

ISSN 2307-2091 (print)

ISSN 2500-2414 (online)

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

ИЗВЕСТИЯ

Уральского государственного
горного университета

Научно-технический журнал

NEWS

of the Ural State
Mining University

Scientific and technical journal

Issue 4(56)

2019

Уральский государственный
горный университет

Известия Уральского государственного
горного университета
2019, вып. 4(56)

Ural State
Mining University

News of the Ural State
Mining University
2019, issue 4(56)



DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS



НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU



Журнал выходит 4 раза в год

Published 4 times a year

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 <https://iuggu.ru>, в системе журналов открытого доступа DOAJ и ROAD, а также на платформе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) НЭБ. Более полная информация и правила оформления статей размещены на сайте журнала.

News of the Ural State Mining University is a peer-reviewed scientific and technical journal, which reflects topical issues of the study, evaluation and commercial development of mineral resources of the Ural region and adjacent territories. These include problems of geology and subsoil exploration, geophysical studies, mining and mining mechanics, environmental economics.

We accept for publication articles in Russian and English languages.

The full-text version of the journal is in the public domain on the website of the journal <https://iuggu.ru>, in DOAJ, ROAD and in the database of the Russian Science Citation Index of the Russian Universal Scientific Electronic Library.

Website of the journal contains a detailed information about the journal, as well as guidelines for authors.

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-75290 от 05.04.2019,
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Учредитель и издатель

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор

КОСАРЕВ Н. П. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Заместитель главного редактора

ПОЛЕНОВ Ю. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Ученый секретарь

ЕРОХИН Ю. В. – канд. геол.-минерал. наук, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия

Редакционная коллегия

МАКАРОВ А. Б. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

ДАВИДОВ В. А. – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр., Институт геофизики имени Ю. П. Булашевца УрО РАН, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

ДАШКО Р. Э. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Санкт-Петербургский горный университет, *Санкт-Петербург, Россия* (Науки о Земле)

ДУШИН В. А. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

ИВАНОВ К. С. – д-р геол.-минерал. наук, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

ИГОЛКИНА Г. В. – д-р геол.-минерал. наук, Институт геофизики им. Ю. П. Булашевца УрО РАН, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

КОРОТЕЕВ В. А. – академик РАН, д-р геол.-минерал. наук, проф., Институт геологии и геохимии имени А. Н. Заварицкого УрО РАН, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

МАЛИЧ К. Н. – канд. геол.-минерал. наук, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

НАУМОВ В. А. – д-р геол.-минерал. наук, доц., Пермский государственный национальный исследовательский университет, *Пермь, Россия* (Науки о Земле)

ПИСЕЦКИЙ В. Б. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

ПУЧКОВ В. Н. – член-корр. РАН, д-р геол.-минерал. наук, Институт геологии Уфимского научного центра РАН, *Уфа, Россия* (Науки о Земле)

РИХВАНОВ Л. П. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Национальный исследовательский Томский политехнический университет, *Томск, Россия* (Науки о Земле)

СУНГАТУЛЛИН Р. Х. – д-р геол.-минерал. наук, доц., Казанский (Приволжский) федеральный университет, *Казань, Россия* (Науки о Земле)

ХОМЕНКО В. П. – д-р геол.-минерал. наук, проф., Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, *Москва, Россия* (Науки о Земле)

ЩАПОВ В. А. – д-р геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр., Институт геофизики им. Ю. П. Булашевца УрО РАН, *Екатеринбург, Россия* (Науки о Земле)

ЖАБКО А. В. – д-р техн. наук, доц., Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Технические науки; Науки о Земле)

ВАЛИЕВ Н. Г. – д-р техн. наук, проф., первый проректор, Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Технические науки; Науки о Земле)

ГОЛИК В. И. – д-р техн. наук, проф., Северо-Кавказский горно-металлургический институт, *Владикавказ, Россия* (Технические науки)

ГОРДЕЕВ В. А. – д-р техн. наук, проф., Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Технические науки)

ЗОРТОВ А. Н. – д-р техн. наук, проф., Уфимский государственный нефтяной технический университет, *Уфа, Россия* (Технические науки)

ПОТАПОВ В. Я. – д-р техн. наук, доц., Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Технические науки)

ИГНАТЬЕВА М. Н. – д-р экон. наук, проф., Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Экономические науки)

ГЛАЗЫРИНА И. П. – д-р экон. наук, канд. физ.-мат. наук, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, *Чита, Россия* (Экономические науки)

ДОРОШЕНКО Ю. А. – д-р экон. наук, проф., Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова, *Белгород, Россия* (Экономические науки)

ДУШИН А. В. – д-р экон. наук, ректор, Уральский государственный горный университет, *Екатеринбург, Россия* (Экономические науки)

ЛАРИЧКИН Ф. Д. – д-р экон. наук, гл. науч. сотр., Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина Кольского научного центра РАН, *Апатиты, Мурманская обл., Россия* (Экономические науки)

НАЗАРОВА З. М. – д-р экон. наук, проф., Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе, *Москва, Россия* (Экономические науки)

Члены международной редколлегии

АБДЕЛЬ ГАВАД А. Е. – Dr, Управление ядерных материалов, *Каир, Египет* (Науки о Земле)

МЕРКЛЕ Р. К. В. – Dr, Prof., Университет Претории, *Претория, Южная Африка* (Науки о Земле)

САДОВЕНКО И. А. – д-р техн. наук, проф., Национальный горный университет, *Днепр, Украина* (Науки о Земле; Технические науки)

БУИ С. Н. – Dr.-Ing., ассоц. проф., проректор, Ханойский университет горного дела и геологии, *Ханой, Вьетнам* (Технические науки)

ВЕКСЛЕР Ю. А. – Dr.-Ing.habil, Prof., Marco Systemanalyse und Entwicklung GmbH, *Дахау, Германия* (Технические науки)

ДРЕБЕНШТЕДТ К. – Prof., Dr.-Ing., Фрайбергская горная академия, *Фрайберг, Германия* (Технические науки)

ИЛИАШ Н. – Dr of Technical Science, Prof., Петрошанский университет, *Петрошань, Румыния* (Технические науки)

МОРКУН В. С. – д-р техн. наук, профессор, проректор по научной работе, Криворожский национальный университет, *Кривой Рог, Украина* (Технические науки)

САКСЕНХОФЕР Р. Ф. – Univ.-Prof., Mag.rer.nat., Dr.mont., Горный университет Леобена, *Леобен, Австрия* (Технические науки)

ФЕРРЕРО А. М. – PhD, Туринский университет, *Турин, Италия* (Технические науки)

ВЕРШКОВ А. Ф. – д-р экон. наук, Департамент геологии АО «Волковгеология», *Алматы, Казахстан* (Науки о Земле; Экономические науки)

СЯО Ф. – PhD, Prof., Хэйлунцзянский университет науки и технологии, *Харбин, Китай* (Технические науки; Науки о Земле)

ТАМБОВЦЕВА Т. Т. – д-р экон. наук, ассоц. профессор, Рижский технический университет, *Рига, Латвия* (Экономические науки)

РАДА Е. К. – Dr, Prof., Университет Инсубрии, *Варесе, Италия* (Экономические науки)

Founder and publisher

URAL STATE MINING UNIVERSITY

Editor-in-Chief

N. P. KOSAREV, Dr, Prof. (*Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University*)

Deputy Editor-in-Chief

Yu. A. POLENOV, Dr, Prof. (*Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University*)

Academic Secretary

Yu. V. EROKHIN, PhD (*Ekaterinburg, Russia, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry*)

Editorial board

- A. B. MAKAROV**, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)
V. A. DAVYDOV, PhD, Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)
R. A. DASHKO, Dr, Prof., Saint-Peterburg Mining University, *Saint Petersburg, Russia* (Earth sciences)
V. A. DUSHIN, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)
K. S. IVANOV, Dr, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)
G. V. IGOLKINA, Dr, Prof., *Ekaterinburg, Russia*, Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Earth sciences)
V. A. KOROTEEV, Academician of the RAS, Dr, Professor, *Ekaterinburg, Russia*, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Earth sciences)
K. N. MALITCH, PhD, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)
V. A. NAUMOV, Dr, Assoc. Prof., Perm State University, *Perm', Russia* (Earth sciences)
V. B. PISETSKI, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)
V. N. PUCHKOV, Corresponding member of the RAS, Dr, Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, *Ufa, Russia* (Earth sciences)
L. P. RIKHVANOV, Dr, Prof., Tomsk Polytechnic University, *Tomsk, Russia* (Earth sciences)
R. Kh. SUNGATULLIN, Dr, Assoc. Prof., Kazan Federal University, *Kazan', Russia* (Earth sciences)
V. P. KHOMENKO, Dr, Prof., Moscow State University of Civil Engineering, *Moscow, Russia* (Earth sciences)
V. A. SHCHAPOV, Dr, Prof., Institute of Geophysics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, *Ekaterinburg, Russia* (Earth sciences)
A. V. ZHABKO, PhD, Assoc. Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Engineering sciences; Earth sciences)
N. G. VALIEV, Dr, Prof., First Vice-Rector, Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Engineering sciences; Earth sciences)
V. I. GOLIK, Dr, Prof., North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy, State Technological University, *Vladikavkaz, Russia* (Engineering sciences)
V. A. GORDEEV, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Engineering sciences)
V. Ya. POTAPOV, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Engineering sciences)
A. N. ZOTOV, Dr, Prof., Ufa State Petroleum Technological University, *Ufa, Russia* (Engineering sciences)
M. N. IGNAT'EVA, Dr, Prof., Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Economic sciences)
I. P. GLAZYRINA, Dr, Prof., Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the RAS, *Chita, Russia* (Economic sciences)
Yu. A. DOROSHENKO, Dr, Prof., Belgorod State Technological University named after B. G. Shukhov, *Belgorod, Russia* (Economic sciences)
A. V. DUSHIN, Dr, Rector, Ural State Mining University, *Ekaterinburg, Russia* (Economic sciences)
F. D. LARICHKIN, Dr, Luzin Institute for Economic Studies – Subdivision of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», *Apatity, Murmansk region, Russia* (Economic sciences)
Z. M. NAZAROVA, Dr, Prof., Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, *Moscow, Russia* (Economic sciences)

International members

- A. E. ABDEL GAWAD**, Dr, Nuclear Materials Authority, *Cairo, Egypt* (Earth sciences)
R. K. W. MERKLE, Dr, Prof., University of Pretoria, *Pretoria, South Africa* (Earth sciences)
I. A. SADOVENKO, Dr, Prof., National Mining University, *Dnepr, Ukraine* (Earth sciences; Engineering sciences)
X. N. BUI, Dr.-Ing., Assoc Prof., Vice Rector, Hanoi University of Mining and Geology, *Hanoi, Vietnam* (Engineering sciences)
Ju. A. VEKSLER, Dr.-Ing.habil, Prof., Marco Systemanalyse und Entwicklung GbH, *Dachau, Germany* (Engineering sciences)
C. DREBENSTEDT, Prof., Dr.-Ing., Technical University Bergakademie, *Freiberg, Germany* (Engineering sciences)
N. ILIAS – Dr, Prof., Universitatea din Petrosani, *Petrosani, Romania* (Engineering sciences)
V. S. MORKUN, Dr, Prof., Vice-Rector for scientific work, Kryvyi Rih National University, *Krivoy Rog, Ukraine* (Engineering sciences)
R. F. SACHSENHOFER, Mag.rer.nat., Dr.mont., Univ.-Professor, University of Leoben, *Leoben, Austria* (Engineering sciences)
A.-M. FERRERO, PhD, University of Turin, *Turin, Italy* (Engineering sciences)
A. F. VERSHKOV, Dr, Prof., Geology Department in Uranium Exploration Company «Volkovgeologiya», *Almaty, Kazakhstan* (Earth sciences; Economic sciences)
F. XIAO, PhD, Prof., Heilongjiang University of Science and Technology, *Harbin, China* (Engineering sciences; Earth sciences)
T. T. TAMBOVCEVA, Dr, Assoc Prof., Riga Technical University, *Riga, Latvia* (Economic sciences)
E. C. RADA, Dr, Prof., Insubria University, *Varese, Italy* (Economic sciences)

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

EARTH SCIENCES

- Химический состав и возраст акцессорного уранинита из гранитоидов кристаллического фундамента Южного Ямала**
В. В. Хиллер, Ю. В. Ерохин, К. С. Иванов
(In English)
- Распределение лантаноидов в амфиболе и плагиоклазе из плагиоклазитов массива Рай-Из (Полярный Урал)**
А. Р. Богданова, Н. В. Вахрушева
(In English)
- Фтор-эльбаит, фторнатромикролит и фторкальциомикролит из литиеносных гранитных пегматитов Липовки (Средний Урал)**
А. В. Захаров
(In English)
- Поиски подземных вод в оазисе Эль-Бахария в Западной пустыне Египта по результатам интерпретации данных каротажа и кривых ВЭЗ**
В. Р. Гавеиш, И. А. Мараев, С. А. Султан, П. В. Новиков, А. А. Иванов, В. В. Романов, К. С. Мальский
- Использование кластерного анализа для классификации горных пород месторождений полезных ископаемых Азербайджана по их физико-техническим свойствам**
З. Д. Эфендиева
- Березовское золоторудное месторождение: проблемы формирования, дальнейшего изучения**
А. Г. Баранников
- Роль Светлинской гранитогнейсовой купольной структуры в образовании кварцево-жильных месторождений (Южный Урал)**
А. Ю. Кисин, В. Н. Огородников, Ю. А. Поленов, В. В. Мурзин, М. Е. Притчин
- Инженерно-геологические условия как основа обеспечения строительства подземных сооружений**
И. В. Абатурова, И. А. Савинцев, В. С. Козлов, Е. Д. Нугманова, Е. А. Звонарев
- Оценка пространственной неоднородности ледяного покрова реки Лены методом георадиолокации**
М. П. Федоров, Л. Л. Федорова, А. В. Омельяненко
- Радиационные исследования отвалов Кизеловского угольного бассейна**
Е. А. Меньшикова, С. М. Блинов, Д. А. Бельшев, Р. Д. Перевошиков

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ENGINEERING SCIENCES

- Прогноз напряженно-деформированного состояния сборной обделки тоннелей метрополитена криволинейного поперечного сечения**
М. А. Карасев, Н. Т. Тьен, М. А. Вильнер
(In English)

- Исследование устойчивости карьерного экскаватора с изменяемым положением кабины** 98 **Study of the stability of a mine excavator with a variable cab position**
В. С. Великанов, О. Р. Панфилова
V. S. Velikanov, O. R. Panfilova
- Элементарная теория измерительного кабеля при резистивном методе измерения скорости детонации взрывчатых веществ** 104 **Elementary theory of a measuring cable with a resistive method for measuring velocity of detonation of an explosive**
С. В. Иляхин, И. Ю. Маслов, П. А. Брагин
S.V. Ilyakhin, I. Y. Maslov, P. A. Bragin
- Новый способ определения радиуса волнистости канатов с помощью нелинейных уравнений** 109 **New way to determine the radius of waviness of ropes with the help of nonlinear equations**
С. В. Поляков
S. V. Polyakov
- Влияние циклических изменений величины одноосного сжатия на относительную проницаемость базальтов и известняков** 113 **The effect of cyclic changes in uniaxial compression value on the relative permeability of basalts and limestones**
С. В. Бирюлин, И. А. Козлова, А. К. Юрков
S. V. Biryulin, I. A. Kozlova, A. K. Yurkov
- Системный подход, принципы формирования и критерии оценки перегрузочных систем с гибкими свойствами** 118 **Systems approach, principles of formation and evaluation criteria for reloading systems with adaptable properties**
А. В. Юдин, В. С. Шестаков
A. V. Yudin, V. S. Shestakov
- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ** **ECONOMIC SCIENCES**
- Разработка методики мониторинга и отбора аутсорсера для создания инженерных подземных сооружений как фактор устойчивого развития территорий** 127 **Development of methods of monitoring and selecting an outsourcer to create engineering underground structures as a factor of sustainable development of territories**
Е. Л. Гольдман, Я. Н. Лозовская, Ж. А. Франкевич (In English)
E. L. Goldman, Y. N. Lozovskaya, Z. A. Frankevich (In English)
- Алгоритм принятия решений по результатам системного мониторинга лесопокрываемых ландшафтов на территориях недропользования Урала** 134 **Decision-making algorithm based on the results of systematic monitoring of forested landscapes in the subsoil use territories of the Urals**
Т. А. Лебедева
T. A. Lebedeva
- Исследование пространственных диспропорций в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов в России** 142 **The study of spatial imbalances in the processes of disruption and land reclamation in Russia**
И. В. Наумов
I. V. Naumov
- Основы экономики предотвращения экологических кризисов, зарождающихся в результате развития парникового эффекта в атмосфере Земли** 152 **Fundamentals of economics to prevent environmental crises arising from the development of the greenhouse effect in the Earth's atmosphere**
А. В. Мясков, С. М. Попов
A. V. Myaskov, S. M. Popov
- Трансформация взглядов на содержание и методы экономической оценки ресурсов природного происхождения** 160 **Transformation of views on the content and methods of economic assessment of natural resources**
О. А. Логвиненко
O. A. Logvinenko
- ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА** **HISTORY OF MINING**
- История создания и развития Уральского государственного горного университета в интерпретации советской и российской историографии** 169 **The history of the creation and development of the Ural state mining university in the in the interpretation of Soviet and Russian historiography**
Е. И. Киселев (In English)
E. I. Kiselev (In English)
- Борис Валентинович Чесноков (1928-2005) и чесноковит** 181 **Boris Valentinovich Chesnokov (1928-2005) and chesnokit**
С. Г. Суставов, С. С. Потапов
S. G. Sustavov, S. S. Potapov

Науки о Земле Earth sciences

УДК 549.514.87+550.93(571.121)

<https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-4-7-12>

Chemical composition and age of the accessory uraninite from granitoids of the crystalline basement of the Southern Yamal

Vera Vital'evna KHILLER^{*}
Yuriy Viktorovich EROKHIN^{**}
Kirill Svyatoslavich IVANOV^{***}

The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is due to the need to improve the method of chemical dating in application to high-uranium accessory minerals that cannot be dated by isotopic methods of research.

The purpose of the work: the study of the accessory uraninite chemical composition from granitoids of the crystalline basement of Southern Yamal and the determination of its age.

Methodology of the research. Quantitative analysis of the chemical composition of zircon is performed with the X-ray spectral electron probe micro-analyzer CAMECA SX 100 (electron beam diameter is from 1 μm , BSE, SE, Cat modes, determination of elements from beryllium to uranium). Spectra were obtained using inclined wave spectrometers; intensity measurement was carried out according to analytical lines: Th *Ma*, U *Mb*, Pb *Ma*, Y *La*, Si *Ka*, Ce *La*, La *La*, Nd *La*. Age calculation was carried out according to the known methods of foreign authors in addition to authors own developments. **Results.** The chemical composition of uraninite is quite stable and quite contaminated, the main impurities are thorium (ThO_2 up to 5 wt.%), lead (PbO up to 3 wt.%) and yttrium (Y_2O_3 up to 3.7 wt.%). Based on the impurity content in Verkhnerchensky uraninite, its unit cell parameters were calculated as $5.475 \pm 5.476 \text{ \AA}$. A substantial lead content and high crystallinity of the substance allows the use of this mineral as a mineral-geochronometer. The calculated weighted average age of uraninite is $258.7 \pm 3.4 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.19); and isochron age is $259 \pm 8 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.34).

Conclusions. Microprobe compositions of uraninite were obtained, and the Late Permian age of granitoids was determined by chemical dating. The given chemical composition data show that Verkhnerchensky uraninite differs sharply from most of its analogues from other rocks, but it correlates quite well with accessory uraninites from S-type granites. The mineral is very close to synthetic uraninite and is not metamict; it also does not contain significant amounts of more oxidized uranium (UO_3 и U_3O_8).

Keywords: uraninite, composition, chemical dating, granitoids, crystalline basement, Southern Yamal, Arctic.

Introduction

Recent studies of geology of the Arctic have acquired special importance because of connection with the predicted oil and gas potential of this huge and still poorly studied territory, as well as its upcoming, probably, division between neighboring countries in the Arctic region. The most important criterion is, as we know, the results of the study of the basement of the Arctic sedimentary basins. The Yamal Peninsula is the main gas province of our country, and one of the few places where the crystalline basement is still available for direct study, but with great difficulty. It is also important that oil and gas influxes at many fields of the Yamal Peninsula were found from the complexes of the Paleozoic folded basement. The crystalline basement of the oil and gas provinces remains one of the few (more or less promising) insufficiently studied objects; the granitoids of basements are the most promising for the search for oil and gas [1, etc.].

Uraninite is a common accessory mineral of granitoids, but it is normally not studied due to its very small size and great dispersion in the rock. At the same time, uraninite has long been used (quite successfully) as a mineral-geochronometer, and much earlier than other radioactive minerals (the first dating of the mineral was carried out in 1911 by A. Holmes). Unfortunately, many publications are relevant to vein or ore deposits of uranium [2, 3, etc.], but one can find some works on chemical microprobe dating of accessory uraninites in granitoids [4, 5]. We have decided to conduct a similar study for accessory uraninites from granites from the crystalline basement of the Verkhnerchenskaya oil and gas exploration area (Yamal Peninsula).

Geological position of the object of research

Granitoids in the crystalline (pre-Jurassic) basement of Southern Yamal were discovered only in one place within the Verkhnerchenskaya oil and gas exploration area. The area itself (the studied well No. 1 located there), was near the famous Novoportovskoye oil and gas field, about 50 km to the south-west and about 225 km to the north-east from the city of Salekhard (the administrative center of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug).

Verkhnerchenskaya well No. 1 (Fig. 1) penetrated the crystalline basement (namely fresh granites) in the depth interval of 1748–2034 m. No deeper drilling was carried out; intrusive rocks higher in the borehole are overlapped by middle and upper-Jurassic deposits of sedimentary cover. Granites throughout the section of the borehole are represented by homogeneous light gray fine-grained differences of biotite-quartz-feldspar composition. It was found that they belong to monzole-granites, which were formed along the sedimentary substrate (S-type granites), most likely, in late orogenic conditions. The crystallization time of

✉ hilvervit@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-84914958>

^{**} erokhin-yu@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0577-5898>

^{***} ivanovks@igg.uran.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8292-4658>

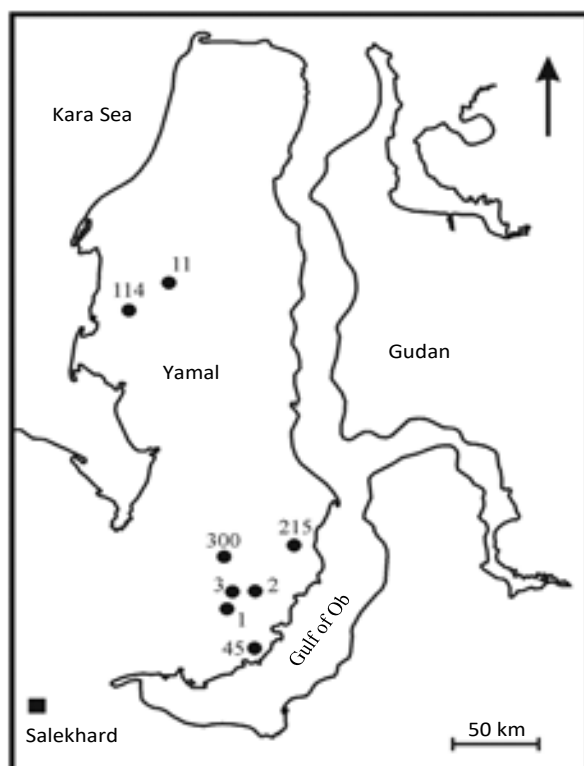


Figure 1. Location map of the wells penetrated the Paleozoic on the Yamal Peninsula; well numbers. 215 – Novoportovskaya; 300 – Zapadno-Yarotinskaya; 1–3 – Verkhnerchenskaya; 11 – Vostochno-Bovanenkovskaya; 45 – Syunai-Salinskaya; 114 – Bovanenkovskaya.
Рисунок 1. Схема расположения скважин, вскрывших палеозой, на полуострове Ямал; номера скважин: 215 – Новопортовская; 300 – Западно-Яротинская; 1–3 – Верхнереченская; 11 – Восточно-Бованенковская; 45 – Сюнай-Салинская; 114 – Бованенковская.

subalkaline leucogranites in the basement of the Verkhnerchenskaya area was estimated by chemical Th–U–Pb dating from accessory uraninite and monazite – 259.2 ± 3.6 Ma [6], and isotopic U–Pb dating from zircon – 254.0 ± 3.0 Ma [7]. Despite the detailed study of the material composition of monzoleogranites [8, 9], accessory uraninite was practically not described separately, even though it was an integral part of the bimineral isochron and rock dating was carried out on it.

Methods of research

The quantitative analysis of the chemical composition of uraninite was carried out using the CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer (The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg). Polished sections were made from granite samples, and then they were sprayed with a thin layer of carbon. Measurement conditions: accelerating voltage is 15 kV, current strength is 80 nA, electron beam diameter is 2 μm . Pressure in the chamber of samples is 2×10^{-4} Pa. Spectra were obtained using inclined wave spectrometers; intensity measurement was carried out according to analytical lines: Th Ma, U Mb, Pb Ma, Y La, Si Ka, Ce La, La La, Nd La. Measuring time of peak intensity for Th, U and Pb – 40 s, for Y and Si – 20 s, for the remaining elements – 10 s; against the background – half as much. Standard samples: ThO₂, UO₂, Pb₂P₂O₇, zircon, synthetic phosphates of REE. Detection limits of Th, U, and Pb were about 930, 650, and 430 g/t. Theoretical and practical substantiation of the chemical dating method using X-ray microprobe analysis is given in numerous publications on this subject [10, 11 etc.], including those for uraninite [4, 12, etc.]. The main condition of this method is: during evolution, the mineral did not lose radiogenic lead (i. e. the Th–U–Pb system was closed), the lead in the mineral was formed due to the decay of thorium and uranium.

Research results and their discussion

Uraninite, together with monazite-(Ce) forms abundant accessory impregnation in the granitoid, although less often than orthophosphate. It usually gravitates to places of accumulation of dark-colored minerals (mica and chlorite that replaces it), where it often forms small inclusions in the matrix of large grains of monazite and xenotime (Fig. 2, a) and composes well-formed square-section individuals (Fig. 2, b), up to 30 μm in diameter. In the BSE image mode, it differs well from other accessory minerals, having the brightest white color. Interestingly, uraninite in the form of inclusions was not observed in zircon [7, 13]; apparently, it crystallized itself later.

The chemical composition of uraninite is quite stable, although it varies slightly (Table). The main impurities are thorium, lead and yttrium. The following variation is observed for thorium – from 1.9 to 5 wt.% ThO₂; there is practically no variation for lead – 2.8–3.2 wt.% PbO. Large fluctuations in concentration are also observed for yttrium (Y₂O₃ from 0.4 to 3.7 wt.%). All these elements have an inverse correlation with uranium, which means that they are isomorphic components in the structure of the mineral. The sums of analyzes of uraninite are slightly underestimated, which is most likely due to the presence of other elements or higher uranium in the mineral. It is interesting that in terms of its composition, Verkhnerchensky uraninite differs sharply from the majority of its analogues [14, 15, etc.], but it is quite well correlated with accessory uraninites from S-type granites [5, etc.]. It is possible that our accessory uraninites, as part of the magmatic mineral association, have their own specific typochemistry characteristic only for such granitoids.

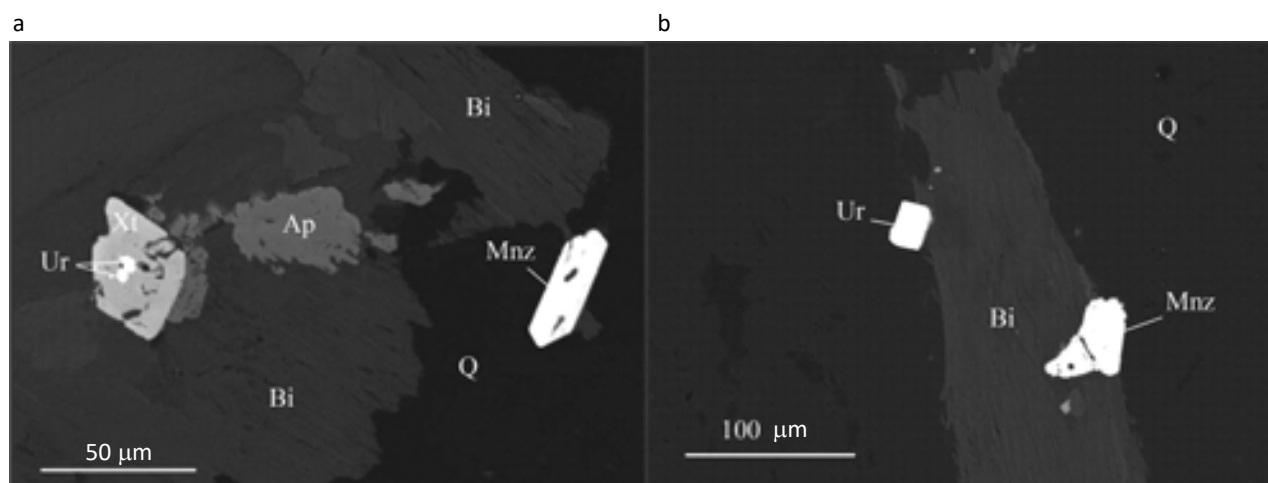


Figure 2. Grains of uraninite Ur, monazite Mnz, xenotime Xt and apatite Ap in the aggregate of quartz Q and biotite Bi from granitoids of the Verkhnerenchenskaya area. CAMECA SX 100, BSE-image.

Рисунок 2. Зерна уранинита Ur, монацита Mnz, ксенотима Xt и апатита Ap в агрегате кварца Q и биотита Bi из гранитоидов Верхнереченской площади. CAMECA SX 100, BSE-изображение.

In 1959 years V. A. Leonova established the relationship between the unit cell parameters and the impurities in the composition of uraninite [16]. Using a graph, she estimated the change in the lattice parameters of the mineral upon inclusion of thorium, lead and rare earths, in at.%. With an average thorium content in Verkhnerenchensky uraninite at 0.92 at.% Th, the unit cell parameter is estimated as $a_0 = 5.475\text{--}5.476 \text{ \AA}$. For the synthetic reference uraninite, this parameter is defined as 5.4682 \AA , and for natural uraninites it varies greatly from 5.33 to 5.49 \AA . It is known that the unit cell parameter decreases with increasing oxidation state of uranium [17]. That is, Verkhnerenchensky uraninite in terms of unit cell parameters is very close to the synthetic standard and is not metamict, and also contains an extremely small amount of more oxidized uranium (UO_3 and U_3O_8).

Chemical composition (in wt.%) of uraninite from granites of Southern Yamal.

Химический состав (в мас. %) уранинита из гранитов Южного Ямала.

Oxides	Analyses numbers										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ThO ₂	2.22	4.94	2.22	3.18	3.30	2.92	2.09	2.05	2.60	3.72	3.26
UO ₂	88.79	83.18	88.08	87.59	89.85	86.56	87.24	88.45	85.03	88.41	88.98
SiO ₂	0.09	0.32	0.13	0.68	0.15	0.26	0.10	0.10	0.03	0.54	0.29
Ce ₂ O ₃	0.40	0.15	0.21	–	–	0.33	0.16	0.25	0.41	0.09	0.19
La ₂ O ₃	–	–	0.01	–	0.18	0.01	–	–	–	–	–
Nd ₂ O ₃	0.25	0.17	0.29	–	0.09	0.22	0.31	0.27	0.46	0.15	–
Y ₂ O ₃	2.09	2.53	2.18	0.73	0.40	2.28	2.18	1.97	3.67	1.18	1.24
PbO	3.13	2.98	3.16	3.14	3.26	3.17	3.03	3.13	3.04	3.19	3.11
Total	96.97	94.27	96.28	95.31	97.23	95.73	95.12	96.21	95.24	97.28	97.07
Age, Ma	258	259	262	260	264	266	254	258	260	262	255

Oxides	Analyses numbers									
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
ThO ₂	2.35	3.31	2.17	3.64	1.88	1.93	2.21	2.99	2.70	2.16
UO ₂	84.09	88.83	88.01	85.19	88.51	88.65	86.08	80.06	88.19	88.91
SiO ₂	0.38	0.33	0.19	0.22	0.09	0.06	0.14	0.44	0.06	0.02
Ce ₂ O ₃	0.05	0.04	0.02	0.24	0.25	0.04	–	0.15	0.13	0.05
La ₂ O ₃	–	–	0.17	0.18	0.02	0.02	0.06	–	–	0.02
Nd ₂ O ₃	0.20	–	0.15	–	0.33	0.17	–	0.21	0.29	–
Y ₂ O ₃	2.21	1.28	1.95	1.88	1.98	2.01	2.04	3.21	2.50	1.98
PbO	2.93	3.18	3.14	3.08	3.13	3.14	2.99	2.81	3.12	3.13
Total	92.91	96.97	95.80	94.42	96.18	96.03	93.53	89.88	97.00	96.28
Age, Ma	254	260	261	263	258	259	254	256	258	257

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

The significant lead content obtained by microprobe analysis and the high crystallinity of substance make it possible to use this accessory uraninite as a mineral-geochronometer. The values of selective U–Th–Pb ages of uraninite lie in the range of 254–266 Ma with an error of 6–8 Ma and together give a weighted average age of 258.7 ± 3.4 Ma with $MSWD = 0.19$ (Fig. 3), which generally corresponds to the biminerall isochron previously given by us – 259.2 ± 3.6 Ma [6].

When constructing the $PbO- UO_2^*$ dependence by the set of analysis points, accessory uraninites fall on one straight line (or isochron according to [14]), which indicates their one-time formation. Calculation of age by the angle of inclination of the isochron is 259 ± 8 Ma, $MSWD = 0.34$, probability = 0.997 (Fig. 4). In this case, the line crosses the origin of coordinates, which indicates the absence of inclusion or subtraction of lead during the evolution of uranium oxide.

Conclusions

Thus, we have studied in detail accessory uraninite from monzoleucogranites of the crystalline basement of Southern Yamal. Microprobe data were obtained on the composition of the mineral, and the Late Permian age of granitoids was determined by chemical dating. The given chemical composition data show that Verkhnerenchensky uraninite differs sharply from most of its

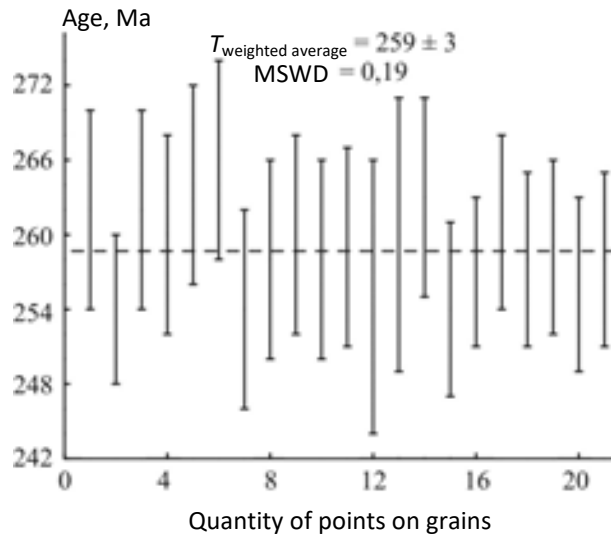


Figure 3. Variations in the values of Th–U–Pb ages and their weighted average for 21 selective determination in uraninite from Verkhnerenchensky granites.

Рисунок 3. Вариации значений Th–U–Pb-возрастов и их средневзвешенная величина для 21 точечного определения в уранините из Верхнереченских гранитов.

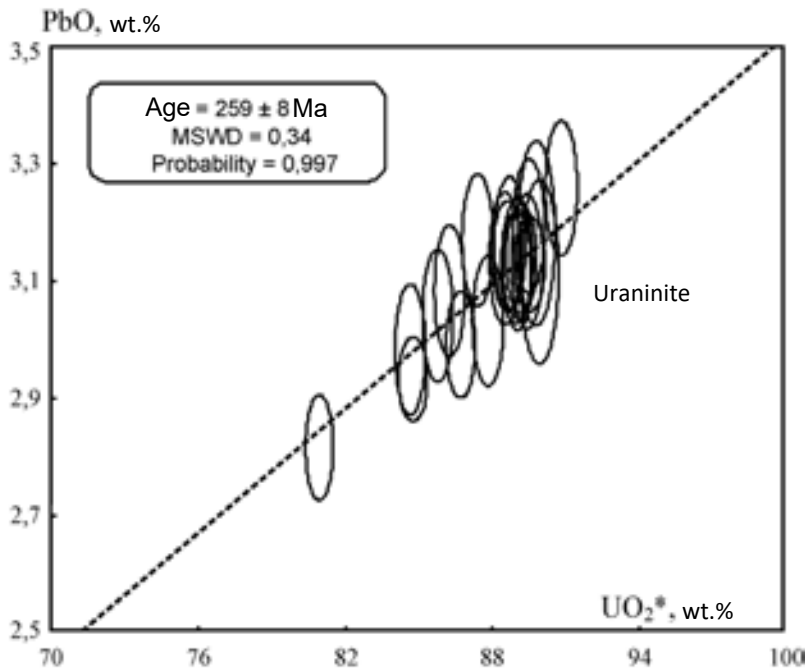


Figure 4. Isochron UO_2^*-PbO based on the results of uraninite analyses. $UO_2^* = (UO_2 + ThO_2^{eq})$, where ThO_2^{eq} – the thorium content converted to the equivalent uranium content, capable of producing the same amount of Pb during the life of the system with the equality of U–Pb and Th–Pb-values of age.

Рисунок 4. Изохрона UO_2^*-PbO по результатам анализов уранинита. $UO_2^* = (UO_2 + ThO_2^{экр})$, где $ThO_2^{экр}$ – содержание тория, пересчитанное в эквивалентное содержание урана, способное произвести то же количество Pb за время жизни системы при равенстве U–Pb и Th–Pb-значений возраста.

analogues from other rocks, but it correlates quite well with accessory uraninites from S-type granites. Based on the impurity content in Verkhnerchensky uraninite, its unit cell parameters were calculated as 5.475–5.476 Å. It follows that the mineral is very close to synthetic uraninite and is not metamict, and also contains an extremely small amount of more oxidized uranium (UO_3 and U_3O_8).

The authors would like to acknowledge V. S. Bochkarev for providing his samples.

The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-05-70016).

REFERENCES

1. Areshev E. G., Gavrilov V. P., Dong-Ch. L., Zao N., Popov O. K., Pospelov V. V., Shan N. T., Shnip O. A. 1997, *Geologiya i neftegazonosnost' fundamenta Zondskogo shel'fa* [Geology and oil and gas potential of the Zond shelf basement]. Moscow, 288 p.
2. Dymkov Yu. M. 1985, *Paragenesis mineralov uranonosnykh zhil* [Paragenesis of minerals of uranium-bearing veins]. Moscow, 207 p.
3. Shahin H. A. A. 2014, Geochemical characteristics and chemical electron microprobe U–Pb–Th dating of pitchblende mineralization from Gabal Gattar younger granite, North Eastern Desert, Egypt. *Open Journal of Geology*, vol. 4, pp. 24–32. <https://dx.doi.org/10.4236/ojg.2014.41003>
4. Bowles J. F. W. 1990, Age dating of individual grains of uraninite in rocks from electron microprobe analyses. *Chemical Geology*, vol. 83, issues 1–2, pp. 47–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(90\)90139-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(90)90139-X)
5. Förster H.-J. 1999, The chemical composition of uraninite in Variscan granites of the Erzgebirge, Germany. *Mineralogical Magazine*, vol. 63, issue 2, pp. 239–252. <https://doi.org/10.1180/002646199548466>
6. Votyakov S. L., Ivanov K. S., Khiller V. V., Bochkarev V. S., Erokhin Yu. V. 2011, Chemical microprobe Th–U–Pb age dating of monazite and uraninite grains from granites of the Yamal crystalline basement. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 439, no. 2, pp. 244–247. (In Russ.)
7. Erokhin Yu. V., Ivanov K. S., Koroteev V. A., Khiller V. V. 2017, Mineralogy of the inclusions and age of zircon from granite basement of Verkhnerchenskaya area (Yamal Peninsula). *Litosfera* [Litosphere], vol. 17, no. 6, pp. 81–90. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2017-6-081-090>
8. Votyakov S. L., Ivanov K. S., Erokhin Yu. V., Khiller V. V., Bochkarev V. S., Zakharov A. V., Korotkov S. A. 2013, The composition of granites from Yamal basement and their chemical electron microprobe Th–U–Pb dating. *Litosfera* [Litosphere], no. 3, pp. 57–66. (In Russ.)
9. Erokhin Yu. V., Ivanov K. S. 2015, Recent data on the mineralogy of monzoleucogranites from the basement of the Verkhnerchensky area of the Yamal Peninsula. *Vestnik Ural'skogo otdeleniya RMO* [Bulletin of the Ural branch of the Russian Mineralogical Society], no. 12, pp. 31–39. (In Russ.)
10. Montel J.-M., Foret S., Veschambre M., Nicollet C., Provost A. 1996, Electron microprobe dating of monazite. *Chemical Geology*, vol. 131, pp. 37–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(96\)00024-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(96)00024-1)
11. Suzuki K., Adachi M. 1991, Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrain, Northeast Japan, revealed by the chemical Th–U–total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime. *Geochemical Journal*, vol. 25, issue 5, pp. 357–376. <https://doi.org/10.2343/geochemj.25.357>
12. Ivanov K. S., Erokhin Yu. V., Fedorov Yu. N., Khiller V. V., Ponomarev V. S. 2010, Isotopic and chemical U–Pb dating of granitoids from the Western Siberian megabasin. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 433, no. 2, pp. 1070–1073. (In Russ.)
13. Erokhin Yu. V., Khiller V. V., Koroteev V. A., Ivanov K. S. 2018, Zircons of granitoids of the Yamal Peninsula basement: age and composition of inclusions. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 481, issue 1, pp. 885–888. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S086956520000054-2>
14. 1965, Mineraly. Prostyye oksidy [Minerals. Simple oxides]. Reference book. Ed. by V. F. Chukhrov, E. M. Bonstedt-Kupleskaya. Moscow, vol. II, issue 2, 342 p.
15. Soboleva M. V., Pudovkina I. A. 1957, *Mineraly urana* [Uranium minerals]. Moscow, 408 p.
16. Leonova V. A. 1959, The effect of pollution on the lattice parameters of uraninite. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 126, no. 6, pp. 1342–1346. (In Russ.)
17. Doynikova O. A. 2013, *Mineralogiya urana vosstanovitel'noy zony okislenniya (po dannym elektronnoy mikroskopii)* [Mineralogy of uranium in the oxidation reduction zone (according to electron microscopy)]. Moscow, 216 p.

The article was received on January 11, 2019

Химический состав и возраст акцессорного уранинита из гранитоидов кристаллического фундамента Южного Ямала

Вера Витальевна ХИЛЛЕР*
Юрий Викторович ЕРОХИН**
Кирилл Святославич ИВАНОВ***

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

Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования метода химического датирования в применении к высокоурановым акцессорным минералам, которые невозможно датировать изотопными методами исследования.

Цель работы: исследование химического состава акцессорного уранинита из гранитоидов кристаллического фундамента Южного Ямала и определение его возраста.

Методология исследования: количественный анализ химического состава циркона выполнен на рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100 (диаметр пучка электронов от 1 мкм, режимы BSE, SE, Cat, определение элементов от бериллия до урана). Спектры получены на наклонных волновых спектрометрах, измерение интенсивности проводилось по аналитическим линиям: Th Ma, U Mb, Pb Ma, Y La, Si Ka, Ce La, La La, Nd La. Расчет возраста проводился по известным методикам зарубежных авторов в дополнение к собственным наработкам.

Результаты. Химический состав уранинита вполне устойчивый и достаточно загрязненный, основными примесями являются торий (ThO_2 до 5 мас.%), свинец (PbO до 3 мас.%) и иттрий (Y_2O_3 до 3,7 мас.%). По содержанию примесей в верхнереченском уранините были рассчитаны его параметры элементарной ячейки 5,475–5,476 Å. Большое содержание свинца и высокая кристалличность вещества позволяют использовать данный минерал в качестве минерала-геохронометра. Рассчитанный средневзвешенный возраст уранинита $258,7 \pm 3,4$ млн лет (СКВО = 0,19), а изохронный – 259 ± 8 млн лет (СКВО = 0,34).

Выводы. Получены микрозондовые составы уранинита и методом химического датирования установлен позднепермский возраст гранитоидов. Приведенные данные по химическому составу показывают, что верхнереченский уранинит резко отличается от большинства своих аналогов из других пород, но вполне хорошо коррелируется с акцессорными уранинитами из гранитов S-типа. Минерал очень близок к синтетическому ураниниту и не является метамиктным, а также не содержит значимые количества более окисленного урана (UO_3 и U_3O_8).

