаления легких во время Великого Сибирского Ледяного похода.

щами, сумевшими остаться в Екатеринбурге. По этому поводу в церкви епархиального училища был заказан «благодарственный молебен по случаю избавления Академии от большевиков».

В целом же в истории про академию Генштаба осталось рассказать о преемственности. В то время, когда на востоке России белые силы сумели воссоздать Николаевскую академию генерального штаба, на западе по инициативе Ленина (в противовес) была создана академия РККА, которая в 1921 году была реорганизована и переименована в академию им. М. В. Фрунзе, таким образом, с 1918 по 1921 год существовали две военные академии – белогвардейская Николаевская и Рабоче-крестьянской Красной Армии. Однако академия РККА, успешно готовившая кадры звена полк–дивизия, так и не сумела наладить производство кадров для высшего командного звена, поэтому в 1936 году было принято решение создать новое учебное заведение – академию Генерального штаба РККА, которая носила имя К. Е. Ворошилова, подписавшего приказ о ее создании. Однако после распада СССР историю современной академии Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации приказом Министра обороны В. В. Квашнина от 1997 года принято считать не с 1936-го, а с 1832 года, когда была создана Императорская (позже – Николаевская) военная академия.

Эвакогоспиталь № 230. После возвращения в Екатеринбург Советской власти в июле 1919 года здание бывшего епархиального училища было отдано под эвакогоспиталь, о котором нам известно только то, что он был «свободным»[33].

Гораздо драматичнее сложилась судьба здания год спустя, когда там решено было создать концентрационный лагерь, и лишь личное вмешательство Ленина помогло отстоять бывшее епархиальное училище для студентов.

Екатеринбургский концентрационный лагерь № 1. В 1920 году, когда в Екатеринбурге открывался Уральский государственный университет, ему стали передаваться здания (общим числом 27[34]), в основном ранее занимаемые под госпитали, в том числе и бывшее здание нового епархиального училища. Однако в октябре 1920 года, когда уже в здании разместилось правление университета, Особая военная комиссия приняла решение о занятии одного этажа под казармы батальона 36-го пехотного полка и двух этажей нового епархиального училища под концентрационный лагерь. И концентрационный лагерь был открыт, но один этаж здания остался за университетом – такое вот соседство.

Указ о создании концлагерей был принят советским правительством еще в 1918 году, однако на Урале создание таких лагерей стало особенно важным начиная с 1919 года, после отступления на восток войск Колчака. Екатеринбургский концлагерь № 1 был особым[35] – в нем (а также в Нижнетуринском исправительном рабочем доме) содержались исключительно бывшие белые офицеры, некоторые из которых по иронии судьбы в этом же здании были слушателями военной академии.

Сохранилось неотправленное письмо жене содержавшегося там бывшего Камышловского воинского главы Н. В. Шевякова, вскоре расстрелянного, который пишет: «Жить в числе 100 человек не особенно удобно, живу впроголодь»[36]. Часто все питание заключенных состояло только из воды и кипятка.

Для того чтобы освободить здание для учебных целей, правление университета обращалось сначала к наркому просвещения А. В. Луначарскому, затем в Реввоенсовет, а когда это не дало результатов – к В. И. Ленину. 10 ноября 1920 года Ленин направил в Екатеринбург телеграмму: «Предлагаю немедленно освободить занятые здания[37] университета. Никаких зданий не занимать впредь без указаний Центрквартком а. Предсовнаркома Ленин». Однако Совтрударм, председателем которого был Л. Д. Троцкий, даже после этой телеграммы не спешил освобождать занятое под концлагерь здание, и тогда 17 декабря 1920 года от Ленина последовала вторая телеграмма, еще более жесткая: «Приказываю немедленно освободить отведенное помещение Уральскому университету и предписываю впредь не нарушать самовольно работу университета, с предупреждением о передании суду виновных. Председатель Совнаркома Ленин»[38]. После такой телеграммы уже на следующий день здание было освобождено.

Осталось лишь упомянуть, что всего за два с половиной месяца (с октября по декабрь), когда три этажа использовались под казармы и концлагерь, здание пришло почти в полную негодность. Сохранился отчет о деятельности хозяйственно-административной части университета за ноябрь–декабрь 1920 года, где отмечается, что «была полностью сорвана вся электрическая проводка, совершенно испорчены все уборные и т. д. – почти на одну четверть аршина от пола заполнены экскрементами не только помещения уборных, но и прилегающие к ним комнаты. Совершенно засорен экскрементами и испорчен навсегда колодец, обслуживающий водою все здание. Экскрементами также покрыта вся часть двора, прилегающая к заднему выходу из здания. Даже часть чердака была превращена в уборную»[39].

Нетрудно себе представить, каких трудов потом стоило университету привести это здание в порядок (в частности, 29 декабря 1920 года был объявлен общеуниверситетский субботник по уборке здания).

Химико-металлургический факультет. Помимо того что бывшее здание нового епархиального училища стало главным административным корпусом университета (а с 1925 года после расформирования университета главным зданием УПИ), в нем с 1921 года располагался химико-металлургический факультет.

Еще летом 1920 года Горный был разделен на два института – собственно Горный и Политехнический (УПИ), которые вошли в состав университета именно как институты. Причем металлургический факультет относился к Горному институту, а химический – к Политехническому. Однако к началу 1921 года деление на институты внутри университета было отменено, а факультеты укрупнили. Так был образован химико-металлургический факультет, который работал сначала в составе университета, затем в составе УПИ. В этот период тоже случались беды. Например, 26 ноября 1925 года во втором часу ночи загорелся чердак, а пожарные больше часа наблюдали, как он горит, опасаясь «ядовитых газов», только после этого начали тушение. Почти полностью сгорела крыша с пирамидальным церковным куполом, и при ремонте его заменили полусферическим. Пострадала лаборатория качественного анализа, и прогорел потолок чертежного зала, который после ремонта разделили на два этажа. Занятия, впрочем, из-за пожара были прерваны всего на один день.

Химико-металлургический факультет размещался в этом здании до 1932 года, пока вместе со всем Политехническим институтом не переехал в новый Втузгородок.

УГИ–СГИ–УГГГА–УГГУ. В 1932 году здание было передано Уральскому (с 1934 года – Свердловскому) горному институту.

---

[33] Главадский М. Е. Рождение Уральского государственного университета. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 1995. С. 176.
[34] Там же. С. 180.
[35] Не путать с Екатеринбургским губернским концлагерем № 1, располагавшимся в кирпичных сараях за станцией Екатеринбург I, где осужденные привлекались к трудовой повинности.
[36] Научное и социальное использование документов органов государственной безопасности в исторической ретроспективе: проблемы и перспективы // Материалы II межрегион. науч.-практ. конф. (7 апр. 2011 г.). Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2011. С. 79–85.
[37] Кроме бывшего здания нового епархиального училища не были освобождены и другие здания, например здание рабфака было отдано под госпиталь.
[38] Главадский М. Е. Рождение Уральского государственного университета. Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 1995. С. 183.
[39] Там же. С. 184.