Ключевые слова: уранинит, состав, химическое датирование, гранитоиды, кристаллический фундамент, Южный Ямал, Арктика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арешев Е. Г., Гаврилов В. П., Донг Ч. Л., Зао Н., Попов О. К., Поспелов В. В., Шан Н. Т., Шнип О. А. Геология и нефтегазоносность фундамента Зондского шельфа. М.: Нефть и газ, 1997. 288 с.
2. Дымков Ю. М. Парагенезис минералов ураноносных жил. М.: Недра, 1985. 207 с.
3. Shahin H. A. A. Geochemical characteristics and chemical electron microprobe U–Pb–Th dating of pitchblende mineralization from Gabal Gattar younger granite, North Eastern Desert, Egypt // Open Journal of Geology. 2014. Vol. 4. P. 24–32. <https://dx.doi.org/10.4236/ojg.2014.41003>
4. Bowles J. F. W. Age dating of individual grains of uraninite in rocks from electron microprobe analyses // Chemical Geology. 1990. Vol. 83. P. 47–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(90\)90139-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(90)90139-X)
5. Förster H.-J. The chemical composition of uraninite in Variscan granites of the Erzgebirge, Germany // Mineralogical Magazine. 1999. Vol. 63. P. 239–252. <https://doi.org/10.1180/002646199548466>
6. Вотяков С. Л., Иванов К. С., Хиллер В. В., Бочкарев В. С., Ерохин Ю. В. Химическое микрозондовое Th–U–Pb-датирование монацита и уранинита из гранитов фундамента Ямала // ДАН. 2011. Т. 439, № 2. С. 244–247.
7. Ерохин Ю. В., Иванов К. С., Коротеев В. А., Хиллер В. В. Минералогия включений и возраст циркона из гранитов фундамента Верхнереченской площади (полуостров Ямал) // Литосфера. 2017. Т. 17, № 6. С. 81–90. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2017-6-081-090>
8. Вотяков С. Л., Иванов К. С., Ерохин Ю. В., Хиллер В. В., Бочкарев В. С., Захаров А. В., Коротков С. А. Вещественный состав и химическое микрозондовое Th–U–Pb-датирование гранитов из фундамента полуострова Ямал // Литосфера. 2013. № 3. С. 57–66.
9. Ерохин Ю. В., Иванов К. С. Новые данные по минералогии монацитоидогранитов из фундамента Верхнереченской площади полуострова Ямал // Вестник УрО РМО. 2015. № 12. С. 31–39.
10. Montel J.-M., Foret S., Veschambre M., Nicollet C., Provost A. Electron microprobe dating of monazite // Chemical Geology. 1996. Vol. 131. P. 37–53. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(96\)00024-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(96)00024-1)
11. Suzuki K., Adachi M. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrain, Northeast Japan, revealed by the chemical Th–U–total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime // Geochemical Journal. 1991. Vol. 25. P. 357–376. <https://doi.org/10.2343/geochemj.25.357>
12. Иванов К. С., Ерохин Ю. В., Федоров Ю. Н., Хиллер В. В., Пономарев В. С. Изотопное и химическое U–Pb-датирование гранитоидов Западно-Сибирского мегабассейна // ДАН. 2010. Т. 433, № 5. С. 671–674.
13. Ерохин Ю. В., Хиллер В. В., Коротеев В. А., Иванов К. С. Цирконология гранитоидов из фундамента Ямала (возраст и состав включений) // ДАН. 2018. Т. 481, № 1. С. 67–70. <https://doi.org/10.31857/S086956520000054-2>
14. Минералы. Простые окислы: справочник / под ред. В. Ф. Чухрова, Э. М. Бонштедт-Куплетской. М.: Наука, 1965. Т. II. Вып. 2. 342 с.
15. Соболева М. В., Пудовкина И. А. Минералы урана. М.: ГНТИ литературы по геологии и охраны недр, 1957. 408 с.
16. Леонова В. А. Влияние загрязнения на параметры решетки уранинита // ДАН СССР. 1959. Т. 126, № 6. С. 1342–1346.
17. Дойникова О. А. Минералогия урана восстановительной зоны окисления (по данным электронной микроскопии). М.: Физматлит, 2013. 216 с.

Статья поступила в редакцию 11 января 2019 года

✉ hilvervit@mail.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-84914958>

*erokhin-yu@yandex.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-0577-5898>

***ivanovks@igg.uran.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-8292-4658>

Distribution of lanthanides in amphibole and plagioclase from plagioclases of the Ray-Iz massif (Polar Urals)

Alyona Romanovna BOGDANOVA^{1*}

Nadezhda Vladimirovna VAKHRUSHEVA^{1,2**}

¹Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Relevance. This work shows the results of mineralogical, petrographic, and geochemical studies of plagioclases localized among chromite-bearing ultramafic rocks of the Ray-Iz massif (Polar Urals). The spatial confinement of plagioclases to the Tsentralnoye chrome ore deposit (corundum-bearing plagioclases) and the Yugo-Zapadnoye IV ore occurrence (plagioclases without corundum) determine the need for a detailed study of the rocks of the vein series of chromite-bearing sections.

The purpose of the work. The study of mineralogical and petrographic characteristics, as well as the geochemistry of lanthanides in plagioclase and amphibole from plagioclases of the Ray-Iz massif (Polar Urals).

Results. In view of the results of microprobe analysis, it was found that the compositions of amphibole in plagioclases vary considerably in accordance with the modern classification of calcium amphiboles, pargasite, edenite, magnesiohornblende and actinolite. Two types of zoning are determined in amphibole. Amphibole grains with zoning of the first type are characterized by an increase in the contents of Al_2O_3 , TiO_2 , FeO , Na_2O from the center toward the periphery of the grains; when zoning of the second type, on the contrary, there is a decrease in these components. The chemical composition of plagioclase corresponds to oligoclase $An_{10-30.1}$. The decrease in the content of the anorthite molecule from the center to the edge of the grain was noted. The study of nature of the distribution of REE in rock-forming minerals made it possible to determine that amphibole is the main mineral concentrator of lanthanides in plagioclases: the total REE content in the mineral is 250–450 ppm, while 16–18 ppm of lanthanides are concentrated in the plagioclase. It was established that the reason for the existence of two types of distribution spectra of lanthanides identified earlier is the ratio of the total amount of amphibole and plagioclase in the rock. The distribution of rare-earth elements in calcic amphiboles from plagioclases is compared with the distribution of REEs in the amphiboles of the Nyurundukansky mafic complex in the North-Western Baikal region, the studies of which were carried out by S. G. Skublov. Using the amphibole-plagioclase geothermometer by T. Holland, J. Blundy and geobarometer by M. W. Schmidt parameters of amphibole plagioclases formation were determined.

Conclusion. The nature of the distribution of lanthanides in the main rock-forming minerals – plagioclase and amphibole – is found. The comparison of parameters and compositional characteristics of amphiboles allowed us to conclude that there is a direct relationship between temperature, the sum of REE and TiO_2 in the mineral.

Keywords: amphibole, plagioclase, plagioclase, REE, Ray-Iz, Polar Urals.

Introduction

The Ray-Iz ultramafic massif is one of the largest in the Urals and is located at the base of the crust-mantle section of the Voykarskaya Paleozoic paleo-island arc zone overriding the main Ural deep fault to the edge of the Eastern European continent [1].

Plagioclase bodies are found among chromite-bearing ultramafites of the massif – plagioclases without corundum and corundum-bearing ones [1–3]. Both types of plagioclases form a vein series in the rocks of the dunite-harzburgite complex.

A brief history of the study of plagioclases

Corundum-bearing plagioclases are known in the southwestern part of the chrome ore deposit called Tsentral'noye. They compose the well-known occurrence of corundum mineralization called Rubinovy Log, and have been attracted the attention of researchers due to the unique ruby mineralization. Corundums and host rocks were first described by V. P. Sorokin and B. V. Perevozchikov in 1973 [4]. Single microprobe analyses of rock-forming minerals of phlogopite plagioclases from the Rubinovy Log occurrence were first published by N. I. Bryanchaninova and A. B. Makeev with co-authors [5]. Zoning in the structure of rocks with ruby mineralization was described by S. V. Shcherbakova. She has investigated the composition of minerals, and concluded about the genetic relationship of plagioclase rocks and their host ultramafites [6, 7].

The study of the composition and age of plagioclases, both corundum-bearing and corundum-free in recent years [1–3] allowed to establish the existence of two types of distribution spectra of rare earth elements in them. At the same time, the question of the content of rare earths in amphiboles and plagioclases, the main rock-forming minerals of plagioclases, remained open. In this paper, we studied the chemical composition of minerals and the nature of the distribution of lanthanides in plagioclase and amphibole; it is concluded that there are two REE distribution spectra in plagioclases.

Chemical composition and zoning of rock-forming minerals

Microprobe analysis of minerals was performed in the laboratory of physical and chemical research methods at the Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, the analyst is V. V. Khiller) using the electronic probe microanalyzer CAMECA SX 100.


In view of the results of microprobe analysis, it was found that the compositions of amphibole vary considerably in accordance with the modern classification of calcic amphiboles [8, 9], pargasite, edenite, magnesiohornblende and actinolite.

Amphibole grains exhibit chemical zoning. Central parts in amphibole are from plagioclase without corundum (sample Y-12/1) of the Yugo-Zapadnoye IV ore occurrence of chrome ores. As a rule, they are represented by hornblende and edenite, and the peripheral ones are represented by a low-alumina, actinolite – a kind of alkalies – poor amphibole. Its Na_2O content is 1.63–2.97 wt.%, and the amount of alumina is in the range of 4.17–9.59 wt.% (Table 1). In addition, there are minor impurities of MnO 0.11–0.26

*ugulor96@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2995-4743>

**nv250190@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2790-8401>

wt.%, Cr₂O₃ 0.01–0.21 wt.% and TiO₂ 0.38–0.76 wt.% in the mineral. Amphibole iron content $f = \text{Fe}^{2+} \times 100\% / (\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$ varies from 25.33 to 31.67%. Ferruginosity and the content of Al₂O₃, TiO₂, FeO, Na₂O decrease from the center toward the periphery of the grains (analysis points are shown in Fig. 1; Table 1). The chemical composition of plagioclase corresponds to oligoclase An_{10–24.9}. The amount of anorthite molecule decreases from the center to the edge of the grain (the analysis points are shown in Fig. 1; Table 2).

In amphibole from amphibole plagioclase without corundum (sample Y-200/1), the inverse zoning is shown. The central parts of the grains are actinolite, and the peripheral parts are hornblendite and edenite. The Na₂O content in the mineral is 1.28–2.66 wt.%, and the amount of alumina varies between 3.46–10.51 wt.%. The mineral contains significant impurities of FeO (6.01–8.35 wt.%), as well as small impurities of TiO₂ (0.2–0.54 wt.%) and Cr₂O₃ (0–0.04 wt.%, that is almost at the detection limit of the device). Ferruginosity of amphibole varies from 15.11 to 23.29%. Ferruginosity and the content of Al₂O₃, TiO₂, FeO, Na₂O increase from the center toward the periphery of the grain. The chemical composition of plagioclase corresponds to oligoclase An_{14.8–17.7}.

In amphibolic plagioclase (sample Y-292/2) from the occurrence of corundum mineralization called Rubinovy Log (Tsentralnoye chromium ore deposit), amphibole is in intergrowth with plagioclase (Fig. 2). The central parts of amphibole grains correspond to edenite, and the edge ones correspond to pargasite; some individual actinolite grains are also present. The alumina content in amphibole varies from 3.54 to 15.45 wt.%; Na₂O – from 0.79 to 3.48 wt.%; FeO – 4.73–5.36 wt.%; the amount of Cr₂O₃ is not large and amounts to 0.06–0.18 wt.%. The mineral contains impurities of TiO₂ (0.11–0.15 wt.%). Amphibole ferruginosity in the most aluminiferous varieties (edenite, pargasite) varies from 13.44 to 15.02% and from 11.46 to 12.13% in actinolite. Ferruginosity and Al₂O₃ content, TiO₂, FeO, Na₂O increase toward the periphery. Pargasite is characterized by the highest content of Na₂O and Al₂O₃. The chemical composition of plagioclase corresponds to oligoclase An_{13.6–30.1}.

Plagioclase contains BaO impurities in an amount of from 0 to 0.11 wt.%; K₂O (0.02–0.40 wt.%) and SrO, the amount of which in amphibole plagioclases without corundum (sample Y-12/1, sample Y-200/1) varies from 0 to 0.11 wt.%, and in corundum-bearing amphibole plagioclase (sample Y-292/2) – from 0.98 to 1.26 wt.% (Table 2). Among the regularities in the distribution of chemical elements in plagioclase, it is worth noting an increase in the amount of Na₂O from the central parts of the grains toward the peripheral ones in all the samples studied. The edge parts of the grains are more acidic.

Features of the trace element composition of rock-forming minerals. Geothermobarometry

The study of the trace element composition of the main rock-forming minerals of plagioclase and amphibole in rocks made it possible to establish that amphibole is the main lanthanide-concentrating mineral: the total REE content in the mineral is 250–450 ppm, while 16–18 ppm of lanthanides are concentrated in the plagioclase.

According to the results of the ICP-MS analysis, chondrite (C1) normalization was performed [10] and the behavior of REEs

**Table 1. The chemical composition of amphibole from amphibole plagioclases, wt.%.
Таблица 1. Химический состав амфибола из амфиболовых плагиоклазитов, мас.%.
Sample number**

Sample number	Sample Y-12/1						Sample Y-200/1		Sample Y-292/2	
	1_37 e	1_38 c	2_39 c	2_40 e	3_41 c	3_42 e	5_3 e	5_4 c	13_3 c	13_3 e
SiO ₂	50.86	48.54	52.04	51.98	51.25	52.09	50.92	53.53	47.96	46.12
TiO ₂	0.59	0.59	0.46	0.60	0.67	0.50	0.43	0.30	0.15	0.12
Al ₂ O ₃	7.98	7.93	5.08	5.25	5.41	4.79	6.44	4.89	13.1	15.45
Cr ₂ O ₃	0.04	0.09	0.04	0.02	0.21	0.01	0.01	0.00	0.09	0.06
FeO	9.92	10.30	10.43	10.35	10.73	10.41	7.53	6.50	4.97	5.36
MgO	14.84	15.62	16.47	16.39	16.11	16.49	16.88	18.08	17.96	17.01
MnO	0.19	0.23	0.18	0.28	0.26	0.22	0.16	0.17	0.11	0.11
CaO	10.46	10.44	10.47	10.76	10.62	10.26	11.72	12.51	11.26	11.51
Na ₂ O	2.97	2.38	1.77	1.75	1.76	1.71	2.23	1.57	3.11	3.48
K ₂ O	0.08	0.12	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.16	0.19
Total	97.93	96.24	97.00	97.45	97.09	96.55	96.39	97.63	98.87	99.41
<i>Formula coefficients (rate per 23 oxygen atoms)</i>										
Si	7.24	7.08	7.47	7.44	7.38	7.51	7.31	7.52	6.66	6.41
Ti	0.06	0.07	0.05	0.07	0.07	0.05	0.05	0.03	0.02	0.01
Al	1.34	1.36	0.86	0.89	0.92	0.81	1.09	0.81	2.14	2.53
Al ^{IV}	0.76	0.92	0.53	0.56	0.62	0.49	0.69	0.48	1.34	1.59
Al ^{VI}	0.58	0.44	0.33	0.32	0.30	0.32	0.40	0.33	0.81	0.94
Cr	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe	1.18	1.26	1.25	1.24	1.29	1.26	0.90	0.76	0.58	0.62
Mg	3.15	3.40	3.53	3.50	3.46	3.54	3.61	3.79	3.72	3.52
Mn	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01
Ca	1.60	1.63	1.61	1.65	1.64	1.58	1.80	1.88	1.68	1.71
Na	0.82	0.67	0.49	0.49	0.49	0.48	0.62	0.43	0.84	0.94
K	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03

Notes: e – grain edge; c – grain centre.

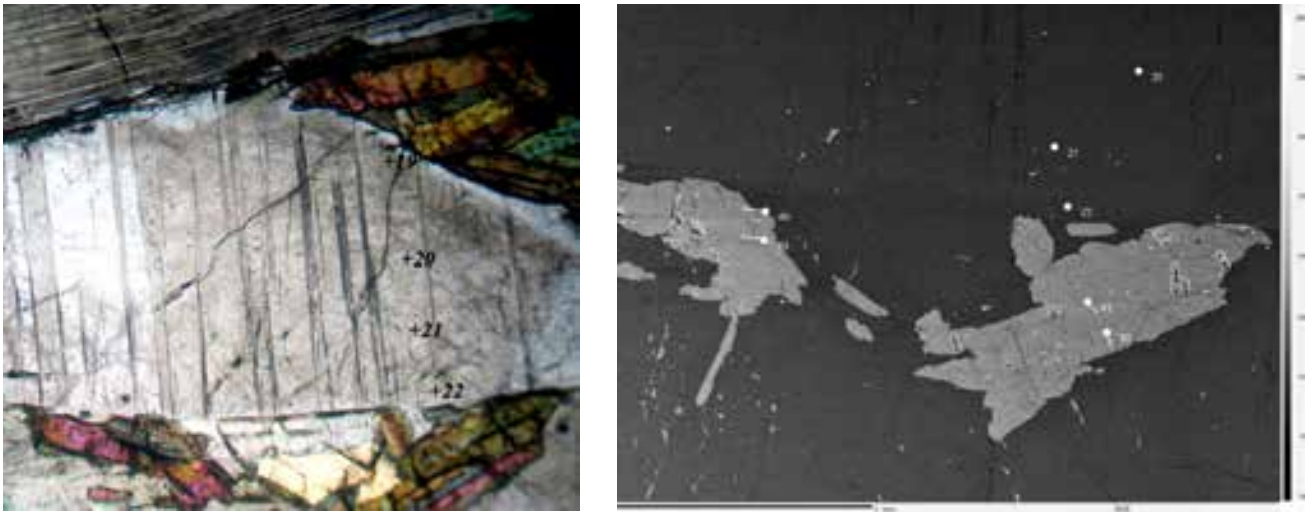


Figure 1. Plagioclase in the intergrowths with amphibole. Sample. Y-12/1. The photo of a thin section with an analyzer is on the left. BSE image is on the right. Analysis points – see Table 1, 2.
Рисунок 1. Плагиоклаз в сростании с амфиболом. Обр. Y-12/1. Слева – фото шлифа с анализатором. Справа – BSE-изображение. Точки анализов – см. табл. 1, 2.

in monomineralic fractions of amphibole and plagioclase from plagioclases was analyzed. The REE content in amphibole, plagioclase, and in the rock as a whole was determined by ICP-MS analysis at the Institute of Geology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg) and Institute of Minerology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Miass).

Amphiboles and plagioclases of corundum-bearing amphibole plagioclases (sample Y-292/2) with a distribution spectrum of lanthanides of the first type (Fig. 3, a) are characterized by enrichment with light lanthanides and depletion by heavy ones – the curve has a negative slope for both the main minerals and the rock as a whole.

Amphibole plagioclases without corundum of the Yugo-Zapadnoye IV ore occurrence of chromite (Fig. 3, b, c) with the distribution spectra of REEs of the second type are characterized by a slight depletion of light lanthanides – the distribution curve for the rock has a sub-horizontal position. If plagioclase, which constitutes more than 90% of the rock thickness, is characterized by enrichment with light lanthanides, then for amphibole contained in plagioclase in an amount of 3 to 10%, the type of REE distribution spectrum is different. In amphibole from plagioclases without corundum, a significantly lower content of light REEs is observed compared to heavy ones, and a negative europium anomaly is also determined [15] (Fig. 3, b, c).

The analysis of REE distribution in amphiboles depending on the faces of metamorphism was in [11]. When comparing the results of this work with those obtained by S. G. Skublov, a similarity of the REE distribution spectra in the amphiboles of corundum-bearing amphibole plagioclases is observed (sample Y-292/2), as well as REE spectra of amphiboles formed under granulite facies of metamorphism. Amphiboles from amphibole plagioclases without corundum are close to the mineral from the rocks of the upper amphibolite facies.

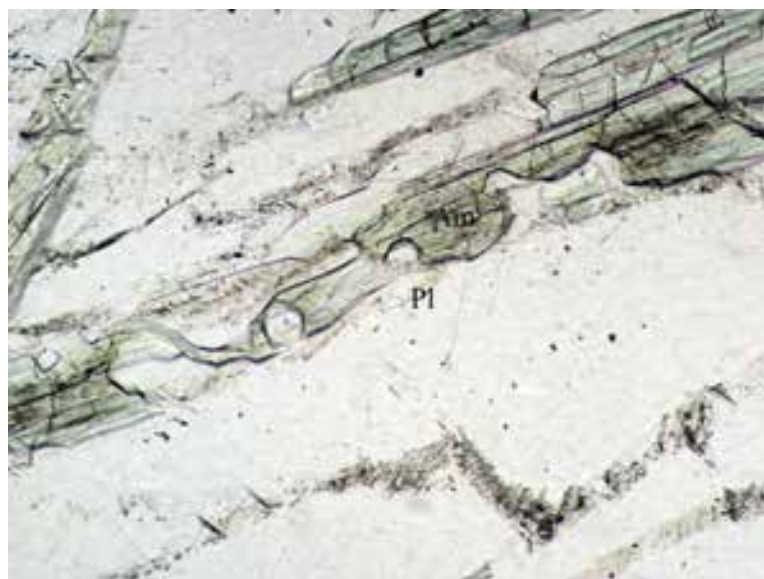


Figure 2. Intergrowth of plagioclase and amphibole (pargasite). Sample. Y-292/2. The photo of a thin section without an analyzer. 100x magnification (1 mm in vertical frame dimension). Am – amphibole, Pl – plagioclase.
Рисунок 2. Сростание плагиоклаза и амфибола (паргасита). Обр. Y-292/2. Фото шлифа без анализатора. Увеличение 100x (1 мм по высоте кадра). Ам – амфибол, ПИ – плагиоклаз.

Table 2. The chemical composition of plagioclase from amphibole plagioclases, wt. %.

Таблица 2. Химический состав плагиоклаза из амфиболовых плагиоклазитов, мас. %.

Sample number	Sample Y-12/1					Sample. Y-200/1				
	19 e	20 c	21 c	22 e	1_1 c	1_2 e	2_15 e	2_16 e	2_17 c	2_18 c
SiO ₂	66.47	61.53	62.31	64.28	64.33	65.01	64.27	64.49	64.50	64.21
TiO ₂	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03
Cr ₂ O ₃	0.03	0.48	0.01	0.04	0.01	0.03	0.05	0.01	0.01	0.00
Al ₂ O ₃	20.86	22.97	23.02	22.47	22.34	22.10	21.95	21.99	21.98	22.32
FeO	0.09	0.03	0.07	0.01	0.00	0.04	0.02	0.05	0.05	0.04
CaO	2.09	5.13	4.97	3.87	3.51	3.18	3.44	3.43	3.57	3.69
Na ₂ O	10.64	8.44	8.84	9.47	9.60	9.61	9.80	9.68	9.54	9.43
K ₂ O	0.05	0.07	0.07	0.06	0.05	0.40	0.03	0.04	0.05	0.06
SrO	0.06	0.07	0.07	0.00	0.09	0.04	0.04	0.11	0.08	0.09
BaO	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00
Total	100.34	98.75	99.42	100.26	100.00	100.44	99.63	99.82	99.80	99.88
<i>Formula coefficients (per 5 cations)</i>										
Si	2.91	2.77	2.78	2.83	2.84	2.86	2.84	2.85	2.86	2.84
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.08	1.22	1.21	1.17	1.16	1.15	1.15	1.15	1.15	1.16
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.10	0.25	0.24	0.18	0.17	0.15	0.16	0.16	0.17	0.18
Na	0.90	0.74	0.76	0.81	0.82	0.82	0.84	0.83	0.82	0.81
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
An., %	10.0	24.9	23.9	18.3	16.8	15.1	16.5	16.5	17.2	17.7

Notes: e – grain edge; c – grain centre.

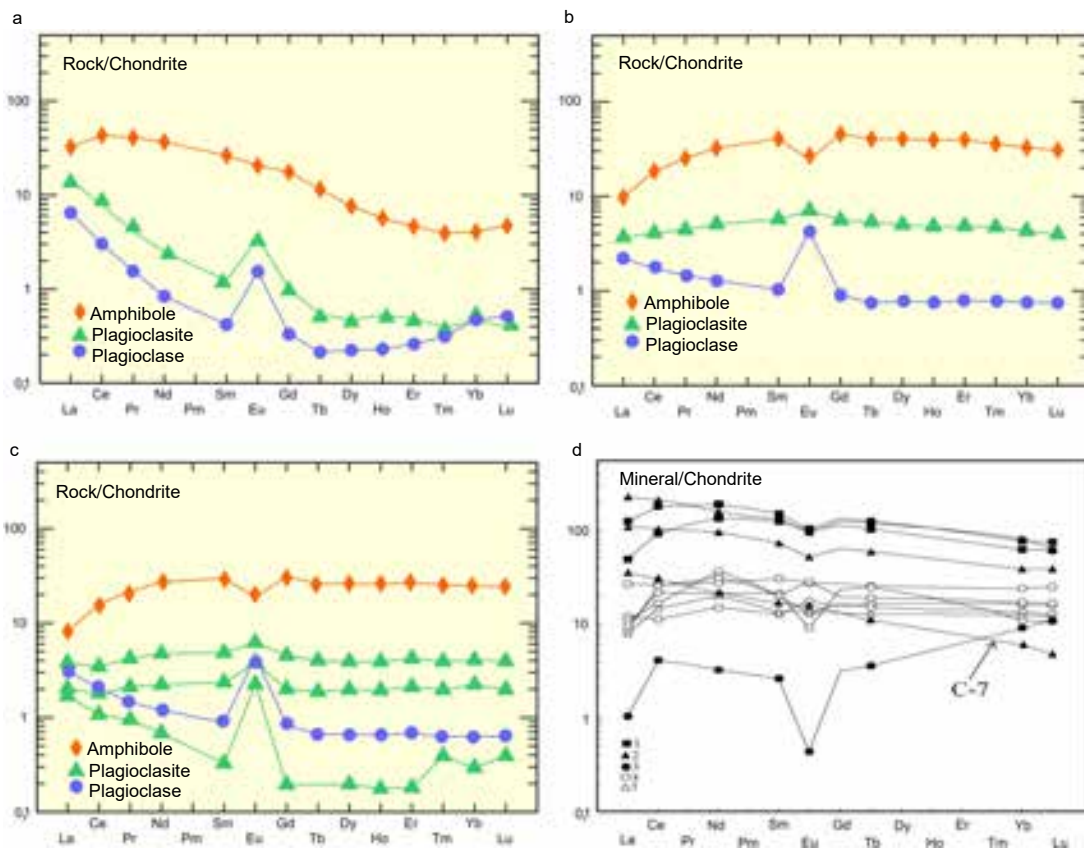


Figure 3. REE distribution spectra in plagioclases and main rock-forming minerals. a – sample Y-292/2 – amphibole plagioclase (Tsentrallye deposit); b – sample Y-12/1– amphibole plagioclase (Yugo-Zapadnoe IV); c – sample Y-200/1– amphibole plagioclase (Yugo-Zapadnoe IV); d – mafic complex of the northwestern Baikal region [11]. Amphibole compositions are shown. 1 – kaersutites, 2 – amphibole granulite facies (C-7 is close to the amphibolite facies of metamorphism), 3 – metasomatic amphiboles, 4 – high-temperature amphibolite facies, 5 – low-temperature amphibolite facies.

Рисунок 3. Спектры распределения РЗЭ в плагиоклазитах и главных породообразующих минералах. а – Y-292/2 – амфиболовый плагиоклазит (месторождение Центральное); б – Y-12/1 – амфиболовый плагиоклазит (рудопроявление Юго-Западное IV); в – Y-200/1 – амфиболовый плагиоклазит (рудопроявление Юго-Западное IV); г – мафический комплекс Северо-Западного Прибайкалья [11]. Показаны составы амфиболов. 1 – керсутитов, 2 – амфиболов гранулитовой фации (С-7 близок к амфиболитовой фации метаморфизма), 3 – метасоматических амфиболов, 4 – высокотемпературной амфиболитовой фации, 5 – низкотемпературной амфиболитовой фации.

Table 3. P–T parameters of plagioclase formation and amphibole compositional features.**Таблица 3. P–T-параметры образования плагиоклазитов и особенности состава амфибола.**

Sample number	T, °C	P, kbar	Amount of REE in amphibole, ppm	TiO ₂ , wt. %
Y-12/1	622–674	3,3–4,2	453,90	0,38–0,76
Y-200/1	591–625	2,2–4,1	330,40	0,20–0,54
Y-292/2	591–612	7,2–9,0	255,62	0,11–0,15

In amphiboles, a direct proportional dependence of TiO₂ and the sum of REEs was determined. The highest amount of REE is 454 ppm, with a TiO₂ content of 0.38–0.76 wt.% is observed in amphibole from plagioclase without corundum (sample Y-12/1); in the amphibole from the sample Y-200/1, the REE amount is 330 ppm and the TiO₂ content is 0.2–0.54 wt.%. The smallest amount of REE among the studied amphiboles (256 ppm) and TiO₂ content of 0.11–0.15 wt.% is observed in amphibole from corundum-bearing plagioclase (sample Y-292/2).

The temperature of formation of amphibole plagioclases was determined by Holland and Blundy amphibole-plagioclase geothermometer [12], and the pressure by Schmidt amphibole geobarometer [13]. For amphibole plagioclase (sample Y-12/1), the calculated pressure was 3.3–4.2 kbar, temperature – 622–674 °C. The pressure for the amphibole plagioclase Y-200/1 is 2.2–4.1 kbar, the temperature is 591–625 °C. For corundum-bearing amphibole plagioclase (sample Y-292/2) from the Tsentralnoye deposit, the parameters are the following: T = 591–612 °C, P = 7,2–9,0 kbar (Table 3) [14].

Conclusion

The comparison of parameters and compositional characteristics of amphiboles allow us to assume a direct relationship between temperature, the sum of REE and TiO₂, as well as the inverse correlation between pressure and total REE content. According to S. G. Skublov, with an increase in the temperature of metamorphism, the total REE concentration in amphiboles increases [11], which is also reflected in our research results.

This work was prepared with the support of the Comprehensive Program of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (project No 18-5-5-32).

REFERENCES

- Vakhrusheva N. V., Ivanov K. S., Stepanov A. E., Shokalsky S. P., Azanov A. N., Khiller V. V., Shiryayev P. B. 2016, Plagioclases from chromite-bearing ultramafic rocks of the Ray-Iz massif. *Litosfera* [Lithosphere], no. 5, pp. 134–145. (In Russ.)
- Vakhrusheva N. V., Ivanov K. S. 2018, *Priroda i vozrast plagioklazitov ul'traosnovnogo massiva Ray-Iz* (Polyarnyy Ural) [The nature and age of plagioclase of the ultrabasic massif Ray-Iz (Polar Ural)]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 480, no. 1. pp. 80–84. <https://doi.org/10.7868/S0869565218130169>
- Vakhrusheva N. V., Shiryayev P. B., Stepanov A. E., Bogdanova A. R. 2017, *Petrologiya i khromitonosnost' ul'traosnovnogo massiva Ray-Iz* (Polyarnyy Ural) [Petrology and chromite content of the ultrabasic massif Ray-Iz (Polar Ural)]. Ekaterinburg, 265 p.
- Sorokin Yu. P., Perevozchikov B. V. 1973, Ruby (diamond spar) from micaceous rocks of the hyperbasite massif Ray-Iz (Polar Ural). *Zapiski RMO* [Proceedings of the Russian Mineralogical Society], vol. 102, no. 6, pp. 692–696. (In Russ.)
- Bryanchaninova N. I., Makeev A. B., Zubkova N. V., Filippov V. N. 2004, Sodium-strontium mica – Na_{0.50}Sr_{0.25}Al₂(Na_{0.25–0.75}) [Al_{1.25}Si_{2.75}O₁₀](OH)₂ from the Rubinovoy Log. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 395, no. 1, pp. 101–107.
- Shcherbakova S. V. 1976, *O dvukh tipakh rubinovoy mineralizatsii v ul'traosnovnogo massiva Ray-Iz na Polyarnom Urale* [About two types of ruby mineralization in the ultrabasic massif Ray-Iz in the Polar Urals]. *Proceedings of the Geological Institute*, vol. 210, pp. 111–119.
- Shcherbakova S. V., Suturin A. N. 1990, *Geokhimiya i mineralogiya metasomatitov s rubinom (massiv Ray-Iz, Polyarnyy Ural)* [Geochemistry and mineralogy of metasomatites with ruby (Ray-Iz massif, Polar Ural)]. *Geochemical searches for gems*. Novosibirsk, pp. 167–198.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch W. V., Nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Guo Y. 1997, Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Canadian Mineralogist*, vol. 35, pp. 219–246. <https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.405.13>
- Hawthorne F. C., Oberti R., Harlow G. E., Maresch W. V., Martin R. F., Schumacher J. C., Welch M. D. 2012, Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, vol. 97, pp. 2031–2048. <https://doi.org/10.2138/am.2012.4276>
- Sun S.-S., McDonough W. F. 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. *Magmatism in the ocean basin. Geol. Soc. Sp. Publ.*, pp. 313–346. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Skublov S. G. 2005, *Geokhimiya redkozemel'nykh elementov v porodooobrazuyushchikh metamorficheskikh mineralakh* [Geochemistry of rare earth elements in rock-forming metamorphic minerals]. Saint Petersburg, 147 p.
- Holland T., Blundy J. 1994, Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, vol. 116, pp. 433–447. <https://doi.org/10.1007/bf00310910>
- Schmidt M. W. 1992, Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, vol. 110, pp. 304–310. <https://doi.org/10.1007/BF00310745>
- Bogdanova A. R., Vakhrusheva N. V. 2018, *Geokhimiya RZE v amfibole iz plagioklazitov massiva Ray-Iz* (Polyarnyy Ural) [Geochemistry of REE in amphibole from plagioclases of the Ray-Iz massif (Polar Ural)]. *Materials of the All-Russian Scientific Conference to mark the 70th anniversary of the founding of the Ural branch of the Russian Mineralogical Society, VII Readings in memory of corresponding member of RAS, S. N. Ivanov*. Ekaterinburg, pp. 30–31.
- Bogdanova A.R., Vakhrusheva N.V. 2019, *Raspredeleniye lantanoidov v granatovykh amfibolitakh i amfibolovykh plagioklazitakh massiva Ray-Iz* (Polyarnyy Ural) [Distribution of lanthanides in garnet amphibolites and amphibole plagioclases of the Ray-Iz massif (Polar Urals)]. *Ultramafic-mafic complexes: Geology, structure, ore potential*. Conference proceedings. Irkutsk, pp. 46–52.

The article was received on January 24, 2019

Распределение лантаноидов в амфиболе и плагиоклазе из плагиоклазитов массива Рай-Из (Полярный Урал)

Алёна Романовна БОГДАНОВА^{1*}

Надежда Владимировна ВАХРУШЕВА^{1,2**}

¹Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия, Екатеринбург

²Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность. В настоящей работе приведены результаты минералого-петрографических и геохимических исследований плагиоклазитов, локализованных среди хромитоносных ультрамафитов массива Рай-Из (Полярный Урал). Пространственная приуроченность плагиоклазитов к месторождению хромовых руд Центральному (корундсодержащие плагиоклазиты) и рудопроявлению Юго-Западному IV (бескорундовые плагиоклазиты) определяет необходимость детального исследования пород жильной серии хромитоносных разрезов.

Цель работы. Исследование минералого-петрографических характеристик, а также геохимии лантаноидов в плагиоклазе и амфиболе из плагиоклазитов массива Рай-Из (Полярный Урал).

Результаты. По результатам микрозондового анализа было установлено, что составы амфиболов в плагиоклазитах заметно варьируют, соответствуя по современной классификации кальциевых амфиболов паргаситу, эдениту, магнезиогорнблендиту и актинолиту. В амфиболе установлена зональность двух типов. Зерна амфиболов с зональностью первого типа характеризуются увеличением содержания Al_2O_3 , TiO_2 , FeO , Na_2O от центра к периферии зерен, с зональностью второго типа – напротив, снижением этих компонентов. Плагиоклаз по химическому составу соответствует олигоклазу $An_{10-30,1}$. Отмечено снижение содержания аноритовой молекулы от центра к краю зерна. Изучение характера распределения РЗЭ в породообразующих минералах позволило установить, что главным минералом-концентратором лантаноидов в плагиоклазитах является амфибол: суммарное содержание РЗЭ в минерале составляет 250–450 г/т, тогда как в плагиоклазе концентрируется 16–18 г/т лантаноидов. Установлено, что причиной существования двух типов спектров распределения лантаноидов, выявленных ранее, является соотношение суммарного количества амфиболов и плагиоклаза в породе. Проведено сравнение распределения редкоземельных элементов в кальциевых амфиболов из плагиоклазитов с распределением РЗЭ в амфиболов нюрнундуканского мафического комплекса в Северо-Западном Прибайкалье, исследования которых выполнены С. Г. Скубловым. С помощью амфибол-плагиоклазового геотермометра (Т. Holland, J. Blundy) и геобарометра (М. W. Schmidt) были определены параметры образования амфиболовых плагиоклазитов.

Выводы. Выявлен характер распределения лантаноидов в главных породообразующих минералах – плагиоклазе и амфиболе. Сравнение параметров и особенностей состава амфиболов позволило сделать вывод о прямой зависимости между температурой, суммой РЗЭ и TiO_2 в минерале.

Ключевые слова: амфибол, плагиоклаз, плагиоклазит, геохимия РЗЭ, Рай-Из, Полярный Урал.

ЛИТЕРАТУРА

- Вахрушева Н. В., Иванов К. С., Степанов А. Е., Шокальский С. П., Азанов А. Н., Хиллер В. В., Ширяев П. Б. Плагиоклазиты из хромитоносных ультрамафитов массива Рай-Из // Литосфера. 2016. № 5. С. 134–145.
- Вахрушева Н. В., Иванов К. С. Природа и возраст плагиоклазитов ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал) // ДАН. 2018. Т. 480, № 1. С. 80–84. <https://doi.org/10.7868/S0869565218130169>
- Вахрушева Н. В., Ширяев П. Б., Степанов А. Е., Богданова А. Р. Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
- Сорокин Ю. П., Перевозчиков Б. В. Рубин (алмазный шпат) из слюдитов гипербазитового массива Рай-Из (Полярный Урал) // Записки ВМО. 1973. Т. 102, № 6. С. 692–696.
- Брянчинова Н. И., Макеев А. Б., Зубкова Н. В., Филиппов В. Н. Натрий-стронциевая слюда – $Na_{0.50}Sr_{0.25}Al_2(Na_{0.25-0.75})[Al_{1.25}Si_{2.75}O_{10}](OH)_2$ из Рубинового Лога // ДАН. 2004. Т. 395, № 1. С. 101–107.
- Щербакова С. В. О двух типах рубиновой минерализации в ультраосновном массиве Рай-Из на Полярном Урале // Тр. ВСЕГЕИ. 1976. Т. 210. С. 111–119.
- Щербакова С. В., Сутурин А. Н. Геохимия и минералогия метасоматитов с рубином (массив Рай-Из, Полярный Урал) // Геохимические поиски самоцветов. Новосибирск: Наука, 1990. С. 167–198.
- Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch W. V., Nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Guo Y. Nomenclature of Amphiboles: Report of the Subcommission of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names // Canadian Mineralogist. 1997. Vol. 35. P. 219–246. <https://doi.org/10.1180/minmag.1997.061.405.13>
- Hawthorne F. C., Obert R., Harlow G. E., Maresch W. V., Martin R. F., Schumacher J. C., Welch M. D. Nomenclature of the amphibole supergroup // American Mineralogist. 2012. Vol. 97. P. 2031–2048. <https://doi.org/10.2138/am.2012.4276>
- Sun S.-S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basin // Geol. Soc. Sp. Publ., 1989. P. 313–346. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Скублов С. Г. Геохимия редкоземельных элементов в породообразующих метаморфических минералах. СПб.: Наука, 2005. 147 с.
- Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // Contrib. Mineral. Petrol. 1994. Vol. 116. P. 433–447. <https://doi.org/10.1007/bf00310910>
- Schmidt M. W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer // Contrib. Mineral. Petrol. 1992. Vol. 110. P. 304–310. <https://doi.org/10.1007/BF00310745>
- Богданова А. Р., Вахрушева Н. В. Геохимия РЗЭ в амфиболе из плагиоклазитов массива Рай-Из (Полярный Урал) // Материалы Всерос. науч. конф., посвящ. 70-летию основания Урал. отд-ния Рос. минералог. о-ва. VII Чтения памяти чл.-корр. РАН С. Н. Иванова. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. С. 30–31.
- Богданова А. Р., Вахрушева Н. В. Распределение лантаноидов в гранатовых амфиболитах и амфиболовых плагиоклазитах массива Рай-Из (Полярный Урал) // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал: материалы конф. Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2019. С. 46–52.

Статья поступила в редакцию 24 января 2019 года

✉ ugulor96@mail.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-2995-4743>

✉ nv250190@yandex.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-2790-8401>

Fluor-elbaite, fluornatromicrolite and fluorcalciomicrolite from lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka (Middle Urals)

Anatoliy Vladimirovich ZAKHAROV*

The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is due to the need to study the mineralogy of lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka, a one-of-a-kind facility that gave the world a large amount of crystalline raw materials of colored tourmaline.

The purpose of the work. Study of fluorine-containing minerals found in lithium-bearing granite pegmatites of the Lipovskoye vein field (Middle Urals).

Methodology of the research. Quantitative analysis of the chemical composition of fluorine-containing minerals was performed with CAMECA SX 100 X-ray electron probe microanalyzer. Measurement conditions: accelerating voltage is 15 kV, current strength is 50 nA, electron beam diameter is 2 μm . The intensity was recorded using K α lines on inclined wave spectrometers with TAP, LPET, and LiF crystal analyzers. To determine fluorine, a separate LPCO crystal analyzer was used. The lithium content in tourmaline was determined using ICP-MS ELAN-9000 mass spectrometer with preliminary dissolution of the frayed samples in heated acids.

Results. When studying crystals of dark blue tourmaline, which turned out to be fluor-elbaite in chemical composition, we have found some inclusions of tantaloniobates. According to up-to-date classification, they belong to the microlite group and some of analyzes relate to fluornatromicrolite because fluorine, tantalum and sodium predominate in them in certain positions and part of them belong to fluorcalciomicrolite because calcium, tantalum and fluorine are dominated substances. The fluorine content in these tantaloniobates varies from 1.4 to 1.6 wt.%. In polychrome tourmalines, pink and crimson parts of crystal belong to fluor-elbaite due to the high fluorine content (which varies from 1.2 to 1.7 wt.%).

Conclusions. Three new minerals such as fluor-elbaite, fluornatromicrolite and fluorcalciomicrolite have been identified for lithium-bearing granite pegmatites of the Lipovskoye vein field. The last two tantaloniobates were found in the form of small inclusions in crystals of dark blue fluor-elbaite. Tourmaline itself is quite widespread in Lipovka, it composes the intermediate and marginal zones of colored and polychrome tourmaline, and at least fluor-elbaite is found in pink, crimson and dark blue crystals. The find of three fluorine-containing minerals suggests that the fluorine activity was very high at the final stage of the formation of lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka.

Keywords: fluor-elbaite, fluornatromicrolite, fluorcalciomicrolite, minerals, lithium-bearing granite pegmatites, Lipovskoye vein field, Middle Urals.

Introduction

Lipovka mines became famous all over the world thanks to the mining of rubellites. The first find of colored tourmaline in this area dates from the spring of 1900 years [1]. In the pre-revolutionary period, Lipovskoye tourmaline vein was studied by a number of prominent researchers, such as P. L. Dravert (1904), V. I. Vorob'yev (1901–1904), V. I. Vernadsky (1908), K. A. Nenadkevich and V. I. Kryzhanovsky (1911). During the period of 1912–1916 years and later these mines were visited by A. E. Fersman, who left the most detailed surviving evidence of the work carried out here during the first decades [1]. Since 1921 works at the Lipovskoye pink tourmaline deposit have been carried out by “Rayruda”. There was a facility in a nearby village – the office directed by G. G. Kitaev, a well-known Ural free miner and a major expert in precious and collectable stones of the Middle Urals (up to 120 people worked in the mine every year). Simultaneously, the prospecting mining of tourmaline has been carried out until the 1930th year. Much later, in 1956 years, geologists discovered the Lipovskoye deposit of silicate nickel [2], during the development of which new pegmatite bodies with pink tourmaline were found. The richest color tourmalines turned out to be two pegmatite bodies of the Sherlova mine – Toporkov and Staratel'skaya veins, which were developed at the beginning of the twentieth century. These veins were crossed and explored in 1968–1970 by geologists at the Rezhvskoy Nickel Plant according to the assignment of Glavnikelkobalt company [2]. In 1991 years, a silicate nickel deposit was abandoned and pegmatite open pits were flooded.

Despite the wide distribution of lithium-bearing veins in the given area and their relatively good mineralogical knowledge [1, etc.], it turned out that accessory ore mineralization of lithium-bearing pegmatites is covered fragmentarily and not fully studied. This work presents data about the finding of fluor-elbaite, fluornatromicrolite, and fluorcalciomicrolite in lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka that were not previously described here.

Geological position of the object of research

The granite pegmatites of the Lipovskoye vein field are located in the eastern slope of the Middle Urals (70 km to north-east from Ekaterinburg and in 5 km to the west from the village of Lipovskoye). Pegmatites are limited to a gently sloping synclinal structure sandwiched between three large granite massifs – Murzinsky (from north-west), Aduysky (from south-west) and Sokolovsky (from east). The dominant lithology of synclinal fold is metamorphic rocks of the Proterozoic age, in which various gneisses, schists, and amphibolites predominate [1, 2, etc.]. Separate bodies of serpentinites and marbles are also noted here, which are usually tectonically interspersed with each other in the melange zone. The karst marbles and weathering crusts of serpentinites are associated with famous and developed deposit of nickel-silicate ores. Granite pegmatites are widespread within the Lipovskoye vein field and usually represented by intragranular, lithium-bearing and desilicated types. The age of rare-metal pegmatites inside the granites was determined by us within the range of 266.4 ± 2.6 Ma [3]. The yields of lithium-bearing granite pegmatites with fluorine-containing minerals studied by us are shown on the geological map (Fig. 1).