2-й корпус Свердловского горного института (фото 1980-х годов)

Современный 2-й корпус УГГУ. Фото автора.

Монтаж купола церкви Екатерины Великомученицы (2014 год)

Вид учебного корпуса после монтажа купола церкви (2014 год)

Однако еще раз в истории здания был период, когда оно использовалось для других целей – в годы Великой Отечественной войны там, как и во многих других зданиях города, размещался госпиталь. На здании установлена памятная доска с надписью: «В этом здании в период Великой Отечественной войны 1941–1945 годов размещался госпиталь № 1706 для раненых воинов Советской[40] Армии».

Госпиталь № 1706 работал с 3 июля 1941 по 1 июня 1944 года, причем размещался в двух зданиях: 2-м корпусе Горного института и в общежитии парткурсов (просп. Ленина, 42, ныне на месте этого здания построена гостиница «Евразия»). Профиль госпиталя: общехирургический, глазной, полостной, ортопедический. Вместимость – от 600 до 1500 коек. Начальники: А. И. Гарунов, Я. В. Кауфман. Известно, что особо тяжелых больных в этом госпитале было мало, за 4 года его работы число умерших – 26 человек.

Сейчас это 2-й учебный корпус УГГУ, где размещаются Институт дополнительного профессионального образования (ИДПО), Управление международной деятельности (УМД), а также горно-технологический факультет (ГТФ), считающийся ровесником вуза, и факультет гражданской защиты (ФГЗ).

Помимо уже упомянутой памятной таблички о госпитале времен Великой Отечественной войны, на здании установлена еще одна мемориальная доска – герою Советского Союза В. М. Крутошинскому[41].

Осталось рассказать о церкви, которая была внутри здания. Это был ***храм Екатерины Великомученицы***, имевший статус придомового. Любопытно, что эта церковь, освященная в январе 1917 года, оказалась последним открывшимся храмом в дореволюционном Екатеринбурге. Когда в 1920 году здание передали университету, то иконостас убрали, а бывшее церковное помещение расчленили перегородками на кабинеты и аудитории, а росписи забелили известкой. Сам купол сгорел в 1925 году – тогда его заменили полусферическим. В 2003 году в этом помещении проходил ремонт, и рабочие за слоями известки обнаружили росписи. В 2014 году, к столетию со дня основания Горного института, купол церкви был восстановлен на средства УГГУ.

3-й учебный корпус УГГУ. Адрес: ул. Хохрякова, 85/ул. Куйбышева, 39

Этот учебный корпус представляет собой комплекс, состоящий из трех зданий: собственно учебного корпуса, расположенного на ул. Хохрякова, 85, а также храма Святителя Николая Чудотворца при УГГУ и Уральского геологического музея (Куйбышева, 39). Корпуса соединены между собой внутренними переходами. Исторически самое старое здание – это храм, затем было построено здание музея и в последнюю очередь – учебный корпус, поэтому и рассказывать о них мы будем именно в этой последовательности.

Храм Святителя Николая Чудотворца при УГГУ и кафедра теологии. Это реконструированное здание в дореволюционном Екатеринбурге было известно как Никольская церковь при Нуровском приюте, который в советское время был снесен.

Нуровский приют, который также часто называют приютом купца М. А. Нурова, – это был комплекс зданий, занимавший примерно ту же территорию, что сейчас занимает комплекс 3-го корпуса УГГУ.

Михаил Ананьевич Нуров, несмотря на то что официально имел гражданский чин коллежского советника, действительно был купцом 1-й гильдии. Нуровы были известными сальниками, то есть занимались салотопенным производством – сало использовалось для производства свеч, мыла, для нужд аптек и суконных фабрик. Этим бизнесом он, рано потерявший родителей, начал управлять уже в 17 лет. В Екатеринбурге Нуров был не только известным купцом-меценатом, но и дважды избирался в качестве городского головы, был почетным гражданином города. Его именем называли не только приют, для которого он купил помещение и содержал за свой счет, но и сквер на ул. Пушкинской (ныне это ул. Пушкина, а сквер не сохранился – на его месте стоит Главпочтамт). Любопытно, что при этом человек он был весьма тщеславный, за что однажды поплатился: В. И. Немирович-Данченко, известный в то время не только как драматург, но и весьма язвительный журналист, будучи проездом в Екатеринбурге, высмеял в своей статье его дом на улице Архиерейской

[40] Правильнее было бы написать "Красной Армии" (Советской Армией она стала называться с 1946 года), но так написано на табличке.
[41] «Здесь учился с 1935 г. по 1941 г. Герой Советского Союза Крутошинский Андрей Михайлович (5. I. 1918–9. IX. 1944), отдавший жизнь за Родину в борьбе с фашизмом в годы Великой Отечественной войны».

Нуровский приют (начало XX века)

Вид на Никольскую церковь при Нуровском приюте (начало XX века)

(дом не сохранился, а улица сейчас носит имя Чапаева), ворота которого были украшены персидским орденом Льва и Солнца. Нуров действительно имел такой орден, вот только было известно, что он просто купил его за деньги.

Здание для приюта на углу ул. Тихвинской (ныне ул. Хохрякова) и Сибирского проспекта (ныне ул. Куйбышева) было куплено на пожертвованные Нуровым 15 000 рублей. Приют был открыт «с соизволения императрицы Марии Александровны» 23 апреля 1857 года и по предложению Горного начальника Уральских заводов В. А. Глинки его официально назвали «Нуровским». Это было двухэтажное здание, способное вместить 65 детей. Дети там не только жили, но и обучались – Закону Божьему, священной истории, чтению, письму, арифметике. Также детям давали навыки ведения домашнего хозяйства: дети здесь обрабатывали огород и ухаживали за небольшим садом. В 1867 году при приюте открылась «ночлежка» – ночлежное отделение для сирот и детей беднейших родителей.

В 1870 году, опять же по инициативе Нурова, при приюте был открыт ремесленный класс, где детей, по преимуществу девочек, стали обучать рукоделию: шитью, вышиванию, плетению, вязанию, а для мальчиков был приглашен мастер обучения башмачному и сапожному ремеслу. Лучшие детские работы в 1899 году представлялись на выставке в столице. А в 1901 году приют получил еще и 16,7 десятин земли в Березовской горнозаводской даче, где детей обучали полевым работам, а также куроводству, птицеводству и молочному хозяйству. Таким образом, по окончании приюта каждый из его воспитанников имел хорошую профессию. Принимались туда дети «обоего пола» и всех сословий. Мальчики могли там жить до 12 лет, девочки – «до более зрелого возраста». Денег за содержание и учение с сирот не взималось, однако родители могли устроить детям «пансион» за плату 48 рублей в год, либо отправить туда ребенка учиться без проживания – за 20 рублей в год[42].