Methods of research

Quantitative analysis of the chemical composition of fluorine-containing minerals was performed with CAMECA SX 100 electron probe microanalyzer (Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, analyst is V. V. Khiller). The polished sections were made from fragments of colored tourmaline crystals and then they were sprayed with a thin layer of carbon. Measurement conditions: accelerating voltage is 15 kV, current strength is 50 nA,

*zakharov-zav@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8790-7892>

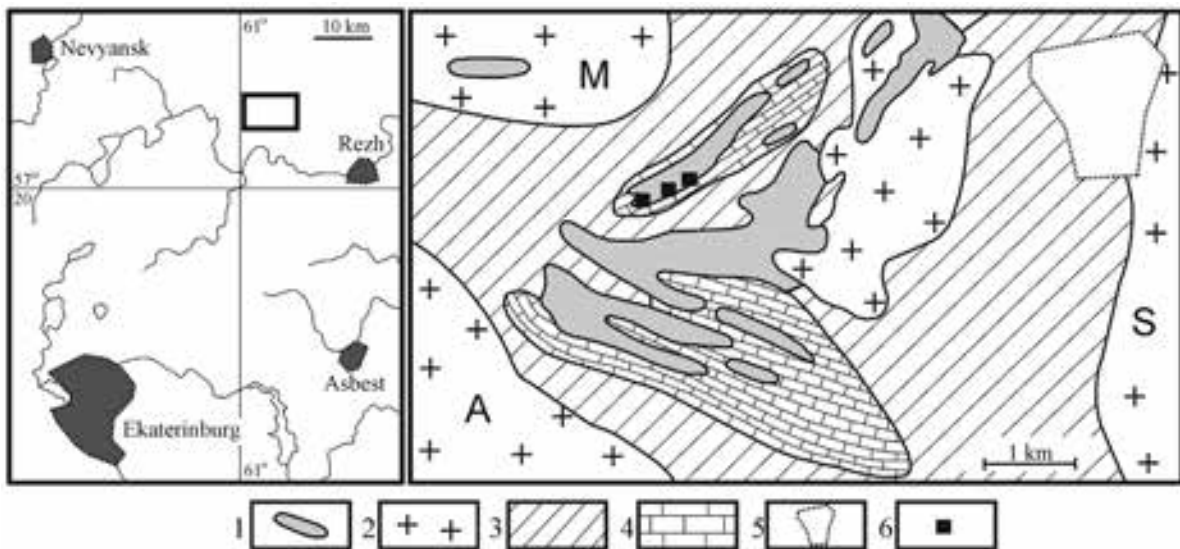


Figure 1. Geologic pattern of the Lipovskoye vein field (according to [3]). 1 – serpentinites; 2 – granites (A – Aduysky massif, M – Murzinsky massif, S – Sokolovsky massif); 3 – gneiss; 4 – marble; 5 – contours of Lipovskoye village; 6 – lithium-bearing granite pegmatites outcrops.
Рисунок 1. Геологическая схема Липовского жильного поля (дано по [3]). 1 – серпентиниты; 2 – граниты (А – Адуysкий массив, М – Мурзинский массив, С – Соколовский массив); 3 – гнейсы; 4 – мраморы; 5 – контуры села Липовское; 6 – выходы литиеносных гранитных пегматитов.

electron beam diameter is 2 μm . Standard samples: fluorphlogopite for F and Mg, andradite for Si, Fe, Ca and O, tantalite for Ta, columbite for Nb, orthoclase for Al, jadeite for Na, rutile for Ti, eskolaite for Cr, rhodonite for Mn, uraninite for U, Th, Pb, bismuthinite for Bi. The intensity was recorded using Ka lines on inclined wave spectrometers (40 X-ray angle) with TAP analyzer crystals (for Na, Mg, Al, Si), LPET (Ca, Ti, Cr) and LiF (Mn, Fe and other). To determine fluorine, a separate LPCO crystal analyzer was used. When performing a quantitative analysis, the time of measuring the intensity at the peak was twice as high as the background measurement time.

The lithium content in tourmaline was determined using ICP-MS ELAN-9000 mass spectrometer with preliminary dissolution of the frayed samples in heated acids (the analysts are N. N. Adamovich, N. V. Cherednichenko). From each color zone of the crystal, a monofraction of tourmaline was isolated for analysis.

Research results and their discussion

Fluornatromicrolite and fluorcalcimicrolite. According to literary sources [1], a number of tantaloniobates as ore minerals are characteristic for lithium-bearing contaminated granite pegmatites of Lipovka – columbite-(Mn), stibiocolumbite, stibio-tantalite, bismutotantalite, plumbomicrolite, bismutomicrolite, uranmicrolite and microlite. Moreover, the last two minerals were also noted in silica-depleted pegmatites as substitution products of primary tantalite-(Mn) in association with other tantaloniobates and magnesiotalantalite [4]. Previously, we studied tantaloniobates in contaminated pegmatites and found tantalite-(Mn) not mentioned earlier in them [5].

Unfortunately, the classification of the microlite-group [6, 7], as well as other tantaloniobates, has now become much more complicated, primarily due to the expansion of the crystal chemical position in the area of anions with respect to oxygen, fluorine, OH

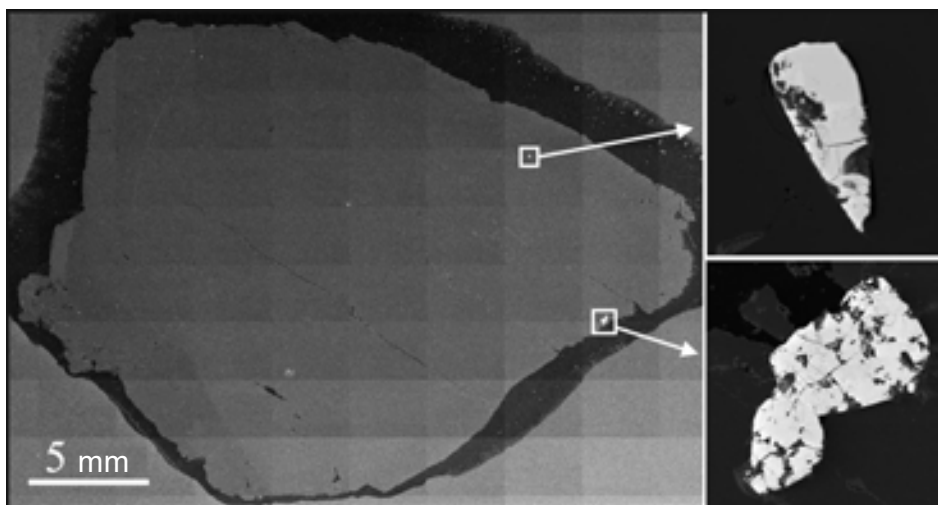


Figure 2. Fluor-elbaite crystal with microlite inclusions (their enlarged images are shown on the right). Cross tourmaline crystal, polished thin section. BSE-image, CAMECA SX 100 microanalyzer. The photo of tourmaline was made by the mosaic method, by way of “gluing” pictures with each other.
Рисунок 2. Включения микролита в матрице фтор-эльбаита. Поперечный кристалл турмалина, полированный шиф. BSE-изображение, микроанализатор CAMECA SX 100. Фото турмалина сделано методом мозаики, путем «склеивания» картинок друг с другом.

group, water, and vacancy. All this implies more detailed studies of the mineral and, according to the results of microprobe analysis (which cannot diagnose water, oxygen or a vacancy) it is extremely difficult to determine the microlite to a mineral type. Currently, only fluorinatromicrolite is officially and reliably determined from the sodium differences of microlite [8], the remaining four mineral species remain unknown. Among the calcic microlites, only fluorcalciummicrolite [9] and oxycalciummicrolite [7] were found; the other three mineral species are also unknown. The previously described microlite finds within the Lipovskoye vein field [10, 11] remained undetermined to the mineral form for various reasons (within the framework of the current classification).

When studying the cross and long sections of crystals of dark blue, almost black, tourmaline, which turned out to be fluor-elbaite in chemical composition, we found numerous inclusions of tantaloniobates. They form weakly elongated and rounded grains up to 200–250 μm in size (Fig. 2). According to the microprobe analysis (Table 1), inclusions differ in a quite stable chemical composition and are confidently determined as tantaloniobates from the microlite-group. Among the essential impurities in grains one can find uranium (UO_2 up to 14.5 wt.%), niobium (Nb_2O_5 up to 2.7 wt.%), titanium (TiO_2 up to 2.6 wt.%), lead (PbO up to 1 wt.%) and bismuth (Bi_2O_3 up to 0.7 wt.%). The total amount of compounds is characterized by a slight shortage, which is quite typical for tantaloniobates. Against the background of significant impurities of uranium, the mineral could fall under partial metamictization.

The crystallochemical microlite recalculation shows that the “A” position in the mineral has a slight drawback, and the “B” position, on the contrary, has an excess, which is possibly associated with inclusion of water into the “A” position. The recalculation shows that the amount of uranium varies from 0.32 to 0.35 f. units, i. e. no more than 17.5% of the uranium microlite mineral. The ratio of calcium and sodium in tantaloniobates varies slightly, and in one analysis (an. 4), according to crystallochemical recalculation, calcium prevails over sodium. The same applies to fluorine: in almost all analyzes (an. 1-4) it prevails in the so-called “Y” position (i. e., fills it) of a flawless microlite, which means that the prefix “fluorine” should be applied to them. In two other analyzes, fluorine is already below the 50% threshold.

Therefore, using the current classification of the microlite-group [6, 7], it can be assumed that the first three analyzes (an. 1–3) relate to fluorinatromicrolite because fluorine, tantalum and sodium prevail in certain positions in them. The fourth analysis (an. 4) relates to fluorcalciummicrolite because it is dominated by calcium, tantalum and fluorine. The remaining two analyzes correspond exactly to sodium microlites, since sodium and tantalum are dominated substances. Moreover, the amount of fluorine in these analyzes is below the threshold value; therefore, this mineral phase can be hydronatromicrolite, oxinatromicrolite, hydroxynatromicrolite or kenonatromicrolite, i.e. a new mineral that is not recorded yet. What particular mineral it is we will determine further. The task is facilitated by the fact that these two analyzes were performed for the smallest inclusion of tantaloniobate (in Fig. 2, it is located on top), which means that it will be possible to conduct an X-ray diffraction study of the grain.

Interestingly, when studying Lipovka microlites, no significant fluorine concentrations were observed in them [1, 10, 11], although various associations and paragenesis of the mineral were considered. Apparently, fluorine accumulates in tantaloniobates (and in other minerals as well) at the final crystallization stage of lithium-bearing granite pegmatite.

Fluor-elbaite. It is a recently discovered mineral specimen from the tourmaline supergroup [12, 13], but it has not yet been determined in the Lipovka pegmatites, although the existence of fluorelbaite has long been assumed by us [14, 15]. At the same

Table 1. Chemical composition (in wt.%) of microlite inclusions from fluor-elbaite crystals.
Таблица 1. Химический состав (в мас.%) включений микролита из кристаллов фтор-эльбаита.

№	1	2	3	4	5	6
Ta_2O_5	63.72	66.18	65.87	65.80	66.15	66.14
Nb_2O_5	2.43	2.67	2.48	2.61	2.37	2.35
ThO_2	0.26	0.14	0.17	0.19	0.41	0.04
UO_2	14.10	14.46	14.21	13.89	13.99	14.38
SiO_2	0.33	0.32	0.34	0.29	0.31	0.31
TiO_2	2.52	2.62	1.81	2.28	2.01	1.97
Bi_2O_3	0.70	0.52	0.59	0.63	0.66	0.69
PbO	1.13	1.13	0.98	1.01	0.97	0.93
FeO	–	–	0.18	0.11	–	0.05
CaO	5.62	6.17	6.04	6.24	5.98	5.72
MnO	–	0.01	0.06	–	0.09	0.01
Na_2O	3.97	3.74	3.75	3.36	4.06	3.25
F	1.68	1.79	1.53	1.42	1.27	1.01
$2\text{F}\equiv\text{O}$	–0.71	–0.75	–0.64	–0.60	–0.53	–0.42
Total	95.75	99.00	97.37	97.22	97.74	96.45
<i>Crystallochemical formulas</i>						
1	$(\text{Na}_{0.82}\text{Ca}_{0.64}\text{U}_{0.33}\text{Pb}_{0.03}\text{Bi}_{0.02}\text{Th}_{0.01})_{1.85}(\text{Ta}_{1.83}\text{Ti}_{0.20}\text{Nb}_{0.12/2.15})\text{O}_6(\text{F}_{0.62}\text{X}_{0.38})$					
2	$(\text{Na}_{0.76}\text{Ca}_{0.68}\text{U}_{0.33}\text{Pb}_{0.03}\text{Bi}_{0.01})_{1.81}(\text{Ta}_{1.86}\text{Ti}_{0.20}\text{Nb}_{0.13})\text{O}_6(\text{F}_{0.65}\text{X}_{0.35})$					
3	$(\text{Na}_{0.76}\text{Ca}_{0.68}\text{U}_{0.33}\text{Pb}_{0.03}\text{Bi}_{0.02}\text{Fe}_{0.02}\text{Mn}_{0.01})_{1.85}(\text{Ta}_{1.89}\text{Ti}_{0.14}\text{Nb}_{0.12})_{2.15}\text{O}_6(\text{F}_{0.57}\text{X}_{0.43})$					
4	$(\text{Ca}_{0.71}\text{Na}_{0.69}\text{U}_{0.33}\text{Pb}_{0.03}\text{Bi}_{0.02}\text{Fe}_{0.01}\text{Th}_{0.01})_{1.80}(\text{Ta}_{1.90}\text{Ti}_{0.18}\text{Nb}_{0.12})_{2.20}\text{O}_6(\text{F}_{0.53}\text{X}_{0.47})$					
5	$(\text{Na}_{0.82}\text{Ca}_{0.66}\text{U}_{0.32}\text{Pb}_{0.03}\text{Bi}_{0.02}\text{Th}_{0.01}\text{Mn}_{0.01})_{1.87}(\text{Ta}_{1.86}\text{Ti}_{0.16}\text{Nb}_{0.11})_{2.13}\text{O}_6(\text{F}_{0.47}\text{X}_{0.53})$					
6	$(\text{Na}_{0.69}\text{Ca}_{0.67}\text{U}_{0.35}\text{Pb}_{0.03}\text{Bi}_{0.02}\text{Fe}_{0.01})_{1.77}(\text{Ta}_{1.96}\text{Ti}_{0.16}\text{Nb}_{0.11})_{2.23}\text{O}_6(\text{F}_{0.40}\text{X}_{0.60})$					

Note: The analyses were made using CAMECA SX 100 (The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, analyst V. V. Khiller); an. 1–3 – fluorinatromicrolite, an. 4 – fluorcalciummicrolite, an. 5–6 – natromicrolite is undefined yet; X in the formulas is either O, OH, H_2O or a vacancy.

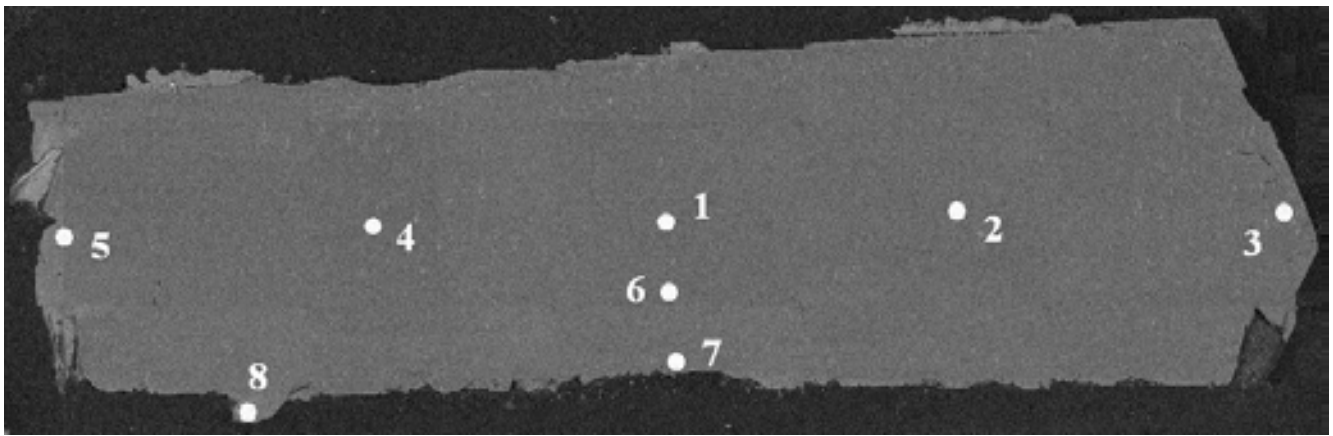


Figure 3. Long section of a polychrome tourmaline crystal, about 2 cm long. Image in BSE mode, CAMECA SX 100. Analyses 2–3 – crimson zone, an. 1, 6–7 – pink zone, an. 4–5, 8 – greenish zone.
Рисунок 3. Продольный срез кристалла полихромного турмалина, длина около 2 см. Снимок в BSE-режиме, CAMECA SX 100. Анализы 2–3 – малиновая зона, ан. 1, 6–7 – розовая зона, ан. 4–5, 8 – зеленоватая зона.

time, its fluorine-free analogue, elbaite, is quite often found within the Lipovskoye vein field. It was described in all lithium-bearing pegmatites of the object [1, 14 etc.], where it is a common mineral in association with potassium feldspar, albite and lepidolite.

The chemical composition of the colored tourmalines of Lipovka has been studied quite well; they are mainly represented by elbaite (colored differences) and rarely rossmanite (colorless differences). The first data on the composition of non-ferrous tourmaline were presented recently [16], as well as some works were published on the chemistry and zoning of lithium borosilicates [1, 17]. We have studied the chemical composition of polychrome tourmaline from the “German” lithium-bearing pegmatite vein (Table 2). For this purpose, a rubellite crystal was selected with a rough cross-banded zonality (in long section) from the crimson color (top of the crystal) through the pink center to a pale green base. In the individual in the cross section, concentric zoning with a greenish core and a pink rim is noted. The long section of the crystal and the location of the microprobe analysis points are shown in Fig. 3.

Table 2. Chemical composition (in wt.%) of tourmaline (longitudinal cut of crystal).
Таблица 2. Химический состав (в мас.%) турмалина (продольный срез кристалла).

№	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	39.01	38.76	38.96	38.56	38.90	38.70	38.88	39.51
TiO ₂	–	0.06	0.04	–	0.04	0.04	–	0.06
Al ₂ O ₃	40.05	40.35	41.24	43.32	43.46	40.75	40.04	42.20
Cr ₂ O ₃	–	–	0.01	–	–	–	–	0.04
FeO	0.59	0.25	0.10	–	0.02	0.52	0.45	0.05
MnO	1.76	1.55	0.61	0.12	0.02	1.45	1.90	0.27
MgO	–	0.01	–	–	0.01	–	–	–
CaO	0.60	0.70	0.54	0.32	0.04	0.46	0.63	0.13
Na ₂ O	2.17	2.07	2.16	1.73	1.78	2.12	2.13	1.94
K ₂ O	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cs ₂ O	–	–	–	0.08	–	0.01	–	0.02
Li ₂ O*	1.46	1.51	1.51	1.35	1.35	1.46	1.46	1.46
F	1.20	1.26	1.66	0.67	0.67	1.22	1.20	0.77
O≡F ₂	–0.51	–0.53	–0.70	–0.28	–0.28	–0.51	–0.51	–0.32
Total	86.34	86.01	86.14	85.88	86.02	86.23	86.19	86.14

Crystallochemical formulas

1	$(\text{Na}_{0.65}\text{Ca}_{0.10})_{0.75}(\text{Al}_{1.73}\text{Li}_{0.95}\text{Mn}_{0.24}\text{Fe}_{0.08})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}_{3.29}\text{F}_{0.71})_4$
2	$(\text{Na}_{0.62}\text{Ca}_{0.12})_{0.74}(\text{Al}_{1.76}\text{Li}_{0.99}\text{Mn}_{0.21}\text{Fe}_{0.03}\text{Ti}_{0.01})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}_{3.25}\text{F}_{0.75})_4$
3	$(\text{Na}_{0.64}\text{Ca}_{0.09})_{0.73}(\text{Al}_{1.91}\text{Li}_{1.00}\text{Mn}_{0.08}\text{Fe}_{0.01})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}_{3.29}\text{F}_{0.98})_4$
4	$(\text{Na}_{0.52}\text{Ca}_{0.05})_{0.57}(\text{Al}_{2.13}\text{Li}_{0.84}\text{Mn}_{0.02}\text{Cs}_{0.01})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}_{3.60}\text{F}_{0.40})_4$
5	$(\text{Na}_{0.53}\text{Ca}_{0.01})_{0.54}(\text{Al}_{2.16}\text{Li}_{0.84})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}_{3.60}\text{F}_{0.40})_4$
6	$(\text{Na}_{0.64}\text{Ca}_{0.08})_{0.72}(\text{Al}_{1.77}\text{Li}_{0.94}\text{Mn}_{0.20}\text{Fe}_{0.07})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}_{3.27}\text{F}_{0.73})_4$
7	$(\text{Na}_{0.64}\text{Ca}_{0.10})_{0.74}(\text{Al}_{1.72}\text{Li}_{0.96}\text{Mn}_{0.26}\text{Fe}_{0.06})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}_{3.29}\text{F}_{0.71})_4$
8	$(\text{Na}_{0.57}\text{Ca}_{0.02})_{0.59}(\text{Al}_{2.00}\text{Li}_{0.95}\text{Mn}_{0.04}\text{Fe}_{0.01})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}_{3.57}\text{F}_{0.43})_4$

Note: The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, analyst V. V. Khiller; * – lithium was determined by the ICP–MS method in ppm and converted into oxides. An. 1–3, 6, 7 – fluor-elbaite, an. 4, 5, 8 – elbaite.

According to the microprobe profiling (Fig. 3), we can say that the visual color of tourmaline is in good agreement with changes in the chemical composition. Pink and crimson zones of borosilicate are enriched with manganese, iron, calcium, sodium and fluorine; greenish zones are vice versa and they contain a little more alumina. The lithium content in each color zone was determined by the ICP-MS method (green zone – 6298 ppm, pink – 6776 ppm, crimson – 7022 ppm) and, when converted to oxide, they correlated quite well with previously published results. For example, in an earlier work [16], the amount of Li_2O for mixed-colored elbaite is given from 1.1 to 1.6 wt.%. Based on our crystallochemical calculations, the pink and crimson parts of crystal due to the high fluorine content (it varies from 1.2 to 1.7 wt.%) belong to fluor-elbaite; the greenish zone is elbaite with a high rossmanite. It follows that in the lithium-bearing pegmatite veins of Lipovka, along with the well-known tourmalines – elbaite and rossmanite – fluor-elbaite is also widespread. It is possible that fluor-elbaite is the main tourmaline of these pegmatites. Currently, we have analyzed in detail three crystals of colored lithium-containing tourmaline (dark blue, pink and crimson) and it turned out that the core in them is composed of elbaite (rarely rossmanite), and the intermediate zone and border – fluor-elbaite, i. e. up to 2/3 of the crystal volume.

In general, the find of three fluorine-containing minerals (tourmaline and inclusions in it) suggests that fluorine activity was very high at the final stage of the formation of lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka. This is confirmed by the host lepidolite in tourmaline (in composition it occupies an intermediate position between polyolithionite and trilithionite), as well as the minerals associated with paragenesis – topaz and fluorapatite.

Conclusions

Thus, in the course of the study, three new minerals for lithium-bearing granite pegmatites of the Lipovskoye vein field – fluor-elbaite, fluoronatomicrolite and fluorcalciomicrolite – were determined. The last two tantaloniobates were found in the form of small inclusions in crystals of dark blue fluor-elbaite. Tourmaline itself is quite widespread in Lipovka, it composes the intermediate and marginal zones of colored and polychrome tourmaline, and at least fluor-elbaite is found in pink, raspberry and dark blue crystals. The find of three fluorine-containing minerals (tourmaline and inclusions in it) suggests that fluorine activity was very high at the final stage of the formation of lithium-bearing granite pegmatites of Lipovka.

The author is grateful to V. V. Khiller, Candidate of geological and mineralogical sciences, Yu. V. Erokhin, Candidate of geological and mineralogical sciences, and responsible executives of the Rezhevskoy State natural and mineralogical sanctuary (OGUMPZ “Rezhevskoy”) for their assistance in the research. In addition, the author thanks the reviewer for giving this manuscript his careful consideration.

The work was performed within state assignment of the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, No AAAA-A18-118052590032-6.

REFERENCES

1. Pekov I. V., Memetova L. R. 2008, *Mineraly granitnykh pegmatitov Lipovki, Sredniy Ural* [Minerals of granite pegmatites of Lipovka, Middle Urals]. *In the world of minerals. Mineralogical almanac*, no. 13, P. 7–44. (In Russ.)
2. Emlin E. F., Vakhrushcheva N. V., Kaynov V. I. 2002, *Samotsvetnaya polosna Urala* [Precious band of the Urals], Rezhevskoy State natural and mineralogical sanctuary. Guide. Ekaterinburg; Rezh, 156 p.
3. Khiller V. V., Erokhin Yu. V., Zakharov A. V., Ivanov K. S. 2014, Th–U–Pb dating of granite pegmatites from the Lipovskoye ore field (Urals) for three minerals. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], vol. 455, no. 2, P. 323–326. (In Russ.)
4. Pekov I. V., Yakubovich O. V., Shcherbachev D. K., Kononkova N. N. 2003, Magnesiotalite (Mg, Fe) $(\text{Ta, Nb})_2\text{O}_6$ is a new mineral of the colombite-tantalite group from silica-depleted granite pegmatites of Lipovka (Middle Urals). *Zapiski RMO* (Proceedings of the Russian Mineralogical Society), no. 2, P. 49–59. (In Russ.)
5. Erokhin Yu. V., Zakharov A. V. 2013, *Manganotalit i bismutotalit iz kontaminirovannykh pegmatitov Lipovskogo zhil'nogo polya (Sredniy Ural)* [Manganotalite and bismutotalite from contaminated pegmatites of the Lipovskoye vein field (Middle Urals)]. *14th All-Russian scientific readings in memory of the Ilmen mineralogist V. O. Polyakov*. Miass, P. 25–29. (In Russ.)
6. Atencio D., Andrade M. B., Christy A. G., Giere R., Kartashov P. M. 2010, The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature. *Canadian Mineralogist*, vol. 48, P. 673–698.
7. Christy A. G., Atencio D. 2013, Clarification of status of species in the pyrochlore supergroup. *Mineralogical Magazine*, vol. 77, P. 13–20. <https://doi.org/10.1180/minmag.2013.077.1.02>
8. Witzke T., Steins M., Doering T., Schuckmann W., Wegner R., Pöllmann H. 2011, Fluoronatomicrolite, $(\text{Na,Ca, Bi})_2\text{Ta}_2\text{O}_6\text{F}$, a new mineral species from Quixaba, Paraíba, Brazil. *Canadian Mineralogist*, Vol. 49, P. 1105–1110. <https://doi.org/10.3749/canmin.49.4.1105>
9. Andrade M. B., Atencio D., Persiano A. I. C., Ellena J. 2013, Fluorcalciomicrolite, $(\text{Ca, Na, } \square)_2\text{Ta}_2\text{O}_6\text{F}$, a new microlite-group mineral from Volta Grande pegmatite, Nazareno, Minas Gerais, Brazil. *Mineralogical Magazine*, vol. 77, issue 7, P. 2989–2996. <https://doi.org/10.1180/minmag.2013.077.7.08>
10. Zakharov A. V., Erokhin Yu. V. 2015, About the mineralogy of tantaloniobates in contaminated pegmatites of Lipovka (Middle Urals). *Vestnik Ural'skogo otdeleniya RMO* [Bulletin of the Ural branch of the Russian Mineralogical Society]. Ekaterinburg, no. 12, P. 46–53. (In Russ.)
11. Zakharov A. V., Erokhin Yu. V. 2015, *Mikrolit i svyazannyye s nim stibiotantalit i bismutotalit iz kontaminirovannykh pegmatitov Lipovskogo zhil'nogo polya (Sredniy Ural)* [Microlite and associated stibiotantalite and bismutotalite from contaminated pegmatites of the Lipovskoye vein field (Middle Urals)]. *16th All-Russian scientific readings in memory of the Ilmen mineralogist V. O. Polyakov*. Miass, P. 23–29. (In Russ.)
12. Bosi F., Andreozzi G. B., Skogby H., Lussier A. J., Abdu Y. A., Hawthorne F. C. 2013, Fluor-elbaite, $\text{Na}(\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{1.5})\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{F}$, a new mineral species of the tourmaline supergroup. *American Mineralogist*, vol. 98, P. 297–303.
13. Henry D. J., Novák M., Hawthorne F. C., Ertl A., Dutrow B. L., Uher P., Pezzotta F. 2011, Nomenclature of the tourmaline-super group minerals. *American Mineralogist*, vol. 96, P. 895–913. <https://doi.org/10.2138/am.2011.3636>
14. Erokhin Yu. V., Zakharov A. V. 2011, *Polikhromnyye turmaliny i lepidolit iz redkometal'nykh granitnykh pegmatitov Lipovskogo zhil'nogo polya (Sredniy Ural)* [Polychrome tourmaline and lepidolite from rare-metal granite pegmatites of the Lipovskoye vein field (Middle Urals)]. *Yearbook-2010. Proceedings of the Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. Issue 158, P. 135–139. (In Russ.)
15. Khiller V. V. 2015, Determination of boron and oxygen in tourmaline by X-ray microprobe analysis. *Vestnik Ural'skogo otdeleniya RMO* [Bulletin of the Ural branch of the Russian Mineralogical Society], no. 12, P. 128–135. (In Russ.)
16. Serdyuchenko D. P., Bolshakova T. N., Cherepivskaya G. E. 1984, Tourmalines from pegmatites and granites of Lipovka in the Urals. *Zapiski RMO* (Proceedings of the Russian Mineralogical Society), part 113, issue 4, P. 478–485. (In Russ.)
17. Memetova L. R., Pekov I. V., Bryzgalov I. A. 2005, *Khimicheskiy sostav i zonal'nost' turmalinov v redkometal'no-samotsvetnykh pegmatitakh Lipovki, Sredniy Ural* [Chemical composition and zoning of tourmaline in rare-metal semiprecious pegmatites of Lipovka, Middle Urals]. Materials of the V International Symposium called “Mineralogical Museums”, P 151–153. (In Russ.)

The article was received on March 07, 2019

Фтор-эльбаит, фторнатромикролит и фторкальциомикролит из литиеносных гранитных пегматитов Липовки (Средний Урал)

Анатолий Владимирович ЗАХАРОВ*

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

Актуальность работы обусловлена необходимостью изучения минералогии литиеносных гранитных пегматитов Липовки, уникального объекта, давшего миру большое количество кристаллосырья цветного турмалина.

Цель работы: исследование фторсодержащих минералов, обнаруженных в литиеносных гранитных пегматитах Липовского жильного поля (Средний Урал).

Методология исследования: количественный анализ химического состава фторсодержащих минералов выполнен на рентгеноспектральном электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100. Условия измерения: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока 50 нА, диаметр пучка 2 мкм. Регистрация интенсивности проводилась по K α -линиям на наклонных волновых спектрометрах с кристаллами-анализаторами TAP, LPET и LiF. Для определения фтора использовался отдельный кристалл-анализатор LPCO. Содержание лития в турмалине было установлено на масс-спектрометре ICP-MS ELAN-9000 с предварительным растворением истертых проб в нагретых кислотах.

Результаты. При изучении кристаллов темно-синего турмалина, который по химическому составу оказался фтор-эльбаитом, нами обнаружены включения танталониобатов. Согласно современной классификации, они принадлежат группе микролита, и часть анализов относится к фторнатромикролиту, так как в них в определенных позициях преобладают фтор, тантал и натрий, а часть относится к фторкальциомикролиту, так как в них преобладают кальций, тантал и фтор. Содержание фтора в этих танталониобатах варьирует от 1,4 до 1,6 мас.%. В полихромных турмалинах, розовая и малиновая части кристалла, благодаря высокому содержанию фтора, который варьирует от 1,2 до 1,7 мас.%, относится к фтор-эльбаиту.

Выводы. Установлено три новых минерала для литиеносных гранитных пегматитов Липовского жильного поля – фтор-эльбаит, фторнатромикролит и фторкальциомикролит. Последние два танталониобата были обнаружены в виде мелких включений в кристаллах темно-синего фтор-эльбаита. Сам турмалин достаточно широко распространен на Липовке, он слагает промежуточные и краевые зоны цветных и полихромных турмалинов, по крайней мере, фтор-эльбаит установлен в розовых, малиновых и темно-синих кристаллах. Находка трех фторсодержащих минералов говорит о том, что на заключительной стадии формирования литиеносных гранитных пегматитов Липовки активность фтора была очень высокой.


Ключевые слова: фтор-эльбаит, фторнатромикролит, фторкальциомикролит, минералы, литиеносные гранитные пегматиты, Липовское жильное поле, Средний Урал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пеков И. В., Меметова Л. Р. Минералы гранитных пегматитов Липовки, Средний Урал // В мире минералов. Минералогический альманах. 2008. № 13. С. 7–44.
2. Емлин Э. Ф., Вахрушева Н. В., Кайнов В. И. Самоцветная полоса Урала: Режевской государственной природно-минералогический заказник: путеводитель. Екатеринбург; Реж, 2002. 156 с.
3. Хиллер В. В., Ерохин Ю. В., Захаров А. В., Иванов К. С. Th–U–Pb-датирование гранитных пегматитов Липовского рудного поля (Урал) по трем минералам // ДАН. 2014. Т. 455, № 2. С. 216–219.
4. Пеков И. В., Якубович О. В., Щербачев Д. К., Кононова Н. Н. Магнезиотанталит (Mg, Fe)(Ta, Nb)₂O₆ – новый минерал группы колумбита-танталита из десилицированных гранитных пегматитов Липовки (Средний Урал) // Записки ВМО. 2003. № 2. С. 49–59.
5. Ерохин Ю. В., Захаров А. В. Манганотанталит и бисмутотанталит из контаминированных пегматитов Липовского жильного поля (Средний Урал) // XIV Всерос. науч. чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2013. С. 25–29.
6. Atencio D., Andrade M. B., Christy A. G., Giere R., Kartashov P. M. The pyrochlore supergroup of minerals: nomenclature // Canadian Mineralogist. 2010. Vol. 48. P. 673–698.
7. Christy A. G., Atencio D. Clarification of status of species in the pyrochlore supergroup // Mineralogical Magazine. 2013. Vol. 77. P. 13–20. <https://doi.org/10.1180/minmag.2013.077.1.02>
8. Witzke T., Steins M., Doering T., Schuckmann W., Wegner R., Pöllmann H. Fluornatromicrolite, (Na,Ca, Bi)₂Ta₂O₆F, a new mineral species from Quixaba, Paraíba, Brazil // Canadian Mineralogist. 2011. Vol. 49. P. 1105–1110. <https://doi.org/10.3749/canmin.49.4.1105>
9. Andrade M. B., Atencio D., Persiano A. I. C., Ellena J. Fluorcalciomicrolite, (Ca,Na, \square)₂Ta₂O₆F, a new microcline-group mineral from Volta Grande pegmatite, Nazareno, Minas Gerais, Brazil. *Mineralogical Magazine*, 2013. Vol. 77, issue 7. P. 2989–2996. <https://doi.org/10.1180/minmag.2013.077.7.08>
10. Захаров А. В., Ерохин Ю. В. К минералогии танталониобатов в контаминированных пегматитах Липовки (Средний Урал) // Вестник УрО РМО. 2015. № 12. С. 46–53.
11. Захаров А. В., Ерохин Ю. В. Микролит и связанные с ним стибитотанталит и бисмутотанталит из контаминированных пегматитов Липовского жильного поля (Средний Урал) // XVI Всерос. науч. чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2015. С. 23–29.
12. Bosi F., Andreozzi G. B., Skogby H., Lussier A. J., Abdu Y. A., Hawthorne F. C. Fluor-elbaite, Na(Li_{1.5}Al_{1.5})Al₆(Si₆O₁₈)(BO₃)₃(OH)₃F, a new mineral species of the tourmaline supergroup // American Mineralogist. 2013. Vol. 98. P. 297–303.
13. Henry D. J., Novák M., Hawthorne F. C., Ertl A., Dutrow B. L., Uher P., Pezzotta F. Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals // American Mineralogist. 2011. Vol. 96. P. 895–913. <https://doi.org/10.2138/am.2011.3636>
14. Ерохин Ю. В., Захаров А. В. Полихромные турмалины и лепидолит из редкометалльных гранитных пегматитов Липовского жильного поля (Средний Урал) // Ежегодник-2010: труды ИГГ УрО РАН. 2011. Вып. 158. С. 135–139.
15. Хиллер В. В. Определение бора и кислорода в турмалинах методом рентгеноспектрального микрозондового анализа // Вестник УрО РМО. 2015. № 12. С. 128–135.
16. Сердюченко Д. П., Большакова Т. Н., Черепивская Г. Е. Турмалины из пегматитов и гранитов Липовки на Урале // Записки ВМО. 1984. Ч. 113. Вып. 4. С. 478–485.
17. Меметова Л. Р., Пеков И. В., Брызгалов И. А. Химический состав и зональность турмалинов в редкометалльно-самоцветных пегматитах Липовки, Средний Урал // Минералогические музеи: материалы V Междунар. симпозиум. СПбГУ, 2005. С. 151–153.

Статья поступила в редакцию 07 марта 2019 г.

*zakharov-zav@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8790-7892>

Поиски подземных вод в оазисе Эль-Бахария в Западной пустыне Египта по результатам интерпретации данных каротажа и кривых ВЭЗ

Вазль Рагаб ГАВЕИШ^{1,2},
Игорь Алексеевич МАРАЕВ¹,
Султан Авад СУЛЬТАН²,
Петр Вячеславович НОВИКОВ¹,
Андрей Александрович ИВАНОВ¹,
Виктор Валерьевич РОМАНОВ¹,
Кирилл Сергеевич МАЛЬСКИЙ¹

¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Россия, Москва

²Национальный исследовательский институт астрономии и геофизики (NRIAG), Египет, Каир

Актуальность исследований: население этого района потребляет для питья и сельского хозяйства некачественную воду из поверхностных источников. Кроме того, эта вода загрязнена отходами расположенного недалеко от района исследования рудника Эль-Гедида, где ведется добыча и переработка железной руды. Поэтому важно искать другой источник воды, а именно, подземные воды неглубокого залегания. Основной водоносный горизонт в исследуемом районе расположен в нубийском песчанике (сеноман) и состоит из пяти зон.

Цель исследований: приведены результаты интерпретации каротажа скважин и кривых вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) для определения положения подземных водоносных горизонтов и выбора лучшего места для бурения новых водозаборных скважин в окрестностях деревни Мандиша, оазис Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет.

Методология исследования: данные каротажа скважин были использованы для построения геоэлектрической модели, использованной для интерпретации кривых ВЭЗ. Всего было сделано 17 ВЭЗ с использованием французской аппаратуры SYSCALR2. Данные ВЭЗ интерпретировались с помощью программы IPI2WIN. По результатам интерпретации кривых ВЭЗ построены 6 геоэлектрических профилей, в которых выделены 3 водоносных горизонта (зоны А, Б и В). Определены глубина, толщина и кажущееся сопротивление каждого из водоносных горизонтов.

Результаты работы: наиболее важные результаты этого исследования: 1. Глубина зоны А – от 10 до 30 м. Глубина зоны Б – от 110 до 160 м. Глубина зоны В – от 200 до 220 м. 2. Лучшее место для бурения водозаборной скважины на исследуемом участке, находится в юго-западной части исследуемого участка (недалеко от ВЭЗ № 13).

Ключевые слова: подземный водоносный горизонт, каротаж скважин, ВЭЗ, оазис Эль-Бахария, Египет.

Введение

Подземные воды являются важным природным ресурсом для жизни людей. В Египте растет спрос на водные ресурсы для развития сельского хозяйства, особенно в таких засушливых районах, как оазис Эль-Бахария в Западной пустыне Египта. Область исследования расположена в окрестностях деревни Мандиша в северо-восточной части оазиса Эль-Бахария, в 15 км от источников поверхностных вод Эль-Хара и рудника Эль-Гедида, где ведется добыча и переработка железной руды. Район исследования площадью 36,13 км² расположен между широтой 28°16'22" С и 28°19'14" С и долготой 28°55'40" В и 28°59'50" В (рис. 1).

Район исследования страдает от нехватки поверхностных вод. Поэтому необходимо искать другой источник воды, а именно, подземные воды. Основной водоносный горизонт в исследуемом районе расположен в нубийском песчанике (сеноман) и состоит из пяти зон. Зона А лежит в интервале глубин от поверхности Земли до 60 м, зона Б – от 110 до 160 м, зона В – от 200 до 220 м и от 280 до 300 м, зона Г – от 620 до 680 м и зона Д – от 1100 до фундамента [1].

Для оценки подземных водоносных горизонтов (глубина залегания, толщина, морфология) были использованы комплекс геофизических методов, включающий каротаж скважин и вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ). В данном исследовании результаты интерпретации данных каротажа скважин, вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) использовались для определения литологии водоносных пластов, их толщины и глубины залегания и определения наилучшего места для заложения водозаборных скважин в районе деревни Мандиша в оазисе Эль-Бахария.



Рисунок 1. Карта расположения исследуемой территории.
Figure 1. Location map of the area under study.

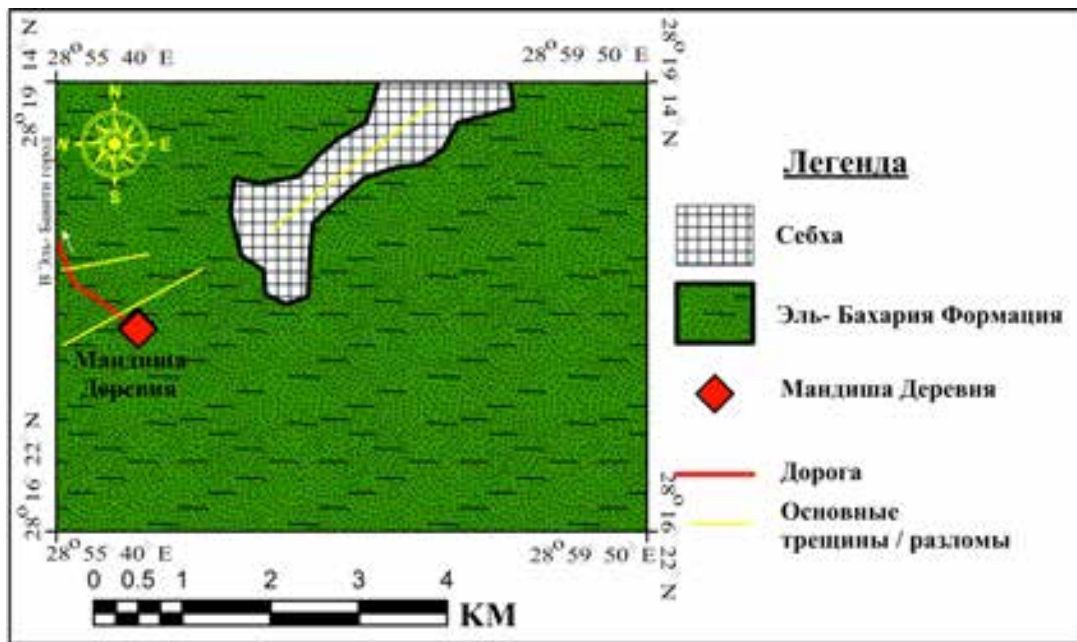


Рисунок 2. Геологическая карта исследуемого района [2].
Figure 2. Geological map of the investigated area [2].

Геология района исследования

Геология исследуемой территории была взята с геологической карты Египта, лист № NH 35 SEBANARIYA, масштаб 1: 500 000 [2]. Лист был построен Египетской генеральной нефтяной корпорацией в 1986 г. (рис. 2). Поверхностная геология исследуемой территории относится к верхнему меловому (сеноман) и четвертичному возрасту: – верхнемеловые отложения представлены формацией Бахария (ранний сеноман); формация Бахария широко распространена в изучаемой области и состоит из тонких и грубых железистых песчаников, переслаивающихся глинами; – четвертичные отложения представлены отложениями Сабха, сложенными сланцами, глинами и эвапоритовыми отложениями; отложения Сабха распространены в северной центральной части района исследования; – структурные элементы представлены в исследуемой области в виде трещин и(или) разломов; основным направлением этих разломов является направление СВ–ЮЗ.

Данные каротажа скважин

Данные каротажа использовались для построения литологического разреза скважины, определения зон подземных водоносных горизонтов (зоны А, Б и В) в исследуемом районе и построения геоэлектрической модели, используемой для интерпретации данных ВЭЗ. Ближайшая к району исследования скважина 14 расположена в 2 км от него в точке с координатами 28,333° С, 28,933° В, альтитуда устья скважины 123 м (рис. 3). На данном этапе исследований максимальная глубина используемого ствола скважины составляет 320 м (рис. 4).

Комплекс методов каротажа в скважине 14 включает: 1. Метод КС потенциал-зондами фирмы «Шлюмберже» А64М и А16М (здесь длина зондов дана в дюймах); 2. Метод естественной радиоактивности ГК в единицах API (1 мкР/ч = 10 API).

Потенциал-зонды обладают разной глубиной исследования: короткий (0,4 м) потенциал-зонд А16М несет информацию о сопротивлении зоны проникновения в проницаемых пластах, в которой пластовая вода замещена фильтратом бурового раствора, а длинный (1,6 м) потенциал-зонд несет информацию о сопротивлении неизменной части проница-

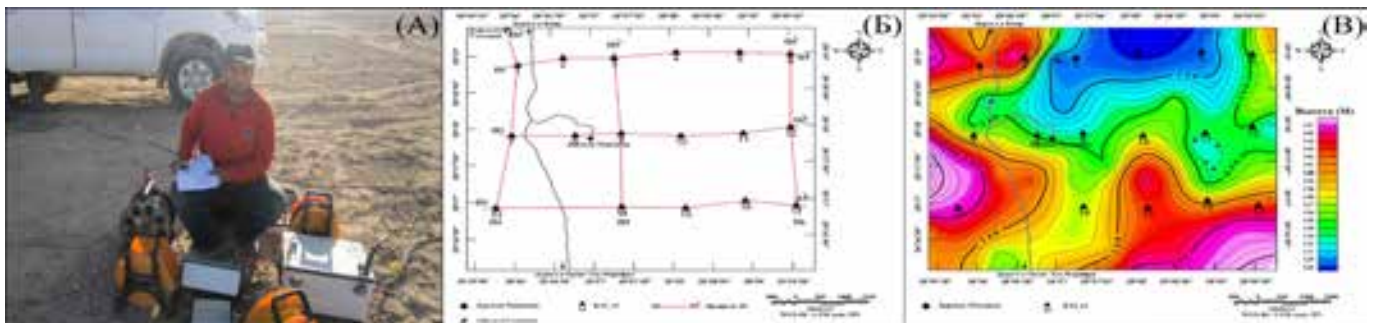


Рисунок 3. Используемые данные. а – во время измерения данных ВЭЗ; б – карта местоположения геофизических данных; в – карта высот исследуемой области.
Figure 3. The data used. a - during the measurement of VES data; b - location map of geophysical data; c - map of heights of the investigated area.

емого пласта. Поэтому кривые зондов А64М и А16М расходятся против коллекторов (проницаемых водоносных зон А, Б и В) и совпадают против непроницаемых пластов глин.

Кажущееся сопротивление длинного потенциал-зонда против водоносных пластов изменяется в пределах от 500 до 600 Ом × м, а против глин – от 60 до 90 Ом × м. Показания ГК против пластов глин изменяются в пределах от 50 до 60 API, а против водоносных зон – от 16 до 22 API (рис. 4).

По данным каротажа, геологический разрез скважины 14 включает 10 слоев (рис. 4): первый слой – песчаник переслаиваемый глиной (от 0 до 10 м); второй слой – песчаник, зона А (от 10 до 30 м); третий слой – песчаник, переслаиваемый глиной (от 30 до 110 м); четвертый слой – песчаник, зона Б (от 110 до 160 м); пятый слой – песчаник, переслаиваемый глиной (от 160 до 180 м); шестой слой – глина (от 180 до 200 м); седьмой слой – песчаник, зона В (от 200 до 225 м); восьмой слой – глина (от 225 до 280 м); девятый слой – песчаник, зона В (от 280 до 300 м); десятый слой – глина (от 300 до 320 м).

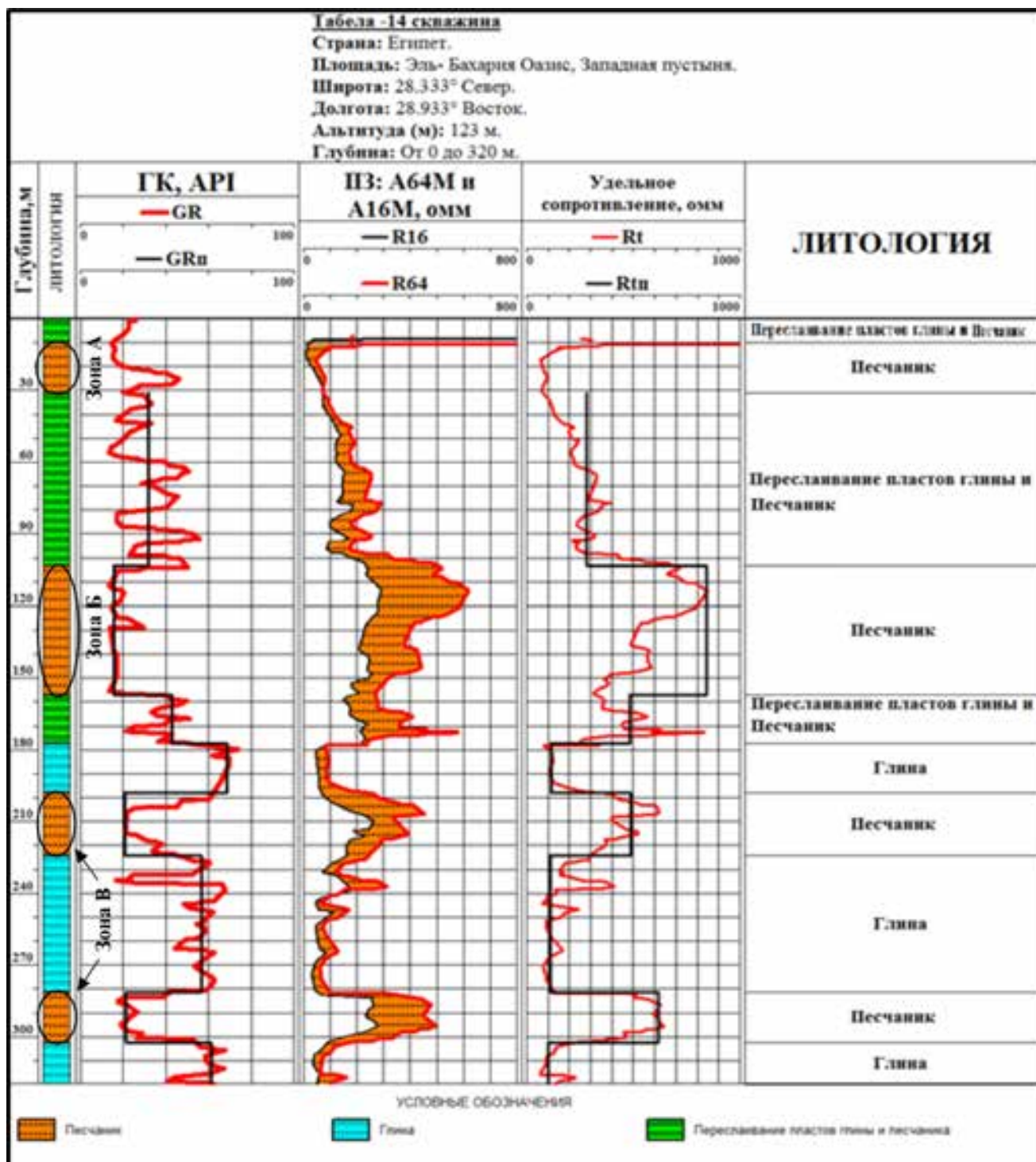


Рисунок 4. Скважина 14.
 Figure 4. Well 14.

Таблица 1. Параметры водоносных зон в скважине 14.
Table 1. Parameters of aquifer zones in well 14.

Зона	Глубина, м	Толщина, м	GR (API)	R16, Ом × м	R64, Ом × м
А	10–30	20	15,67	69–286	277–613
Б	110–160	50	14,29	157–286	277–613
В, первый слой	200–225	25	21,20	88–258	295–452
В, второй слой	280–300	20	21,65	69–272	313–484

Таблица 2. Результаты интерпретации данных каротажа скважины 14.
Table 2. Results of interpretation of well logging 14.

Номер слоя	Литология	Глубина, м	Толщина, м	Удельное сопротивление, Ом × м
Первый	Песчаник, переслаиваемый глиной	0–10	10	180
Второй	Песчаник (зона А)	10–30	20	400
Третий	Песчаник, переслаиваемый глиной	30–110	80	180
Четвертый	Песчаник (зона Б)	110–160	50	500
Пятый	Глина	160–200	40	80
Шестой	Песчаник (зона В)	200–220	20	500
Седьмой	Глина	–	–	70

В интервале от 0 до 30 м скважина документирована по керну. Основными водоносными горизонтами являются зоны А, Б и В. Зона А залегает в интервале глубин от 10 до 30 м, зона Б – от 110 до 160 м, зона В – от 200 до 225 м и от 280 до 300 м.

Параметры водоносных зон, определенных по данным комплекса ГИС в скважине 14, представлены в табл. 1. Геоэлектрическая модель, использованная для интерпретации кривых ВЭЗ, состоит из 7 слоев (табл. 2).

Интерпретация данных вертикального электрического зондирования (ВЭЗ)

Метод электрического сопротивления является одним из наиболее перспективных геофизических инструментов, который используется для исследования подземных вод [3–11].

Вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) были проведены в окрестностях деревни Мандиша с использованием французского геофизического оборудования SYSCAL R2 (рис. 3, а) [12].

Семнадцать ВЭЗ были проведены в пределах исследуемого участка с использованием установки Шлюмберже с разнесами АВ/2 в пределах от 1 до 1000 м (рис. 3, б). Данные ВЭЗ использовались для обнаружения неглубоких зон подземных водоносных горизонтов (зоны А, Б, В) в исследуемом районе.

Использовались два метода количественной интерпретации вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) для определения удельного электрического сопротивления и толщины последовательно залегающих пластов геологического разреза. Первый метод – это ручная интерпретация, которая зависит от соответствия построенных кривых поля с использованием двух основных пластов и обобщенных графиков Каньяра [13] и [14]. Полученные результаты ручной интерпретации были использованы в качестве исходных моделей для аналитических методов по второй методике для вычисления удельного электрического сопротивления и толщины всех слоев разреза с использованием программы IPI2WIN [15] в качестве конечных результатов (рис. 6). Программа IPI2WIN [15] была разработана российской научной группой в Московском государственном университете (МГУ).

Геоэлектрическая модель разреза скважины 14 (табл. 2) использовалась для интерпретации кривых ВЭЗ (рис. 5). Результаты интерпретаций ВЭЗ показали, что оптимальное количество слоев в этой области 7 (рис. 6), величины удельных сопротивлений этих слоев изменяются в пределах от 2 до 587 Ом · м, а толщина – от 3,3 до 89,7 м. Окончательные результаты интерпретации данных ВЭЗ были использованы для построения шести профилей П1–П6. Три профиля (П1, П2 и П3) длиной 6500 м были построены с запада на восток, а остальные три профиля (П4, П5 и П6) длиной 4500 м были построены с юга на север. Эти профили были построены с учетом альтитуды каждой точки ВЭЗ, изменяющейся в пределах от 122 до 152 м (рис. 3, в).

Геоэлектрический разрез вдоль профилей П1–П6 (рис. 7) состоит из семи слоев. Первый слой состоит из глинистого песчаника толщиной от 4 до 12,7 м и удельным сопротивлением 41–220 Ом · м. Второй слой состоит из песчаника (зона А) толщиной от 9,2 до 23 м и удельным сопротивлением 302–479 Ом · м. Третий слой состоит из глинистого песчаника толщиной от 61,5 до 89,7 м и удельным сопротивлением 68,7–189 Ом · м. Четвертый слой состоит из песчаника (зона Б) толщиной от 39,6 до 63,9 м и удельным сопротивлением 254–562 Ом · м. Пятый слой представлен глиной толщиной от 38,4 до 49,8 м и удельным сопротивлением 18–155 Ом · м. Шестой слой состоит из песчаника (зона В) толщиной от 19 до 40,7 м и удельным сопротивлением 254–587 Ом · м. Седьмой слой сложен глиной с удельным сопротивлением 50,8–173 Ом · м.

На кривых ВЭЗ № 4 и ВЭЗ № 5 проявляется низкоомный тонкий слой, расположенный в верхней части разреза в четвертичных образованиях, состоящий из глины с соленой водой и представляющий собой «экран» для электрического тока. Этот слой имеет толщину в диапазоне от 3,3 до 4,6 м и удельное сопротивление 2–6 Ом · м.

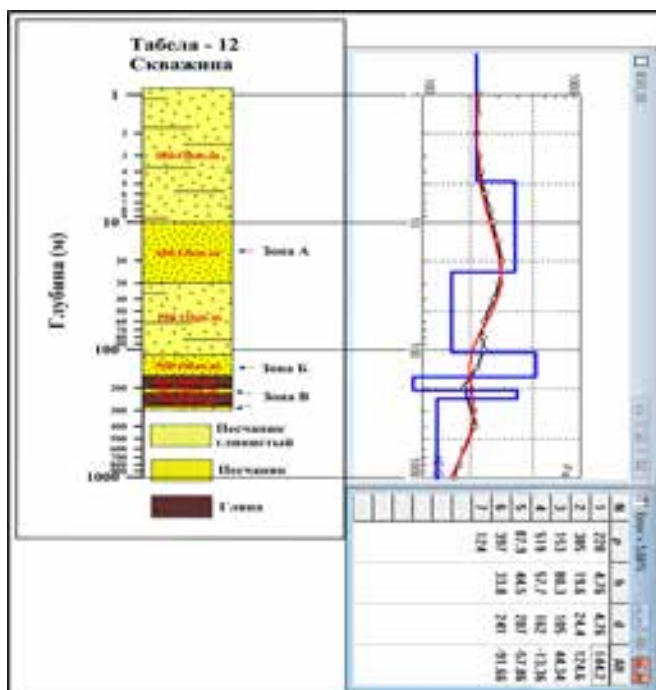


Рисунок 5. Корреляция между ВЭЗ № 1 и данными скважины 14.
Figure 5. Correlation between VEZ No. 1 and well data 14

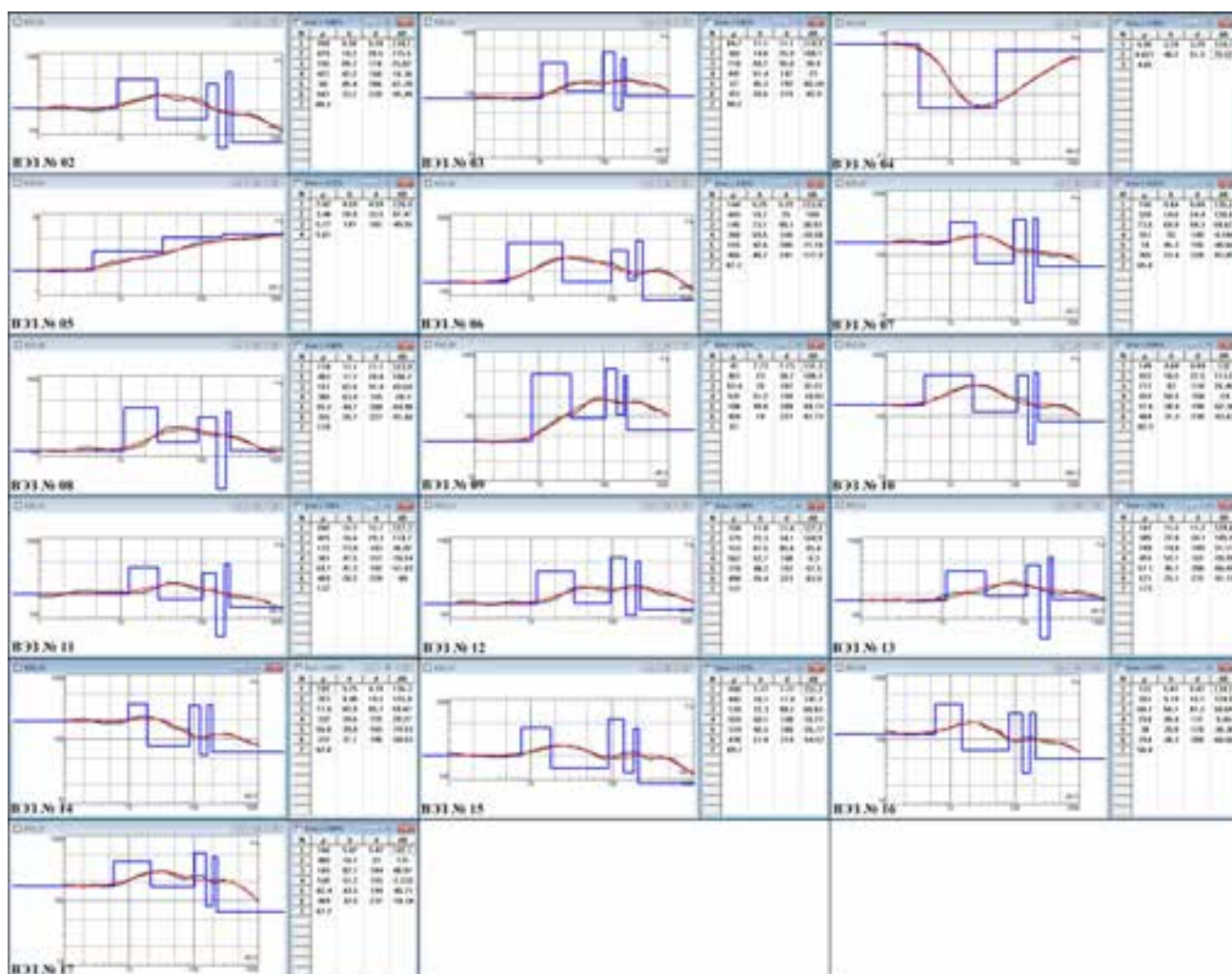


Рисунок 6. Интерпретация вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ № 2-ВЭЗ № 17) по программе IPI 2WIN.
Figure 6. Interpretation of vertical electric sounding (VEZ No 2-VEZ No 17) according to the IPI 2WIN program.

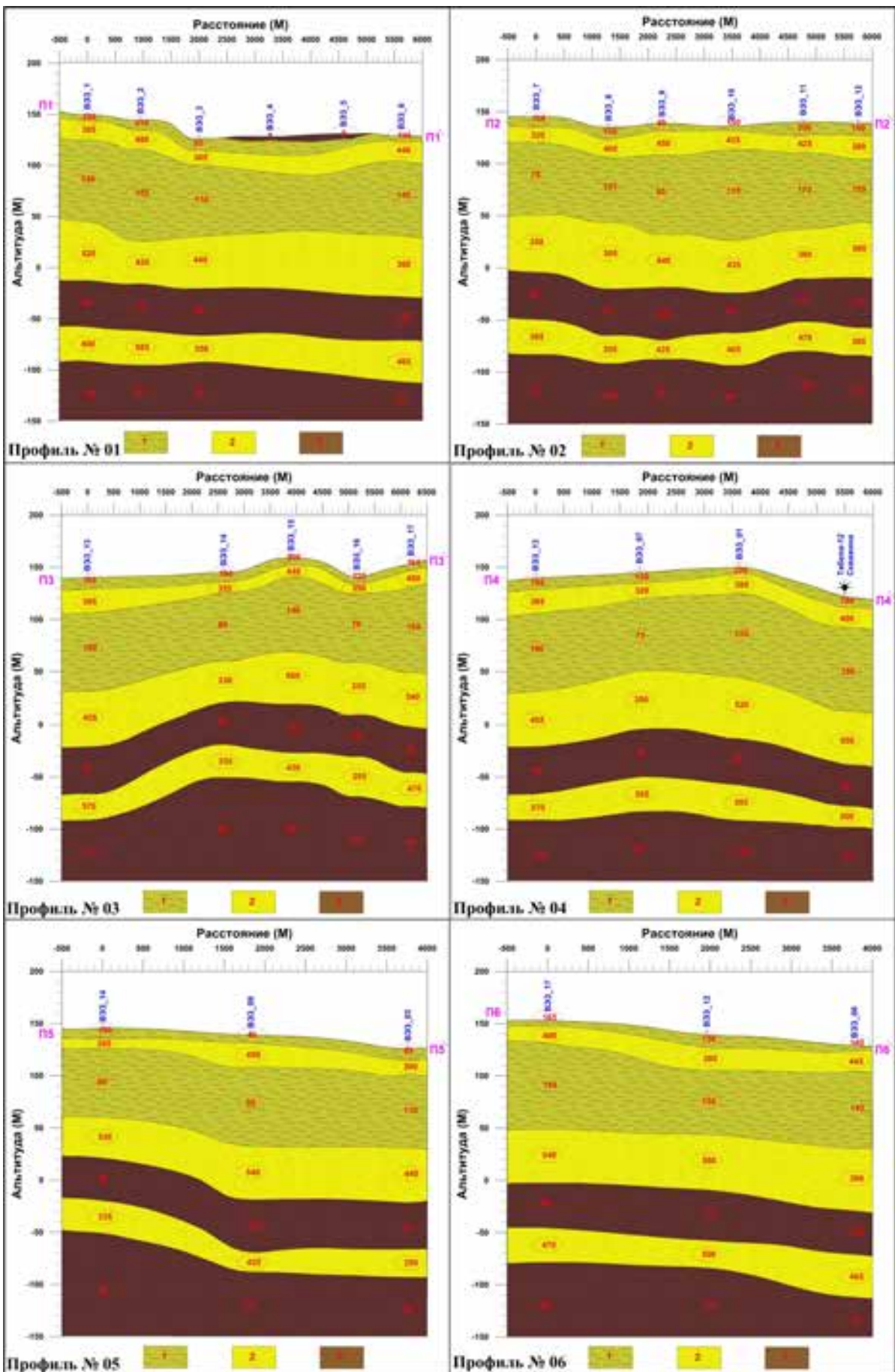


Рисунок 7. Геоэлектрические разрезы вдоль профилей П1–П6.
Figure 7. Geoelectric sections along profiles P1-P6.

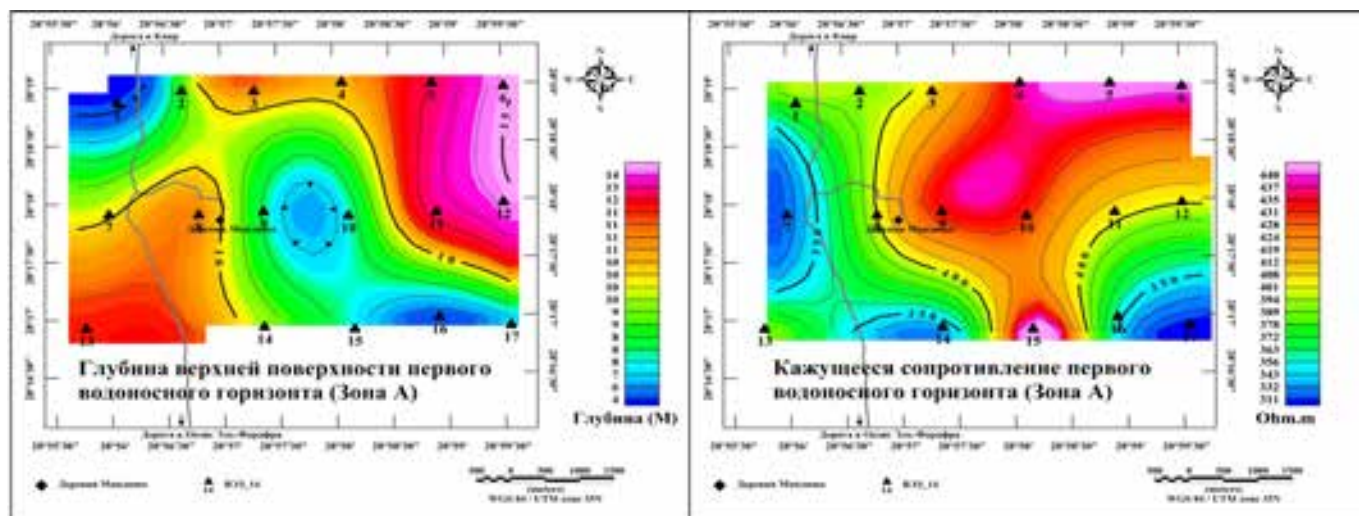


Рисунок 8. Карта глубины и кажущегося удельного сопротивления для первого водоносного горизонта (зона А).
Figure 8. Map of depth and apparent resistivity for the first aquifer (zone A).

Геоэлектрические профили использованы для построения карт глубины и удельного сопротивления в водоносных зонах А, Б, В.

Глубина первого водоносного горизонта (зона А) составляет от 4 до 15 м, а удельное сопротивление от 300 до 450 Ом · м. Высокие значения удельного сопротивления в зоне А, полученные по данным ВЭЗ № 6, 9, 10 и 15, указывают на пресную слабосоленую воду (рис. 8).

Глубина второго водоносного горизонта (зона Б) колеблется от 80 до 116 м, а удельное сопротивление от 220 до 520 Ом · м. Высокие значения удельного сопротивления в зоне Б, полученные по данным ВЭЗ № 1, 10 и 13, также характерны для пресной/слабоминерализованной воды.

Глубина третьего водоносного горизонта (зона В) колеблется от 170 до 204 м, а удельное сопротивление от 240 до 540 Ом · м. Высокие значения удельного сопротивления в зоне В, полученные по данным ВЭЗ № 2, 6, 12 и 13, также указывают на пресную/слабосоленую воду.

На рис. 8 показан пример определения глубины и кажущегося сопротивления первого водоносного горизонта (зона А).

Выводы

1. Основными зонами водоносных горизонтов в исследуемом районе являются зоны А, Б и В. Глубина зоны А – от 10 до 30 м. Глубина зоны Б – от 110 до 160 м. Глубина зоны В – от 200 до 220 м.

2. Лучшее место для бурения водозаборной скважины на исследуемом участке, по данным ВЭЗ, находится в юго-западной части исследуемого участка (недалеко от ВЭЗ № 13), где отмечается наибольшее сопротивление водоносных зон. Для уточнения места для бурения скважин необходимо отобрать пробы пластовых вод в исследуемом районе и провести их гидрохимический анализ.

ЛИТЕРАТУРА

- Moustafa A. R., Saoudi A., Moubasher A., Mohamed I., Molokhia H., Schwartz B. Structural setting and tectonic evolution of the Bahariya Depression, Western Desert, Egypt // *Geo-Arabia Journal*. 2003. Vol. 8. P. 91–124.
- Egyptian Military Survey “EMS” Topographic Map of El-Bahariya Oasis / Scale 1:500000, Sheet No. NH 35 SE BAHARIYA, Western Desert, Egypt. 1986.
- Блох И. М. Электропрофилрование методом сопротивлений. М.: Недра, 1971. 216 с.
- Жданов М. С. Электроразведка. М.: Недра, 1986. 316 с.
- Колесников В. П. Основы интерпретации электрических зондирований. М.: Научный мир, 2007. 248 с.
- Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений М.: Недра, 1984. 270 с.
- Хмелевской В. К. Электроразведка М.: Недра, 1984. 420 с.
- Jakosky J. J. Exploration geophysics. Tiya New Beach Calif., Techs. 1961. 1, 2 and 6.
- Keller G. V. Application of resistivity method in mineral and groundwater exploration Programs // *Geophys. Surv. Can.* 1967. Vol. 26. P. 51–66.
- Milsom J. Field Geophysics. 3-rd Ed; John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ. London: University College, England. 2003. 232 p.
- Khalifa R. M. Study of groundwater resources management in El-Bahariya Oasis; PhD Thesis, Faculty of Science, Alexandria University. 2006. 226 p.
- Iris instruments. Worldwide provider of instruments. <http://www.iris-instruments.com/syscal-r2.html>
- Koefoed O. A generalized cagniard graph for interpretation of geoelectrical sounding data // *Geophys. Prospect.* 1960. Vol. 8 (3). P. 459–469. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1960.tb01728.x>
- Orellana E., Mooney H. M. Master table and curves for vertical electrical sounding data // *Geophys. Prospect.* 1966. Vol. 8 (3). P. 459–469.
- IPI2WIN Program. Version 3.1 2C; 17.10.08, 1990–2008. Copyright@1990–2010.

Статья поступила в редакцию 02 октября 2019 г.

Groundwater searches in the Al-Bahariya oasis in the Western Desert of Egypt based on the interpretation of logging data and vertical electrical sound-ing (VES) curves

Wael Ragab GAVEISH^{1,2},
Igor Alekseevich MARAEV¹,
Sultan Awad SULTAN²,
Petr Vyacheslavovich NOVIKOV¹,
Andrey Aleksandrovich IVANOV¹,
Viktor Valer'evich ROMANOV¹,
Kirill Sergeevich MALSKIY¹

¹Russian State Geological Prospecting University, named after Sergo Ordzhonikidze, Russia, Moscow

²National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Egypt, Cairo

Relevance of research: the population of this region consumes low-quality water from surface sources for drinking and agriculture. In addition, this water is contaminated with waste from the El Gedida mine located near the research area, where iron ore is mined and processed. Therefore, it is important to look for another source of water, namely, shallow groundwater. The main aquifer in the study area is located in Nubian sandstone (Cenomanian stage) and consists of five zones.

Purpose of the research: the results of interpretation of well logs and vertical electrical sounding (VES) curves are presented to determine the position of underground aquifers and to choose the best place for drilling new water wells in the vicinity of the village of Mandisha, Al-Bahariya oasis, Western Desert, Egypt.

Methodology of the research: well logging data was used to construct the geoelectric model used to interpret the VES curves. 17 VESs were made using French SYS-CALR2 equipment. VES data were interpreted using the IPI2WIN program. Based on the results of interpretation of the VES curves, 6 geoelectric profiles were constructed in which 3 aquifers (zones A, B and C) were identified. The depth, thickness and apparent resistance of each of the aquifers are determined.

Results of the work: the most important results of this study are: 1. The depth of zone A is from 10 to 30 m. The depth of zone B is from 110 to 160 m. The depth of zone C is from 200 to 220 m. The best place for drilling a water well in the study area is located in the southwestern part of the study area (near VES No. 13).

Keywords: underground aquifer, well logging, VES, Al-Baharia oasis, Egypt.

REFERENCES

1. Moustafa A. R., Saoudi A., Moubasher A., Mohamed I., Molokhia H., Schwartz B. 2003, Structural setting and tectonic evolution of the Bahariya Depression, Western Desert, Egypt. *Geo-Arabia Journal*, vol. 8, pp. 91–124.
2. 1986, Egyptian Military Survey "EMS" Topographic Map of El-Bahariya Oasis. Scale 1:500000, Sheet No. NH 35 SE BAHARIYA, Western Desert, Egypt.
3. Blokh I. M. 1971, *Elektroprofilirovaniye metodom soprotivleniy* [Electroprofiling by resistance method]. Moscow, 216 p.
4. Zhdanov M. S. 1986, *Elektrorazvedka* [Electric intelligence]. Moscow, 316 p.
5. Kolesnikov V. C. 2007, *Osnovy interpretatsii elektricheskikh zondirovaniy* [Fundamentals of interpretation of electric sounding]. Moscow, 248 p.
6. Kufud O. 1984, *Zondirovaniye metodom soprotivleniy* [Sensing by the method of resistance]. Moscow, 270 p.
7. Khmelevskoy V. K. 1984, *Elektrorazvedka* [Electroprospecting]. Moscow, 420 p.
8. Jakosky J. J. 1961, Exploration geophysics. Tiya New Beach Calif., Techs. 1,2 and 6.
9. Keller G. V. 1967, Application of resistivity method in mineral and groundwater exploration Programs. *Geophys. Surv. Can.* Vol. 26. P. 51–66.
10. Milsom J. 2003, Field Geophysics. 3-rd Ed; John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ. London: University College, England, 232 p.
11. Khalifa R. M. 2006, Study of groundwater resources management in El-Bahariya Oasis; PhD Thesis, Faculty of Science, Alexandria University, pp. 226.
12. Iris instruments. Worldwide provider of instruments. <http://www.iris-instruments.com/syscal-r2.html>
13. Koefoed O. 1960, A generalized cagniard graph for interpretation of geoelectrical sounding data. *Geophys. Prospect.* Vol. 8 (3). P. 459–469. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1960.tb01728.x>
14. Orellana E., Mooney H. M. 1966, Master table and curves for vertical electrical sounding data. *Geophys. Prospect.* Vol. 8 (3). P. 459–469.
15. IPI2WIN Program. Version 3.1 2C; 17.10.08, 1990-2008. Copyright@1990–2010.

The article was received on October 02, 2019

Использование кластерного анализа для классификации горных пород месторождений полезных ископаемых Азербайджана по их физико-техническим свойствам

Зарифа Джахангир гызы ЭФЕНДИЕВА*,

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Азербайджанская Республика, Баку

Актуальность исследования. Выбор оптимальной технологии и рациональной разработки месторождений полезных ископаемых зависит от достоверности знаний о физических свойствах горных пород разрабатываемых месторождений. Поэтому нам пришлось уделить большое внимание созданию классификации горных пород в месторождениях полезных ископаемых по физико-техническим свойствам.

Методология. Для решения поставленной задачи применен один из методов математической статистики – кластерный анализ. В качестве меры кластеризации принято евклидово расстояние, которое образуется при сравнении значений физических величин. Применяв кластерный анализ, нам удалось провести группировку месторождений по физико-техническим свойствам. Используя признаки сходства можно снизить объем горных работ и повысить эффективность разработки полезных ископаемых, что важно, особенно когда нужно ввести в эксплуатацию большое количество месторождений с разнообразными физическими показателями.

Выводы. Таким образом, применение методов кластерного анализа позволяет проводить группировку месторождений по физическим показателям, особенно когда изучается большое количество месторождений и показателей и нужен общий анализ их состояния. На основе группировки и степени сходства месторождений для обеспечения эксплуатации можно искать рациональные пути. По физическим параметрам сходство месторождений можно считать обоснованным. Используя признаки сходства, применяя ту же технологию для разработки подобных месторождений Азербайджана, можем снизить объем горных работ и увеличить рациональность эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: месторождения полезных ископаемых, кластерный анализ, классификации месторождений, метод математической статистики, меры кластеризации, степени сходства месторождений.

Введение
Известно, что большинство месторождений полезных ископаемых характеризуются сложным строением и различными формами залегания. Они изучаются с помощью различных горных выработок и бурения поисковых скважин с отбором необходимых проб для комплексного исследования. Но с увеличением глубины скважин извлечение керновых проб затрудняется, а также изменяются физические свойства кернов (минеральный состав, строение, пористость, твердость и др.), и без учета этих изменений эффективное ведение горных работ невозможно.

Возможные изменения пород по минеральному составу, строению и по их физическому свойству с глубиной залегания могут быть решены на основании применения теории вероятностей и математической статистики [1].

Иначе для получения надежных результатов физических параметров горных пород требуется проведение многочисленных измерений по каждому типу породы, все это сопровождается проведением достаточно большого объема работы и требует больших материальных расходов. Поэтому в этом случае применение методов математической статистики дает надежные результаты и позволяет сэкономить материальные ресурсы [2, 3].

Методы исследования

Иногда требуется группировка разрабатываемых месторождений полезных ископаемых по физико-техническим свойствам в регионе или на рудниках. В этом случае можно использовать метод кластерного анализа в качестве эффективного математического метода.

Кластерный анализ является одним из многомерных методов для классификации горных пород, вмещающих полезные ископаемые. Такой подход представляет собой совокупность методов, позволяющих классифицировать многомерные наблюдения, каждое из которых описывается набором исходных переменных X_1, X_2, \dots, X_n и позволяет разбить исходную совокупность объектов на группы схожих, близких между собой объектов [4–7].

Основной целью в кластерном анализе является выделение сравнительно небольшого числа групп объектов, как можно более схожих между собой внутри группы и как можно более отличающихся в разных группах. Этот вид анализа широко используется в информационных системах при решении задач классификации [8, 9].

Методы кластерного анализа можно разделить на две группы: иерархические и неиерархические.

Для создания классификации горных пород по физико-техническим свойствам нами был выбран иерархический метод. Группировка наблюдений осуществляется на основе сходства. Чаще всего в качестве такой меры используется евклидово расстояние, сущность которого раскрыта в следующей формуле:

$$d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - y_i)^2},$$

где m – количество свойств; x_i, y_i – расстояние между объектами; d_{xy} – значения i -го свойства объектов x и y . В двух- или трехмерном случае это прямая, соединяющая данные точки.

Евклидово расстояние является самой популярной метрикой в кластерном анализе. Оно является геометрическим расстоянием в многомерном пространстве [10, 11].

Далее представлен кластерный анализ для месторождения мраморизованных известняков. Здесь горные породы признаны объектами исследований.

✉ efendi2005@rambler.ru

Физические свойства горных пород характеризуют следующие параметры: плотность ρ_0 , коэффициент крепости f , пористость P , предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, модуль упругости E , коэффициент Пуассона ν , коэффициент теплопроводности λ , удельная теплоемкость C_m , влажность ω , коэффициент хрупкости k_x и т. д.

Результаты

На территории Республики Азербайджан находятся многочисленные месторождения мраморизованных известняков, в том числе Велидагское, Шушинское, Ханкендинское и др. [12–15]. Имеется 14 месторождений (таблица), где необходимо провести кластерный анализ. Эти месторождения характеризуются 9 признаками [16].

Классификационный способ в изучении этих месторождений дал следующий результат: в республике соединены в три группы месторождения мраморизованных известняков по их физико-техническим свойствам (рис. 1).

В первый отдельный кластер вошли 7 месторождений: Велидагское, Шушинское, Ханкендинское, Гочазское, Ходжавандское, Заринбахское, Гюлаблинское, во второй – 5 месторождений: Горовское, Шеллинское, Охчичайское, Дияллинское, Карамурадское, в третий – остальные месторождения: Агчайское, Халачское, причем первый и второй кластеры во многом сходны.

Из дендрограммы видно, что Шушинское и Ханкендинское месторождения объединились в один кластер. Проходит другая цепочка. Гочазское и Ходжавандское также объединились в один кластер, а Заринбахское, Гюлаблинское и Велидагское месторождения пытаются присоединиться к ним. Значит, эти 7 месторождений сгруппировались.

Во второй группе в первом шаге объединяются Горовское и Шеллинское месторождения, расстояние между которыми $d_{ij} = 1,4$, далее к объектам присоединяется Дияллинское месторождение. На евклидовом расстоянии $d_{ij} = 2,3$ к ним присоединяются Охчичайское и Карамурадское месторождения и составляют одну группу. Соединение первой и второй групп происходит по евклидову расстоянию $d_{ij} = 9,9$.

Можно отметить, что Агчайское и Халачское месторождения, несмотря на близость объектов, по степени сходства с другими месторождениями очень слабые. В процессе разработки месторождений полезных ископаемых эти степени разности должны учитываться.

На евклидовом расстоянии ($d_{ij} = 12,4$) происходит присоединение между этими группами и получается один кластер.

Для месторождений мраморизованных известняков рассчитываем евклидово расстояние, оценку их сходства и различия.

Существует большое разнообразие алгоритмов кластеризации [17, 18]. Воспользуемся агломеративным иерархическим алгоритмом классификации. Принято 9 основных физико-технических параметров мраморизованных известняков [19].

Наиболее распространенный способ – вычисление евклидова расстояния между двумя точками i и j на плоскости, когда известны их координаты x и y :

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \tag{1}$$

Примечание: чтобы узнать расстояние между двумя точками, надо взять разницу их координат по каждой оси, возвести ее в квадрат, сложить полученные значения для всех осей и извлечь квадратный корень из суммы.

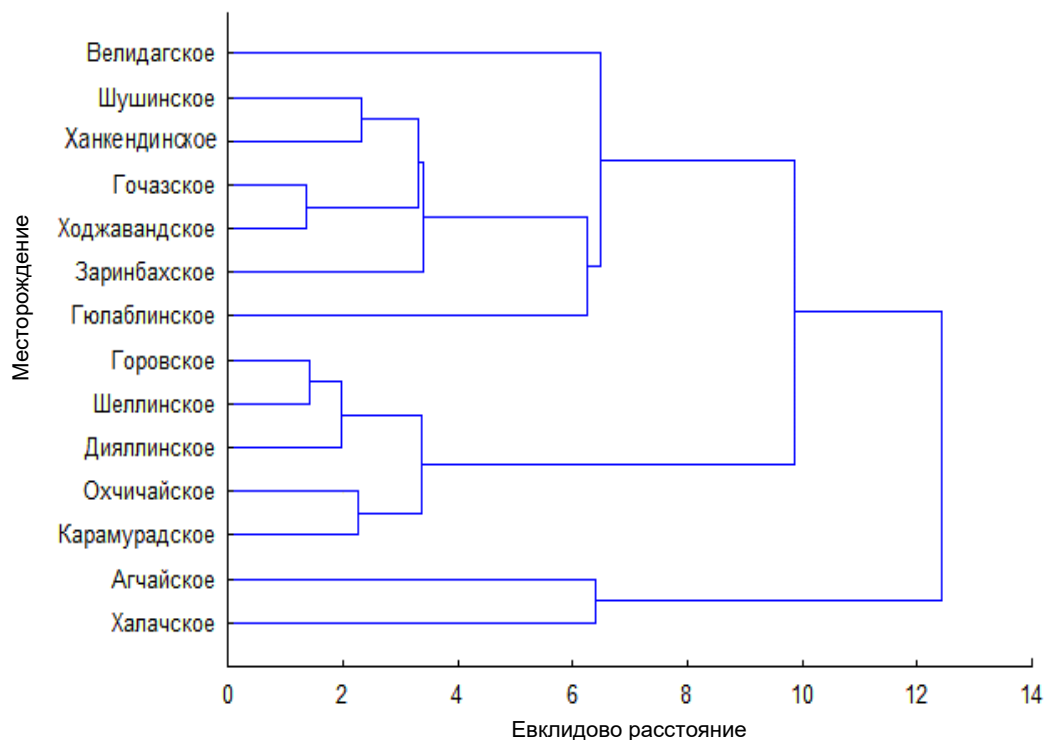


Рисунок 1. Дендрограмма 14 исследуемых месторождений мраморизованных известняков по их физико-техническим свойствам. Figure 1. Dendrogram of 14 studied deposits of marbled limestone by their physical and technical properties

**Физико-технические свойства горных пород месторождений мраморизованных известняков.
Physical and technical properties of rocks of deposits of marbled limestones.**

Месторождение	ρ , т/м ³	f	P , %	$\sigma_{сж}$, МПа	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	λ , Вт/К	C_m , Дж/(кг × К)	ω , %	k_x , %
Велидагское	2,66	4,68	1,52	81,2	5,40	1,17	1,07	0,96	0,64
Шушинское	2,55	3,90	1,54	75,0	5,20	1,16	1,10	0,82	0,70
Ханкендинское	2,72	3,84	1,95	44,0	5,38	1,15	1,06	0,73	0,80
Гочазское	2,60	3,88	1,60	55,0	5,60	1,17	1,08	0,78	0,79
Ходжавендское	2,71	4,30	1,70	81,2	5,30	1,21	1,30	0,97	0,67
Заринбахское	2,73	4,87	1,64	89,5	5,50	1,21	1,25	0,91	0,63
Гюлаблинское	2,66	5,00	1,50	98,3	5,40	1,20	1,12	1,00	0,62
Горовское	2,70	4,90	1,65	82,0	5,30	1,17	1,06	0,91	0,69
Шеллинское	2,56	3,94	1,83	58,4	5,26	1,18	1,10	0,89	0,80
Дияллинское	2,64	3,87	1,80	60,0	5,44	1,16	0,99	0,92	0,74
Охчайское	2,68	4,13	1,82	60,0	5,24	1,12	1,06	0,78	0,79
Карамурадское	2,67	4,15	1,71	65,2	5,26	1,19	0,98	0,76	0,77
Агчайское	2,70	3,97	1,78	45,0	5,31	1,18	0,99	1,00	0,74
Халачское	2,71	4,30	1,60	81,2	5,30	1,21	1,08	0,87	0,67

Когда осей больше двух, расстояние рассчитывается таким образом: сумма квадратов разницы координат состоит из столько слагаемых, сколько осей (измерений) присутствует в нашем пространстве. Например, если нам нужно найти расстояние между двумя точками в пространстве трех измерений (такая ситуация представлена на рис. 2), формула (1) приобретает вид:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}.$$

Тогда в соответствии с этой формулой расстояние между физическими параметрами горных пород составляет:

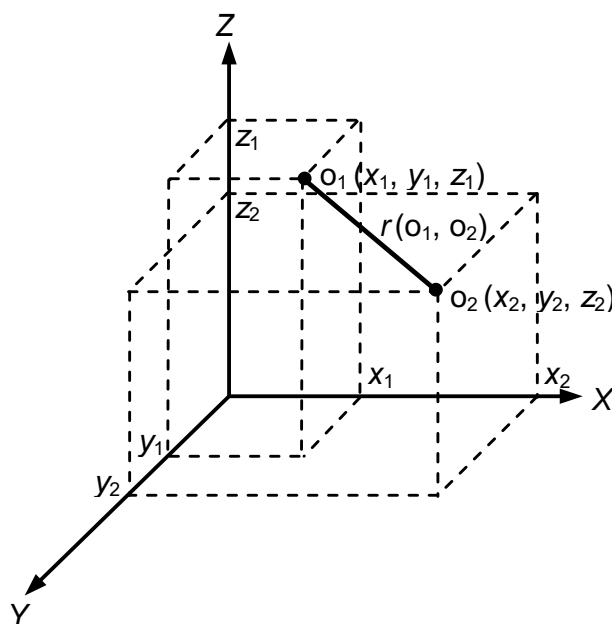
$$d_{xy} = \sqrt{(\rho_{0x} - \rho_{0y})^2 + (P_x - P_y)^2 + (\sigma_{сж,x} - \sigma_{сж,y})^2 + (\lambda_x - \lambda_y)^2 + (E_x - E_y)^2 + (C_{mx} - C_{my})^2 + (\omega_x - \omega_y)^2 + (k_{xx} - k_{xy})^2}.$$

Расстояние между объектами зависит от масштаба по осям.

Данный эффект можно объяснить тем, что уровни значений переменных физико-технических свойств горных пород очень сильно отличаются друг от друга. Согласно формуле евклидовой меры, переменная, имеющая большие значения, практически полностью доминирует над переменной с малыми значениями.

**Оригинальные значения данных.
Original data values.**

ρ_0	f	P	$\sigma_{сж}$	λ	E	C_m	ω	k_y
2,55	3,84	1,50	44,0	1,15	5,20	0,98	0,73	0,62
2,73	5,00	1,95	98,3	1,21	5,60	1,30	1,00	0,80



**Рисунок 2. Расстояние между двумя точками в пространстве трех измерений.
Figure 2. Distance between two points in the space of three dimensions.**

$$d_{\rho_0}^2 = (2,73 - 2,55)^2 = 0,0324;$$

$$d_f^2 = (5,00 - 3,84)^2 = 1,3456;$$

$$d_p^2 = (1,95 - 1,50)^2 = 0,2025;$$

$$d_{\sigma_{сж}}^2 = (98,3 - 44,0)^2 = 2948,49;$$

$$d_{\lambda}^2 = (1,21 - 1,15)^2 = 0,0036;$$

$$d_E^2 = (5,60 - 5,20)^2 = 0,16;$$

$$d_{C_m}^2 = (1,30 - 0,98)^2 = 0,1024;$$

$$d_{\omega}^2 = (1,00 - 0,73)^2 = 0,0729;$$

$$d_{k_x}^2 = (0,80 - 0,62)^2 = 0,0324.$$

$$d_{xy} = \sqrt{0,0324 + 1,3456 + 0,2025 + 2948,49 + 0,0036 + 0,16 + 0,1024 + 0,0729 + 0,0324} = 54,3.$$

В этом примере расстояние между объектами будет определяться в основном разницей содержаний $\sigma_{сж}$. Другие параметры практически не будут учтены при выделении кластеров, поскольку их содержания на порядок меньше, чем содержания $\sigma_{сж}$.

Чтобы сделать масштабы по осям одинаковыми, перед кластеризацией исходные величины нормируют, используя следующую формулу:

$$x_{\text{норм}} = \frac{x}{\bar{x}} \text{ (нормировка на среднее).}$$

Стандартизированные значения данных.
Standardized data values.

ρ_0	f	P	$\sigma_{сж}$	λ	E	C_m	ω	k_x
2,55	3,84	1,50	44,0	1,15	5,20	0,98	0,73	0,62
2,73	5,00	1,95	98,3	1,21	5,60	1,30	1,00	0,80
2,64	4,42	1,72	71,1	1,18	5,40	1,14	0,86	0,71

Если мы производим такое преобразование для переменных физико-технических свойств горных пород, получаем:

Нормированные значения.
Normalized value.