Самый известный из директоров Нуровского приюта – А. А. Мислявский – врач, имя которого носит сейчас 2-я городская больница Верх-Исетского района Екатеринбурга. Мислявский, занимавший должность директора до 1907 года, открыл при приюте небольшую больницу. После смерти Нурова (в 1880 году) приют состоял в ведении екатеринбургского горного попечительства.

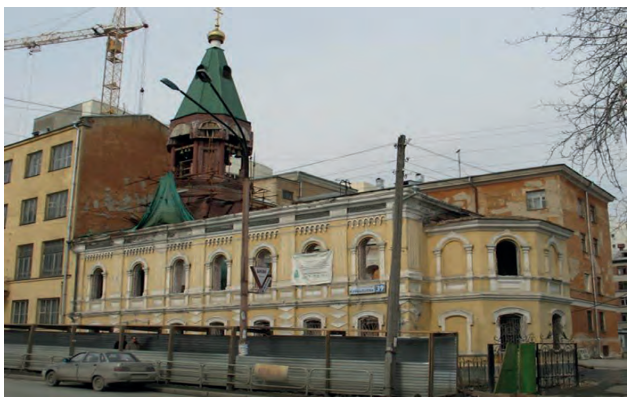
Однако чтобы не складывалось впечатление, что все в этом приюте было благостно и идеально, приведем воспоминания о нем П. П. Бажова:

«Из зданий, выходивших на Щепную площадь, заметил тогда лишь Нуровский приют, двухэтажное каменное здание на том месте, где ныне выстроено здание геологического музея. При доме, как водилось для учреждений такого порядка, была домовая церковушка. Было бы где призреваемым помолиться за «благодетеля». Мне потом случалось много раз проходить мимо приюта приблизительно в одни и те же часы, и я неизменно слышал одну и ту же песенку:

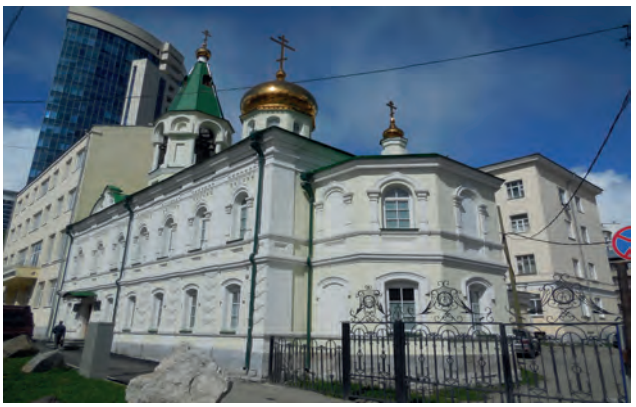
Клубок катится,
нитка тянется...
Клубок дале, дале,
нитка доле, доле...

Через окно было видно: в большой комнате сидит человек сорок девочек в платьишках серо-грязного цвета, ковыряются над большими полосами белой материи и без конца тянут свою тоскливую песенку. Это запомнилось на всю жизнь, как самое унылое. И хотя я тогда был еще в поре мальчишеского презрения к девчонкам, этих нуровских приюток мне было жаль».

Никольская церковь при Нуровском приюте (официальное название – церковь во имя Святителя Николая Чудотворца, также в документах встречается ее наименование как градо-Екатеринбургской Николаевской) была построена позже, когда приют начал расширяться (по сути, это был пристрой к основному зданию), она была освящена 3 февраля 1877 года. По статусу это была так называемая «домовая церковь», поэтому помещение использовалось не только для служб: «в пристроенном к зданию каменном двухэтажном флигеле в нижнем этаже отделение для пансионеров, верх занят церковью, устроенной иждивением учредителя».



Восстановление храма (начало XXI века)



Современный вид на храм Святителя Николая Чудотворца при УГГУ. Фото автора.

[42] Уральский край. 1907. 29 апреля.

При церкви служили священник, дьякон и церковный староста, а также в ее штате были сторож, звонарь и караульный. Известно, что в июне 1902 года в этой церкви были подняты новые кресты.

После установления в Екатеринбурге Советской власти приют продолжал работать. В январе 1920 года его в числе десяти других екатеринбургских детских приютов переименовали – он начал называться Дом Свободы[43]. Тогда же закрыли Никольскую церковь и сняли с нее колокола. А в январе 1924 года все городские детские дома «в целях разгрузки и освобождения жилой площади города были переведены в Ирбит[44]».

Жилая площадь, освобожденная от сирот, была передана Уральскому отделению Геологического Комитета. В советское время там был проектный маркшейдерский институт, и лишь потом здание перешло Свердловскому горному институту (там располагалась бухгалтерия).

В 2003 году в УГГУ было принято решение восстановить здание церкви, первоначальное название которой было Свято-Николаевская церковь – Храм горняков России. В 2006 году состоялось освящение колоколов этого храма, в 2009 году было завершено его внешнее убранство, а в 2010 году там крестилась первая группа студентов. Официальное завершение реконструкции, согласно табличке[45] на здании, произошло в 2011 году. Сейчас здание, как когда-то и в Нуровском приюте, имеет двойное назначение: в нем работает действующий храм Святителя Николая Чудворца при УГГУ (официальное название – приход во имя святого Николая Мир Ликийских (Николая Мирликийского) Чудотворца, относящийся к Екатеринбургской Епархии Русской Православной Церкви), у которого даже есть собственный сайт[46], а также кафедра теологии УГГУ, где проходят учебные занятия студентов.

Уральский геологический музей начинался с временной научно-производственной геологической выставки, которую после начала работы решено было сделать постоянной. Дата открытия этой выставки – 2 августа 1937 года – считается днем открытия Уральского геологического музея. К 80-летию этого музея, которое празднуется в 2017 году, ему посвящены отдельные публикации, поэтому здесь о нем мы расскажем коротко. И начнем с рассказа об Уральском отделении геологического комитета, так как здание будущего музея строилось для этого комитета.

Уральское отделение геологического комитета. Геологический комитет (Геолком) был образован еще в Российской империи – в 1882 году указом императора Александра III и располагался в Петербурге. После революции, в марте 1918 года, он был передан в ведение Высшего Совета Народного Хозяйства (ВСНХ), а в 1923 году были созданы шесть отделений этого комитета, в том числе Уральское.