ρ_0	f	P	$\sigma_{сж}$	λ	E	C_m	ω	k_x
1,03	1,15	1,14	1,61	1,02	1,03	1,16	1,17	1,14
0,96	0,88	0,88	0,72	0,97	0,96	0,87	0,86	0,88

$$d_{\rho_0}^2 = (1,03 - 0,96)^2 = 0,0049;$$

$$d_f^2 = (1,15 - 0,88)^2 = 0,0729;$$

$$d_p^2 = (1,14 - 0,88)^2 = 0,0676;$$

$$d_{\sigma_{сж}}^2 = (1,61 - 0,72)^2 = 0,7921;$$

$$d_{\lambda}^2 = (1,02 - 0,97)^2 = 0,0025;$$

$$d_E^2 = (1,03 - 0,96)^2 = 0,0049;$$

$$d_{C_m}^2 = (1,16 - 0,87)^2 = 0,0841;$$

$$d_{\omega}^2 = (1,17 - 0,86)^2 = 0,0961;$$

$$d_{k_x}^2 = (1,14 - 0,88)^2 = 0,0676.$$

После нормализации значения физических свойств горных пород составляют:

– нормированные значения

$$d_{xy} = \sqrt{0,0049 + 0,0729 + 0,0676 + 0,7921 + 0,0025 + 0,0049 + 0,0841 + 0,0961 + 0,0676} = 1,3;$$

следовательно, у нас теперь есть нормализованные наборы данных в сравнимых шкалах;

– оригинальные значения

$$d_{xy} = \sqrt{0,0324 + 6,8121 + 2,56 + 2948,49 + 0,0196 + 0,624 + 1,488 + 1,2321 + 0,384} = 54,3.$$

Таким образом, мы провели самый простой кластерный анализ. Мы выбрали такой вид графического представления, с помощью которого можно было бы отчетливо распознать группирование в кластеры.

Выводы

Применение методов кластерного анализа позволяет проводить группировку месторождений по физико-техническим свойствам, особенно когда изучается большое количество месторождений и показателей и нужен общий анализ их состояния. Используя признаки сходства, применяя ту же технологию для разработки подобных месторождений Азербайджана, можно снизить объем горных работ и увеличить рациональность эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.
2. Рыжов П. А. Математическая статистика в горном деле. М.: Высш. школа, 1973. 287 с.
3. Шарапов И. П. Применение математической статистики в геологии. М.: Недра, 1971. 246 с.
4. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. М.: Книга по требованию, 2012. 128 с.
5. Handbook of Cluster Analysis / C. Hennig, M. Meila, F. Murtagh, R. Rocci (eds). Boca Raton: CRC Press, 2016. 754 p. <http://dx.doi.org/10.1111/rssa.12219>
6. Biernacki Ch. Introduction to cluster analysis and classification: Performing clustering. Summer School on Clustering, Data Analysis and Visualization of Complex Data, 2018. 67 p.
7. Classification and cluster / Ed. J. Wang Rayzina. N. Y.: Wiley, 1980. 390 p.
8. Kaufman L., Rousseau P. J. Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, 2005. 342 p.
9. King R. S. Cluster Analysis and Data Mining: An Introduction. Herndon: Mercury Learning and Information, 2015. 300 p.
10. Brian S., Everitt, Landau S., Morven L., Stahl J. D. Cluster analysis. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, 2011. 346 p.
11. Феклистова И. С. Использование кластерного анализа при оценке эффективности стратегического управления предприятиями региона // Траектория науки. 2016. № 2 (7). С. 2.1–2.15.
12. Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана. Баку: Озан, 2005. 807 с.
13. Geology and Mineral Resources of Azerbaijan. N. Y.: United Nations, 2000. 216 с.
14. Нагиев В. Н., Мамедов И. А. Полезные ископаемые Нахичеванской автономной республики. Баку, 2009. 276 с.
15. Геология Азербайджан. Т. VI. Полезные ископаемые. Баку: Нафта Пресс, 2003. 576 с.
16. Эфендиева З. Дж. Информационный справочник о месторождениях полезных ископаемых Азербайджана. Баку: АГУНП, 2016. 57 с.
17. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. В 2 кн. / пер. с англ. В. А. Голубовой; под. ред. Д. А. Радионова. М.: Недра, 1990. 427 с.
18. Stahl D., Sallis H. Model-Based Cluster Analysis // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. 2012. Vol. 4. № 4. P. 341–358.
19. Эфендиева З. Дж. Характеристика залежей и физические свойства облицовочных камней месторождений Азербайджана // Горный журнал. 2005. № 8. С. 46–47.

Статья поступила в редакцию 02 октября 2019 года

The use of cluster analysis for the classification of rocks of Azerbaijan mineral deposits by their physical and technical properties

Zarifa Jakhangir AFANDIYEVA*,

Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan Republic, Baku

Relevance of the research. The choice of optimal technology and rational development of mineral deposits depends on the reliability of knowledge about the physical properties of rocks of the developed deposits. Therefore, we had to pay great attention to creating a classification of rocks in mineral deposits according to their physical and technical properties.

Methodology. To solve this problem, one of the methods of mathematical statistics was applied - cluster analysis. As a measure of clustering, the Euclidean distance is taken, which is formed when comparing the values of physical quantities. Using cluster analysis, we were able to group deposits according to their physical and technical properties. Using similarities, it is possible to reduce the amount of mining operations and improve the efficiency of mining, which is important, especially when you need to put into operation a large number of deposits with various physical parameters.

Conclusions. Thus, the application of cluster analysis methods makes it possible to group deposits according to physical indicators, especially when a large number of fields and indicators are studied and a general analysis of their condition is needed. On the basis of the grouping and the degree of similarity of the deposits, lean approaches can be sought to ensure exploitation. In terms of physical parameters, the similarity of deposits can be considered reasonable. Using similarities and applying the same technology to develop similar deposits in Azerbaijan, we can reduce the amount of mining and increase the rationality of the exploitation of mineral deposits.

Keywords: mineral deposits, cluster analysis, classification of deposits, method of mathematical statistics, clustering measures, degree of similarity of deposits.

REFERENCES

1. Ventzel E. S., Ovcharov L. A. 1988, *Teoriya veroyatnostey i yeye inzhenernyye prilozheniya* [Probability theory and its engineering applications]. Moscow, 480 p.
2. Ryzhov P. A. 1973, *Matematicheskaya statistika v gornom dele* [Mathematical statistics in mining]. Moscow, 287 p.
3. Sharapov I. P. 1971, *Primeneniye matematicheskoy statistiki v geologii* [Application of mathematical statistics in geology]. Moscow, 246 p.
4. Duran B., Odell P. 2012, Cluster analysis. Moscow, Book on demand, 128 p.
5. C. Hennig, M. Meila, F. Murtagh, R. Rocci (eds). 2016, *Handbook of Cluster Analysis*. Boca Raton: CRC Press, 754 p.
<http://dx.doi.org/10.1111/rssa.12219>
6. Biernacki Ch. 2018, Introduction to cluster analysis and classification: Performing clustering. Summer School on Clustering, Data Analysis and Visualization of Complex Data. 67 p.
7. 1980, Classification and cluster. Ed. J. Wang Rayzina. N. Y.: Wiley, 390 p.
8. Kaufman L., Rousseau P. J. 2005, *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, 342 p.
9. King R. S. 2015, *Cluster Analysis and Data Mining: An Introduction*. Herndon: Mercury Learning and Information, 300 p.
10. Brian S., Everitt, Landau S., Morven L., Stahl J. D. 2011, *Cluster analysis*. Hoboken, New Jersey: Wiley & Sons, 346 p.
11. Feklistova I. S. 2016, Application of cluster analysis in assessing the effectiveness of strategic management of enterprises in the region. *Traektoriya Nauki* [Path of Science], No 2 (7), pp. 2.1–2.15. (In Russ.)
12. 2005, *Mineral'no-syr'yevyye resursy Azerbaydzhana* [Mineral resources of Azerbaijan]. Baku, 807 p.
13. 2000, *Geology and Mineral Resources of Azerbaijan*. N. Y.: United Nations, 216 p.
14. Nagiev V. N., Mamedov I. A. 2009, *Poleznyye iskopayemye Nakhichevanskoj avtonomnoj respubliki* [Minerals of the Nakhichevan Autonomous Republic]. Baku, 276 p.
15. 2003, *Geologiya Azerbaydzhana* [Geology of Azerbaijan]. Vol. VI. Mineral resources. Baku, 576 p.
16. Efendieva Z. J. 2016, *Informatsionnyy spravochnik o mestorozhdeniyakh poleznykh iskopayemykh Azerbaydzhana* [Information guide on mineral deposits of Azerbaijan]. Baku, 57 p.
17. Davis J. C. 1990, *Statistics and data analysis in geology*. In 2 books. Transl. from English by V. A. Golubova; ed. by D. A. Radionov. Moscow, 427 p.
18. Stahl D., Sallis H. 2012, *Model-Based Cluster Analysis*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, vol. 4, no. 4, pp. 341–358.
19. Efendieva Z. J. 2005, Description of deposits and physical properties of facing stones of Azerbaijani deposits. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 8, pp. 46–47. (In Russ.)

The article was received on October 02, 2019

Березовское золоторудное месторождение: проблемы формирования, дальнейшего изучения

Александр Григорьевич БАРАННИКОВ*

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена необходимостью выявления и уточнения факторов рудогенеза на крупном кварцево-жильном Березовском золоторудном месторождении. Установленные факторы должны способствовать разработке критериев прогнозирования оруденения подобного типа на Урале.

Цель работы: выявление закономерностей размещения благороднометалльной минерализации (Au, Ag) в пределах ведущих даек на основе минералого-геохимического изучения окисленных выходов рудоносных пород; обобщение результатов опробования разведочно-эксплуатационных выработок на примере Второ-Павловской и Елизаветинской даек; уточнение геолого-генетической модели месторождения с учетом новых данных.

Методология исследования: картирование выходов золотосодержащих пород методом шлихоминералогического изучения; обработка результатов опробования рудоносных даек; обобщение результатов ранее проведенных геологических, геофизических и геологоразведочных работ; исследование площадного распространения химических кор выветривания.

Результаты. Рассмотрено геологическое строение месторождения: уникальность геолого-структурной позиции; ведущие интрузивные комплексы, их рудоконтролирующее значение; минералого-геохимическая зональность локализации оруденения; параметры флюидного режима рудообразующих систем. Установлено: минеральные ассоциации окисленных рудоносных зон наследуют гипогенную зональность глубоких горизонтов месторождения; распределения уровней концентраций золота и серебра по данным опробования разведочно-эксплуатационных штреков между собой не согласуются; не коррелируются эти данные и с уровнем прокварцеванности пород; по дайке Второ-Павловской отмечено нарастание уровня серебрисности руд в южном направлении при приближении к Шарташскому массиву гранитоидов, а также с глубиной. В окончательном виде эндогенная градиентная зональность сформировалась после остывания теплового поля массива в связи с проявлениями наложенных средне-низкотемпературных гидротермально-метасоматических процессов на постколлизивной стадии развития. Работы по оценке перспектив золотоносности зоны окисления рекомендуется продолжить; здесь возможно выявление оруденения гипогенно-гипергенного типа.

Выводы. Формирование крупного Березовского месторождения определено совокупностью рудоконтролирующих факторов. Одним из ведущих факторов является глубинность формирования рудолокализирующей структуры. Сказанное обосновывается приуроченностью рудного поля к структуре вихревого типа, а также геофизическими материалами по глубинному строению земной коры, накопленными изотопно-геохимическими данными. Рекомендуется при проведении прогнозных и поисковых работ на золото в пределах перспективных площадей Уральского региона пристальное внимание уделять оценке рудоносности вихревых и кольцевых структур.

Ключевые слова: Березовское месторождение, золото, интрузивные комплексы, дайки, зона окисления, минеральные ассоциации, вихревые структуры, коры выветривания, шлихоминералогическое опробование.

Введение

Березовское месторождение – старейший золоторудный объект Уральского региона. С момента открытия в 1745 г. из его недр добыто первое золото Российского государства. До конца 1950-х гг. месторождение оставалось крупнейшим золотодобывающим предприятием России. Ежегодная добыча в отдельные годы достигала 2 т золота.

Месторождение относится к группе крупнейших золоторудных объектов мира (Б. Я. Вихтер, 2009), что а priori уже предполагает своеобразие его геологической позиции, структурных, формационных и иных особенностей.

Почти за 275-летний период освоения из недр месторождения добыто более 160 т золота. Объем учтенных запасов металла составляет 49,7 т (газета «Березовский рабочий», 03.06.2010). Действующее в настоящее время золотодобывающее предприятие ООО «Березовское рудоуправление» располагает достаточной сырьевой базой и продолжает играть важную роль в минерально-сырьевом обеспечении золотодобывающей отрасли Уральского региона.

Геологическое строение месторождения отражено в многочисленных публикациях разных периодов изучения объекта. Сведения о нем вошли практически во все учебники по геологии месторождений полезных ископаемых, изданные как в нашей стране, так и за рубежом. С изучением месторождения связаны многие известные имена. На разных этапах освоения его посетили Г. Паллас, И. Герман, Г. Розе, И. Севергин, что нашло отражение в подготовленных записках. К 1820–1830-м гг. относятся работы Гумбольдта, Мурчисона, Колобова, а позднее Окладных, Пошепни, А. П. Карпинского, Рудковского и др. Изучением Березовского рудного поля занимались Н. И. и М. Б. Бородаевские, П. И. Кутюхин, А. А. Иванов, И. С. Рожков, С. Г. Заводчиков, И. Т. Самарцев, О. В. Беллавин, В. А. Ниренштейн, Б. В. Чесноков, В. Н. Сазонов, Х. Х. Лайпанов, В. В., Мурзин, О. В. Викентьева и др.

Изучение Березовского рудного поля в последние десятилетия связано с именами Г. Н. Кузовкова, Д. А. Двоглазова, Д. М. Алешина, В. Ф. Копанева, а также сотрудников Уральского государственного горного университета: В. Н. Огородникова, В. В. Бабенко, Ю. А. Поленова – кафедра геологии; Д. А. Клейменова – геологический музей; А. Г. Баранникова, А. Н. Угрюмова, Г. П. Дворника – кафедра ГПР МПИ; студентов Д. И. Колбасина, А. А. Кравченко, О. А. Середкиной, Т. А. Шипицыной и др.

Огромный вклад в изучение геологического строения месторождения внесли рудничные геологи, разведывавшие и изучавшие его в разные периоды промышленного освоения. Назовем лишь некоторые имена: Переляев, Захваткин, Красусский, Каллистов, Заводчиков, Степанов, Казимирский, Поплавский, Котыбаева, Юрпалов, Пелешко, Субботин, Баталин и др. В настоящее время геологическую службу рудника возглавляет Алевтина Николаевна Трошкина.

Особенно следует отметить вклад Владимира Филипповича Казимирского в обоснование возможности промышленного освоения глубоких горизонтов месторождения (512–712 м). Оценку его труда высоко оценил один из опытных горняков рудника: «Этот Казимирский мно-о-го золота нарастил» (Информационные материалы к 265-летнему юбилею Березовского месторождения; июль, 2010 г.)

Несмотря на длительный период изучения, далеко не все вопросы, касающиеся условий формирования уникального месторождения, минералого-геохимических особенностей строения рудоносных зон, перспектив дальнейшего промышленного освоения объекта, убедительно аргументированы. Они по-прежнему привлекают внимание исследователей.

На уникальную и своеобразную позицию Березовского месторождения обращено внимание в последних публикациях [1–4]. Месторождение рассматривается как классический объект полигенного и полихронного генезиса. Отмечается [4], что «выявление закономерностей размещения рудной минерализации на таком объекте дает возможность открытия новых объектов такого типа».

В связи с этим правомерна постановка вопроса: возможно ли на основе накопленной по месторождению информации осуществлять геологический прогноз золотого оруденения «березовского типа» в пределах достаточно хорошо изученного Уральского региона?

Очевидно, что подход к решению этой проблемы возможен лишь на основе аргументированной геолого-генетической (геолого-прогнозной) модели месторождения, учитывающей совокупность проявленных золотоконцентрирующих процессов. Попытки разработки подобной модели имеются [1].

Несмотря на 275-летний период освоения, дискуссии о происхождении месторождения продолжают. В последние десятилетия они во многом основываются на учете результатов новейших методов изучения минерального вещества (В. В. Мурзин, О. В. Викентьева, Н. С. Бортников, И. А. Бакшеев, С. В. Филимонов и др.).

Основные черты геологического строения Березовского месторождения

Березовское месторождение располагается к северо-северо-востоку от Шарташского гранитного массива в северном погружении Сысертско-Ильменогорского мегантиклинория [5]. Локализовано в островодужной стратифицированной вулканогенно-осадочной толще венлокского яруса нижнего силура.

Геологическая позиция Березовского месторождения и рудного поля отражена на схематических картах и разрезах, приведенных в публикациях [2, 3, 6, 7]. В толще вулканогенно-осадочных и излившихся пород залегают бескорневые пластообразные тела серпентинизированных ультрабазитов, местами превращенные в тальк-карбонатные породы. Эти бескорневые пластообразные тела имеют характер тектонических пластин – протрузий.

Рудное поле располагается в пределах Монетнинско-Седельниковского антиклинория, являющегося составной частью Сысертско-Первомайского блока Сысертско-Ильменогорского мегантиклинория. Тектоническими ограничениями антиклинория служат: на западе Верх-Исетский разлом (взброс), на востоке – Мурзинский (левосторонний сдвиг), сближающиеся в северном направлении в виде клина [5].

Березовское рудное поле является эталонным объектом золото-сульфидно-кварцевой формации. В его пределах большинство рудных жил пространственно приурочено к дайковым породам гранитоидного состава. К ним приурочена большая часть рудных сульфидно-кварцевых жил. Всего на площади рудного поля установлено около 350 даек гранитоидов с общей протяженностью примерно 350 км [6]. Они условно разделены на два пучка, сходящихся в южном направлении.

Дайки имеют различный состав – от ранних плагиигранит-порфиоров, лампрофиоров, плагииосенит-порфиоров к более поздним гранит-порфирам, пегматоидным лейкокатровым гранитам, аплитам и др. Жильные тела образуют плотную многоуровневую (мультиплетную) систему [8].

В рудном поле развиты два типа тектонических нарушений, имеющих рудоконтролирующее значение [1]: 1) сбросо-сдвиги широтного (субширотного) простирания с крутым близвертикальным падением; 2) надвиги и зоны расщепления меридионального простирания, падающие к западу. Нарушения обоих типов предшествовали внедрению гранитоидных даек. Заполняющие сбросо-сдвиги жилы получили название красичных, а залегающие внутри даек – лестничных. Разветвленная система жильных трещин формировалась в условиях резко анизотропной среды при многократном возобновлении сжимающих усилий.

В современных публикациях [2–4] отражена ведущая роль интрузивных комплексов пород в формировании и пространственном размещении золотого оруденения. Отмечается тесная пространственная связь рудной минерализации с интрузивными комплексами дунит-гарцбургитовой, габбровой, тоналит-гранодиоритовой и гранитной формаций. Большинство из них отводится рудогенерирующая роль.

Пространственно-генетическая связь гидротермальной минерализации с мощностью и кровлей Шарташского массива адамеллитов обосновывается данными гравиметрической съемки [9]. Массив полого погружается на север и рассматривается как один из выступов крупного интрузивного тела – Большого Шарташского плутона субширотной ориентировки. Восточнее массива закартированы еще два выступа гранитоидных пород – Шпанчевский и Становлянский (слепой). Последний фиксируется отрицательной аномалией силы тяжести. Его апикальная часть вскрыта скважиной на глубине 800 м.

К категории рудогенерирующего интрузивного комплекса на площади рудного поля также относится Пышминско-Березовский гипербазитовый массив, представленный серпентинитами и продуктами их изменения – тальково-карбонатными породами. Породы массива охватывают в виде спирали все рудное поле, а располагающийся на юге Шарташский гранитный массив является частью этого кольца. Г. Н. Кузовковым [2] обращено внимание на спиралевидное (вихревое) строение Шарташской брахиантиклинали, заметную роль в ней кольцевых (дуговых) разломов (рис. 1). Этим же автором предложено рассматривать характеризующую часть рудного поля как Шарташскую вихревую структуру (ШВС). Массив ограничен с севера интрузией габбро, а с юга породами долеритового состава. Контакты гипербазитов с вмещающими породами расщеплены.

Обобщая изложенное, отметим, что рудовмещающий разрез месторождения, образованный переслаиванием вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород, а также субпластовых тел серпентинитов, представляет эффективный петрофизический экран в связи с чередованием пород с контрастными упруго-прочностными фильтрационными свойствами [10]. Возможно, перекрывающие разрез крупные тела серпентинизированных гипербазитов Пышминско-Березовского комплекса играли экранирующую роль.

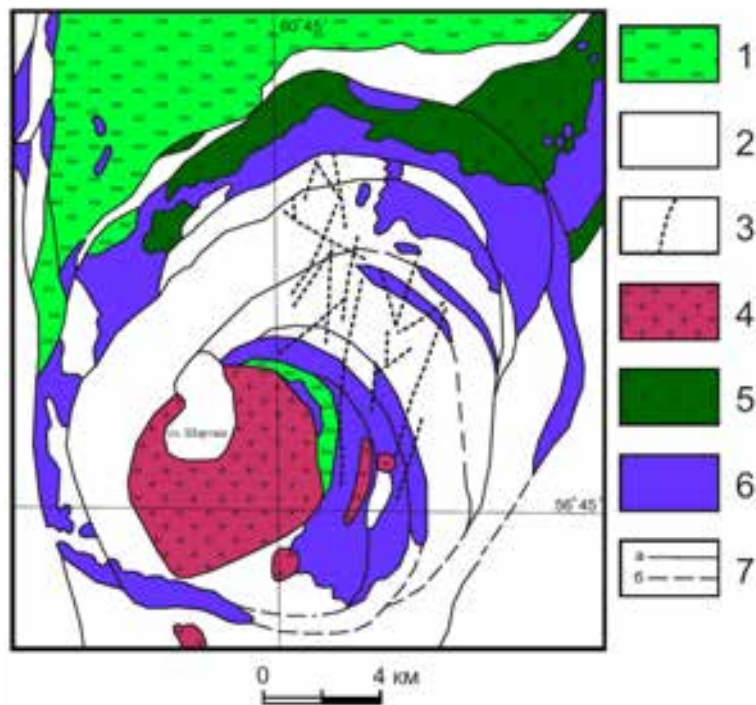


Рисунок 1. Геолого-структурная схема Шарташской вихревой структуры, по [2]. 1 – лландоверийские (?) кремнистые, углисто-кремнистые породы, слюдяно-кварцевые сланцы; 2 – верхнеордовик-нижнесилурийские (?) базальты, их туфы, подчиненные им песчаники, алевролиты; 3 – главные дайки гранитоид-порфиров; 4 – граниты; 5 – габбро; 6 – метагипербазиты (серпентиниты); 7 – геологические (а) и тектонические (б) границы.

Figure 1. Geological and structural diagram of the Shartashskaya vortex structure according to [2]. 1 - Llando-Verian (?) siliceous, carbon-siliceous rocks, micaceous-quartz schists; 2 - Upper Ordovician-Lower Silurian (?) Basalts, their tuffs, sandstones subordinate to them, siltstones; 3 - main dykes of granitoid-porphyrus; 4 - granites; 5 - gabbro; 6 - metahyperbasites (serpentinites); 7 - geological (a) and tectonic (b) boundaries.

Зональность Березовского рудного поля и месторождения

Площадь Березовского рудного поля характеризуется минералого-геохимической зональностью. Ее обоснование приведено в публикациях [1, 6, 11–13]. Зональность проявляется в направленном изменении продуктов гидротермально-метасоматических изменений и наиболее наглядно – ведущих рудных минеральных ассоциаций.

В жильных телах выделены четыре минеральные ассоциации [11, 13]: 1) анкерит-кварцевая, 2) кварц-пиритовая, 3) полиметаллическая и 4) карбонатная. Основная золотоносность связана со второй и третьей ассоциациями. Первая ассоциация состоит из кварца, анкерита и более позднего по времени выделения пирита. Отдельные индивиды пирита кубической формы имеют длину ребра до 3–5 см и более. Вторая кварц-пиритовая ассоциация состоит из кварца, пирита и незначительного количества шеелита. Количество пирита иногда превосходит присутствие кварца. Кристаллы пирита более мелкие, чем в первой ассоциации. С пиритом связано присутствие мелкого (менее 10 мкм) самородного золота высокой пробы (940–980). Отмеченное золото обеспечивает его валовое содержание в руде и метасоматитах в диапазоне 0,5–5,0 г/т [14]. В состав третьей полиметаллической ассоциации входят мелкозернистый пирит и сульфиды пирит-полиметаллически-блеклорудной и полиметаллически-сульфосольной минеральных ассоциаций (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, айкинит, висмутин и др.). С ними ассоциируют выделения самородного золота более низкой пробы (800–900) и повышенной крупности (до 1 мм и более), заключенные в кварце, сульфидах или карбонате. Это обеспечивает уровень содержания золота в руде до 5 г/т и более. Четвертая ассоциация карбонатного состава содержит кальцит с небольшим присутствием доломита.

В пространственном изменении отмеченных минеральных ассоциаций отмечены следующие особенности [1, 3, 4].

В южной части рудного поля располагается зона развития жил с анкерит-кварцевой ассоциацией; эта же ассоциация присутствует и на всей площади рудного поля. Севернее находится более локальная зона развития кварц-пиритовой минерализации. Еще меньшую площадь, наиболее удаленную от гранитного массива, занимают полиметаллическая и карбонатная ассоциации.

Зональность в пределах рудного поля проявляется также в изменении ряда признаков рудоносности: закономерном изменении состава блеклых руд [12]; направленном изменении размеров выделений пирита; зональном изменении строения геохимических ореолов [1]. По мнению большинства авторов, выявленная рудная и метасоматическая зональность является продуктом зонально построенного температурного поля, наведенного Шарташским массивом. Основная роль в переносе, перераспределении и аккумуляции рудных элементов отводится процессам дегазации магмы, сформировавшей этот массив.

И. Т. Самарцев [13] рассматривает проявленную зональность как температурную и многостадийную, при которой минералы каждой последующей стадии отлагались на меньшей площади и при более низких температурах. Это было обусловлено смещением центров концентрации растворов в результате остывания интрузива и утолщения его панциря. Так, минералы наиболее ранней анкерит-кварцевой ассоциации формировались при относительно высокой

температуре (по данным гомогенизации, 320–184 °С); наиболее продуктивной золото-полиметаллической – в широком диапазоне температур (384–56 °С). Растворы полиметаллической ассоциации имеют, по мнению И. Т. Самарцева, глубинное происхождение. В этом случае пространственно-генетическая связь оруденения с характером рельефа кровли большого Шарташского плутона становится уже не столь очевидной.

Выполненные в последние годы изотопно-геохимические исследования в совокупности с изучением геотермометрических РТ-условий позволили уточнить параметры флюидного режима минералообразования на Березовском месторождении [10, 14–17].

По данным доломит-кальцитовой термометрии, РТ-условия при формировании березитизированных пород составили: березитов – $T = 320\text{--}460\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,5\text{--}1,7$ кбар; жильной минерализации – $T = 260\text{--}360\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,20\text{--}0,33$ кбар; полиметаллической и сульфосольной минерализации со скоплениями самородного золота – $T = 150\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,24\text{--}0,37$ [14]. Образование пострудных карбонатных прожилков происходило при $T = 80\text{--}160\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 0,1\text{--}0,2$ кбар. На момент их формирования давление флюида, очевидно, соответствовало гидростатическому, что позволяет оценить глубину их формирования как 2–3 км.

При изучении флюидных включений в жильном кварце установлено, что: 1) жильные тела, сопряженные с гумбеитами, формировались при $T = 295\text{--}360\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 1,6\text{--}2,3$ кбар; 2) жилы, сопряженные с березит-лиственитами, формировались при $T = 255\text{--}365\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 3,5$ кбар [16].

Минералообразующий флюид представлял собой смесь H_2O и CO_2 с примесью CH_4 и N_2 умеренной солёности. Изотопные составы S, C, H, O гидротермальных минералов позволяют предполагать участие в минералообразующем процессе магматогенного флюида, изотопный состав которого эволюционировал в результате отделения летучих компонентов и взаимодействовал с вмещающими породами. Это свидетельствует об их магматическом происхождении, но не исключает частичного поступления из вмещающих пород [15].

Обсуждая проблемы формирования эндогенной рудной зональности, отметим, что в 1970-е и более поздние годы появились публикации, в которых утверждалось, что зональность Березовского месторождения на современном уровне изученности проблемы представляется более сложной, чем она описана Б. В. Чесноковым на основе изучения состава блеклых руд (В. Г. Богомолов, 1988; В. М. Ершов, 1977; М. С. Рапопорт и др., 1994). Геолого-генетические построения ранних периодов изучения месторождения базировались на концепции, обосновывающей появление рудных концентраций в жильных телах за счет березит-лиственитовой формации. В настоящее время установлено присутствие в рудных зонах не менее 5–6 самостоятельных рудно-метасоматических формаций: кварц-турмалиновой, калиевых пропицитов (медно-порфировой), натриевых пропицитов, гумбеитов, березит-лиственитов (С. В. Филимонов, Э. М. Спиридонов, 2001), постберезитовых слюдитов [18], аргиллизитов [18, 19]. Каждой рудно-метасоматической формации свойственен свой тип минерализации. В публикациях отмечается, что обоснование зональности на основе изучения отдельных минералов без учета полиформационности объектов не является корректным. О сложной и длительной истории формирования Березовского месторождения свидетельствуют и приведенные термометрические параметры флюидного режима минералообразования.

Основные результаты выполненных исследований

Результаты исследований, проведенных сотрудниками и студентами кафедры ГПР МПИ в период 1996–2001 гг., а также в более поздний период (при подготовке студентами ВКР), подтверждают полигенную и полихронную природу Березовского золоторудного месторождения.

Проведенные исследования включали:

- массовое шлиховое опробование окисленных минерализованных пород и руд на площади развития ведущих рудоносных даек; анализ пространственного размещения выявленных в этом горизонте минеральных ассоциаций;
- обобщение данных опробования по разведочно-эксплуатационным выработкам ряда горизонтов (дайкам Второ-Павловской, Елизаветинской) с целью выявления пространственного распределения основных компонентов руды – Au, Ag, Au / Ag, степени прокварцованности даек;
- обобщение материала о распространении низкотемпературных метасоматитов (аргиллизитов) в пределах Березовского рудного поля и на площадях его северного обрамления;
- составление карты (схемы) размещения химических кор выветривания на основе обобщения материалов документации колонковых скважин, пробуренных на площади рудного поля в разные годы.

Получены следующие результаты:

При минералого-геохимическом изучении окисленных рудных зон, включающих элювиально-делювиальные образования, коры выветривания, отвалы старых горных выработок в пределах рудоносных даек – Перво-, Второ-Павловской, Первоначальной, Андреевской, Соймоновской, Ивановской, а также на участках Успенская горка, Золотая горка и др. (всего 15 участков), установлено, что минеральные ассоциации зоны окисления наследуют гипогенную зональность, свойственную глубоким горизонтам месторождения [20]. Объем шлиховых проб варьировал в пределах от 3–5 до 51 дм^3 . Их изучение выполнено Л. Н. Угрюмовой и С. В. Акуловой. Установлено преимущественное распространение высокопродуктивной золото-полиметаллической ассоциации в центральной части рудного поля. Она же установлена (но более локально) и на других участках: на северном фланге – участки Первоначальный, Преображенский; на восточном – дайки Андреевская, Соймоновская; на западном – Шульгинское месторождение, дайка Калиновская.

При изучении самородного золота (выборка – более 5 тыс. золотин) отмечен ряд типоморфных особенностей металла: преобладающие кристалломорфные очертания, мелкие и тонкие классы крупности (0,05–0,25 мм, редко до 1,0 мм). Особенности морфологии, химического состава (пробности) отмечены для золота ранней пирит-кварцевой и более поздней полиметаллической ассоциаций.

Исследования характера изменчивости концентраций золота и серебра, их соотношения в продольном профиле ведущих даек позволили выявить следующие особенности.

По дайке Второ-Павловской проанализирован материал, учитывающий обобщенные результаты эксплуатационного опробования в объеме отдельных блоков на горизонтах 262, 364, 462, 512 и частично 712 (исполнитель – аспирант Д. И.

Колбасин). Учено 3320 проб по 58 блокам. Наиболее детально исследован интервал дайки между шахтами «Северная» и «Южная» длиной 2,7 км. Расчеты показали, что в районе шахты «Северная», начиная с гор. 462 вниз по падению, «серебристость руд» возрастает. Соотношение Au/Ag изменяется для отдельных горизонтов: 462 – 1,6; 512 – 1,12; 712 – 0,93. По простиранию дайки серебристость возрастает в южном направлении к выходам Шарташского массива. В районе шахты «Северная» Au/Ag – 1,26; в центре интервала между шахтами Au/Ag – 0,64; в районе шахты Южная Au/Ag – 0,40 [21].

Обобщение данных эксплуатационного опробования (с шагом в 1 м) Второ-Павловской дайки выполнено на участке, примыкающем к стволу шахты «Северная» по гор. 314 м в пределах блоков 121–100, 92–89 (по простиранию 1,7 км) и по гор. 512 м – блоки 118–105 (по простиранию 1,3 км) (исполнитель – студентка О. А. Середкина). При опробовании учитывалась степень насыщенности пород кварцево-прожилковой минерализацией. По горизонтам 314 и 512 м получены сопоставимые результаты. Золотоносность на изученном участке достаточно выдержанная, не подверженная резким колебаниям. Однако в большинстве случаев отсутствует согласованное распределение пиков значений золота и серебра как при сопоставлении единичных проб, так и по 10-метровым интервалам усреднения. Эта же особенность проявлена и при сопоставлении значений золотоносности с усредненными значениями уровня прокварцованности дайки [22].

Аналогичные результаты исследования изменчивости параметров рудоносности по дайке Елизаветинской получены при обобщении данных опробования в блоке 131 гор. 162–262 м (исполнитель – студент-дипломник Я. С. Максимов). Установлено, что согласованное распределение значений золота и серебра отмечается далеко не во всех случаях. При этом на участках совмещения пиков повышенных значений Au и Ag содержание серебра имеет более широкий диапазон распространения, нежели золота. Не коррелируются с этими данными и уровень прокварцованности пород. При сглаживании значений с использованием полинома, предложенного В. Ф. Мягковым (1984), графики аппроксимирующей функции в изменении значений Au и Ag приобретают уже сопоставимый характер (рис. 2). Отстроенные кривые аппроксимирующей функции характеризуются периодичностью, на что еще ранее обращал внимание А. П. Каллистов (1956), выделив два типа наблюдаемой изменчивости – координированную и случайную.

Ранее отмечалось [4], что максимальные значения удельной прокварцованности свойственны локальным участкам сложного геологического строения: зонам пересечения даек с поясами ранних жильных тел, тектонической нарушенности, кулисообразного выклинивания и т. д.

На полигенерационность кварцево-жильной минерализации обращено внимание в работе Х. Х. Лайпанова [18], выделившего на месторождении разновидности кварца, связанные: с пегматитами Шарташского массива; турмалин-кварцевыми жилами; сульфидно-кварцевыми жилами, сопряженными с березит-лиственитами; кварц-друзовыми полостями, сопряженными с зонами слюдитов и слюдяных березитов; халцедоновидными жильными телами, сопряженными с аргилизитами.

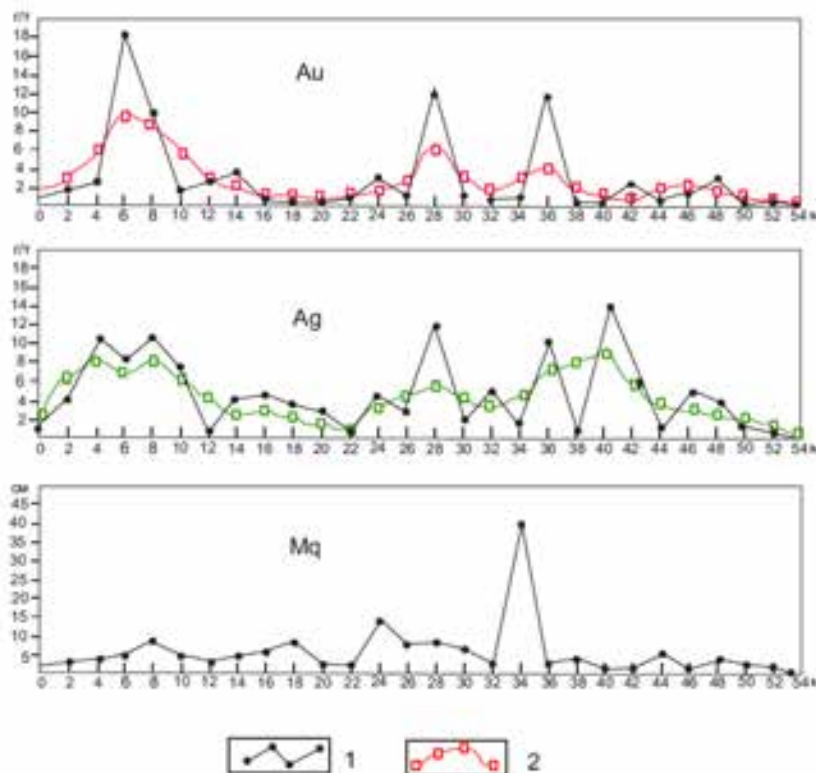


Рисунок 2. Графики пространственного распределения параметров рудоносности: золота, серебра, уровня «прокварцованности» пород Mq для 2-метровых интервалов опробования; участок дайки Елизаветинская, гор. 162 м, блок 131. 1 – исходные данные содержаний Au и Ag, г/т, уровня «прокварцованности» (см. в 2-метровых интервалах породы); 2 – графики аппроксимирующей функции для Au и Ag.

Figure 2. Graphs of the spatial distribution of ore parameters: gold, silver, the level of “quartz-flood” of rocks Mq for 2-meter sampling intervals; site of the dyke Elizavetinskaya, mount. 162 m, block 131. 1 - initial data on Au and Ag contents, g/t, level of “quartz-flood” (see in 2-meter rock intervals); 2 - graphs of the approximating function for Au and Ag.

Таким образом, приведенные материалы подтверждают ранее высказанные соображения, что эндогенная зональность месторождения представляется более сложной, нежели она освещена в публикациях и рассматривается как «классическая». Скорее всего, в окончательном виде наблюдаемая градиентная зональность сформировалась уже после охлаждения теплового поля крупного Шарташского плутона на позднепалеозойско-раннемезозойском этапе развития структуры рудного поля. Об этом свидетельствуют многочисленные признаки проявления средне-низкотемпературных метасоматитов.

По данным Ю. А. Поленова и др. [3], на площади рудного поля постколлизийными кварцево-жильными образованиями являются пиропиллитсодержащие жилы и наложенные хрусталеносные полости. Вскрытые полости нередко содержали хорошо ограненные кристаллы шеелита, пирита, галенита, ряда других минералов. Из верхних горизонтов шахт добывали образцы горного хрусталя высокого качества. Самый большой кристалл имел размер более 1 м. В настоящее время он находится в музее горного университета Санкт-Петербурга [23].

Как упоминалось ранее, для некоторых даек характерны существенные колебания уровня серебрисности руд в стране. В дайке Второ-Павловской наиболее контрастно «тренд серебрисности» проявлен на гор. 512 м. Не исключено, что появление в рудах низкопробного (серебрисного) золота связано с поздними гидротермально-метасоматическими процессами. На присутствие в рудных жилах двух типов золота (желтого и белого) обратил внимание Б. В. Чесноков еще в 1975 г. Белое золото, более позднее, порой образует каймы на раннем. Наличие серебристых кайм на поверхности самородков в жилах гор. 520 м описано В. В. Мурзиным (1987). Присутствие серебристого золота также отмечалось при разведке и разработке россыпей (Н. М. Степанов, 1950; А. И. Александров, 1961). Благодаря своеобразному латунному облику оно получило название «штейсового». Присутствие относительно низкопробного и низкопробного золота (в интервале значений 681–786) установлено при опробовании окисленных рудоносных зон ряда даек [20].

О проявлении в пределах рудного поля постколлизийных гидротермально-метасоматических изменений свидетельствует и ряд иных фактов. Рудоносность возникших при этом продуктов связана, скорее всего, с формированием поздней полиметаллической минеральной ассоциации, пространственно и генетически ассоциирующей со слюдитами, аргиллизитами. Х. Х. Лайпанов рассматривал их как пострудные образования. Однако уровень золотонности этих «глинизированных» пород к настоящему времени достоверно не оценен. Скорее всего, участкам развития поздней полиметаллической ассоциации будет свойственно присутствие самородного золота мелких и тонких классов при общем невысоком уровне концентрации благородных металлов.

В составе поздней полиметаллической ассоциации, помимо самородного золота, возможно присутствие галенита поздней генерации (с содержанием Ag до 2,6 %), серебросодержащих блеклых руд (Ag до 3–5 %) [17], серебро-висмутсодержащего минерала – матильдита (Ag BiS₂) [10]. Характеризуя присутствие матильдита в полиметаллических месторождениях, П. Рамдор (1962) рассматривает этот минерал как пограничное образование, возникшее при низких температурах (до 225 °С). Выше этого значения взаимная растворимость матильдита и галенита очень велика.

С поздними гидротермально-метасоматическими процессами, возможно, связаны находки гоаяцита (фосфата стронция – SrAl₃(PO₄)(PO₃OH)(OH)₆, встреченного вместе с пиритом в рассекающих березит кварцевых прожилках шахты «Центральная» (С. Г. Суставов и др., 2017). О низкотемпературных условиях кристаллизации гоаяцита можно судить лишь косвенно. Впервые этот редкий минерал, относящийся к структурному типу алунига, установлен Н. В. Рентгарденом в нижнемеловых беликовых отложениях Троицко-Байновского месторождения каолиновых глин.

О проявлении постколлизийных (мезозойских) рудообразующих процессов также свидетельствуют и другие наблюдения.

На восточном фланге рудного поля среди стратифицированных вулканогенно-осадочных пород выявлены горизонтально располагающиеся геохимические ореолы золота и серебра, пространственно ассоциирующие с Cu, Zn, Pb, As, Co (И. А. Субботин, 1989). Поисковой оценки на благородные металлы эти аномалии к настоящему времени не получили.

В восточном обрамлении Благодатского рудного поля (располагающемся севернее Березовского месторождения), в зоне Мурзинского регионального разлома выявлен обширный линейно вытянутый ореол пирит-арсенопиритовой минерализации, сопряженной с метасоматитами аргиллизитовой формации (В. В. Александров и др., 2017). Геохимический спектр представлен ассоциацией элементов As–Ag–Zn–Cu–W–Bi–Au. Ранее (по геологосъемочным материалам) этот разлом рассматривался как «сухой» (безрудный).

В северной части Сысертско-Первомайского блока на площади Верхотурского участка известно оруденение золото-сульфидно-кварцевого типа, приуроченное к небольшому телу гранодиоритов, прорывающему Первомайский базит-ультрабазитовый массив. Этот массив рассматривается как крупное плитообразное тело протрузивной природы, пространственно связанное с региональным Верхисетским разломом и перемещенное на коллизийном этапе в восточном направлении, заняв субгоризонтальное положение (Д. А. Двоеглазов и др., 1987). В восточном эндоконтакте гранодиоритового тела выявлен линейный субштокверк с системой маломощных кварцевых прожилков. Оруденение ассоциирует с золото-полиметаллической ассоциацией в зонах развития метасоматитов пропилитовой и березит-лиственитовой формаций (Г. А. Букрин и др., 1991). В локальных секущих диагональных зонах развиты аргиллизиты серицит-гидро-слюдистого состава. Самородному золоту этих зон свойственны признаки малоглубинности: мелкие и тонкие классы крупности, наличие сложных комбинаций мелких кристаллов, присутствие скелетных и расщепленных кристаллов, зональное строение зерен, относительно низкая проба – от 700 до 500 в отличие от металла березит-лиственитовой формации – 800–950.

На сопряженность процессов гипогенной и гипергенной минерализации в карбонат-кварцевых жилах Березовского месторождения обращено внимание в работе [24]. Материал получен на основе детального изучения образцов кварца параллельно-шестоватого строения («книжной» текстуры), отобранных из жил Ушаковского карьера (северо-восточный фланг рудного поля). Описан механизм формирования подобного типа текстур – неоднократное приоткрывание трещин в жильных телах, сопровождавшееся заполнением полостей минеральными продуктами как эндогенной природы (преимущественно пиритом), так и экзогенной: гетитом – за счет окисления пирита; гетит-магнезит-гидро-слюди-

стым агрегатом – за счет материала лиственитов с образованием гипергенных овоидов. При последующих импульсах тектонической активности установлено срезание гипергенных овоидов зальбандами жил. Подобное явление растаскивания овоидов из вмещающих пород растущим жильным агрегатом ранее наблюдали Дж. Рэмси и М. Хабер [25].

На основе обобщения материала структурно-разведочных скважин (более 60), пройденных в разные годы в пределах Березовского рудного поля, составлена схематическая карта кор выветривания, приведенная в работе [21]. Окисленные руды в пределах золотосодержащих даек представляют самостоятельный технологический тип, промышленное освоение которого возможно с использованием современных технологий.

Идея селективной отработки окисленных руд в пределах рудоносных зон месторождения обсуждалась неоднократно. В 1933 г. Свердловским горным институтом был даже составлен проект на отработку всей территории г. Березовского карьером глубиной 30 м со сносом всех домов того времени. Предполагалось, что «золото в г. Березовском есть везде» [23]. Поисково-оценочные работы по переоценке зоны окисления в северной части дайки Второ-Павловской, выполненные в 2015–2017 гг., однако не дали положительных результатов. Причинами, скорее всего, являются: высокий уровень техногенной освоенности (выработанности) оцененного участка, вскрытого разведочными горными выработками лишь до глубины 10–12 м; общий невысокий уровень первичной золотоносности участка; недостаточная метрологическая обоснованность опробования техногенно нарушенных пород наклонными скважинами колонкового бурения.

Работы по переоценке перспектив зоны окисления Березовского месторождения заслуживают своего продолжения.

Выполненные автором палеогеоморфологические реконструкции позволили выделить на площади Березовского рудного поля фрагменты мезозойского (позднеюрско-мелового) пенеплена, зафиксированного чехлом химических кор выветривания значительной мощности (до 37–57 м и более). Элементы субгоризонтальной поверхности пенеплена тяготеют к периферии рудного поля и имеют абсолютные отметки 270–280 м при сохранившемся полном профиле коры [21]. Определились два участка с максимальными значениями сохранившегося мезозойского элювия. Первый – северный участок – приходится на дайку Перво- и Второ-Павловскую, Андреевскую, Рождественскую и более мелкие. Второй – южный участок – располагается южнее шахты «Южная». Включает узел пересечения даек диагональной и меридиональной ориентировки (дайки Самобытная, Ильинская, Елизаветинская и др.).

При поисковой оценке северного фланга дайки Второ-Павловский в канавах были вскрыты тонкодисперсные глинистые породы светло-серых и белых тонов каолинит-гидролюдистого состава. Возможна их полигенная природа, обусловленная пространственной совмещенностью процессов аргиллизации и химического выветривания.

Сопоставление характера современного рельефа с гипсометрическим палеоуровнем позднемезозойского пенеплена позволило ориентировочно определить уровень эрозионного среза за кайнозойский период. По долине р. Березовки, эродирующей золотосодержащие породы центральной части рудного поля, этот срез мог достигать 25–30 м. По палеодолине (начиная с неогена) осуществлялся транспорт обломочного материала и свободного золота на север в долину р. Пышмы, что способствовало формированию в ее пределах богатой и протяженной россыпи. Таким образом, в мезозое и кайнозое завершилось преобразование Березовского рудного поля; оно приобрело статус рудно-россыпного.

Проблемы изучения глубинного строения золотосодержащих рудных полей и месторождений

Согласно опубликованным материалам [1, 3–5, 13], Березовское месторождение рассматривается как золоторудный объект кварцево-жильного типа, имеющий уникальную геолого-структурную позицию. Обоснована рудогенерирующая роль интрузивного магматизма в формировании оруденения. Развитие минерализации явилось следствием многократного проявления анатексиса, связанного с процессами ранней и поздней коллизии, приведшего к возникновению плутона гранитоидов и тесно с ним ассоциирующих даек пестрого состава. Последние содержат крутопадающие золото-сульфидно-кварцевые жилы. Предложенная геолого-генетическая модель (по мнению упомянутых авторов) позволяет использовать ее при прогнозировании объектов подобного типа в пределах территории Урала.

В то же время следует обратить внимание на частое совместное нахождение интрузивных тел гипербазитового и гранитоидного состава во многих рудно-россыпных районах Урала. Приведем лишь наиболее известные примеры.

Средний Урал: месторождения Благодатское, Первомайско-Зверевское, Быньговское, Долгий Мыс и Витимское, Крылатовско-Чесноковское, рудопроявления в пределах Мраморской площади Полевского района и т. д.

Южный Урал: объекты Миасского района – Крулгорское, Золотая гора, гора Лысая и Мурашкина, Мечниковское, рудопроявления типа «змеевичных жил» и т. д.; объекты на иных площадях – Кировское (золото-хлорапитовое), Айдырлинское, Джетыгаринское и др.

Упомянутым золоторудным объектам свойственны индивидуальные структурно-вещественные особенности, пространственные и временные соотношения интрузивных комплексов пород. Кроме того, масштаб их несопоставим с Березовским месторождением. Своеобразие и уникальность Березовского месторождения заключается, по мнению автора, в том, что его следует рассматривать в ранге крупного золоторудного объекта, обладающего совокупностью индивидуальных признаков.

По мнению В. В. Авдонина (2000) и А. Д. Щеглова (1996), крупные и уникальные месторождения цветных и благородных металлов являются продуктами тех же процессов, что и создают обычные месторождения. При этом генетические процессы в них проявляются в индивидуальных и оптимальных сочетаниях. Этим объектам обычно свойственен полигенный и полихронный характер рудообразования с очевидным участием мантийного рудного вещества. По образному выражению одного из исследователей, «крупные и сверхкрупные месторождения своими корнями уходят в верхнюю мантию».

Опыт составления региональных геологических карт нового поколения показывает [26, 27], что эмпирические связи магматизма и оруденения, проявленные на уровне современного эрозионного среза, во многих случаях уже исчерпали себя. В подавляющей части ситуаций они не помогают выделению не только металлогенических таксонов разного ранга, но и не приближают исследователей к обнаружению руды. Масштабное рудообразование обычно несет черты коровых и мантийных процессов. Поэтому при разработке прогнозно-поисковых комплексов не обойтись на современном этапе без учета данных, характеризующих глубинное строение оцениваемых площадей.

Обобщение геофизического материала по площади Березовского рудного поля приведено в работе В. О. Коньшева [28]. В ней предложена возможная модель глубинного строения Среднего Урала, отражающая распределение масс горных пород в земной коре. Томографический разрез гравитационного поля, построенный по методу «Гравискан», проходит через Шарташский гранитоидный массив и Березовское месторождение. При моделировании глубинного строения обращено внимание на участок плотных масс, оконтуренных изолинией +6 мГл. Он напоминает диапироподобное тело грибообразной формы, протыкающее и деформирующее земную кору от подошвы до дневной поверхности. Нижняя линза плотного тела шириной 80 км и толщиной 25 км сформирована на границе верхней мантии и гранулит-базитового слоя (поверхности Мохо) (рис. 3). Отмечен возможный состав диапира (шпинелевые клинопироксениты, перидотиты, диопсидовые пироксениты и др.). Учитывая высокую плотность нижнего слоя диапира, превышающую таковую верхней мантии, автор упомянутой публикации предполагает возможную астеносферную природу прогнозируемого тела и рассматривает его как астенолит. Под Березовским месторождением зафиксирована высокоградиентная область подъема плоскости кровли диапира с глубины 40 до 5–7 км. Месторождение приурочено к самой узкой поперечной части астенолита.

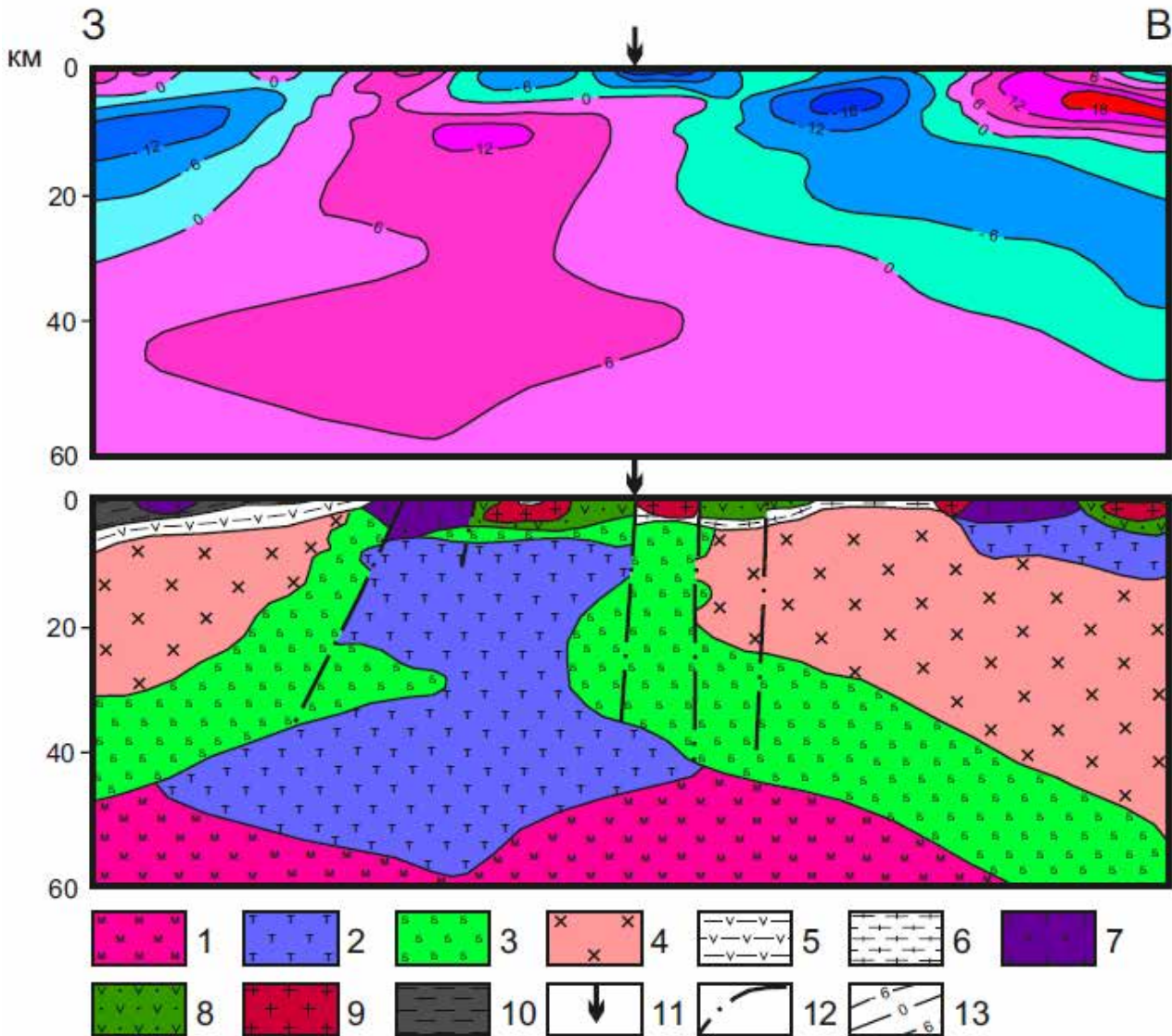


Рисунок 3. Широтный томографический разрез гравитационного поля Урала через Березовское месторождение и схема его геологической интерпретации, по [28]. 1 – современная верхняя мантия; 2 – астенолит; 3 – гранулит-базитовый слой земной коры; 4 – гранито-метаморфический слой земной коры; 5 – рифтогенные комплексы рифея и раннего палеозоя Центрально-Уральского поднятия; 6 – доордовикские метаморфические породы Восточно-Уральского поднятия; 7 – офиолитовые комплексы и базальтоидные формации; 8 – вулканогенно-осадочные формации морских прогибов, заложенных на гранулит-базитовом слое и редуцированных над астенолитом; 9 – гранитоидные массивы; 10 – шельфовые отложения и верхнепалеозойские молассоиды; 11 – проекция Березовского месторождения на линию разреза; 12 – глубинные разломы, в том числе, трансформные; 13 – изолинии гравитационного поля, рассчитанные по методу «Гравискан», мГл.

Figure 3. lateral tomographic section of the gravitational field of the Urals through the Berezovskoye deposit and the scheme of its geological interpretation, according to [28]. 1 - modern upper mantle; 2 - asthenolite; 3 - granulite-mafic layer of the earth's crust; 4 - granite-metamorphic layer of the earth's crust; 5 - riftogenic complexes of Riphean and Early Paleozoic of the Central Ural uplift; 6 - pre-Ordovician metamorphic rocks of the East Ural uplift; 7 - ophiolite complexes and basalt formations; 8 - volcanic-sedimentary formations of marine downfold embedded on a granulite-mafic layer and reduced over asthenolite; 9 - granitoid massifs; 10 - shelf deposits and Upper Paleozoic molassoids; 11 - projection of the Berezovskoye deposit on the section line; 12 - deep faults, including transform ones; 13 - contours of the gravitational field, calculated using Graviscan method.

Предложенная В. О. Коньшевым модель глубинного строения Среднего Урала, к сожалению, не получила публичного обсуждения. Возможно, что новые накапливающиеся сведения по глубинному строению территории позволят ее подтвердить (или опровергнуть), либо уточнить и детализировать.

Оригинальная точка зрения, объясняющая геолого-структурную позицию Березовского рудного поля, предложена Г. Н. Кузовковым [5]. Локализация золотого оруденения в рудном поле обусловлена, по его мнению, наличием Шарташской вихревой структуры (ШВС), где заметную роль играют кольцевые (дуговые) разломы (рис. 1). Спиралевидное строение структуры, достигающей в поперечнике 20 км, отчетливо проявлено многочисленными телами метакристаллитов, расположенными вдоль спиралей. Они служат маркерами, отражаясь в локальных положительных аномалиях магнитного поля. Совокупность этих тел представляет Пышминско-Березовский гипербазитовый массив – бескорневое пластообразное тело протрузивной природы. Г. Н. Кузовков рассматривает формирование ШВС с позиций импактной гипотезы. Однако эту точку зрения не разделяют соавторы карты листа 0-41-XXV (Д. А. Двоеглазов и др.). Они рассматривают ШВС и иные выявленные на карте структурные элементы (дуговые, кольцевые) как эндогенные образования.

Согласно литературным данным [29, 30, 31], к вихревым относятся структуры спиралевидных, дугообразных и эксцентричных кольцевых форм, возникшие при вращательных (ротационных) усилиях. Механизм вращения объясняется поворотом микроплит при коллизии крупных литосферных плит или вращением небольших монолитных блоков при деформациях сдвигового типа вдоль границ крупных блоков. Структуры с вихревой (спиралевидной) морфологией нередко контролируют положение уникально крупных месторождений. Вихревые структуры, как и кольцевые, наблюдаются на поверхности Земли в огромном количестве.

При оценке глубинного строения рудоносных структур рекомендуется задействовать аэрокосмические (космоструктурные) критерии и наземные геолого-геофизические [26]. Дистанционные методы позволяют обосновывать космоструктурные критерии условий локализации золоторудных полей и месторождений. Некоторые примеры отражены на рис. 4, 5.

Месторождение Мурунтау находится во внешнем поясе кольцевых структур сложного строения в узле пересечения субмеридиональных разломов и субширотных пологих дуг (рис. 4). Месторождение контролируется кольцевой структурой диаметром 22 км, осложненной локальными зонами разломов северо-западного и северо-восточного направлений [32].

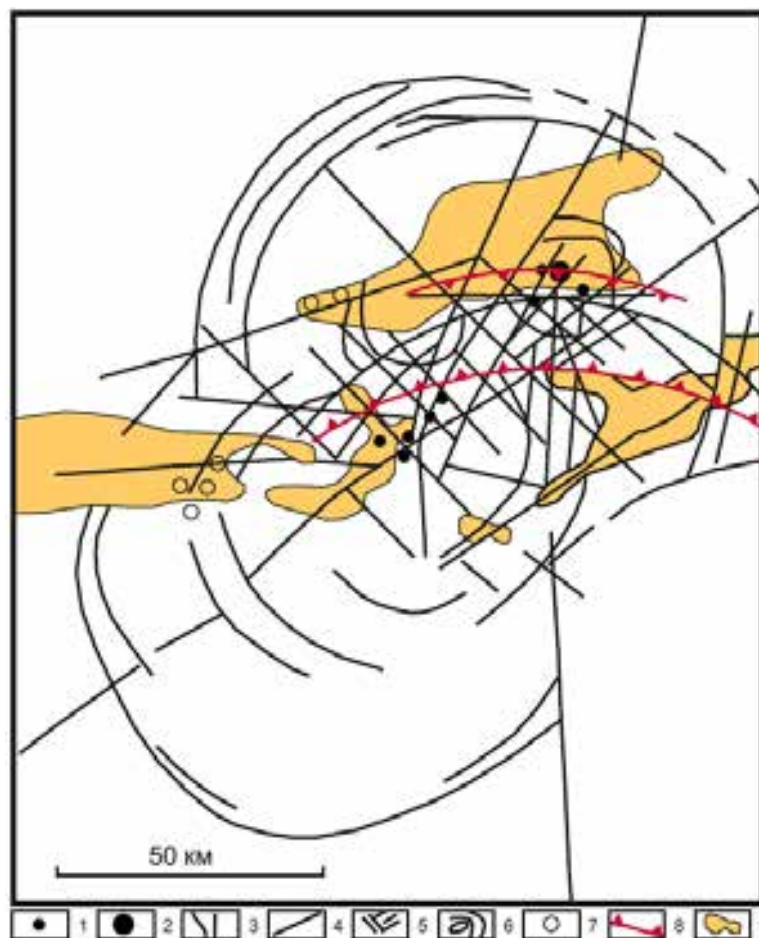


Рисунок 4. Космоструктурная модель золоторудного района Мурунтау (Узбекистан), по [32]. 1 – золоторудные, золото-серебряные рядовые месторождения; 2 – уникальное месторождение Мурунтау; 3–5 – зоны транзитных разломов: 3 – главные линейные, 4 – второстепенные, 5 – зоны локальных рудоконтролирующих разломов; 6 – кольцевые структуры; 7 – рудопоявления золота; 8 – границы ступенчатого грабена (рифта); 9 – выходы пород палеозойского фундамента на поверхность.

Figure 4. Cosmic structural model of the gold ore region of Muruntau (Uzbekistan), according to [32]. 1 - gold ore, gold-silver ordinary deposits; 2 - unique Muruntau field; 3-5 - zones of transit faults: 3 - main linear, 4 - minor, 5 - zones of local ore-controlling faults; 6 - ring structures; 7 - ore occurrences of gold; 8 - boundaries of the stepped graben (rift); 9 - rocks yields of the Paleozoic basement.

Золотоносная провинция Абитиби (Канада) также характеризуется подобными кольцевыми структурами и осложняющими их разломами (рис. 5). Все золоторудные объекты локализованы во внешнем поясе сложной кольцевой структуры и находятся на пересечении линейных рифтогенных разломов северо-западного и субширотного направлений. Сами месторождения приурочены к более мелким кольцевым структурам (15–20 км). В их пределах отмечены проявления мантийного магматизма.

Опыт использования космоструктурного критерия при прогнозировании условий локализации золоторудных полей и месторождений применительно к уральской провинции пока крайне ограничен. В публикациях М. С. Рапопорта (1998, 1999, 2001) отмечается, что при прогнозно-поисковой оценке площадей на золото основное внимание традиционно обращалось на меридиональные и широтные разрывные нарушения и особенно на узлы их пересечений. В то же время региональные геолого-геофизические исследования позволили во многих случаях отметить ведущую роль кольцевых и вихревых структур в размещении месторождений и рудопроявлений золота. Сказанное отражено на составленной мелкомасштабной карте морфоструктур аномального гравитационного поля Среднего и Южного Урала, совмещенной с картой размещения золоторудных объектов [33].

На северном продолжении ШВС в пределах того же рудовмещающего блока, ограниченного глубинными разломами, известны Благодатское и Первомайско-Зверевское рудные поля, где зафиксировано присутствие кольцевых и дуговых локальных структур.

На площади Воронцовско-Ауэрбаховского рудного района на крупномасштабной карте морфоструктур аномального гравитационного поля отчетливо зафиксирована кольцевая структура, вмещающая Воронцовское золоторудное месторождение. Рудничной геологической службой она рассматривается как вулcano-тектоническая, представляющая собой «вулкан над интрузией». Месторождение приурочено к системе тектонических нарушений, являющихся фрагментами кольцевых кальдерных разломов. Они возникли в результате просадки известняков фроловско-васильевской толщи над магматическим очагом.

Заключение

Березовское месторождение – одно из крупных эксплуатируемых месторождение коренного золота. С его открытием и последующей разработкой связано начало становления золотодобывающей промышленности страны. В свою двухсотлетнюю годовщину (1947) месторождение являлось крупнейшим по запасам в СССР.

За длительный период разведки и эксплуатации месторождения собран огромный фактический материал по минералогии, геологии, структурным условиям локализации оруденения. Он получил отражение в многочисленных производственных отчетах, публикациях, затрагивающих различные аспекты формирования месторождения.



Рисунок 5. Космоструктурная модель золоторудной провинции Абитиби (Канада), по [32]. Месторождения. 1 – Тимминс; 2 – Поркьюпайн; 3 – Айварис; 4 – Холтар; 5 – Мак-Дермот; 6 – Керк-Кенд; 7 – Керр-Эдисон. Другие условные обозначения на рис. 4.
Figure 5. Cosmic structural model of the gold ore province of Abitibi (Canada), according to [32]. Deposits. 1 - Timmins; 2 - Porkupine; 3 - Ivaris; 4 - Holtar; 5 - McDermot; 6 - Kirk-Kend; 7 - Kerr-Edison. Other symbols are in Figure 4.

Обобщение собранного материала позволило обосновать полигенную и полихронную природу кварцево-жильного оруденения объекта и предложить геолого-генетическую модель формирования месторождения. Сказанное отражено в последних обобщающих публикациях [3, 4], где ведущая роль в образовании месторождения отведена интрузивным комплексам дунит-гарцбургитовой, габбровой, тоналит-гранодиоритовой и гранитной формаций. Большинство из них рассматриваются как рудогенерирующие. Проявленная в пределах рудного поля зональность (рудная, метасоматическая) является продуктом зонально построенного теплового поля, наведенного Шарташским массивом. Ведущая роль в переносе и аккумуляции рудных элементов отведена процессам дегазации магмы, сформировавшей массив.

В 1970-е гг. появились публикации, где отмечалось, что проявленная на месторождении рудно-метасоматическая зональность представляется более сложной, чем это отмечалось ранее, и рассматривается как «классическая». Подтверждением явилось выделение в пределах рудоносных зон метасоматитов широкого температурного диапазона формирования (от кварц-турмалиновых пород и гумбеитов до аргиллизитов), характеризующихся своим набором минеральных ассоциаций.

Обобщение материала, собранного сотрудниками и студентами кафедры ГПР МПИ в период 1996–2001 гг. и в более поздние годы, а также результатов опробования разведочно-эксплуатационных выработок отдельных горизонтов ведущих даек; ознакомление с отчетами и фондовыми материалами подтверждает концепцию полигенной и полихронной природы Березовского месторождения и позволяет обратить внимание на ряд актуальных проблем. Выполненные исследования позволяют отметить следующее:

1. По результатам шлихового опробования окисленных пород рудоносных даек установлено, что выявленные минеральные ассоциации достаточно надежно наследуют гипогенную зональность, свойственную глубоким горизонтам месторождения.

2. При обобщении результатов опробования отдельных разведочно-эксплуатационных горизонтов ряда даек (Второ-Павловской, Елизаветинской) отмечено отсутствие согласованного распределения значений золота, серебра и их соотношения с уровнем прокварцованности рудоносных зон. Это свидетельствует, по мнению автора, в пользу длительной истории формирования рудоносности.

3. По дайке Второ-Павловской установлено возрастание «уровня серебртости» руд в южном направлении при приближении к выходам Шарташского массива и с глубиной. Это может быть связано с проявлением в рудоносных зонах поздней полиметаллической ассоциации.

4. На основе обобщения материала структурно-разведочных скважин прошлых лет составлена схематическая карта размещения химических кор выветривания в пределах Березовского рудного поля. Карта может быть взята за основу при проектировании работ, связанных с переоценкой перспектив рудоносности верхних горизонтов месторождения.

Уникальность Березовского месторождения заключается в его статусе золоторудного объекта крупного масштаба. Особенности подобных объектов (по сравнению с рядовыми) проявляются в оптимальном сочетании (во времени и пространстве) ряда рудоконтролирующих факторов.

Важнейшим фактором, повлиявшим на формирование уникальной структуры Березовского месторождения, является фактор глубинности зарождения и функционирования рудообразующих процессов. По мнению ряда исследователей (А. Ф. Коробейников, А. И. Гусев и др.), выявление крупных по запасам месторождений возможно при совмещенности рудообразующих систем – глубинной магмо-термофлюидно-динамической и коровой гранитоидно-гидротермально-метасоматической. Признаками глубинности формирующихся структур являются особенности формы их проявления: вихревой, спиралевидной, фрагментов структур и сложных сочетаний (кольцевых, дуговых и т. д.). Исследования последних лет показали [32], что роль этих структур в контроле размещения месторождений может быть значимой и даже ведущей. Признаком разбраковки подобных структур, их отличием от импактных могут быть выявленные в зоне гипергенеза минералого-геохимические ореолы сопутствующих оруденению типоморфных химических элементов и золотопродуктивных минеральных ассоциаций, а также компактные ореолы развития россыпей золота. Все эти признаки проявлены на площади Березовского рудного поля.

К 275-летию открытия Березовского золоторудного месторождения – старейшего золотодобывающего предприятия Урала.

Исследования проводились при частичной поддержке госбюджетной темы 5. 4667.2011 (Г-3, УГГУ), руководитель – д-р геол.-минерал. наук В. Н. Огородников.

Автор выражает глубокую благодарность руководству золотодобывающего предприятия ООО «Березовское рудоуправление» – Ф. М. Набиуллину, А. Н. Трошкиной и другим сотрудникам за помощь и содействие в выполнении работы. Также благодарит доцента кафедры ГПР МПИ П. Л. Бурмако за помощь в оформлении иллюстраций.

В изучении Березовского золоторудного месторождения принимал активное участие профессор кафедры ГПР МПИ Александр Николаевич Урюмов. Тяжелая болезнь и преждевременная кончина (03.02.2016) не позволили ему закончить запланированные исследования и реализовать намеченные планы, связанные с изучением уникального уральского золоторудного месторождения... Светлая ему память.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Поленов Ю. А. Березовское рудное поле // Изв. вузов. Горный журнал. 1994. № 6. С. 147–155.
2. Кузовков Г. Н., Двоглазов Д. А. Об астенолитовой модели Среднего Урала и строении Шарташской золоторудной вихревой структуры // Руды и металлы. 2002. № 4. С. 63–72.
3. Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Бабенко В. В. Березовское месторождение золота – уникальный объект полихронного и полигенного рудообразования. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2015. 150 с.
4. Бабенко В. В., Поленов Ю. А., Огородников В. Н. Роль интрузивного магматизма в генезисе Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал) // Изв. УГГУ. 2016. № 1. С. 39–49.

5. Кузовков Г. Н., Двоеглазов Д. А., Вагшаль Д. С. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Сер. Среднеуральская. Лист 0-41-XXV: объяснит. записка. Свердловск: УГСЭ, 1987. 167 с.
6. Бородаевский Н. И., Бородаевская М. Б. Березовское рудное поле. М.: Metallurgizdat, 1947. 264 с.
7. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А. и др. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 622 с.
8. Рапопорт М. С., Бабенко В. В., Болтыров В. Б. Березовское золоторудное месторождение // Изв. вузов. Горный журнал. 1994. № 6. С. 86–96.
9. Беллавин О. В., Вагшаль Д. С., Ниренштейн В. А. Шарташский гранитный массив (Средний Урал) и связь с ним золотого оруденения // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 6. С. 86–90.
10. Викентьева О. В. Березовское золоторудное месторождение на Урале: геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия образования: дис... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 2000. 26 с.
11. Кутюхин П. И. Условия локализации оруденения в жилах Березовского месторождения // 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск: Изд-во УФАИ СССР, 1948. С. 249–275.
12. Чесноков Б. В. Эндогенная зональность Березовского рудного поля на Среднем Урале // ДАН СССР. 1973. Т. 210, № 4. С. 915–917.
13. Самарцев И. Т., Захваткин В. А., Казимирский В. Ф. и др. О зональности Березовского золоторудного месторождения на Среднем Урале // Геология рудных месторождений. 1973. № 1. С. 110–117.
14. Мурзин В. В., Семенкин В. А., Сазонов В. Н. и др. Продуктивные минеральные ассоциации и РТХ – условия их формирования в рудах с различными формами золота (на примере некоторых месторождений Урала) // Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства: материалы междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 26–27.
15. Викентьева О. В., Бортников Н. С., Мурзин В. В. и др. Флюидный режим минералообразования на Березовском золоторудном месторождении // Ежегодник-1999 ИГиГ: информ. сборник науч. трудов. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. С. 224–227.
16. Бакшеев И. А., Беляцкий Б. В., Устинов В. И. и др. Условия формирования турмалиновой минерализации Березовского золоторудного месторождения, Средний Урал, Россия (по минералогическим и изотопно-геохимическим данным) // Геохимия. 2002. № 7. С. 700–706.
17. Филимонов С. В. Минералы блеклых руд – индикаторы рудогенеза (на примере гидротермальных месторождений): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 2009. 25 с.
18. Лайпанов Х. Х. Минералого-петрографические и геохимические особенности гидротермально-метасоматических образований Березовского золоторудного месторождения (Средний Урал): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: ЦНИГРИ, 1973. 24 с.
19. Баранников А. Г. Гипогенно-гипергенный тип золотого оруденения на Урале // Изв. УГГГА. 1998. Вып. 8. С. 94–99.
20. Дворник Г. П., Баранников А. Г., Угрюмов А. Н. и др. Минеральные ассоциации и типоморфные особенности самородного золота зоны гипергенеза Березовского месторождения // Вестник Уральского отделения Российского минералогического общества. Екатеринбург: УГГГА, 2002. № 1. С. 16–22.
21. Баранников А. Г., Баталин А. С., Угрюмов А. Н. и др. О перспективах повторного промышленного освоения зоны гипергенеза Березовского золоторудного месторождения // Изв. УГГГА. 2001. Вып. 13. С. 153–163.
22. Баранников А. Г., Колбасин Д. И., Середкина О. А. и др. О характере пространственного распределения золота и серебра в дайке Второ-Павловской Березовского золоторудного месторождения // Научные основы и практика разведки и переработки руд и техногенного сырья с извлечением благородных металлов: труды междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГГА, 2002. С. 18–23.
23. Земских В. Е. Золото и люди Березовского рудника. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 249 с.
24. Старицина И. А. Сопряжение гипо- и гипергенной минерализации в сложных карбонат-кварцевых жилах Березовского месторождения золота (Средний Урал) // Металлогения древних и современных океанов-2004. Миасс: ИМИН УрО РАН, 2004. Т. II. С. 39–43.
25. Ramsay I. G., Huber M. I. The Techniques of Modern Structural Geology. London: Academic Press, 1987. Vol. 1, 2. 700 p.
26. Коробейников А. Ф. Мантийно-коровые рудообразующие системы комплексных месторождений благородных и редких металлов. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 130 с.
27. Гусев А. И., Коробейников А. Ф. Мантийно-коровое взаимодействие в генерации различных типов оруденения: геофизический и петрологический аспекты // Изв. ТПУ. 2009. Т. 315, № 1. С. 18–25.
28. Кобышев В. О. Возможная модель геологического развития Среднего Урала // Руды и металлы. 1999. № 4. С. 46–60.
29. Арсеньев В. А., Корчуганова Н. И. Вихревые структуры континентов: новые аспекты строения, условия образования, металлогеническое значение (на примере юго-востока Канадского щита) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2000. № 4. С. 134–138.
30. Арсентьев В. А., Энрикеш Э. Вихревая мегаструктура бассейнов рек Конго и Окованго и связь с ней алмазности территорий // Руды и металлы. 2003. № 1. С. 28–33.
31. Yu Zhihong, Lin Zhongping, Wan Defang, Fu Zijie. Tectonic Map of the Linear structures of the Territory of China (by Using of the Satellite Images). Sc. 1:6000000 / Ch. Ac. of Geol. Sci. Beijing: Cart. Publ. House, 1981. 19 p.
32. Перцев А. В., Гальперов Г. В., Антипов В. С. и др. Космоструктурные критерии локализации рудных гигантов // Отечественная геология. 1999. № 6. С. 17–21.
33. Рапопорт М. С., Рудица Н. И. Роль кольцевых и вихревых разрывных структур в контроле золотого оруденения на Урале // Проблемы геологии и разведки месторождений золота, извлечения благородных металлов из руд и отходов производства: материалы междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 41–43.

Статья поступила в редакцию 17 сентября 2019 года

Berezovskoye gold deposit: problems of formation and further study

Alexander Grigoryevich BARANNIKOV*

Ural State Mining University, Russia, Ekaterinburg

The relevance of the work is due to the need to identify and clarify the factors of ore genesis at a large quartz-vein Berezovskoye gold ore deposit. The identified factors should contribute to the development of criteria for forecasting mineralization of this type in the Urals.

Purpose of the work: identification of regularities of noble metal mineralization placement (Au, Ag) within the leading dikes based on mineralogical and geochemical studies of the oxidized yields of ore-bearing rocks; summarizing the results of testing exploration and development workings using the Vtoro-Pavlovskaya and Elizavetinskaya dikes as an example; refinement of the geological and genetic model of the field, taking into account new data.

Methodology of the study: charting the yields of gold-bearing rocks using the mineral concentrate study method; processing the results of testing ore-bearing dikes; generalization of the results of previous geological, geophysical and exploration work; study of the area distribution of chemical weathering crusts.

Results. The geological structure of the deposit is considered: uniqueness of geological and structural position; leading intrusive complexes, their ore-controlling importance; mineralogical and geochemical zonation of localization of mineralization; parameters of the fluid regime of ore-forming systems. It is determined: mineral associations of oxidized ore-bearing zones inherit the hypogenic zonality of deep horizons of the deposit; the distribution of concentration levels of gold and silver according to the testing of exploratory operational drifts is not consistent with each other; these data do not correlate with the level of quartz-flooded rocks; along the dyke of the Vtoro-Pavlovskaya, an increase in the level of silverness of the ores was noted in the southerly direction when approaching the Shartashsky massif of granitoids. In its final form, endogenous gradient zonality was formed after cooling of the thermal field of the massif in connection with occurrences of superimposed medium-low temperature hydrothermal-metasomatic processes at the post-collision development stage. It is recommended to continue work on assessing the prospects of gold content in the oxidation zone; it is possible to identify mineralization of a hypogenous-hypergenic type.

Conclusions. The formation of a large Berezovskoye deposit is determined by a combination of ore-controlling factors. One of the leading factors is the depth of formation of the ore-localizing structure. This is justified by the confinement of the ore field to the vortex type structure, as well as by geophysical materials for the deep structure of the earth's crust, accumulated by isotope-geochemical data. It is recommended that when conducting forecasting and prospecting for gold within the promising areas of the Ural region, close attention should be paid to assessing the ore content of vortex and ring structures.

Keywords: Berezovskoye deposit, gold, intrusive complexes, dikes, oxidation zone, mineral associations, vortex structures, weathering crusts, mineral concentrate study.

To the 275th anniversary of the discovery of Berezovskoye gold deposit, the oldest gold mining enterprise in the Urals.

The research was carried out with partial support of the state budget theme 5. 4667.2011 (G-3, UGGU), Dr., Prof. V. N. Ogorodnikov.

The author is most grateful to senior executives Nabiullin F.M., Troshkina A.N. and some others of OOO Berezovskoye Rudoupravlenie gold-mining company for their assistance during performing this work.

The author also thanks Burmako P.L. the Associate Professor of the Department of Exploration geology and mineral deposits for his help in the preparation of figures.

Professor of the Department of GPR MPI Alexander Nikolayevich Ugryumov took an active part in the study of the Berezovskoye gold Deposit. Severe illness and premature death (03.02.2016) did not allow him to finish the planned research and implement the planned plans related to the study of the unique Ural gold Deposit ... he will forever remain in the history of science and our hearts.

REFERENCES

1. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Polenov Yu. A. 1994, Berezovskoye ore deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 6, P. 147-155. (In Russ.)
2. Kuzovkov G. N., Dvoeglazov D. A. 2002, On the asthenolithic model of the Middle Urals and the structure of the Shartashskaya gold ore vortex structure. *Rudy i metally* [Ores and metals], No 4, P. 63-72. (In Russ.)
3. Polenov Yu. A., Ogorodnikov V. N., Babenko V. V. 2015, *Berezovskoye mestorozhdeniye zolota - unikal'nyy ob'yekt polikhronnogo i poligenogo rudoobrazovaniya* [The Berezovskoye gold deposit is a unique object of polychronous and polygenic ore formation], Ekaterinburg, 150 p.
4. Babenko V. V., Polenov Yu. A., Ogorodnikov V. N. 2016, The role of intrusive magmatism in the genesis of the Berezovskoye gold ore deposit (Middle Urals). *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], No 1. P. 39-49. (In Russ.)
5. Kuzovkov G. N., Dvoeglazov D. A., Vagshal D. S. 1987, State Geological Map of the USSR, Scale 1:200000. Series Sredneural'skaya. Sheet 0-41-XXV, Sverdlovsk. 167 p.
6. Borodayevskiy N. I., Borodayevskaya M. B. 1947, *Berezovskoye rudnoye pole* [Berezovskoye ore field]. Moscow, 264 p.
7. Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A. et al. 2001, *Mestorozhdeniya zolota Urala* [Gold deposits of the Urals], Yekaterinburg, 622 p.
8. Rapoport M. S., Babenko V. V., Boltyrov V. B. 1994, Berezovskoye gold deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 6, P. 86-96. (In Russ.)
9. Bellavin O. V., Vagshal D. S., Nirenstein V. A. 1970, Shartashsky granite massif (Middle Urals) and the gold mineralization connected with it. *Izvestiya Akademii nauk SSSR* [News of the USSR Academy of Sciences]. Geology series. No 6, P. 86-90. (In Russ.)
10. Vikentyeva O. V. 2000, *Berezovskoye zolotorudnoye mestorozhdeniye na Urale: geologicheskoye stroyeniye, mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti i usloviya obrazovaniya* [Berezovskoye gold ore deposit in the Urals: geological structure, mineralogical and geochemical features and conditions of formation], PhD thesis, Moscow, 26 p.
11. Kutukhin P. I. 1948, *Usloviya lokalizatsii orudneniya v zhilakh Berezovskogo mestorozhdeniya* [Mineralization localization conditions in the veins of the Berezovskoye deposit], Sverdlovsk. P. 249-275.
12. Chesnokov B. V. 1973, Endogenous zoning of the Berezovskoye ore field in the Middle Urals. *DAN SSSR* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], vol. 210, No 4. P. 915-917. (In Russ.)
13. Samartsev I. T., Zakhvatkin V. A., Kazimirskiy V. F. et al. 1973, On the zonality of the Berezovskoye gold ore deposit in the Middle Urals. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of ore deposits], P. 110-117. (In Russ.)

14. Murzin V. V., Semenkin V. A., Sazonov V. N. et al. 1999, *Produktivnyye mineral'nyye assotsiatsii i RTKH - usloviya ikh formirovaniya v rudakh s razlichnymi formami zolota (na primere nekotorykh mestorozhdeniy Urala)* [Productive mineral associations and PTX - conditions for their formation in ores with various forms of gold (for example, some deposits of the Urals)]. Problems of geology and exploration of gold deposits, extraction of precious metals from ores and industrial waste: proceedings of the international scientific conference. Ekaterinburg, P. 26-27.
15. Vikentyeva O. V., Bortnikov N. S., Murzin V. V. et al. 2000, *Flyuidnyy rezhim mineraloobrazovaniya na Berezovskom zolotorudnom mestorozhdenii* [Fluid regime of mineral formation at the Berezovskoye gold ore deposit], Yearbook-1999, book of reports, Ekaterinburg, P. 224-227.
16. Baksheev I. A., Belyatskiy B. V., Ustinov V. I. et al. 2002, Conditions for the formation of tourmaline mineralization of the Berezovskoye gold ore deposit, Middle Urals, Russia (according to mineralogical and isotope-geochemical data). *Geokhimiya* [Geochemistry], No 7, P. 700-706. (In Russ.)
17. Filimonov S. V. 2009, *Mineraly bleklykh rud - indikatory rudogeneza (na primere gidrotermal'nykh mestorozhdeniy)* [Faded ore minerals - indicators of ore genesis (for example, hydrothermal deposits)], PhD thesis, Moscow, 25 p.
18. Laipanov Kh. Kh. 1973, *Mineralogo-petrograficheskiye i geokhimicheskiye osobennosti gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy Berezovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Sredniy Ural)* [Mineralogical-petrographic and geochemical features of hydrothermal-metasomatic formations of the Berezovskoye gold ore deposit (Middle Urals)], PhD thesis, Moscow, 24 p.
19. Barannikov A. G. 1998, Hypogenous-hypergenic type of gold mineralization in the Urals. *Izvestiya Ural'skoy gosudarstvennoy gornoy akademii* [News of the Ural State Mining Academy], Issue 8. P. 94-99. (In Russ.)
20. Dvornik G. P., Barannikov A. G., Ugryumov A. N. et al. 2002, Mineral associations and typomorphic features of native gold in the hypergenesis zone of the Berezovskoye deposit. *Vestnik Ural'skogo otdeleniya Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Bulletin of the Ural branch of the Russian Mineralogical Society], Yekaterinburg, No 1. P. 16-22. (In Russ.)
21. Barannikov A. G., Batalin A. S., Ugryumov A. N. et al. 2001, On the prospects of re-industrial development of the hypergenesis zone of the Berezovskoye gold ore deposit. *Izvestiya Ural'skoy gosudarstvennoy gornoy akademii* [News of the Ural State Mining Academy], Issue 13. P. 153-163. (In Russ.)
22. Barannikov A. G., Kolbasin D. I., Seredkina O. A. et al. 2002, *O kharaktere prostranstvennogo raspredeleniya zolota i serebra v dayke Vtoro-Pavlovskoy Berezovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya* [On the nature of the spatial distribution of gold and silver in a dyke of the Vtoro-Pavlovskaya Berezovskoye gold ore deposit]. Scientific foundations and practice of exploration and processing of ores and industrial raw materials with the extraction of precious metals: proceedings of the international scientific conference. Ekaterinburg, P. 18-23.
23. Zemskikh V. E. 2008, *Zoloto i lyudi Berezovskogo rudnika* [Gold and people of the Berezovskoye mine], Ekaterinburg 249 p.
24. Staritsina I. A. 2004, *Sopryazheniye gipo- i gipergennoy mineralizatsii v slozhnykh karbonat-kvartsevnykh zhilakh Berezovskogo mestorozhdeniya zolota (Sredniy Ural)* [Combination of hypo- and hypergenic mineralization in complex carbonate-quartz veins of the Berezovskoye gold deposit (Middle Urals)], *Metallogeny of ancient and modern oceans-2004*. Miass. vol. II. P. 39-43.
25. Ramsay I. G., Huber M. I. 1987, *The Techniques of Modern Structural Geology*. London: Academic Press. Vol. 1,2. 700 p.
26. Korobeynikov A. F. 2007, *Mantiyno-korovnyye rudoobrazuyushchiye sistemy kompleksnykh mestorozhdeniy blagorodnykh i redkikh metallov* [Mantle-crust ore-forming systems of complex deposits of noble and rare metals], Tomsk, 130 p.
27. Gusev A. I., Korobeynikov A. F. 2009, Mantle-crustal interaction in the generation of various types of mineralization: geophysical and petrological aspects. *Izvestiya TPU* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], vol. 315, No 1. P. 18-25. (In Russ.)
28. Konyshchev V. O. 1999, Possible model of geological development of the Middle Urals. *Rudy i metally* [Ores and metals], pp. 46-60. (In Russ.)
29. Arsenyev V. A., Korchuganova N. I. 2000, Vortex structures of continents: new aspects of the structure, conditions of formation, metallogenic significance (for example, the southeast of the Canadian shield). *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], No 4, P. 134-138. (In Russ.)
30. Arsenyev V. A., Enrikesh E. 2003, The vortex megastructure of the basins of the Congo and Okovango rivers and its connection with diamond potential of territories. *Rudy i metally* [Ores and metals], No 1, P. 28-33. (In Russ.)
31. Yu Zhihong, Lin Zhongping, Wan Defang, Fu Zijie. 1981, *Tectonic Map of the Linear structures of the Territory of China (by Using of the Satellite Images)*. Sc. 1:6000000 / Ch. Ac. of Geol. Sci. Beijing: Cart. Publ. House, 19 p.
32. Pertsev A. V., Galperov G. V., Antipov V. S. et al. 1999, Cosmic structural criteria for the localization of ore giants. *Otechestvennaya geologiya* [Russian geology], No 6, P. 17-21. (In Russ.)
33. Rapoport M. S., Ruditsa N. I. 1999, *Rol' kol'tsevykh i vikhrevykh razryvnykh struktur v kontrole zolotogo orudneniya na Urale* [The role of ring and vortex explosive structures in the control of gold mineralization in the Urals], Problems of geology and exploration of gold deposits, extraction of precious metals from ores and industrial waste: proceedings of the international scientific conference. Ekaterinburg, P. 41-43.

The article was received on September 17, 2019

Роль Светлинской гранитогнейсовой купольной структуры в образовании кварцево-жильных месторождений (Южный Урал)

Александр Юрьевич КИСИН^{1, 2},
Виталий Николаевич ОГОРОДНИКОВ²,
Юрий Алексеевич ПОЛЕНОВ²,
Валерий Васильевич МУРЗИН¹,
Михаил Егорович ПРИТЧИН¹

¹Институт геологии и геохимии им. акад. Заварицкого УрО РАН, Россия, Екатеринбург

²Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность работы. Кочкарский зональный метаморфический комплекс сформировался в результате регионального сжатия земной коры во время коллизионных преобразований. В этих условиях по границам гнейсовых блоков развивались шовные зоны, в пределах которых породы претерпели метаморфическую трансформацию на уровне эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Результаты исследований позволят усовершенствовать методику прогнозно-поисковых работ на месторождениях подобного типа.

Цель работы: установление парагенетических связей между месторождениями золота, горного хрусталя и миароловых редкометалльных пегматитов, расположенных на площади Кочкарского антиклинория, вблизи поселка Светлый на Южном Урале.

Методология исследования. Для решения поставленных задач использованы новые материалы, собранные при изучении бортов Светлинского золоторудного карьера, дешифрирования аэрофото- и космоснимков, а также переинтерпретации фактического материала за последние 50 лет.

Результаты. Объединяющим звеном для данных месторождений выступает слабо эродированный Светлинский купол, осложняющий кровлю крупного гранитогнейсового массива. В итоге исследования установлено, что к апикальной части купола приурочено Светлинское месторождение горного хрусталя, к межкупольной структуре – поле миароловых редкометалльных пегматитов, а к западной надвиго-взбросовой границе – Светлинское золоторудное месторождение.

Выводы. Светлинская купольная структура позднепалеозойского возраста, претерпевшая в раннюю и позднюю коллизии значительные тектонические деформации, контролирует месторождения пьезокварца и золота, а также частично поле редкометалльных миароловых пегматитов с драгоценными камнями.

Ключевые слова: геология месторождений, пегматиты, пьезокварц, геотектоника, Урал.