На какой базе создавалось Уральское отделение? До революции на Урале существовало Уральское Горное Управление, но должность геолога в его штате появилась лишь в 1904 году. Ситуация осложнялась тем, что каждый частный округ Урала был чьей-то вотчиной, геологическое исследование которой зависело от воли (и финансов) владельцев этой вотчины, а результаты картирования зачастую могли быть либо фальсифицированы (для спекулятивных целей), либо быть засекреченными. В итоге Урал оставался очень слабо картированным, т. е. на государственном уровне картирование началось уже только при Советской власти.

В 1920 году был создан Уральский геологический комитет[47]. А в 1923 году на базе комитета Уральского отделения Центрального управления промышленных разведок (ЦУПР) организуется бюро геологического комитета, которое вскоре переименовали в Уральское отделение геологического комитета.

Начало работы Уральского отделения Геолкома было трудным. По свидетельству технического руководителя Уралгортреста П. А. Гирбасова[48], «примерно с 1923 года на Урале было создано неработоспособное Уральское отделение Геолкома. Работа тормозилась отсутствием кадров». Однако к 1925–1926 годам начинается «новая эра в деле геологического картирования Урала. Все геологические съемки Урала были подчинены единому плану картирования в масштабе 1:200 000[49]».

В 1930 году управление преобразовывается в Уральский геологический трест (Уралгеотрест), в 1931 году – в Уральское геологическое управление. Ныне это Региональное агентство по недропользованию по УрФО (Уралнедра).

Как мы уже упоминали, когда в 1924 году детский приют под названием Дом Свободы был переведен в Ирбит, комплекс зданий этого приюта достался Уральскому отделению Геологического комитета. Штаты этого отделения быстро росли, и к октябрю 1928 года встал вопрос о строительстве нового здания. К 1930 году для этого комитета (уже носившего название Уралгеотрест) было построено на месте снесенного приюта новое здание – четырехэтажный куб с балконом полезной площадью 1500 м^2, рядом с которым осталось здание бывшей приютской церкви. Однако в конце 1936 года геологи (уже Уральское геологическое управление) переехали в новое здание на углу улиц Вайнера и Куйбышева (Куйбышева,

Бывшее здание Геолкома, предоставленное для проведения научно-производственной геологической выставки (1937 год)

Делегаты Международного геологического конгресса после посещения выставки (1937 год, фото сделано во дворе здания)

[43] Уральский рабочий. 1920. 29 января.
[44] Уральский рабочий. 1924. 3 января.
[45] Текст памятной таблички: «Памятник архитектуры XIX века. Приют купца Нурова М. А. Восстановлен в 2011 году силами более 3,5 тысяч студентов, выпускников и друзей Горного университета».
[46] URL: http://nikolahram.com
[47] Подробнее об этом см. От Уральского горного комитета – к Региональному агентству по недропользованию по Уральскому федеральному округу (1920–2005). Екатеринбург. Уралнедра, 2005.
[48] Петр Афанасьевич Гирбасов в марте 1930 года был арестован по делу Уральского инженерного центра Промпартии. Умер в 1940 году в заключении. Сохранились протоколы его допросов, выдержки из которых здесь используются.
[49] Филатов В. В. История создания Уральского геологического музея. Екатеринбург, 1998. С. 8.

55), и здание было передано на баланс института «Уралгеомин». Как раз в это время оно было выбрано для проведения научно-производственной геологической выставки.

Научно-производственная геологическая выставка. Эта выставка, положившая начало Уральскому геологическому музею, своему созданию обязана Международному геологическому конгрессу, XVII сессия которого в 1937 году проходила в Москве.

Этот конгресс с 1878 года проходит в разных странах, причем Россия этой чести удостоилась лишь однажды – в 1897 году. Поэтому, когда в 1934 году на XVI сессии, которая проходила в Вашингтоне, советской делегации удалось договориться о проведении следующего форума в столице СССР, его подготовка стала вопросом международного престижа страны. В оргкомитете по проведению конгресса, который начал работать уже в 1934 году, для гостей запланировали геологические экскурсии по всей стране, из которых три (а в итоге даже четыре) должны были пройти по Уралу: одна до сессии и три после нее. А геологическая выставка в Свердловске, по замыслу организаторов, должна была стать ключевым пунктом этих экскурсий.

Организовать в Свердловске геологическую выставку поручили Уральскому Дому Техники[50], поэтому председателем оргкомитета выставки стал директор Дома Техники Ф. П. Барсуков, а потом сменивший его на этой должности П. И. Грамолин.

В нашу задачу не входит подробное описание подготовки этой выставки, поэтому упомянем лишь, что в ней участвовали многие геологи, в том числе известные и за пределами Урала. Стоит упомянуть, что выставка создавалась в очень трудное и страшное время, когда в стране шла полным ходом борьба с «врагами народа». Нашлись такие и среди организаторов выставки: это, собственно, председатель оргкомитета Ф. П. Барсуков[51], геологи Б. В. Дидковский[52] и Н. А. Ушаков[53], также в период подготовки выставки был арестован директор Горного института И. П. Скороделов[54]. К слову, в тот же период – в мае 1937 года был арестован первый секретарь Свердловского обкома ВКП(б) И. Д. Кабаков[55].

Конечно, принимали активное участие в проведении выставки и преподаватели Горного института: например, общегеологическим отделом выставки занимался М. О. Клер[56], а минералогическим – К. К. Матвеев. Оба уже упоминались нами, однако здесь снова хочется особо отметить Константина Константиновича Матвеева, который, как и в начале 1920-х годов, когда боролся за независимость Горного, снова проявил характер и недюжинную смелость. Он согласился включить в число экспонатов выставки коллекции учебно-научного музея Горного института (многие из которых собирал лично) только в том случае, если будут предоставлены гарантии их возврата в Горный после проведения выставки. И ему удалось настоять на своем.

Также стоит упомянуть, что для будущего музея очень много сделал известный уральский знаток камня и коллекционер А. В. Калугин.

Несмотря на все трудности, выставка открылась в срок, и ее по достоинству оценили и отечественные геологи, и коллеги из Франции, США, Китая, Англии, Италии, Индии и др. Сохранились, к примеру, такие отзывы о ней: «Выставка является памятником способностям уральских геологов» (шотландский вулканолог Г. Тиррель); «Бесспорно, стоило приехать сюда за тысячи миль из Америки, чтобы иметь возможность взглянуть на изумительные уральские аметисты» (американский профессор А. Гометц).

Не в последнюю очередь благодаря настойчивости К. К. Матвеева, не желавшего, чтобы институт расставался со своими коллекциями, в январе 1938 года выставка, до этого бывшая на балансе Дома Техники, решением Наркомтяжпрома была передана Горному институту. А уже в феврале приказом директора института «бывшая геологическая выставка» была преобразована в геологическую лабораторию – нынешний Уральский геологический музей.