Введение
В 100 км к югу от г Челябинска и в 25 км к юго-западу от г Пласт находится пос. Светлый, вблизи которого расположены одноименные месторождения золота, горного хрусталя (пьезокварца) и поле редкометалльных пегматитов с хрусталеносными полостями. Месторождения были открыты и разведывались в разное время различными ведомствами бывшего СССР. Соответственно исследователями практиковались и различные подходы к генезису месторождений, выделению рудогенерирующих и рудо локализирующих структур. Те или иные вопросы геологии и генезиса данных месторождений обсуждались многими исследователями [1–7].

Кочкарский антиклинорий является типичным представителем гранитогнейсовых блоков на Урале и характеризуется ярко проявленным купольным тектоногенезом. Протяженность антиклинория свыше 120 км при ширине до 28 км. Границы тектонические, типа взбросов или надвигов, падающих под смежные структуры. Местами, в том числе на Светлинском месторождении золота, к ним приурочены небольшие тела серпентинитов и талькиитов, что свидетельствует о коровом масштабе надвигов. Купольные структуры имеют форму широких овалов и сложены преимущественно гнейсами, гнейсогранитами и анатектическими гранитами. Границы куполов тектонические, типа зон тектонических срывов, образующих веер, раскрытый кверху. Породы около- и межкупольного пространства представлены кварц-полевошпат-биотитовыми сланцами (местами с кианитом, силлиманитом и ставролитом), амфиболитами и мраморами. Метаморфизм высокоградиентный, зональный: в ядрах купольных структур достигал условий амфиболитовой фации, а в около- и межкупольном пространстве – эпидот-амфиболитовой и верхов зеленосланцевой фаций [1, 3]. Широко проявлены различные метасоматические процессы с образованием кварцевых жил с алюмосиликатами в оторочках [7]. Прогрессивный метаморфизм завершается становлением анатектических гранитов тоналит-гранодиоритовой формации и образованием дайкового комплекса, а также редкометалльных пегматитов.

Взаимосвязь ведущих эндогенных процессов – регионального метаморфизма, ультраметаморфизма, магматизма – определяет в главных чертах общее состояние флюидных систем в шовных зонах и гнейсовых куполах, ответственных в конечном итоге за характер протекания и тенденции в направленности завершающих метасоматических процессов.

Флюиды играют большую роль в планетарных эндогенных геологических процессах. Наиболее широко они проявляют себя в процессах метаморфизма и ультраметаморфизма. Геодинамические процессы на границах литосферных плит и рифтогенных шовных зон, наряду с процессами высокотемпературного метаморфизма, сопровождаются интенсивным магматизмом, который в обязательном порядке сочетается с поступлением жидких и газообразных флюидов, масса которых не только не уступает объемам магматических расплавов, но и превосходит их. Внедрение магматических расплавов и подъем метаморфизирующих флюидов генетически и пространственно тесно связаны, но по проис-

хождению и поведению они достаточно независимы. Роль флюидов в рудообразовании не только значительная, но и определяющая, поскольку мобилизация металлов, их концентрация и отложение руд связаны только с флюидами [8].

Коллизионный этап развития структур Урала проявлен с 380 до 240 млн лет и разбивается на две стадии: раннюю (380–320 млн лет) – метаморфической трансформации и позднюю (320–240 млн лет) – пластических деформаций [9, 10].

В шовных зонах смятия, ограничивающих древние докембрийские гнейсовые блоки, в раннем палеозое отмечаются кондуктивные теплотокеты, вызывающие в вулканогенно-осадочных толщах обрамления метаморфическую трансформацию на уровне эпидот-амфиболитовой фации. Магматизм в этих зонах начинается габброидами так называемой раннедевонской серии, имеющей возраст 420–380 млн лет. Наличие флюидного потока приводит к значительному замедлению процесса кристаллизации базитового расплава. Этот магматизм создавал и вещество протолита тоналитов, гранодиоритов и источник энергии для их плавления. Базиты наращивали снизу кору, обусловили ее повышенную мощность в блокоограничивающих шовных зонах и гнейсово-амфиболитовых мегаблоках [11, 12]. Производные от базитов анатектические гранитоиды имеют преимущественно тоналитовый или гранодиоритовый состав (рис. 1).

Возраст по цирконам для этих интрузивных пород определен в интервале 360–320 млн лет [12]. Таким образом, закладывается основа многофазных плутонов, причем количество фаз зависит от тектонической обстановки в зоне смятия. Становление их происходило в магматической камере путем пульсационной кристаллизации единого магматического расплава с последовательным раскислением последующих фаз. Пульсационная кристаллизация особенно характерна для верхних частей плутонов, и оптимальные глубины ее проявления определяются в 1–4 км [14].

Границы фаз разделяются во времени деформационным перерывом, когда происходили инъекции магматического расплава во вмещающие породы и в раскристаллизованные гранитоиды предыдущих фаз с образованием даек, штоков и куполов аплитов, аплитовидных гранитов и пегматитов на заключительном этапе.

Интервал 380–320 млн лет характеризует стадию раннего этапа метаморфогенно-гидротермального кварцево-жильного оруденения, который обусловлен проявлением процессов ранней коллизии в пределах нижнепротерозойского гнейсового блока. Вулканогенно-осадочные породы обрамления представляют собой тектоническую зону влияния

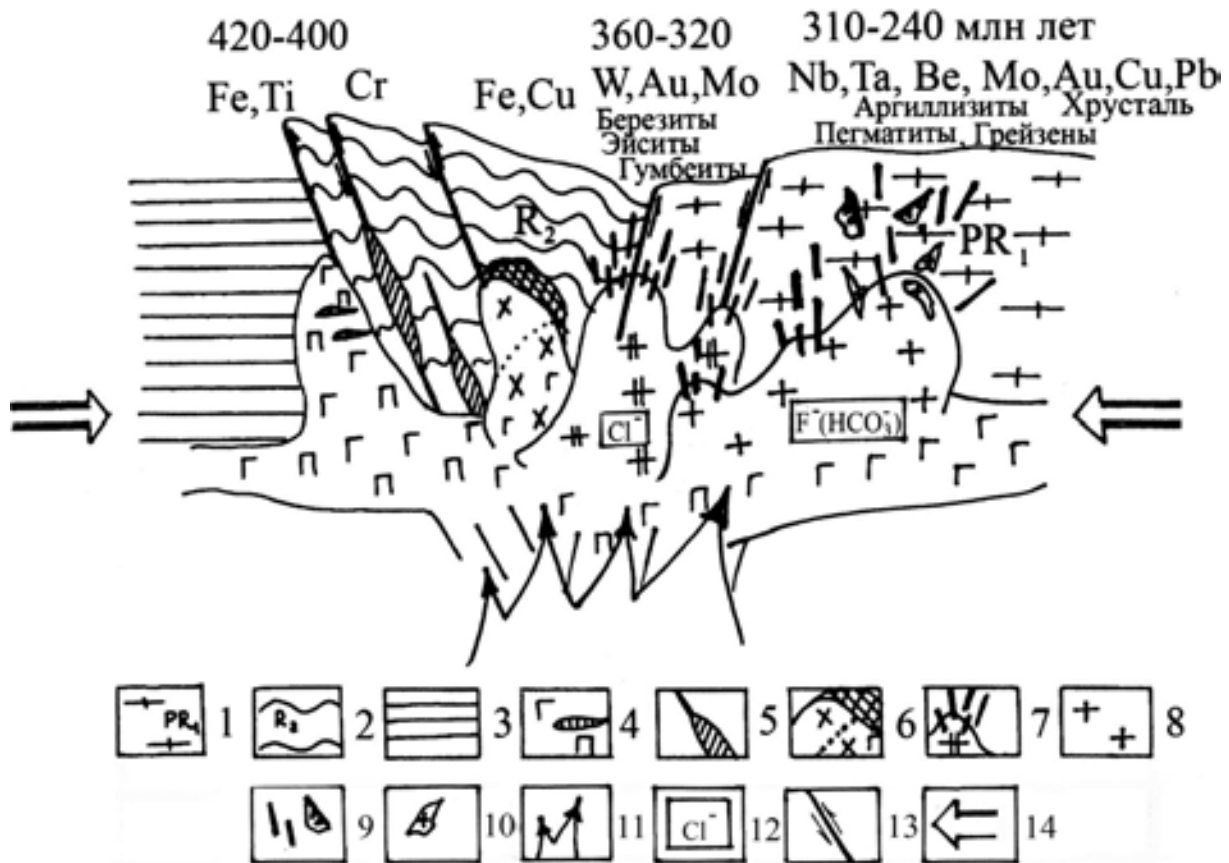


Рисунок 1. Кинематическая модель формирования кварцево-жильных месторождений во время ранней и поздней коллизии. По [13]: 1 – древняя континентальная кора; 2 – вулканогенно-осадочные отложения континентального рифта; 3 – толеитовые раннеокеанические образования; 4 – ультрабазит-габбровый комплекс с титаномагнетитовой минерализацией; 5 – ультрабазиты дунит-гарцбургитового хромитоносного комплекса; 6 – габбро-диорит-гранодиоритовая формация с Fe–Cu скарнами; 7 – гранитоиды тоналит-гранодиоритовой формации с W, Mo и Au кварцевыми жилами; 8 – нормальные микроклиновые граниты; 9 – рудные кварцевые жилы и хрусталеносные гнезда; 10 – пегматиты; 11 – мантийный теплофлюидопоток в шовных зонах; 12 – хлоро- и фторотипная специализация гранитоидов; 13 – блокоограничивающие шовные зоны; 14 – направление тангенциального сжатия во время коллизии.

Figure 1. Kinematic model of the formation of quartz-vein deposits during early and late collisions. According to [13]: 1 - ancient continental crust; 2 - volcanic-sedimentary deposits of the continental rift; 3 - tholeiitic early oceanic formations; 4 - ultrabasic-gabbro complex with titanomagnetite mineralization; 5 - ultrabasic of the dunite-harzburgite chromite-bearing complex; 6 - gabbro-diorite-granodiorite formation with Fe-Cu skarns; 7 - granitoids of tonalite-granodiorite formation with W, Mo and Au quartz veins; 8 - normal microcline granites; 9 - ore quartz veins and crystal bunches; 10 - pegmatites; 11 - mantle heat-fluid flow in suture zones; 12 - chloro- and fluorotypic specialization of granitoids; 13 - block-limiting suture zones; 14 - direction of tangential contraction during collision.

Кумляжской и Светлинской шовных зон [3]. Так как эта зона более напряженная по сравнению с восточной – Борисовской и Чернореченской, то и формирование крупных тел гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации, аналогичных Пластовскому, здесь затруднено. В пределах кварцево-жильного поля имеются небольшие удлиненные массивы, большей своей частью не вскрытые эрозией, а подсеченные колонковыми скважинами.

Во время поздней коллизии (320–240 млн лет) в шовных зонах, обрамляющих «микроконтиненты», проявились дислокационный метаморфизм, рассланцевание, будинаж. Для метаморфитов характерно развитие стресс-минералов: кианита, ставролита, фенгита, хлоритоида и др. В это время в центральных частях гнейсовых блоков (рис. 1) в связи с

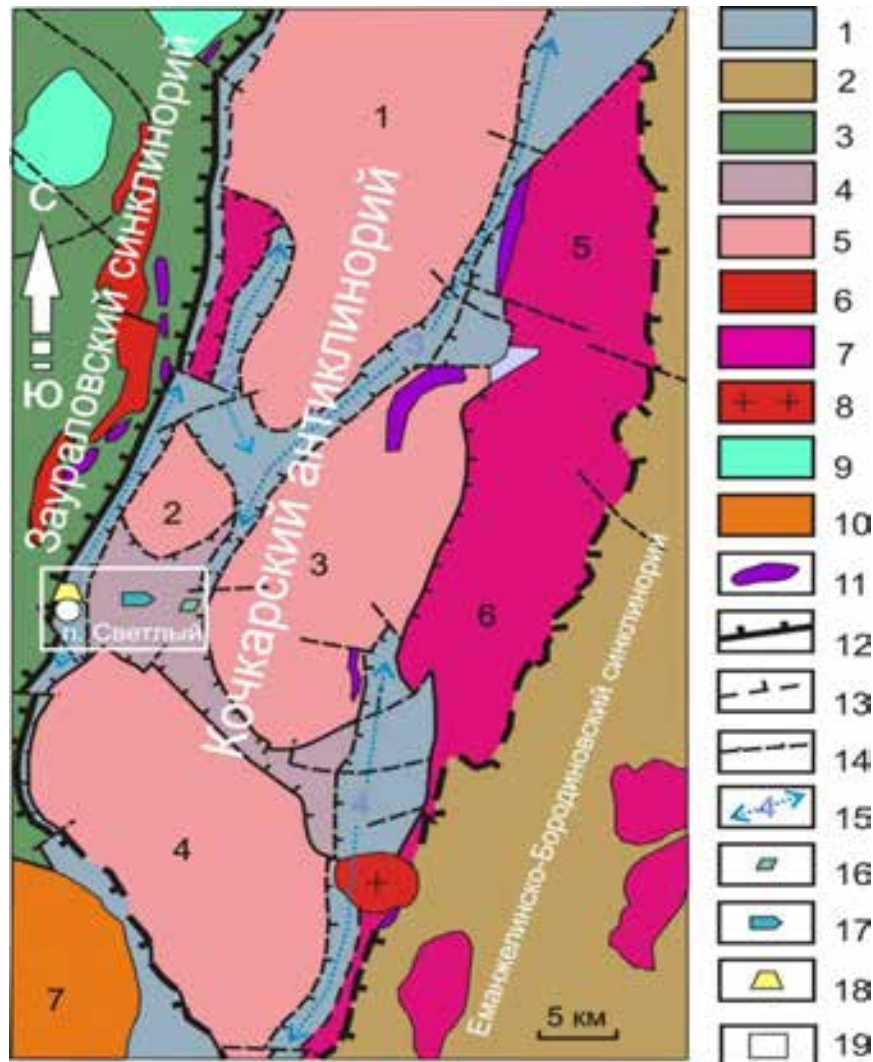


Рисунок 2. Схематическая геологическая карта домезозойских образований Кочкарского метаморфического комплекса (Государственная геологическая карта СССР домезозойских образований, Среднеуральская серия, масштаб 1 : 200 000, 1981 г., под ред. Н. Г. Берлянд; с упрощениями и дополнениями). 1 – мраморы, мраморизованные известняки (С, v₃); 2 – порфириды базальтовые и андезит-базальтовые; туффы, туфопесчаники; сланцы биотит-амфибол-полевошпатовые (S₂-D₁); 3 – туфы, порфиры липарит-дацитовые; алевролиты, гравелиты, туфы базальтового состава; сланцы углисто-кремнистые (O₃-S₁₃); 4 – кристаллические сланцы, иногда с кианитом, силлиманитом, ставролитом (C₁-P₂?); 5 – гнейсы, гранитогнейсы, амфиболиты, граниты двуслюдяные (C₂-P₁); 6 – граниты биотитовые, лейкократовые γ₁C₂-P₁); 7 – плагиограниты (γ₂δD₃-C₁); гранодиориты (γ₁δD₃-C₁); 8 – граниты (γ₃C₁); 9 – габбро (vS₁); 10 – сиениты, граносиениты, щелочные граниты (γεC₁₋₂); 11 – ультрабазиты серпентинизированные (ψS₁?); 12 – тектонические границы антиклинория с надвиговой кинематикой; 13 – границы куполовидных структур, сложенных гранитогнейсами с кристаллическими сланцами обрамления (Pz₃); 14 – тектонические нарушения; 15 – оси грабен-синклиналей (1 – Светлинско-Котликовская, 2 – Демаринско-Михайловская, 3 – Чукинско-Кучинская, 4 – Кочкарско-Чернореченская); 16–18 – рудопроявления и месторождения (16 – редкометалльные пегматиты с драгоценными камнями; 17 – горного хрусталя; 18 – золота); 19 – описываемая площадь. Цифры (массивы): 1 – Варламовский; 2 – Еремкинский; 3 – Борисовский; 4 – Санарский; 5 – Коелгинский; 6 – Пластовский; 7 – Степнинский.

Figure 2. Schematic geologic map of pre-Mesozoic formations of the Kochkarsky metamorphic complex (State geological map of the USSR of pre-Mesozoic formations, Middle Urals series, scale 1 : 200 000, 1981, ed. by N.G. Berlyand; in simplistic terms with additions). 1-marbles, marbled limestones (C, v₃); 2-porphyrates basalt and andesite-basalt; tuffites, tufopeschaniki; shales biotite-amphibole-feldspar (S₂-D₁); 3-tuffs, porphyry Liparite-dacite; siltstones, gravelites, tuffs of basalt composition; shales carbonaceous-siliceous (O₃-S₁₃); 4 - crystalline shales, sometimes with kyanite, sillimanite, staurolite (C,P2?); 5-gneisses, granitogneisses, amphibolites, granites dioecious (C2-P₁); 6 - biotite granites, leucocratic γ, C2 Insert tag (Alt + 1) -P₁); 7 - plagiogranites (γ₂δD₃-C₁); granodiorites (γ, δD₃-C₁); 8 - granites (γ₃C₁); 9 - gabbro (vS₁); 10 - syenites, granosyenites, alkaline granites (γεC₁₋₂); 11 - serpentized ultrabasites (fS₁?); 12 - tectonic boundaries of anticlinorium with thrust kinematics; 13 - boundaries of dome-shaped structures composed of granite gneisses with crystal framing schists (Pz₃); 14 - tectonic disturbances; 15 - axis of the graben-synclines (1 - Svetlinsko-Kotlikovskaya, 2 - Demarinsko-Mikhailovskaya, 3 - Chuksinsko-Kuchinskaya, 4 - Kochkarsko-Chernorechenskaya); 16-18 - ore occurrences and deposits (16 - rare-metal pegmatites with precious stones; 17 - rock crystal; 18 - gold); 19 is the described area. Numbers (massifs): 1 - Varlamovskiy, 2 - Yeremkinskiy, 3 - Borisovskiy, 4 - Sanarskiy, 5 - Koelginskiy, 6 - Plastovskiy, 7 - Stepninskiy.

постмагматической деятельностью позднеколлизийных микроклиновых гранитов, имеющих за счет переплавления корового субстрата фторотипную специализацию растворов, формируются магматогенно-гидротермальные месторождения – керамические, редкометалльные и хрусталеносные пегматиты, грейзены. Такая пространственная локализация этих месторождений обусловлена тем, что при отделении газовой фазы на поздней стадии кристаллизации магматических очагов фтор, в отличие от хлора, преимущественно остается в силикатном расплаве и фиксируется кристаллизующимися минералами, а не уходит в водный флюид. Это подтверждается и экспериментальными данными [15, 16]. В результате проведенных сопоставлений экспериментальных данных с составами фторсодержащих минералов и термодинамических расчетов достаточно определенно выявляется, что содержание фтористых соединений в водном флюиде, равновесном с гранитом, характеризующимся кларковыми количествами галогенов, на 2–3 порядка ниже концентрации хлоридов в этой же фазе [17].

Мысль о том, что Светлинское месторождение горного хрусталя контролируется небольшой купольной структурой, ядро которой сложено гнейсогранитами и анатектическими гранитоидами тоналит-гранодиоритовой формации позднего палеозоя, получила свое развитие в ряде статей [5, 6].

Как видно на рис. 2, Светлинское месторождение пьезокварца и одноименное пегматитовое поле расположены между тремя купольными структурами: Ерёмкинской, Борисовской и Санарской (на севере, востоке и юге соответственно).

Стиль деформаций пород в смежных блоках разный: в Заураловском синклинии получила развитие линейная складчатость, а в Кочкарском антиклинории развиты куполовидные (брахиоформные) структуры. Линейная складчатость в синклинической зоне и возникновение надвига на границе с антиклинорием объясняются условиями горизонтального субширотного (в современных координатах) сжатия. Образование куполовидных структур рассмотрим

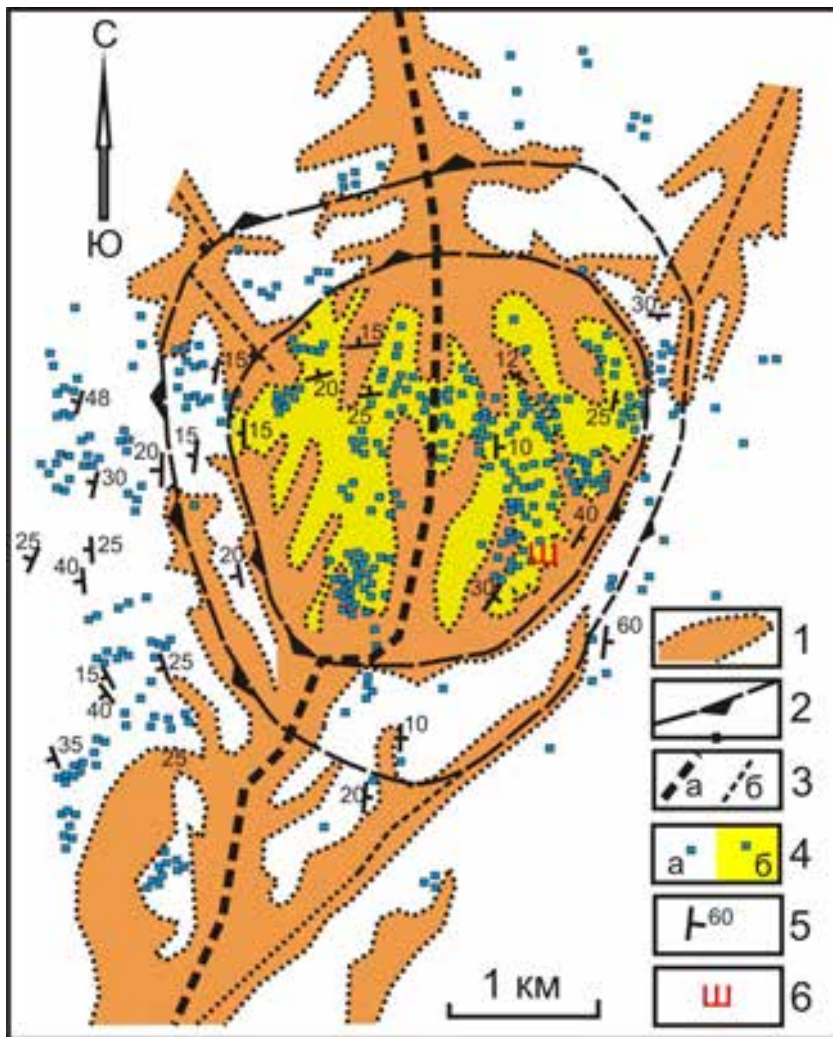


Рисунок 3. Кольцевая структура на Светлинском месторождении горного хрусталя, фиксирующая апикальную часть купольной структуры (составлена по материалам Ларинской ГРЭ и результатам дешифрирования космоснимков). 1 – неоген-четвертичные лога с горным хрусталем; 2 – предполагаемые зоны тектонического срыва и направление их падения; 3 – зоны горизонтального растяжения (а – осевого; б – вспомогательных направлений); 4 – кварцевые жилы, иногда с горным хрусталем (а – бесцветным, б – цветным); 5 – элементы залегания сланцеватости пород; 6 – благородная шпинель и корунд. Пояснения в тексте

Figure 3. Ring structure at the Svetlinskoye rock crystal deposit, which fixes the apical part of the dome structure (compiled from the materials of the Larinskaya geological survey expedition and the results of interpretation of satellite images).

1 - Neogene-Quaternary logs with rock crystal; 2 - prospective zones of tectonic failure and the direction of their fall; 3 - zones of horizontal extension (a - axial; b - auxiliary directions); 4 - quartz veins, sometimes with rock crystal (a - colorless, b - color); 5 - elements of occurrence of shale rocks; 6 - noble spinel and corundum. Explanations are in the text.

подробнее. Оказалось, что все эти три месторождения хорошо увязываются с предполагаемой Светлинской купольной структурой. Отметим некоторые особенности геологии данных месторождений, подтверждающие их связь с купольной структурой. Г. А. Кейльман и др. [18] выделяют несколько этапов деформаций в Кочкарском антиклинории. Ранний этап включает возникновение взбросо-надвигов и плавных открытых складок продольного изгиба преимущественно субмеридионального простирания. В наших построениях это отвечает опусканию блока под весом надвигаемых смежных блоков и возникновению в нем положительного продольного изгиба коры. На втором этапе крупные положительные структуры усложняются поднятиями более высоких порядков при общем блоковом воздымании и площадном метаморфизме. Появляются участки повышенных тепловых потоков с тенденцией смены линейной складчатости – купольной. Купольный тектоногенез напрямую связывается ими с участками повышенных тепловых потоков и развитием в них «раннекинематических гранитов».

Площадь Светлинского месторождения пьезокварца достаточно изометричная, около $3 \cdot 3$ км, слегка возвышенная, с абсолютным превышением 30–40 м. К настоящему времени месторождение полностью отработано. Оно хорошо изучено с использованием геологических, геофизических и геохимических методов, горно-буровых работ и широко освещено в многочисленных публикациях (сводку см. в [3, 4]). По геофизическим данным «Башнефтегеофизики» (материалы Ларинской ГРЭ), под Светлинским месторождением горного хрусталя на глубине около 400 м располагается кровля «гранитного» массива.

Апикальная часть купольной структуры отчетливо просматривается в системе неоген-четвертичных логов, детально откартированных в связи с приуроченностью к ним продуктивных россыпей горного хрусталя, а также дешифрированием космоснимков. На площади широко развиты линейные коры выветривания Mz–Kz возраста. Логами отрисовывается система кольцевых разломов, фиксирующих, по нашему мнению, апикальную часть купольной структуры (рис. 3). Система логов на Светлинском месторождении хрусталя рисует отчетливую кольцевую структуру. На месторождении распространены хлорит-биотитовые сланцы, обычно с кварцем и плагиоклазом, реже амфиболовые сланцы и амфиболиты. Из метаморфических минералов распространение имеют ставролит и силлиманит (фибролит), локально – андалузит. Отмечены находки серовато-синего корунда и розовой шпинели в ассоциации с форстеритом, серпентином, тальком, графитом и магнетитом [6].

Сланцеватость пород также отрисовывает асимметричную куполовидную структуру, слегка вытянутую в меридиональном направлении. В центральной части структуры углы падения сланцеватости весьма пологие, около 10° . К востоку они быстро возрастают до 60° , а к западу медленно и плавно увеличиваются вплоть до 45° (вблизи контакта с мраморами) (рис. 4). Подавляющая часть кварцевых жил попадает на апикальную часть структуры и ее пологое западное крыло.

Кварцево-жильное оруденение, в том числе и с вольфрамом и золотом, сопряженное с раннеколлизийными гранитоидами тоналит-гранодиоритовой формации, обуславливается эволюцией термоградиентных полей, создаваемых массивами этой формации на стадии их консолидации (Пластовский, Шарташский, Айдырлинский, Великопетровский и многие другие массивы).

Кварцевые жилы выполняют протяженные (до 100 м, иногда до 1–1,5 км) трещины скола, реже отрыва, образуют веер жил с крутыми углами падения и представляют собой типичные жилы выполнения с резкими контактами, практически лишенными околожильных изменений. Мощность жил обычно не превышает 1 м, но иногда достигает 2,0–2,5 м. К ним относятся «безрудные», мономинеральные кварцевые жилы со стекловидным, молочно-белым кварцем и «рудные» – шеелит-кварцевые, шеелит-турмалин-кварцевые, золото-кварцевые жилы, нередко с судьфидами и арсенопиритом, которые совместно с «безрудными» образуют совмещенные жильные поля [19].

Кварцевые жилы концентрируются во вмещающих породах над остывающим магматическим очагом, в зоне резких температурных градиентов в трещинах скола и отрыва. Ориентировка осей главных напряжений и поверхностей скалывания указывает на вертикальное направление активных усилий снизу вверх магматических масс, создаваемое в результате субширотного сжатия Кочкарского антиклинория.

Поэтому деформации этого этапа и образование трещин можно связывать с механизмом поперечного изгиба в жестком блоке при давлении снизу вверх остывающего магматического очага (рис. 4). В распределении зон образования трещин выделяется куполообразная ненарушенная зона (I) непосредственно над очагом расплава («штамп»). Это связано с тем, что здесь все главные напряжения достигают больших величин и действуют как сжимающие усилия, формируя зону всестороннего сжатия. Выше этой зоны располагается область возникновения сколовых трещин (II) (рис. 4). Симметрично относительно «штампа» над зоной сколов располагается зона трещин отрыва (III), которая совпадает с локальным максимумом сколовых напряжений σ_1 [20].

Экспериментальные данные [21] и геологические наблюдения показывают, что в градиентных полях рудные и петрогенные элементы закономерно перераспределяются и образуют свои зоны обогащения [10, 22–24]. Так, вольфрам, молибден, мышьяк тяготеют к источникам локального нагревания, т. е. к кровле массива, причем смена оруденения по направлению к вершине купола выглядит следующим образом: W–(Bi + Sn)–Mo (рис. 5). Оруденение распространяется на удалении 200–300 м, медь, свинец, цинк перемещаются и концентрируются в более удаленных холодных частях системы во вмещающих породах на удалении до 1–2,5 км [10, 23, 24].

Поздняя коллизия характеризуется мощным тепловым потоком в пределах гнейсового блока, активным метаморфизмом, достигающим амфиболитовой фации, процессами гранитизации с образованием автохтонных гранитоидов Борисовского комплекса и достаточно крупными магматическими очагами с формированием аллохтонных гранитов Санарского комплекса. Процессы метаморфизма и магматизма сопровождалась интенсивными гидротермально-метасоматическими преобразованиями, которые несут различное оруденение.

Кварцевые жилы сложены стекловидным, полупрозрачным и молочно-белым кварцем, обычно гигантокристаллической структуры, где отдельные блоки жильного кварца отделены друг от друга индукционными гранями и достигают размеров 30–40 см. Статистическая обработка элементов залегания 510 кварцевых жил Светлинского кварцево-жильно-

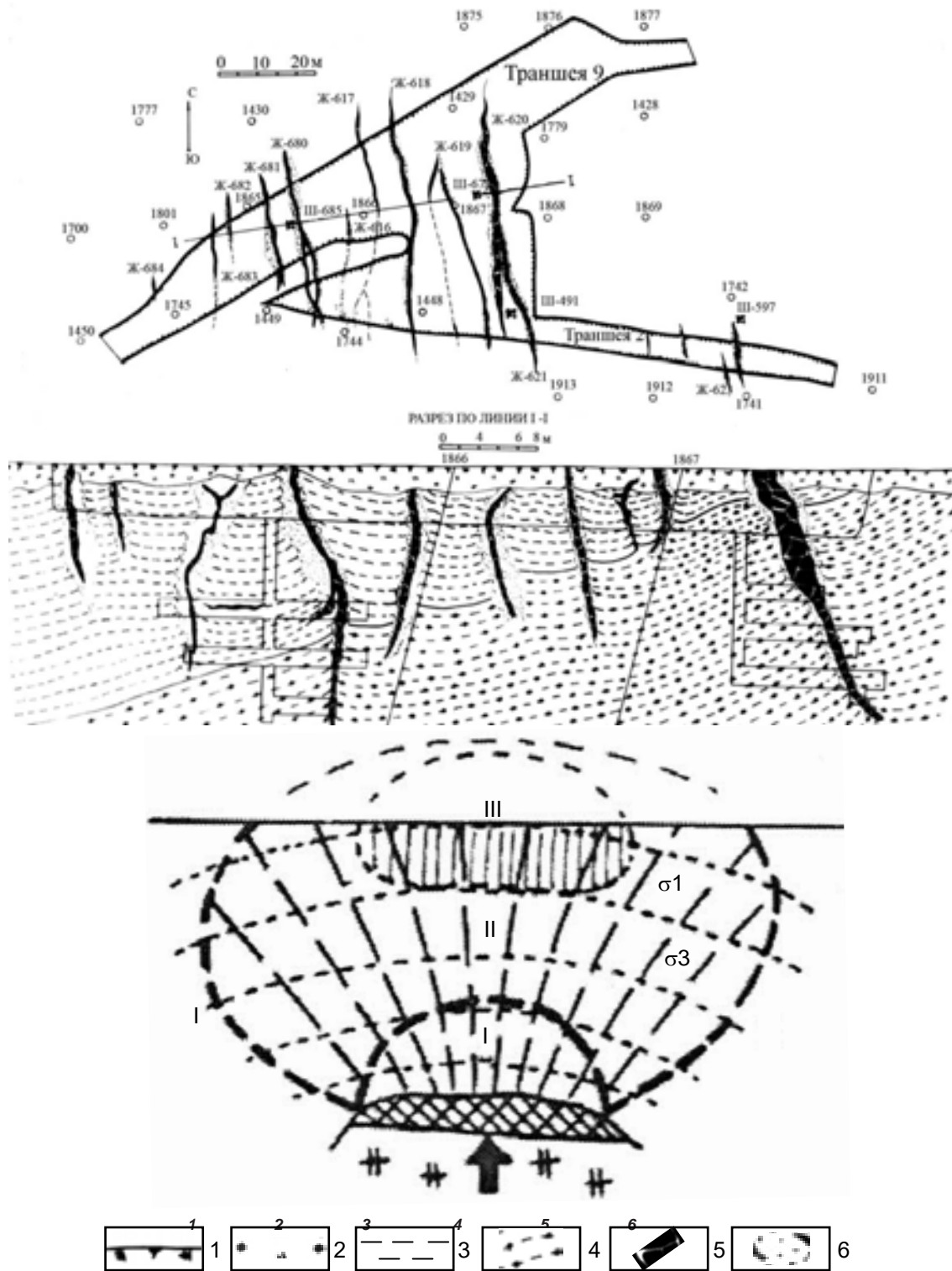


Рисунок 4. Жилы выполнения. Светлинское хрусталеносное поле. Участок II-Водораздельный, траншеи № 2, 9 и схема образования трещин скальвания при механизме давления магматического тела снизу вверх, по [20]. 1 – почвенно-растительный слой; 2 – элювий; 3 – биотит-кварцевый сланец; 4 – двуслюдяно-кварцевый сланец; 5 – кварцевые жилы; 6 – измененные сланцы.
Figure 4. Dilation vein. Svetlinsky crystal-bearing field. Section II-water-dividing, trenches No 2, 9 and the scheme of formation of shear fractures under the pressure of the magmatic body from the bottom-up, according to [20]. 1 - soil and plant layer; 2 - eluvium; 3 - biotite-quartz schist; 4 - two-mica-quartz schist; 5 - quartz veins; 6 - modified schists.

го поля показала, что большая часть кварцевых жил имеют северо-западное простирание, выполняя эшелонированные трещины скальвания, и значительно реже выполняют трещины отрыва.

В зальбандах жил обычно развиваются двуминеральные парагенезисы, состоящие из алюмосиликатов: силлиманит-кварцевых, андалузит-кварцевых, мусковит-кварцевых метасоматитов [7]. В некоторых разновидностях метасоматитов отмечены парагенезисы с кордиеритом и куммингтонитом, что свидетельствует о развитии процесса в условиях относительно низкого давления. На заключительной стадии формирования кварцевых жил при ощелачивании растворов, при

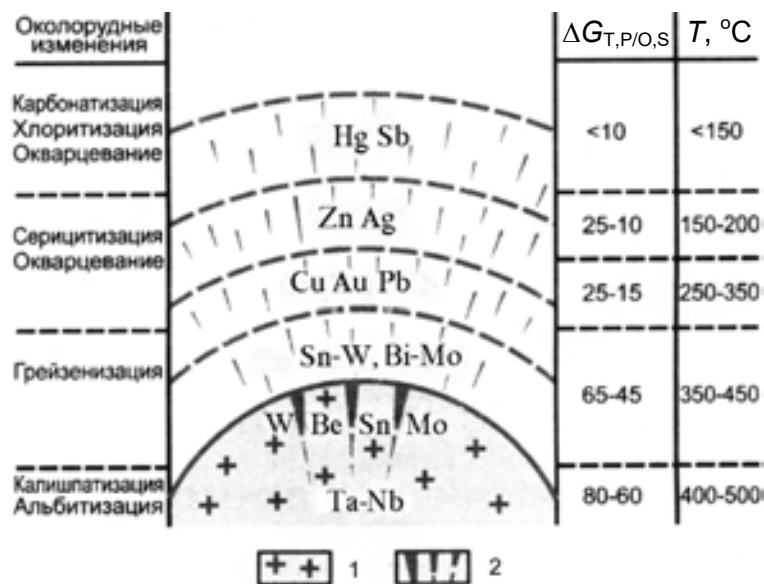


Рисунок 5. Контроль геохимической, рудной зональности температурной зональностью, возникающей вокруг флюидизированных рудоносных гранитных массивов [24]. 1 – граниты; 2 – кварцевые жилы.
Figure 5. Control of geochemical ore zonality by the temperature zonality that occurs around fluidized ore-bearing granite massifs [24]. 1 - granites; 2 - quartz veins.

высокой активности серы отлагаются сульфиды (2–5 %), среди которых резко преобладают пирит и халькопирит. Эти жилы слабозолотоносны (0,1–1,1 г/т), однако иногда в них попадаются участки, обогащенные золотом (до 15–18 г/т).

В жильном кварце Светлинского месторождения горного хрусталя, в протолочках также встречены рудные минералы: пирит, халькопирит, сфалерит, шеелит, магнетит, ильменит, ксенотим, монацит, колумбит, рутил, в единичных знаках самородное золото. Наиболее высокие содержания характерны для западного блока, примыкающего к горному отводу золоторудного месторождения.

Более поздние (постжильные) метасоматиты сформировались в результате развития хрусталеносных гнезд из щелочных низкотемпературных растворов. В пределах Светлинского месторождения развиты кварцевые жилы с хрусталеносными гнездами и без них. Кварцевые жилы, особенно стекловидные, в свое время использовались для варки специальных стекол и в качестве сырья для выращивания кристаллов кварца. Жилы же с хрусталеносными полостями, содержащие кондиционные кристаллы кварца, представляют основной практический интерес. Из указанных ранее более



Рисунок 6. Пересечение хрусталеносным гнездом полевошпат-кварцевой жилы, локализованной в амфиболитах. Центральный блок, Светлинское месторождение. По [25]. 1 – амфиболит; 2 – жильный кварц; 3 – жильный кварц перекристаллизованный; 4 – полевошпат; 5 – кристаллы кварца; 6 – хлорит; 7 – глинистые минералы.
Figure 6. Intersection of the crystal-bearing bunch of feldspar-quartz vein localized in amphibolites. Central block, Svetlinskiy deposit. According to [25]. 1 - amphibolite; 2 - vein quartz; 3 - vein quartz recrystallized; 4 - feldspar; 5 - quartz crystals; 6 - chlorite; 7 - clay minerals.

360 кварцевых учтенных жил Светлинского кварцево-жильного месторождения только 15 % являются хрусталеносными и только 2–3 % из последних жил содержат гнезда с кондиционными кристаллами кварца. Работами многих исследователей показано, что хрусталеносные гнезда наложены на кварцевые жилы [4, 7, 25], что доказывается главным образом тем, что отдельные гнезда пересекают кварцевые жилы (рис. 6).

Формированию хрусталеносных гнезд предшествовала хрупкая деформация, что привело к дроблению кварца в зальбандовых частях и на выклинках кварцевых жил. В эти ослабленные участки поступал хрусталеобразующий гидротермальный раствор, который обусловил трансформацию минералов кварцевых жил и их вмещающих пород.

Раздробленный жильный кварц частично растворялся, а оставшаяся часть выступила в качестве затравок для роста горного хрусталя. Биотит вмещающих пород и жил в указанных условиях заместился мусковитом гнездового выполения с выделением рутила и гетита. Магний обычно фиксировался в составе гнездового хлорита. Интересно, что иногда наблюдалось непосредственное развитие хлорита по биотиту, минуя стадию мусковитизации. Причем если жила расположена в амфиболитах, то хлорит накапливался в значительном количестве во внутренней части гнезд. При локализации жил в кристаллических сланцах хлорит в гнездах также отмечается, но в существенно меньшем количестве, к тому же он фиксируется «пятнами». Хлорит в гнездах (в рыхлой массе и в кристаллах кварца) представлен гельминтами размером до 1 мм и более в поперечнике.

Плаггиоклаз, развитый в оторочке кварцевых жил, в физико-химических условиях, свойственных формированию гнезд, замещается альбитом и мусковитом. В случае развития процесса в амфиболитах возникали альбитовые друзы. Хрустальные гнезда располагаются, как правило, на выклинивании кварцевых жил, когда кварцевая жила выступает в качестве экрана или в полостях растворения. Кристаллы кварца представлены темно-дымчатыми (в пегматитах), дымчатыми, лимонно-желтыми, фиолетовыми и визуальными бесцветными разностями.

Заключение

Ядра куполовидных структур в блоках положительного изгиба коры обычно представлены массивами гранито-нейсов, которые часто отождествляются с поднятиями фундамента. Большую роль здесь играют метаморфические и метасоматические процессы. Их развитию весьма способствует наличие больших вертикальных и латеральных градиентов температур и давлений. Гранитизация и дебазификация являются наиболее важными и самыми распространенными метасоматическими процессами данного этапа. С ними связан вынос в околокупольное пространство ряда рудных и нерудных компонентов. В ядрах куполовидных структур накапливаются флюиды, обогащенные легколетучими элементами (Be, Li, Sn, Ta, Nb и др.). Над купольными структурами образуются крутопадающие трещины растяжения, выполненные кварцем.

Снятие тектонических напряжений переводит систему в регрессивный этап. В ядрах куполовидных структур и в зоне сжатия падает всестороннее давление, что может сопровождаться возникновением анатектических гранитов. Большой запас тепловой и химической энергии обеспечивает длительное функционирование пневматолито-гидротермальной системы. Расплавы, наиболее богатые летучими, формируют дайковый комплекс гранитов и пегматитов с редкометалльной и самоцветной минерализацией. В надкупольном пространстве формируется кварцево-жильное поле с наложенными хрусталеносными гнездами.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИГГ УрО РАН (гос. регистрации № АААА-А18-118052590028-9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Болтыров В. Б., Пыстин А. М., Огородников В. Н. Региональный метаморфизм пород в северном обрамлении Санарского гранитного массива на Южном Урале // Геология метаморфических комплексов Урала: труды СГИ. 1973. Вып. 91. С. 53–66.
2. Таланцев А. С. Камерные пегматиты Урала. М.: Наука, 1988. 144 с.
3. Огородников В. Н., Сазонов В. Н., Поленов Ю. А. Минерагения шовных зон Урала. Ч. 1. Кочкарский рудный район (Южный Урал). Екатеринбург: УГГГА, 2004. 216 с.
4. Поленов Ю. А. Эндогенные кварцево-жильные образования Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 269 с.
5. Кисин А. Ю. Кварцевые жилы в надкупольных структурах и прогнозирование их хрусталеносности по элементам залегания // Ежегодник-1994. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1995. С. 74–77
6. Кисин А. Ю., Притчин М. Е. Разрывная тектоника на Светлинском месторождении золота (Южный Урал) // Вестник Перм. ун-та. Геология. 2015. Вып. 3 (28). С. 34–42.
7. Огородников В. Н. Аллюмокремниевые метасоматиты Кочкарского и Адамовского метаморфических комплексов: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 1975. 120 с.
8. Овчинников Л. Н. Образование рудных месторождений. М.: Недра, 1988. 255 с.
9. Иванов К. С. Основные черты геологической истории (1,6–0,2 млрд лет) Урала: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 253 с.
10. Сазонов В. Н., Огородников В. Н., Коротеев В. А., Поленов Ю. А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 622 с.
11. Калинин А. С., Ревердатто В. В., Васильева Э. Н. Модель глубинного плутонометаморфизма и анатексиса // ДАН СССР. 1977. Т. 237, № 5. С. 1167–1170.
12. Ферштатер Г. Б., Шардакова Г. Ю., Краснобаев А. А. и др. Rb–Sr и цирконовый U–Pb возраст Каменского мигматит-плутона (Средний Урал) // Ежегодник-2006. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 200–206
13. Огородников В. Н. Пространственная и генетическая сопряженность золоторудных, редкометалльных и хрусталеносных кварцево-жильных образований Урала // Рудогенез. Миасс: ИМ УрО РАН, 2008. С. 212–219.
14. Косалс Я. А. Источники и способы обогащения рудным веществом ювенильных растворов в процессе формирования редкометалльных месторождений, связанных с гранитными интрузиями // К вопросу об источнике вещества эндогенных рудных месторождений. Алма-Ата: КазИМС, 1970. С. 105–115.
15. Barnham C. W. Hydrothermal fluids at the magmatic stage // Geochemistry of hidrothermal ore deposits. N. Y.: Holt, Rinehart, Winston, Inc., 1967. 670 p.
16. Munoz J. L., Eugster H. P. Experimental control of fluorine reaction in hydrothermal systems // Amer. Mineral., 1969. Vol. 54, № 5/6. P. 943–959.
17. Рябчиков И. Д. Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм. М.: Наука, 1975. 230 с.

18. Кейльман А. Г., Болтыров В. Б., Бурьян Ю. И., Горожанкин В. Т. К вопросу о структурной эволюции Кочкарского антиклинория // Геология метаморфических комплексов Урала: труды СГИ. 1973. Вып. 91. С. 38–45.
19. Огородников В. Н. Закономерности размещения и условия образования кварцево-жильных хрусталеносных и золоторудных месторождений Урала: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Свердловск, 1993. 367 с.
20. Старостин В. И. Структурно-петрофизический анализ эндогенных рудных полей. М.: Недра, 1979. 240 с.
21. Дударев А. Н. Анализ геолого-физических условий эндогенного рудообразования. Новосибирск: Наука, 1975. 197 с.
22. Рундквист Д. В., Денисенко В. К., Павлова И. Г. Грейзеновые месторождения. М.: Недра, 1971. 328с.
23. Летников Ф. А. Синэнергетика геологических систем. Новосибирск: Наука, 1992. 228 с.
24. Летников Ф. А. Взаимосвязь процессов гранитизации, метаморфизма и тектоники // Геотектоника, 2000. № 1. С. 3–22.
25. Эшкин В. Ю., Карякина Т. А., Богданова Г. Н. Типы кристаллов кварца и закономерности их пространственного размещения на одном из хрусталеносных полей Урала // Геология, поиски и разведка нерудных полезных ископаемых. Л.: ЛГИ, 1974. Вып. 1. С. 71–78.