Уральский геологический музей вскоре стал обязательным местом посещения всех знаменитых гостей Свердловска. Например, здесь был лидер Китая Мао Цзэдун, премьер-министры Индии Джавахарлал Неру и Индира Ганди, руководитель Вьетнама Хо Ши Мин и другие гости города.

Сегодня Уральский геологический музей считается одним из лучших региональных[57] музеев мира. В нем насчитывается более 40 000 экспонатов.

Уральский геологический музей (фото 1980-х годов)

Современный вид здания Уральского геологического музея. Фото автора.

[50] Уральский Дом Техники – пропагандистско-просветительское учреждение, организованное приказом Наркомтяжпрома Г. К. Орджоникидзе в 1935 г. Располагался в Свердловске в еще строящемся Доме Промышленности (ныне – здание «НПО автоматики», ул. Мамина-Сибиряка, 145).

[51] Арест Федора Павловича Барсукова имел непосредственное отношение к выставке: его обвинили в срыве сроков ее подготовки и многочисленных ошибках.

[52] Борис Владимирович Дидковский в 1920 году возглавлял Уральский геологический комитет, был председателем Уралразведки, Уралплана, управляющим Уральским геологическим трестом. Также известен как второй по счету ректор Уралуниверситета. О том, насколько высоко ценился этот человек до ареста, говорит тот факт, что он с семьей жил во Втором доме Советов (он же Дом чекиста) – единственном на тот момент 11-этажном небоскребе Свердловска, построенном для элиты. Его жену М. Н. Букину, которая работала геологом, на работу возила персональная пролетка.

[53] Николай Александрович Ушаков был арестован как бывший член партии эсеров, умер в лагере.

[54] Илья Петрович Скороделов был арестован по обвинению в контрреволюционной троцкистской деятельности, расстрелян.

[55] Иван Дмитриевич Кабаков – один из самых заметных руководителей области. Был арестован и расстрелян не только он, но и его жена, работавшая в партийной прессе. Позже Б. Н. Ельцин по стилю руководства во многом брал с него пример. Ельцин с 1972 по 1977 год даже жил в той же квартире Второго дома Советов, что и когда-то Кабаков, пока не переехал в новый дом для элиты на Набережной Рабочей молодежи, 1. Любопытно, что начиная с 1977 года, когда Второй дом Советов перестал считаться номенклатурным, в него начали активно селить ученых. Там, например, жил, будучи еще молодым кандидатом наук, будущий ректор УГГУ Н. П. Косарев (Ист.: Погодин С. История, тайны и легенды «Дома чекиста». Екатеринбург: БКИ, 2016. С. 403).

[56] О Модесте Онисимовиче Клере мы уже упоминали, а более подробный рассказ о нем будет позднее.

[57] Региональный – значит представляющий каменный материал одного региона, в данном случае – Урала.

Учебный корпус по ул. Хохрякова, 85. Это здание, в свою очередь, можно разделить на два: «сталинской постройки» (часть 3-го учебного корпуса по ул. Хохрякова с балконом по первому этажу) и «хрущевской постройки» (продолжение этого корпуса, построенное из кирпича). Если присмотреться, они отличаются визуально.

В 1936 году, когда шла подготовка к проведению геологической выставки, «четырехэтажная коробка» по ул. Куйбышева, 39 уже была полностью достроена, а вот здание по ул. Хохрякова только начинало строиться: изначально, как «Геолком II очереди» (причем в планах было еще и строительство III очереди). После того как здание для проведения выставки передали на баланс Дому Техники, его директор Ф. П. Барсуков планировал достроить II и III очереди, однако из Москвы пришла резолюция зам. наркома тяжелой промышленности А. П. Завенягина о том, что «выставку строить не надо». И несмотря на то, что строительство было остановлено внутренним распоряжением Барсукова, после его ареста одно из обвинений было как раз в том, что он вместо организации выставки в уже действующем здании расходовал средства на строительство нового корпуса.

II очередь – то есть корпус по Хохрякова, 85, достраивался уже в ведении Горного института. Причем до войны строительство завершить не успели, и достраивался он уже только в 1947–1948 годах.

III очередь была достроена лишь в 1967 году, причем здание называлось уже «пристройкой к учебному зданию № 3» площадью 6000 м^2. В сборнике «50 лет Свердловскому горному институту» есть черно-белая фотография[58], где на фоне строительства «второй пристройки» запечатлены проф. Г. И. Вилесов, ректор института Г. П. Саковцев, академик Н. В. Мельников, проф. С. И. Федоров и проректор А. Т. Кмитовенко.

Незначительные перестройки были в здании и в более позднее время[59].

Традиционно сложилось, что в 3-м учебном корпусе, в шаговой доступности к коллекциям Уральского геологического музея, обучаются будущие геологи и геофизики (современный факультет геологии и геофизики – ФГиГ).

Осталось рассказать, пожалуй, об одной достопримечательности, связанной с этим зданием, – ***огромной жеоде лимонита***, расположенной у входа в здание, которая является самым заметным экспонатом открытой Геологической аллеи, состоящей из множества образцов горных пород.

В начале 1930-х годов К. К. Матвеев съездил в командировку в Париж, где поработал в минералогической лаборатории музея естественной истории. Расположенное на территории Ботанического сада, здание этого музея всегда легко можно было найти, благодаря громадному кристаллу мориона у входа. Еще тогда у Матвеева родилась мысль: наш минералогический музей тоже должен начинаться прямо на улице.

Эту идею удалось воплотить в жизнь благодаря еще одному члену оргкомитета геологической выставки – известному уральскому горщику Г. Г. Китаеву. Григорий Григорьевич увидел эту жеоду у здания конторы на Бакальском руднике и загорелся идеей перевезти ее в Свердловск.

Уникальную по своим размерам жеоду обнаружили на Бакальском месторождении еще в 1905–1907 годах[60], и как-то накануне одного из престольных праздников рабочие за ведро водки притащили «каменюку» к зданию конторы, где она и стала местной достопримечательностью. Теперь решено было к открытию выставки привезти ее к зданию будущего музея.

Зимой 1936 года за это дело взялся сам Китаев. Сделал сани из двух бревен, но когда на них навалили жеоду, бревна лопнули. Пришлось делать другие, окованные, а под жеоду делать новый подкоп, что, кстати, было достаточно опасно: сотрудники НКВД, наблюдавшие за погрузкой, предпочли отойти, чтобы не отвечать, если про-

II очередь 3-го корпуса Свердловского горного института (фото начала 1960-х годов)

Современный вид II очереди 3-го корпуса УГГУ. Фото автора.

Строительство III очереди 3-го корпуса Свердловского горного института (1967 год)

Современный вид III очереди 3-го корпуса УГГУ. Фото автора

Жеода лимонита у входа в здание. 1958 год

[58] Бобылева Д. А. и др. 50 лет Свердловскому горному институту. М.: Недра, 1967. С. 19.
[59] Например, была переделана входная группа в крыле, где сейчас находится редакция журнала «Известия УГГУ».
[60] Наука и жизнь. 2015. № 11. С. 128–131.

Общий вид на 3-й корпус СГИ (1970-е годы)

Современный общий вид на 3-й корпус УГГУ. Фото автора.

Современный вид жеоды лимонита. Фото автора.

изойдет несчастный случай. До станции Бакал жеоду тянули трактором, а потом всей станцией, включая начальника, грузили ее на платформу вместе с санями. Заодно и взвесили – получилось 9700 кг.

В Свердловске сани с жеодой пытались сдвинуть с места с помощью трех владимирских лошадей-тяжеловозов, но они не справились, пришлось их усилить пятитонным грузовиком – только такой вот колонной удалось довезти жеоду до здания выставки, где ее и установили – во дворе. И конечно, она вызвала интерес гостей выставки: все хотели фотографироваться на ее фоне. На нынешнее место – к входу в 3-й учебный корпус – ее перенесли уже позже. Фотографироваться у этой жеоды принято до сих пор.

4-й учебный корпус УГГУ. Адрес: пер. Университетский, 7

2-й и 4-й учебные корпуса УГГУ стоят сегодня бок о бок и соединены внутренним переходом. Поначалу вызывает невольное удивление странная нумерация: почему рядом «двойка» и «четверка», а «единица» и «тройка» – через квартал. Причина проста: четвертый корпус строился самым последним, когда номера других корпусов уже давно стали как бы неотъемлемой частью их истории. Поэтому ничего переименовывать не стали, просто рядом со 2-м корпусом вырос 4-й. Однако история этого корпуса начинается несколько раньше времени его постройки.

Дом дедушки Мо. На месте, где сейчас находится 2-й корпус УГГУ, еще в середине XX века стоял бывший купеческий бревенчатый двухэтажный дом. Он тесно связан с историей Горного, потому что в нем жил Модест Онисимович Клер, которого в старости все ученики называли «дедушкой Мо».

О Модесте Онисимовиче мы уже упоминали, когда рассказывали о первом ректоре Горного института П. П. фон Веймарне: вместе с ним М. О. Клер в 1919 году уехал во Владивосток, а позже стал единственным из профессоров, который, вернувшись, всю жизнь проработал в Горном. Теперь пришло время рассказать о нем подробнее.

Начать нужно с того, что отец М. О. Клера – Онисим Петрович Клер – личность для Екатеринбурга легендарная. Подданный Швейцарии (из кантона Берн), он закончил Невшательскую промышленную школу и в 18 лет приехал в Россию, а еще через 4 года – в Екатеринбург, где начал преподавать французский язык. Здесь он стал инициатором создания УОЛЕ – знаменитого Уральского общества любителей естествознания.

Сын Онисима Петровича, который, кстати, как и отец являлся швейцарским подданным, поехал на свою родину, чтобы окончить Невшательскую академию (в 1901 году) и защитить в Женеве докторскую диссертацию по палеонтологии (в 1903 году). Четыре года он работал в геологическом и палеонтологическом отделах музея природы Женевы. Но после все-таки вернулся в Россию, преподавал в Киеве, а потом переехал на Урал, где продолжал жить его отец. В Екатеринбурге он с 1911 года стал хранителем музея УОЛЕ и с удовольствием по просьбе Веймарна включился в проект создания Уральского горного института, став одним из его профессоров.

В июле 1919 года Клер-старший и Клер-младший виделись в последний раз: Модест уехал во Владивосток, а старый Онисим Петрович остался в Екатеринбурге и вскоре – в январе 1920 года – умер. А сын вместо того чтобы из Владивостока уехать на свою родину, в благополучную Швейцарию, вернулся в Екатеринбург, чтобы продолжить дело отца: вернувшись, он возглавил здесь УОЛЕ и продолжал преподавать. В 1923 году его арестовали. Процесс был громким – его обвиняли в контрреволюционных высказываниях и шпионаже в пользу Швейцарии. Зато защищать его приехали адвокаты из Москвы. Для обвинений основания, кстати говоря, были по тем временам серьезными: общаясь с коллегами-геологами из швейцарской компании «Эндюсриэль де платин», владевшей в то время платиновыми рудниками на Урале, он спокойно обсуждал разруху на советских рудниках, да и геологическими изысканиями делился именно так, как это принято с коллегами. Несмотря на адвокатов, он получил «высшую меру» – расстрел. Однако за Клера заступились многие ученые, в том числе академик Ферсман, и его приговорили всего к пяти годам «поражения в правах» и двумя годами работ в школах ликвидации неграмотности при домах заключения: просто сказка по тем временам. В эти годы он, кстати говоря, ликвидировал неграмотность заключенных, не выезжая из Екатеринбурга – в нынешнем СИЗО-1.

Спустя пять лет Клер стал «рецидивистом» – снова попав под каток правосудия, на этот раз «по делу Промпартии». И опять отделается лишь лишением швейцарского гражданства без права выезжать из Свердловска. В этот период он и поселился в своем бревенчатом доме, где проживет до конца жизни.

Вид на 4-й корпус СГИ с ул. Народной Воли (1980-е годы)

Современный вид 4-го корпуса УГГУ. Фото автора.

Строительство перехода из 2-го в 4-е здание СГИ (1980 год)

Современный вид перехода из 2-го в 4-е здание УГГУ. Фото автора.

Всю жизнь М. О. Клер проработал в Горном институте, а будучи уже на пенсии стал много внимания уделять школьникам. Его дом, полный бесчисленных книг, коллекций камней и странных экспонатов (чего стоил один лишь желтый зуб доисторической акулы!) стал своеобразной Меккой для целых поколений школьников и студентов Горного, с которыми он проводил занятия и геологические экскурсии.

Умер Модест Онисимович в 1966 году. А его прозвище – «дедушка Мо» – настолько срослось с ним, что на его могиле написано: Клер Модест Онисимович (дедушка Мо). Сходите как-нибудь на Широкореченское кладбище и убедитесь сами.

Учебный корпус 4-го здания – это уже «брежневская постройка». Он строился в 1970-х годах, когда ректором Горного института был Глеб Павлович Саковцев (тот самый, при котором достраивалось и 3-е здание). Объект был сдан в 1980-м – в год московской олимпиады.

4-й корпус был долгожданным подарком для всех сотрудников и студентов Свердловского горного института, потому что в этом здании было спроектировано специальное помещение для библиотеки, которая переехала туда из 1-го корпуса, а также большой актовый зал, где можно было проводить массовые мероприятия. Сейчас там работает студенческий культурный центр. Также в 4-м здании расположены факультет мировой экономики и бизнеса УГГУ и инженерно-экономический факультет (ИЭФ).

Окончание читайте в следующем номере.

Александр Георгиевич Шорин,
sandy_blood@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Информация

25 мая в Екатеринбурге состоялось интересное мероприятие в рамках «Дискуссионного клуба «Шелл», организованное концерном «Шелл» к 125-летию начала своей работы в России.

На мероприятие были приглашены представители горнодобывающих и металлургических предприятий, производители оборудования из различных регионов России, а также Белоруссии. Это ПАО «Челябинский трубопрокатный завод», ГК «Петропавловск», «Трубная металлургическая компания», компания «ЕВРАЗ», компания «Кузбассразрезуголь», ХК «СДС-Уголь», холдинг «Металлоинвест», производители оборудования «Урамашзавод», «БелАЗ», «GRACO», «Bosh Rexroth».

Доклады и обсуждения велись по двум секциям – горнодобывающей и металлургической, причем проводить горнодобывающую секцию был приглашен проректор УГГУ по учебно-методическому комплексу Н. Б. Носырев.

В ключевом докладе, который читал руководитель отдела технической поддержки компании «Шелл» в России Андрей Кудимов, говорилось о том, что сейчас мировая индустрия переживает 4-й этап своего развития: 1-й начался в 1784 году с изобретением паровых машин; 2-й – в 1870-м, когда началась электрификация производства и появился конвейер; 3-й – в 1969-м году, когда началось внедрение в производство автоматики, автоматизации и применение компьютеров; 4-й этап, который начинается сейчас, связан с информационными сетями, кибер-физическими системами, обменом информацией; уже создаются первые в мире серийные экскаваторы с интегрированным искусственным интеллектом.

Специалистам горнодобывающей и промышленной сферы наверняка также будет интересно узнать, каким образом можно снизить затраты при эксплуатации современной техники с помощью правильного использования моторных масел.

Более подробная информация об этом мероприятии – на сайте корпорации «Шелл»: www.shell-distributions.ru

Подготовил А. Шорин

Уважаемые авторы!

Журнал «Известия УГГУ» публикует результаты научных исследований российских и зарубежных авторов на русском или английском языках.

К публикации принимаются статьи, снабженные следующими необходимыми компонентами.

1. Текст статьи на русском или английском языке (либо двуязычный) в электронном виде. Статьи принимаются на электронную почту редакции: **iuggu-journal@yandex.ru.** Не допускается направление в редакцию статей, уже публиковавшихся или посланных на публикацию в другие журналы. Необходимо указывать номер УДК.

2. Список литературы на русском и английском языках. Ссылки на источники должны идти в тексте по порядку – 1, 2, 3. В тексте ссылки заключаются в квадратные скобки. Количество ссылок в тексте должно соответствовать количеству источников литературы в списке. Упоминания ГОСТ, СНиП, правил безопасности, нормативных, законодательных и других документов рекомендуется приводить в тексте статьи, не вынося в список литературы. Обязательно отражение в статье мирового опыта по рассматриваемому вопросу, список литературы должен содержать современные зарубежные статьи (не ранее 2010 года издания). Самоцитирование не приветствуется, список литературы должен содержать не более 2–3 собственных работ автора. Наличие в списке литературы учебных пособий не допускается.

3. Аннотация и ключевые слова. Объем аннотации должен составлять 200–250 слов. По аннотации читатель должен определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации. Стоит воздержаться от второстепенной информации и выражать мысли возможно более лаконично.

В аннотации должны быть отражены: предмет, тема, цель работы; метод или методология проведения работы; результаты работы и область их применения; выводы. Перевод аннотации, ключевых слов и списка литературы на английский язык осуществляется авторами, только если они уверены в качестве перевода, если же нет – перевод осуществляется редакцией. Перевод с помощью электронных переводчиков не рекомендуется.

4. Сведения об авторах. Необходимо указать на русском и английском языках ФИО, должность, ученую степень и звание, место работы (учебы) с указанием полного почтового адреса, контактный e-mail, контактный телефон.

5. Рекомендация кафедры, или члена редколлегии, или редактора по разделу (в случае, если автор не имеет ученой степени).

6. Экспертное заключение о возможности опубликования. В сканированном или распечатанном виде.

7. Согласие на обработку персональных данных. Можно как прислать в сканированном виде, так и принести в редакцию. Бланк можно взять в редакции.

Статью необходимо по возможности структурировать (разбивать на отдельные разделы) для более удобного восприятия материала. Объем статьи вместе с иллюстрациями не должен превышать 10 стр.

Плата за публикацию с авторов научно-технических статей, включая аспирантов, в порядке общей очереди не взимается.

Оформление статей

1. Редактор Microsoft Word, гарнитура Times New Roman. Поля документа: левое 3 см, остальные – 2,5 см. Кегль 11, одинарный интервал. Абзацный отступ 0,63. Страницы нумеруются. Не допускаются пробелы между абзацами.

2. В тексте допускаются только общепринятые сокращения слов. Все сокращения в тексте, рисунках, таблицах должны быть расшифрованы.

3. Формулы должны быть набраны в редакторе Microsoft Equation и пронумерованы, если в тексте имеются ссылки на них. При наборе формул и текста латинские буквы выделяют курсивом, а русские, греческие и цифры – прямым шрифтом. Кегль шрифта в формулах должен совпадать с кеглем шрифта основного текста. Тригонометрические знаки (sin, cos, tg, arcsin и т. д.), знаки гиперболических функций (sh, ch, th, cth и т. д.), обозначения химических элементов (Al, Cu, Na и т. д.), некоторые математические термины (lim, In, arg, grad, const и т. д.), числа или критерии (Re – Рейнольдса и т. д.), названия температурных шкал (°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 7 кеглем, основной текст в таблице – 7 кеглем, шапка таблицы – 7 кеглем. Гарнитура текста в рисунках и таблицах – Arial, кегль 7.

Все статьи подлежат рецензированию, мнение рецензента всегда доводится до сведения автора.

Примеры оформления библиографического списка

Монографии

Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. 280 с.

Статьи в периодических изданиях

Абатурова И. В., Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия месторождений Урала в скальных массивах // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 6. С. 160–168.

Авторефераты, диссертации

Овечкина О. Н. Оценка и прогноз изменения состояния геологической среды при техногенном воздействии зданий высотной конструкции в пределах города Екатеринбурга: автореф. … дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2013. 24 с.

Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем: дис. … канд. техн. наук. М.: МИФИ, 2007. 170 с.

Зарубежные исследования

Hudson J. A. The Scattering of Elastic Waves by Granular Media // Quart Journal Mech. and Applies Math. 1968. Vol. XXI. Pt. 4. pp. 487–502.

Rudd K. Paris Can›t Be Another Copenhagen. New York Times. Retrieved 26 May 2015.

Сетевые источники

Памятка для авторов

Научный журнал не может (и не должен) развиваться только силами редакции. Поэтому, предъявляя новые требования к себе, мы предъявляем их и к авторам, которые хотят публиковаться в нашем журнале.

Требования к оформлению высылаемых рукописей мы публикуем на нашем сайте, а также на последней странице каждого нового выпуска. Здесь мы не будем повторять все это, лишь расскажем о нововведениях, которые нам представляются наиболее важными.

Аннотация. Как на русском, так и на английском языках аннотации сейчас принимаются только расширенные – не менее 200 слов. Делается это для того, чтобы читатель (в том числе иностранный) мог в считанные минуты понять, о чем данная статья и представляет ли она для него интерес.

Список литературы. К сожалению, публикации в советских журналах традиционно отличались от иностранных меньшим числом источников. Кроме того, отечественные ученые зачастую не утруждают себя изучением иностранных публикаций на интересующую тему. Также часты использования в качестве источников различных учебников, методичек и пр. Все это значительно снижает уровень публикаций. Поэтому мы взяли за правило рекомендовать авторам расширять список литературы до 10–15 источников с обязательным использованием зарубежных публикаций. Исключения возможны, но они должны быть обоснованными.

DOI. Помимо ставшего уже привычным для авторов присваиваемого каждой статье номера УДК, начиная со второго номера нынешнего года (№ 2 (42), 2016) каждой статье в обязательном порядке присваивается номер DOI.

DOI (*англ.* Digital object identifier) – классификатор цифрового объекта для создания постоянных гиперссылок, которые позволяют сохранять информацию о конкретной статье в сети Интернет, даже если изменилась структура сайта, где эта статья изначально была сохранена.

Проще говоря, номер DOI позволяет научной статье гарантированно открываться и быть доступной для поиска в сети, что совершенно необходимо для того, чтобы статья могла цитироваться с помощью Интернета, не затрудняя авторов поисками ее в библиотеках и архивах – своего рода дань современным IT-технологиям.

Редакцией «Известий УГГУ» заключен договор с Некоммерческим партнерством «Национальный Электронно-Информационный консорциум» (НП НЭИКОН), которое предоставляет в России посреднические услуги по присвоению DOI от регистрационного агентства (DOI Registration Agency) CrossRef. Это самый современный центр регистрации Международной организации документации, основной задачей которого является организация доступа пользователей к первичным публикациям, содержащим научный контент, и содействие коллективной работе издателей по всему миру. Эту кооперативную справочную систему сейчас используют большинство научных журналов в мире.

DOI обязательно указывается при цитировании статьи. В журнале «Известия УГГУ» DOI сейчас присваивается каждой вновь вышедшей статье. Также номер DOI может быть присвоен любой из статей, которые ранее публиковались в нашем журнале – но уже не в обязательном порядке, а по желанию авторов. Для желающих достаточно сделать заявку в редакцию.

Качество перевода. Нас не устраивает перевод аннотаций (и уж тем более – статей) с помощью электронных переводчиков. Если вы не уверены в своем переводе, лучше обратитесь за помощью в редакцию. Лучше не предоставить никакого перевода, чем перевод низкого качества.

Качество рисунков. Рисунок должен оставаться качественным при увеличении. Не забывайте о том, что статья будет опубликована не только в бумажной, но и в электронной версии.

Качество текстов. При рассмотрении рукописи авторитет и заслуги автора статьи во внимание не принимаются – только качество присланного текста. Для этого введено двойное слепое рецензирование.

Слепое рецензирование. Два рецензента оценивают качество статьи, не зная, кто ее автор. В случае, если рецензент узнает автора, то рукопись автоматически передается другому рецензенту – из числа экспертов, сотрудничающих с журналом. Делается это для того, чтобы личные отношения не влияли на качество рецензии. Автор также не знает своего рецензента.

Помимо этого, правила публикации текстов предполагают их разнообразие. Поэтому **недопустима публикация двух статей одного автора в одном номере журнала.** То же правило распространяется и на соседние номера. Так мы поддерживаем разнообразие тем и авторов, исключая превращение журнала в издание, где постоянно публикуется десяток одних и тех же авторов. Исключение составляют статьи вне научных разделов, а также статьи, продолжающиеся из номера в номер. В качестве альтернативы публикации в нашем журнале мы можем предложить автору опубликоваться в другом журнале, с которым у нас заключен договор по обмену статьями.

Очередь. Сроки публикации зависят от количества (и качества) статей, предложенных редакции. Если статей много, они публикуются в порядке очередности, однако редакция оставляет за собой право печатать вне очереди те из них, которые считает наиболее значимыми.

Автор должен также подписать согласие на использование редакцией журнала "Известия УГГУ" его персональных данных.

Ответственный секретарь Шорин А. Г.
Перевод Шиварёва Е. П.
Редакторы Шорина Э. В., Безруких А. П.
Верстка и корректура Пихтовниковой О. Г.

Подписано в печать 22.06.2017. Формат 60 × 84/8. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 16,28. Тираж 500. Заказ № 19.

Почтовый адрес редакции: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,
Уральский государственный горный университет, к. 3142.
Тел.: (343)251-15-95
E-mail: iuggu-journal@yandex.ru
http://iuggu.ru

Отпечатано в типографии
ООО "Издат-Принт"
394033, г. Воронеж, пр-т Ленинский, 119а

В августе исполняется 80 лет Уральскому геологическому музею
На обложке – жеода лимонита на входе в 3-й учебный корпус УГГУ, где расположен музей.
Подробнее о ней читайте в продолжении статьи А. Г. Шорина «Здания Уральского Горного»

На задней стороне обложки – центральный зал Уральского геологического музея: вверху – фото этого зала в 1937 году, внизу – тот же зал в 2017 году. В центре – экспонаты музея. Слева направо: 1. Кристаллы крокоита. Средний Урал, Березовское золоторудное месторождение. 2. Самородок золота. Вес 744 г. Южный Урал, Миасский прииск. 3. Демантоид (окатанные зерна). Средний Урал, р. Бобровка. 4. Кристаллы аметиста, нарастающие на горный хрусталь. Средний Урал, месторождение Ватиха. Подробнее о музее читайте статью Д. А. Клейменова, Ю. А. Поленова, В. В. Григорьева, В. И. Кайнова, Л. И. Поздняковой «Уральский геологический музей Уральского государственного горного университета. К 80-летию».