Статья поступила в редакцию 20 мая 2019 года

The role of the Svetlinskaya granite-gneiss dome structure in the formation of quartz-vein deposits (South Ural)

Alexander Yurievich KISIN¹,
Vitaly Nikolaevich OGORODNIKOV²,
Yuri Alekseevich POLENOV²,
Valery Vasilyevich MURZIN¹,
Mikhail Egorovich PRITCHIN¹

¹The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

²Ural State Mining University, Russia, Ekaterinburg

Relevance of the work. The Kochkarsky zonal metamorphic complex was formed as a result of regional compression of the earth's crust during collisional transformations. Under these conditions, suture zones developed along the boundaries of the gneiss blocks, within which the rocks underwent a metamorphic transformation at the level of the epidote-amphibolite and amphibolite facies. The research results will improve the methodology of forecasting and prospecting in deposits of this type. Purpose of the work. determination paragenetic relationships between deposits of gold, rock crystal and myarolic rare-metal pegmatites located in the area of Kochkarsky anticlinorium, near the village of Svetly in the Southern Urals.

Methodology of research. To solve the set tasks, new materials were used, collected during the study of the walls of the Svetlinsky gold mine such as interpretation of aerial photographs and satellite imagery, as well as reinterpretation of actual material over the past 50 years.

Results. The common link between these deposits is the slightly eroded Svetlinsky dome, which complicates the overlying bed of a large granite-gneiss massif. As a result of the study, it was found that the Svetlinskoye rock crystal deposit is confined to the apical part of the dome; the field of myarolic raremetal pegmatites is located to the interdome structure, and the Svetlinskoye gold deposit is located to the western thrust-overthrust boundary.

Conclusions. The Svetlinsky dome structure of the Late Paleozoic age, which underwent significant tectonic deformations in the early and late collisions, controls the deposits of piezoquartz and gold, as well as partially the field of rare-metal myarolic pegmatites with precious stones.

Keywords: geology of deposits, pegmatites, piezoquartz, geotectonics, Urals.

REFERENCES

- Boltyrov V. B., Pystin A. M., Ogorodnikov V. N. 1973, *Regional'nyy metamorfizm porod v severnom obramlenii Sanarskogo granitnogo massiva na Yuzhnom Urale* [Regional metamorphism of rocks in the northern frame of the Sanar granite massif in the Southern Urals]. *Geology of metamorphic complexes of the Urals: proceedings of the Sverdlovsk State Institute*, issue 91, P. 53–66.
- Talantsev A. S. 1988, *Kamernyye pegmatity Urala* [Chamber pegmatites of the Urals]. Moscow, 144 p.
- Ogorodnikov V. N., Sazonov V. N., Polenov Yu. A. 2004, *Minerageniya shovnykh zon Urala* [Minerageny of suture zones of the Urals]. Part 1. Kochkarsky ore district (South Ural). Ekaterinburg, 216 p.
- Polenov Yu. A. 2008, *Endogennyye kvartsevo-zhil'nyye obrazovaniya Urala* [Endogenous quartz-vein formations of the Urals]. Ekaterinburg, 269 p.
- Kisin A. Yu. 1995, *Kvartsevyye zhily v nadkupal'nykh strukturakh i prognozirovaniye ikh khrustalenosnosti po elementam zaleganiya* [Quartz veins in domed structures and prediction of their crystallinity by attitude]. *Yearbook-1994*. Ekaterinburg, pp. 74–77.
- Kisin A. Yu., Pritchinnik M. E. 2015, Explosive tectonics at the Svetlinsky gold deposit (South Ural). *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya* [Bulletin of the Perm University. Geology], issue 3 (28), P. 34–42. (In Russ.)
- Ogorodnikov V. N. 1975, *Alyumokremniyevyye metasomatity Kochkarskogo i Adamovskogo metamorficheskikh kompleksov* [Silicon-aluminum metasomatites of the Kochkarsky and Adamovsky metamorphic complexes], PhD thesis. Ekaterinburg, 120 p.
- Ovchinnikov L. N. 1988, *Obrazovaniye rudnykh mestorozhdeniy* [Formation of ore deposits]. Moscow, 255 p.
- Ivanov K. S. 1998, *Osnovnyye cherty geologicheskoy istorii (1,6–0,2 mlrd let) Urala* [Main features of the geological history (1.6–0.2 billion years) of the Urals], PhD thesis. Ekaterinburg, 253 p.
- Sazonov V. N., Ogorodnikov V. N., Koroteev V. A., Polenov Yu. A. 2001, *Mestorozhdeniya zolota Urala* [Gold deposits of the Urals]. Ekaterinburg, 622 p.
- Kalinin A. S., Reverdatto V. V., Vasilieva E. N. 1977, *Model of deep plutonic metamorphism and anatexis. Doklady Akademii nauk* [Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences. Earth Science Sections], vol. 237, no. 5, P. 1167–1170. (In Russ.)
- Ferstater G. B., Sherdakova G. Yu., Krasnobaev A. A. et al. 2007, *Rb–Sr i tsirkonovyy U–Pb vozrast Kamenskogo migmatit-plutona (Sredniy Ural)* [Rb–Sr and zircon U–Pb age of the Kamensky migmatite-pluton (Middle Urals)]. *Yearbook-2006*. Ekaterinburg, P. 200–206.
- Ogorodnikov V. N. 2008, *Prostranstvennaya i geneticheskaya sopryazhennost' zolotorudnykh, redkometall'nykh i khrustalenykh kvartsevozhil'nykh obrazovaniy Urala* [Spatial and genetic conjugation of gold ore, rare metal and crystal-bearing quartz veinformations of the Urals]. *Ore genesis*. Miass, P. 212–219.
- Kosals Ya. A. 1970, *Istochniki i sposoby obogashcheniya rudnym veshchestvom yuvenil'nykh rastvorov v protsesse formirovaniya redkometall'nykh mestorozhdeniy, svyazannykh s granitnymi intruziyami* [Sources and methods of ore enrichment of juvenile solutions in the formation of rare-metal deposits associated with granite intrusions]. *To the question of the source of matter of endogenous ore deposits*. Almaty, P. 105–115.
- Barnham C. W. 1967, Hydrothermal fluids at the magmatic stage. *Geochemistry of hidrotermal ore deposits*. N. Y.: Holt, Rinehart, Winston, Inc., 670 p.
- Munoz J. L., Eugster H. P. 1969, Experimental control of fluorine reaction in hydrothermal systems. *Amer. Mineral.*, vol. 54, no. 5/6, P. 943–959.
- Ryabchikov I. D. 1975, *Termodinamika flyuidnoy fazy granitoidnykh magm* [Thermodynamics of the fluid phase of granitoid magmas]. Moscow, 230 p.
- Keylman A. G., Boltyrov V. B., Buryan Yu. I., Gorozhankin V. T. 1973, *K voprosu o strukturnoy evolyutsii Kochkarskogo antiklinoriya* [On the structural evolution of the Kochkarsky anticlinorium]. *Geology of metamorphic complexes of the Urals: proceedings of the Sverdlovsk State Institute*, issue 91, P. 38–45.
- Ogorodnikov V. N. 1993, *Zakonomernosti razmeshcheniya i usloviya obrazovaniya kvartsevo-zhil'nykh khrustalenykh i zolotorudnykh mestorozhdeniy Urala* [Patterns of placement and formation conditions of quartz-vein crystal-bearing and gold ore deposits of the Urals], PhD thesis, 367 p.

✉ polenov_yu@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8115-8034>

20. Starostin V. I. 1979, *Strukturno-petrofizicheskiy analiz endogennykh rudnykh poley* [Structural and petrophysical analysis of endogenous ore fields]. Moscow, 240 p.
21. Dudarev A. N. 1975, *Analiz geologo-fizicheskikh usloviy endogennogo rudoobrazovaniya* [Analysis of the geological and physical conditions of endogenous ore formation]. Novosibirsk, 197 p.
22. Rundkvist D. V., Denisenko V. K., Pavlova I. G. 1971, *Greyzenovyye mestorozhdeniya* [Greisen deposits]. Moscow, 328 p.
23. Letnikov F. A. 1992, *Sinenergetika geologicheskikh sistem* [Synergetics of geological systems]. Novosibirsk, 228 p.
24. Letnikov F. A. 2000, Interconnection of the processes of granitization, metamorphism and tectonics. *Geotektonika* [Geotectonics], P. 3–22. (In Russ.)
25. Eshkin V. Yu., Karyakina T. A., Bogdanova G. N. 1974, *Tipy kristallov kvartsa i zakonomernosti ikh prostranstvennogo razmeshcheniya na odnom iz khrustalenosnykh poley Urala* [Types of quartz crystals and patterns of their spatial distribution in one of the crystal-bearing fields of the Urals]. *Geology, prospecting and exploration of nonmetallic minerals*, issue 1, P. 71–78.

The article was received on May 20, 2019

Инженерно-геологические условия как основа обеспечения строительства подземных сооружений

Ирина Валерьевна АБАТУРОВА^{1,*}
Иван Андреевич САВИНЦЕВ^{1,**}
Владислав Сергеевич КОЗЛОВ^{2,***}
Эльвина Дамировна НУГМАНОВА^{2,****}
Евгений Алексеевич ЗВОНАРЕВ^{1,*****}

¹Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

²ООО «ГИНГЕО», Россия, Екатеринбург

Актуальность работы. Актуальной и, бесспорно, самой значимой проблемой при строительстве подземных сооружений, особенно в пределах городской территории, является установление параметров инженерно-геологических условий и возможное их изменение при строительстве.

Цель работы: предупреждение развития опасных инженерно-геологических процессов для принятия быстрых решений по безопасности прохода при выполнении прогноза устойчивости массива пород, подвергающегося техногенному воздействию.

Методологические исследования. Задачи и методы изучения инженерно-геологических условий проектирования и строительства подземных сооружений определяются сложностью природных условий. При этом содержание, объем, точность и достоверная вероятность полученных данных об инженерно-геологических условиях должны быть минимально необходимыми и достаточными для проектирования подземных сооружений. Выбор методических приемов и способов, совокупность которых позволит спроектировать и осуществить рациональный комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ, подчиняется двум целям: изучению инженерно-геологических условий и оценке прогнозных параметров изменения инженерно-геологических условий.

Результаты работ и область их применения. Был выполнен прогноз устойчивости массива пород с использованием геомеханической классификации Н. С. Булычева. Анализ инженерно-геологических факторов, влияющих на безопасную проходку подземного сооружения, позволил выделить инженерно-геологическое районирование и выделить в массиве пород пять категорий с различной степенью устойчивости массива проектируемой горной выработки. Учет выделенных участков различной устойчивости при проектировании подземной выработки позволит обеспечить ей безопасную эксплуатацию.

Вывод. Выполненные исследования указывают на то, что в процессе строительства подземных выработок формируется взаимодействие между массивом пород и выработкой. Соответственно еще на стадии проектирования должна быть создана адекватная информационная модель инженерно-геологических условий, которая рассматривается как взаимосвязанная система решения двух классов задач – инженерно-геологических и конструкторских. При этом основой должен служить прогноз реакции скального массива на проектные решения.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, массив горных пород, трещиноватость, физико-механические свойства, неоднородность, инженерно-геологическое районирование, прогноз устойчивости

Введение
Эффективность и безопасность строительства подземных сооружений (шахт, тоннелей, метрополитенов) в значительной степени зависят от надежности изучения инженерно-геологических условий, включающего в себя анализ закономерностей их формирования и характера их изменения в процессе строительства и эксплуатации [1–5].

Объектом изучения служит массив горных пород, который обладает определенным набором параметров инженерно-геологических условий. Все параметры отличает чрезвычайно высокая степень изменчивости, которую осложняют различный петрографический состав пород, их структурно-текстурные особенности, степень и характер трещиноватости, свойства и состояние массива пород. Такая масштабная неоднородность обуславливает пространственно-временную изменчивость инженерно-геологических условий при взаимодействии массива горных пород с сооружением. Недоучет информации на этапах проектирования и строительства ведет к формированию мульды сдвига и, как следствие, деформациям зданий и сооружений, попавших в эту зону. Примером может служить целый ряд деформации зданий и сооружений на участках ведения горнопроходческих работ в городах Березовском, Екатеринбурге, Красноуральске и т. д. [6–9].

Основные результаты работ

Первый пусковой участок первой линии метрополитена г. Челябинска планируется проложить с востока на запад (рис. 1). Длина проектируемого участка составляет 8600 м с глубиной заложения от 6,8 до 50,0 м. Проходка будет осуществляться на участках станций открытым способом, на участках тоннелей – подземным.

Согласно инженерно-геологическому районированию, выполненному вдоль трассы, здесь выделяются три участка, контрастно отличающиеся друг от друга по инженерно-геологическим условиям (рис. 2).

I – восточный (от начала линии метрополитена до ПК 41,7), территория западной границы Западно-Сибирской низменности, где доминируют нелитифицированные осадки мезозойского и кайнозойского возраста, представленные

✉ qingeo@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4829-3204>

** office@ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4760-9900>

*** mr.vkla@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0980-8335>

**** nugmanova_elvina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0218-4494>

***** evgen-zvonarev@mail.ru



Рисунок 1. Схематическая карта расположения линии метрополитена.
Figure 1. Contour map of the underground line.

глинами, песками и суглинками, тектонические нарушения отсутствуют. Глубина заложения линии метрополитена от 11 до 15 м. Уровень грунтовых вод находится на глубине 3,57–8,3 м.

II – центральный (переходная зона от ПК 41,7 до ПК 65,7). Проложенная линия пересекает палеозойские образования, представленные осадочными (известняки), вулканогенно-осадочными (сланцы, порфириды) и интрузивными породами (гранитоиды), сверху перекрытые мезозойскими корами выветривания [10]. Породы сильнотрещиноватые, либо раздробленные. Уровень грунтовых вод находится на глубине 1,7–9,3 м. Заложение линии метрополитена на ветках в депо мелкое, далее – глубокое.

III – западный (участок территории от ПК 65+70 до конца трассы), относящийся к краевой зоне Зауральского пенеплена, представлен палеозойской Челябинской гранитной интрузией (диориты, гранодиориты, граниты) сложного строения с ксенолитами гнейсов. Сверху палеозойские образования перекрыты корами выветривания. Породы от слабо- до сильнотрещиноватых. Уровень грунтовых вод находится на глубине 2,2–24,3 м. Заложение линии метрополитена – глубокое.

Среди инженерно-геологических факторов, осложняющих условия строительства и эксплуатации метро, – наличие элювиальных образований различной мощности, тектоническая нарушенность и трещиноватость пород, закарстованность, подтопление [9, 11, 12]. При вскрытии массива пород прогнозируется развитие таких процессов, как суффозия, вывалообразование, куполение, формирование мульд сдвига и депрессии дневной поверхности.

Рассмотрим закономерности формирования инженерно-геологических условий в пределах трассы метрополитена.

Коры выветривания, развитые в пределах трассы, площадные, линейные, контактовые. Залегают на водораздельных пространствах под маломощным слоем четвертичных образований [10]. Пространственная изменчивость мощности коры выветривания определяется условиями формирования, составом и структурно-тектоническими особенностями пород, их раздробленностью, ландшафтом. Так, в пределах терригенно-карбонатных пород она составляет –6,0 м, вулканогенных (порфиридов) –2,9–5,0 м, магматических +2,6–5 м. Наибольшие мощности коры выветривания с образованием карманов выветривания до глубины 25,0–32,3 м отмечаются в тектонических зонах, зонах катаклаза.

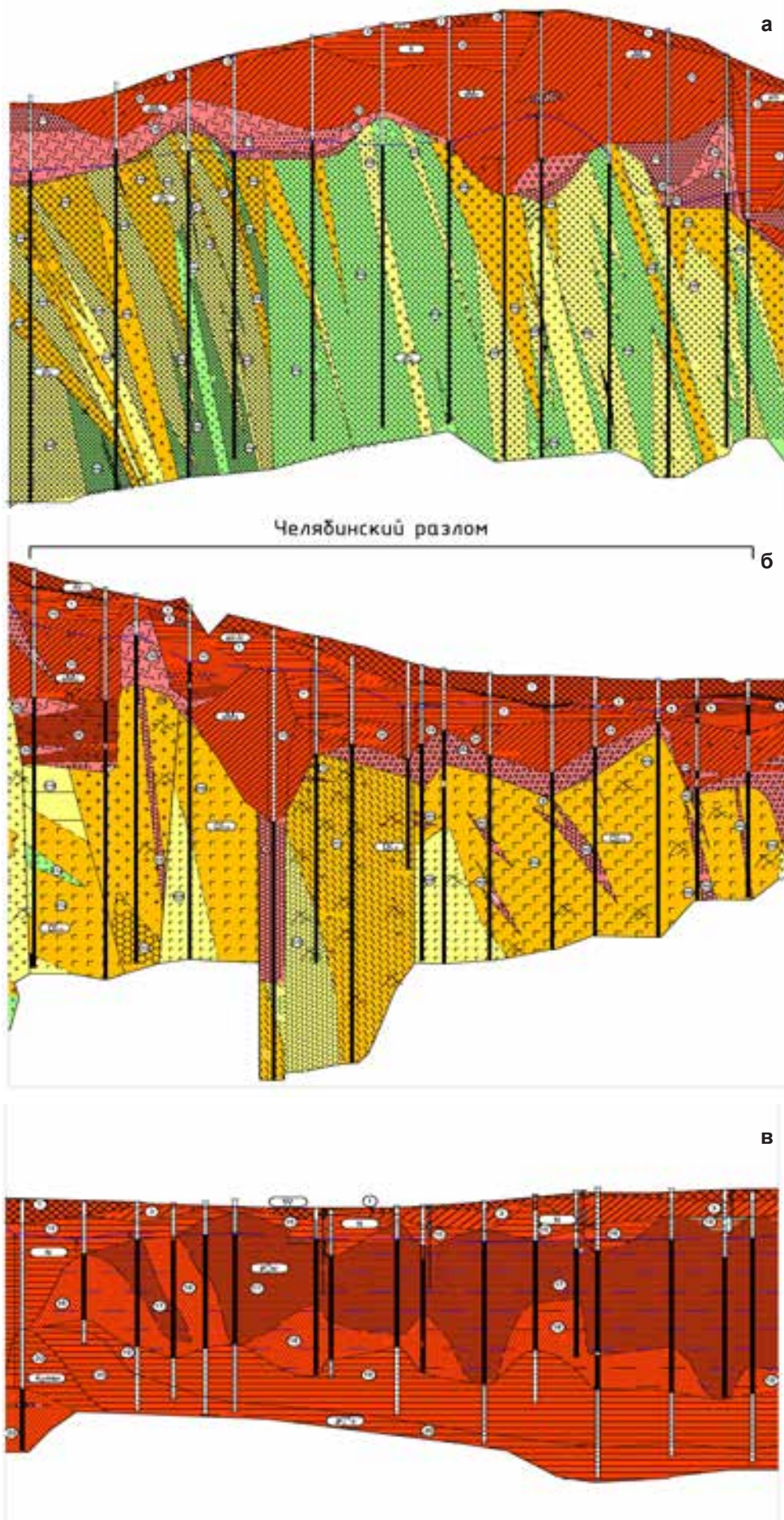
На участках развития площадных кор выветривания при условии расположения тоннеля в прочных скальных грунтах влияние мульды сдвига на поверхности практически не ощутится (из-за образования разгружающего свода). Осадки в мульде депрессии будут равномерны [13].

Линейные коры выветривания характеризуются неравномерностью изменения физико-механических свойств и пилообразным характером инженерно-геологического разреза из-за частой смены выветрелых и не выветрелых грунтов на небольших расстояниях. Такие участки наиболее опасны, так как при их пересечении возможно образование вокруг выработок областей предельного равновесия и развитие на поверхности земли значительных по величине осадков.

Закономерность развития коры выветривания вдоль линии метрополитена зависит от петрографического состава пород и геоморфологических условий.

Наиболее выветрелыми являются сланцы, приуроченные к Челябинскому разлому геоморфологически, – это долины реки Игуменки. Наименее выветрелы гнейсы, гранитоиды водоразделов. Вертикальный профиль коры выветривания представлен:

– дисперсной зоной – бесструктурные суглинки развиты практически по всем типам пород, структурные (сапролит) – только по гранодиоритам; минеральном составе зоны преобладают каолинит, гидрослюда, гидрохлорит (рис. 3).



I. Литологический состав в основании инженерно-геологического элемента

Геологический индекс	Геологическая колонка	Описание инженерно-геологического элемента
Кайнозойская группа Чугаринская система		
IV		Насыщенный супесь, песок с редкими включениями, слабоцементированный дресвой супесь с пачко-органометом аморфизмом, пылево-глинистый мушкет
Континентальная терригенная формация Поярская отложения		
IV		Супесь, глина с прослоями, известняков, с гравием, дресвой, щебнем, с прослоями песка
Аллювиальные отложения		
III-IV		Терф окислительно-восстановительная, с прослоями ила
III-IV		Глина, с включениями, слабоцементированная, с гравием и прослоями, с прослоями песка, с гравием и глинами
III-IV		Супесь от твердой до среднетвердой, с прослоями песка
III-IV		Песок, мелкозернистый и мелкопесчаный: а) пылеватый и мелкий, средней влажности; б) гравелистый, реже средней крупности и крупный, средней влажности
III-IV		Гравелистый супесь с пылевым включением, мелкопесчаный
Аллювиально-пролювиальная олигоцен-палеогеновая субформация Палеогеновые отложения		
N		Глина твердая, с включением бобовых габриковидных желтых и желтых
Палеогеновая система Курганская свита		
P ₁ IV		Глина полутвердая, с прослоями песка
P ₁ IV		Песок, мелкопесчаный: а) мелкий, средней влажности, с прослоями глина; б) средней крупности, с включениями крупного и гравелистого, средней влажности
Морская карбонатно-терригенная формация Чугаринская свита		
P ₁ IV		Глина пылеватая, твердая, среднеплывучая
Ирбитская свита		
P ₁ IV		Глина дисперсная и трещиноватая, с прослоями и включениями песка, полутвердая и трещиноватая
Серовская свита		
P ₁ IV		Песок гравелистый, окислительно-восстановительная
Эпипалеогеновая мезозойская формация Меловая система, Мисювская свита		
K ₁ min		Супесь, глина, с глинистым, прослоями и включениями песка, дресвой, щебнем, известняком, кварц, остатками пористых и мелких пород
Кора выветривания Мз		
emz		Супесь с дресвой и щебнем: а) по гравелистому, твердой; б) твердой и полутвердой; в) по пылеватому и глинистому, твердой
emz		Песок дресвяно-щебнистый, мелкопесчаный
emz		Дресвяно-щебнистый с супесью, реже пылеватый аморфизмом: а) по пылеватому и порфиритам; б) по гравелистому
emz		Щебнистый супесь с супесью аморфизмом: а) по пылеватому, порфиритам; б) по гравелистому
emz		"Рухляк" (полутвердые породы с очень низкой прочностью до повышенной прочности)
Морская терригенно-карбонатная формация Камышловская система, Вайгальской и палеорусской группы		
C ₁ V ₁ IV		Насыщенный органический, частично карбонатный, с прослоями известняков, прочный: а) среднепрочный; б) очень и окислительно-восстановительный
C ₁ V ₁ IV		Известняк органический, с прослоями известняков, прочный, раздробленный
Вайгальской группы. Средней и верхней подгруппы		
C ₁ V ₁ IV		Пылеватый мелкопесчаный, среднепрочный и в карбонат крупнозернистый по карбонату известняков: а) средней прочности и прочный, очень и окислительно-восстановительный; б) повышенной прочности раздробленный
C ₁ V ₁ IV		Известняк карбонатно-терригенной структуры, прочный, окислительно-восстановительный и очень окислительно-восстановительный

Геологический индекс	Геологическая колонка	Описание инженерно-геологического элемента
Палеозойская средне-верхнепалеозойская формация Верховой отдал		
D ₁ IV		Супесь, карбонат-карбонатный, карбонат-карбонат-глина-карбонатный: а) среднепрочный; б) очень и окислительно-восстановительный; в) раздробленный
Средний отдал		
D ₁ IV		Порфирит окислительно-восстановительный в виде складки, раздробленный, средней прочности: а) среднепрочный; б) очень и окислительно-восстановительный; в) раздробленный
Средний отдал		
D ₁ IV		Порфирит прочный и средней прочности: а) слабопрочный; б) среднепрочный
D ₁ IV		Порфирит: а) средней прочности, окислительно-восстановительный и очень окислительно-восстановительный; б) повышенной прочности и мелкозернистый раздробленный
Магматическая средне-верхнепалеозойская формация Ордовикская система, Верхний и средний отдал		
O ₁ IV		Глины и гравиты-глины амфиболитовый, средней прочности: а) слабопрочный; б) среднепрочный
O ₁ IV		Глины и гравиты-глины амфиболитовый: а) прочный, средней прочности очень и окислительно-восстановительный; б) средней прочности раздробленный
Средний отдал		
P ₁ IV		Гранит - амфиболитовый, средней прочности и прочный: а) слабопрочный и очень слабопрочный; б) среднепрочный
P ₁ IV		Гранит - амфиболитовый, средней прочности и прочный: а) окислительно-восстановительный и очень окислительно-восстановительный; б) раздробленный
P ₁ IV		Гранодиорит: а) мелкозернистый слабопрочный и очень слабопрочный; б) средней прочности, среднепрочный
P ₁ IV		Гранодиорит прочный: а) окислительно-восстановительный и очень окислительно-восстановительный; б) раздробленный
P ₁ IV		Кварцевый диорит и диорит: а) средней прочности и прочный, слабопрочный и очень слабопрочный; б) прочный, среднепрочный
P ₁ IV		Кварцевый диорит и диорит средней прочности и прочный: а) окислительно-восстановительный и очень окислительно-восстановительный; б) раздробленный
P ₁ IV		Гранитовый амфиболитовый средней прочности: а) слабопрочный и очень слабопрочный; б) среднепрочный
P ₁ IV		Гранодиорит прочный: а) окислительно-восстановительный и очень окислительно-восстановительный; б) раздробленный
Магматические интрузивы		
P ₁ IV		а) Апатит прочный, окислительно-восстановительный, реже трещиноватый и раздробленный; б) Пегматит средней прочности и прочный, окислительно-восстановительный и среднепрочный



Рисунок 2. Характер изменения ИГУ по оси трассы метрополитена. а – фрагмент западной части трассы метрополитена (участок территории от ПК 65+70 до конца трассы); б – фрагмент центральной части трассы метрополитена (переходная зона от ПК 41,7 до ПК 65,7); в – фрагмент восточной части трассы метрополитена (от начала линии метрополитена до ПК 41,7).

Figure 2. Nature of changes in the geological engineering conditions along the axis of the underground line. a - the fragment of the western part of the line (section of the territory from PK 65 + 70 to the end of the line); b - the fragment of the central part of the line (transition zone from PK 41.7 to PK 65.7); c - the fragment of the eastern part of the line (from the beginning of the subway line to PK 41.7).

- зоной литомаржа, представленной рухляками очень низкой и пониженной прочности (рис. 4).
- обломочной зоной, сложенной дресвой и щебнем по терригенно-карбонатным, вулканогенным и магматическим породам (рис. 5).

Тектоническая нарушенность и связанная с ней трещиноватость являются одним из основных факторов, определяющих степень устойчивости скальных грунтов при проходке горных выработок [14, 15].

Трасса Челябинского метро расположена в восточной части Восточно-Уральского поднятия и в западной части Восточно-Уральского прогиба, являющихся структурами 1 порядка. В пределах трассы располагаются структуры 3 порядка – Челябинский антиклинорий и Копейский синклинорий. Границей между ними является Челябинский разлом,



Рисунок 3. Дисперсная зона.
Figure 3. Dispersal zone.



Рисунок 4. Зона литомаржа.
Figure 4. Lithomarge zone.



Рисунок 5. Обломочная зона.
Figure 5. Rubble zone.

заложение которого произошло, вероятно, в рифее. Активные движения по нему продолжались до неотектонического этапа. Строение зоны Челябинского разлома сложное. В западной краевой части Челябинского разлома развиты катаклазированные гнейсы с многочисленными инъекциями гранитов. Осевая часть зоны разлома сложена гранитизированными брекчиями и сланцеватыми апобазальтами. Восточная краевая часть представлена пиритизированными аповулканитовыми сланцами, порфиритоидами, зонами дробления и рассланцевания. Породы в зоне Челябинского разлома многочисленными хаотично ориентированными тектоническими нарушениями и трещинами разбиты на блоки разной величины вплоть до щебня; по трещинам наблюдаются налеты карбонатов, гидроокислов железа (рис. 6).

Сценарии развития негативных последствий, связанных с зонами повышенной трещиноватости массива пород, являющегося средой, вмещающей тоннель, могут рассматриваться как образование осыпей, обрушений, вывалов, приводящих к нарушению устойчивости кровли и стенок тоннеля [15, 16].

С целью предупреждения развития опасных инженерно-геологических процессов и принятия быстрых решений по безопасности проходки был выполнен прогноз устойчивости массива пород, подвергающихся техногенному воздействию. Прогноз устойчивости был выполнен с использованием геомеханической классификации Н. С. Булычева [1].



Рисунок 6. Интенсивно трещиноватые породы.
Figure 6. Heavy fractured rocks.

Необходимо отметить, что ряд показателей, предложенных автором, не использовался ввиду сложности определения по керну скважин. Степень устойчивости пород, согласно предложенной классификации, определяется следующими факторами:

- физико-механические свойства пород;
- показатель качества керна;
- модуль трещиноватости.

Анализ перечисленных факторов позволил выполнить инженерно-геологическое районирование и выделить в массиве пород пять категорий с различной степенью устойчивости (рис. 7, таблица)

Весьма устойчивые породы (I класс) развиты фрагментарно в пределах пикетов ПК 82–ПК 112 (рис. 1).

На таких участках при проходке тоннеля метрополитена опасных инженерно-геологических процессов не прогнозируется. Поэтому сценарии их развития не рассматриваются.

Устойчивые породы (II класс) развиты фрагментарно в пределах пикетов ПК 65–ПК 115. На участках увеличения интенсивности трещиноватости, в границах развития устойчивых пород возможно образование единичных вывалов в кровле тоннеля. Образование вывалов будет происходить по следующему сценарию: при проходке участков с повышенной степенью трещиноватости вывалы могут образовываться в первые часы и дни после проходки в результате планомерной разгрузки массива. Объем единичных вывалов не будет превышать первых единиц кубических метров. На участках увеличения интенсивности трещиноватости, согласно рекомендациям, необходимо использовать анкерную либо набрызгбетонную крепь, чтобы избежать развития вывалообразования.

Породы средней устойчивости (III класс) развиты преимущественно в пределах пикетов ПК 57–ПК 65 и ПК 69–ПК 86, на остальных участках – фрагментарно в виде участков шириной не более 60 м. На таких участках возможно образование вывалов в кровле тоннеля. Образование вывалов будет происходить по следующему сценарию – при проходке пород данной категории вывалы будут образовываться в первые часы и дни после проходки в результате планомерной разгрузки массива.

Объем единичных вывалов не будет превышать первых десятых кубических метров. На участках развития пород III класса устойчивости, согласно рекомендациям, необходимо использовать набрызгбетон с анкерами и металлической сеткой либо металлическую рамную крепь, чтобы избежать развития вывалообразования.

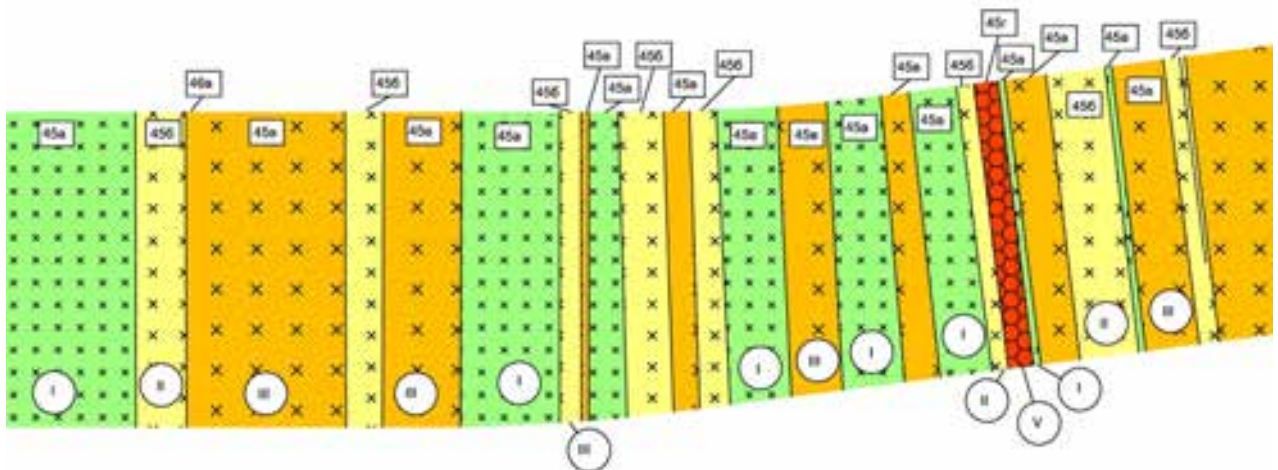


Рисунок 7. Фрагмент карты инженерно-геологического районирования по степени устойчивости пород в кровле тоннеля.
Figure 7. Fragment of a map of engineering-geological zoning according to the degree of rock stability in the roof of a tunnel

**Классификация устойчивости пород кровли тоннеля Челябинского метрополитена.
Classification of the rocks stability of the tunnel roof of the Chelyabinsk underground line.**

Класс массива (категория устойчивости)	Качественная оценка состояния (степень устойчивости пород)	Характеристика пород	Номера ИГЭ, слагающих класс	Количественные характеристики		Продолжительность устойчивости	Характеристика состояния пород и развития инженерно-геологических процессов при проходке тоннеля
				Модуль трещиноватости пород, м/тр.	Показатель состояния качества пород, RQD		
I	Весьма устойчивые	Скальные породы средней прочности и прочные, очень слаботрещинчатые и слаботрещинчатые	41а, 42а, 43а, 44а, 45а, 46а	<4	70-100	10 лет при пролете 15 м	Вывалы и отслоения отсутствуют
II	Устойчивые	Скальные породы средней прочности и прочные, среднетрещиноватые	30б, 37б, 40б, 41б, 42б, 43б, 44б, 45б, 46б	4-8	50-70	6 месяцев при полете 8 м	Возможно образование единичных вывалов
III	Средней устойчивости	Скальные породы средней прочности и прочные, сильно- и очень сильнотрещиноватые	30а, 34а, 35а, 37а, 40а, 41а, 42а, 43а, 44а, 45а, 46а	8-15	20-50	1 неделя при пролете 5 м	Образование вывалов
IV	Неустойчивые	Скальные породы средней прочности раздробленные, жильные образования, элювиальные щебенчатые грунты	28а, 28б, 29, 30а, 34г, 37г, 40г, 41г, 42г, 43г, 44г, 45г, 46г, 47-48	>15	<20	10 часов при пролете 2,5 м	Обрушение
V	Весьма неустойчивые	Рыхлые несвязные породы (тектонические, элювиальные, аллювиально-пролювиальные отложения, отложения морской кремнисто-терригенной формации, элювиальные супылевые и песчано-дресвяные отложения)	1-2б, 27а, 27б	-	-	30 минут при пролете 1 м	Обрушение и осыпание вслед за обнажением

Неустойчивые породы (IV класс) развиты преимущественно в пределах пикетов ПК 43–ПК 57. На остальных участках распространены фрагментарно в виде участков шириной не более 30 м и представлены жильными образованиями и раздробленными породами. Для таких участков характерно образование обрушений, которые будут происходить в первые часы после проходки или во время нее, причем чем больше будет участок вскрытия неустойчивых пород, тем более высока вероятность обрушения в короткие сроки. Объем обрушения может достигать десятков кубических метров. На участках развития пород IV класса устойчивости, согласно рекомендациям, необходимо использовать сборную железобетонную либо монолитную бетонную крепь.

Весьма неустойчивые породы (V класс) развиты преимущественно в пределах пикетов ПК 30–ПК 43, и фрагментарно в интервале пикетов ПК 43–ПК 57. На участках развития таких пород при их вскрытии в тоннеле будут происходить обрушения и оплывания в первые минуты после проходки. Объем обрушений может достигать десятков кубических метров. На участках развития пород V класса устойчивости, согласно рекомендациям, необходимо использовать сборную железобетонную либо монолитную бетонную крепь.

Заключение

Выполненные исследования указывают на то, что в процессе строительства подземных выработок формируется взаимодействие между массивом пород и выработкой. Соответственно еще на стадии проектирования должна быть создана адекватная информационная модель инженерно-геологических условий, которая рассматривается как взаимосвязанная система решения двух классов задач – инженерно-геологических и конструкторских. При этом основой должен служить прогноз реакции скального массива на проектные решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений. М.: Недра, 1994. 381 с.
2. Яровой Ю. И. Прогноз деформаций земной поверхности и защита городской застройки при строительстве метрополитена на Урале. Екатеринбург: УрГАПС, 1999. 257 с.
3. Bell F. G. Engineering geology and geotechnics. London: Elsevier, 2013. 504 p.
4. McLean A. C., Gribble C. D. Geology for civil engineers. London: E&Spon, 2005. 348 p.
5. Waltham T. Foundations of engineering geology. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2014. 104 p.
6. Абатурова И. В., Стороженко Л. А., Королева И. А., Петрова И. Г. Проблемы получения геологической информации при проведении инженерно-геологических изысканий // 13th Conference and Exhibition Engineering Geophysics. 2017. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700376>
7. Дашко Р. Э. Междисциплинарный подход к решению инженерно-геологических проблем при освоении и использовании подземного пространства городов // Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии: материалы Всерос. конф. Томск, 2015. С. 150–155.
8. Pisetsky V., Lapin S., Vlasov V. The problems and the results of practical application of seismic monitoring and risk assessment of hazardous processes in underground conditions // 12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics. 2016. P. 367–374. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600334>

9. Pisetski V. B., Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Savintsev I. A., Petreova I. G. Solving the problems of obtaining geological information with using geophysical methods of research during engineering-geological surveys // 23rd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 2017. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701984>
10. Барановский А. Г. Состав и строение дисперсной зоны коры выветривания гранитоидов территории города Челябинска // Инженерная геология. 2018. Т. 13, № 4/5. С. 20–34.
11. Шинкарьюк В. А. Прогнозирование устойчивости горного массива в процессе проходки горных выработок // ГИАБ. 2013. № S4 (1). С. 93–101.
12. Nikulina M. E., Gorobtsov D. N., Pendin V. V. Engineering and geological audit in design and construction of linear transport facilities // Procedia engineering. 2017. Т. 189. С. 70–74. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.012>
13. Alrowaimi M., Chopra M., Yun H., Mokhtari S. Experimental Study of Sinkhole Failure Related to Groundwater Level Drops // Journal of Testing and Evaluation. 2019. Т. 48, № 6. <https://doi.org/10.1520/JTE20180064>
14. Xue Y., Zhang X., Li S., Qiu D., Su M., Li L., Li Z., Tao Y. Analysis of factors influencing tunnel deformation in loess deposits by data mining: A deformation prediction model // Engineering Geology. 2018. Т. 232. С. 94–103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.014>
15. Zheng J., Yang X., Lü Q., Zhao Y., Deng J., Ding Z. A new perspective for the directivity of Rock Quality Designation (RQD) and an anisotropy index of jointing degree for rock masses // Engineering geology. 2018. Т. 240. С. 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.013>
16. Naghadahi M. Z., Thewes M., Lavasan A. A. Face stability analysis of mechanized shield tunneling: An objective systems approach to the problem // Engineering Geology. 2019. Vol. 262.105307. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105307>

Статья поступила в редакцию 13 февраля 2019

Engineering and geological conditions as the basis for the construction of underground structures

Irina Valerievna ABATUROVA^{1,*}
Ivan Andreevich SAVINTSEV^{1,**}
Vladislav Sergeevich KOZLOV^{2,***}
Elvina Damirovna NUGMANOVA^{2,****}
Evgeny Alekseevich ZVONAREV^{1,*****}

1Ural State Mining University, Russia, Ekaterinburg 2000 GINGEO, Russia, Ekaterinburg

Relevance of the work. The most significant problem in the construction of underground structures, especially within the city territory, is the determination of parameters for engineering and geological conditions and their possible change during construction.

Purpose of the work: preventing the development of hazardous engineering and geological processes for making quick decisions on safety of tunneling when performing a forecast of the stability of a rock mass subjected to anthropogenic impact. Methodological studies. The tasks and methods of studying the engineering and geological conditions for the design and construction of underground structures are determined by the complexity of natural conditions. At the same time, the content, volume, accuracy and confidence level of the obtained data on engineering-geological conditions should be minimally necessary and sufficient for the design of underground structures. The choice of methodical methods and techniques, the combination of which will allow us designing and implementing a rational set of field, laboratory and office work, has two goals: To study geological- engineering conditions and to evaluate the forecast parameters of changes in geotechnical conditions.

Results of the work and the scope of their application. The forecast was made of the stability of the rock mass using the geomechanical classification by N. S. Bulychev. The analysis of engineering and geological factors affecting the safe holing through an underground structure made it possible to carry out engineering and geological zoning and distinguish five categories in the rock massif with varying degrees of stability of the designed mine working massif. Consideration of the allocated sections of different stability during the design of underground workings will ensure its safe operation.

Conclusion. The performed studies indicate that interaction between the mass of rocks and mining is formed during the process of construction of underground workings. Accordingly, at the design stage, an adequate information model of engineering-geological conditions should be created, which is considered as an interconnected system for solving two types of problems - engineering-geological and developmental. In this case, the basis should be a forecast of the reaction of the rock mass to design decisions.

Keywords: engineering-geological conditions, rock mass, fracturing, physical and mechanical properties, heterogeneity, engineering-geological zoning, stability forecast

REFERENCES

1. Bulychev N. S. 1994, *Mekhanika podzemnykh sooruzheniy* [Mechanics of underground structures]. Moscow, 381 p.
2. Yarovoy Yu. I. 1999, *Prognoz deformatsiy zemnoy poverkhnosti i zashchita gorodskoy zastroyki pri stroitel'stve metropolitena na Urale* [Forecast of deformations of the earth's surface and protection of urban development during the construction of underground line in the Urals]. Ekaterinburg, 257 p.
3. Bell F. G. 2013, *Engineering geology and geotechnics*. London: Elsevier, 504 p.
4. McLean A. C., Gribble C. D. 2005, *Geology for civil engineers*. London: E&Spon, 348 p.
5. Waltham T. 2014, *Foundations of engineering geology*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 104 p.
6. Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Koroleva I. A., Petrova I. G. 2017, *Problemy polucheniya geologicheskoy informatsii pri provedenii inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy* [Problems of obtaining geological information during engineering geological surveys], 13th Conference and Exhibition Engineering Geophysics. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700376>
7. Dashko R. E. 2015, *Mezhdistsiplinarnyy podkhod k resheniyu inzhenerno-geologicheskikh problem pri osvoenii i ispol'zovanii podzemnogo prostranstva gorodov* [The interdisciplinary approach to solving geotechnical problems in the development and use of the underground space of cities], Modern problems of hydrogeology, engineering geology and hydrogeoecology of Eurasia: proceedings of the All-Russian Conference, Tomsk. Pp. 150-155.
8. Pisetsky V., Lapin S., Vlasov V. 2016, The problems and the results of practical application of seismic monitoring and risk assessment of hazardous processes in underground conditions. 12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics. P. 367-374. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600334>
9. Pisetski V. B., Abaturova I. V., Storozhenko L. A., Savintsev I. A., Petrova I. G. 2017, Solving the problems of obtaining geo-logical information with using geophysical methods of research during engineering-geological surveys. 23rd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201701984>
10. Baranovsky A. G. 2018, Composition and structure of the dispersed zone of the weathering crust of granitoids in Chely-abinsk. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], vol 13, No 4/5. Pp. 20-34. (In Russ.)
11. Shinkaryuk V. A. 2013, Forecasting rock mass stability during mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], P. 93-101. (In Russ.)
12. Nikulina M. E., Gorobtsov D. N., Pendin V. V. 2017, Engineering and geological audit in design and construction of linear transport facilities. *Procedia engineering*. Vol. 189. P. 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.012>
13. Alrowaimi M., Chopra M., Yun H., Mokhtari S. 2019, Experimental Study of Sinkhole Failure Related to Groundwater Level Drops. *Journal of Testing and Evaluation*. Vol. 48, No 6. <https://doi.org/10.1520/JTE20180064>

✉ aingeo@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4829-3204>

** office@ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4760-9900>

*** mr.vkla@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0980-8335>

**** nugmanova_elvina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0218-4494>

***** evgen-zvonarev@mail.ru

14. Xue Y, Zhang X., Li S., Qiu D., Su M., Li L., Li Z., Tao Y. 2018, Analysis of factors influencing tunnel deformation in loess deposits by data mining: A deformation prediction model. *Engineering Geology*. Vol. 232. P. 94-103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.014>
15. Zheng J., Yang X., LQ Q., Zhao Y, Deng J., Ding Z. 2018, A new perspective for the directivity of Rock Quality Designation (RQD) and an anisotropy index of jointing degree for rock masses. *Engineering geology*. Vol. 240. P. 81-94. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.013>
16. Naghadehi M. Z., Thewes M., Lavasan A. A. 2019, Face stability analysis of mechanized shield tunneling: An objective systems approach to the problem. *Engineering Geology*. Vol. 262.105307. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105307>

The article was received on February 13, 2019

Оценка пространственной неоднородности ледяного покрова реки Лены методом георадиолокации

Максим Петрович ФЕДОРОВ^{1,*}
Лариса Лукинична ФЕДОРОВА^{1,**}
Александр Васильевич ОМЕЛЯНЕНКО^{2,***}

¹Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Россия, Якутск

²Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, Россия, Якутск

Актуальность. В период ледостава в комплексе гидрометеорологических условий и морфологических характеристик русла на разных участках реки наблюдается пространственная неоднородность ледяного покрова, состоящего из различных типов льда. В настоящее время данный вопрос по определению характеристик ледяного покрова рек методом георадиолокации недостаточно изучен. Авторами проводятся многолетние исследования ледяного покрова методом георадиолокации с борта воздушного судна (вертолет Ми-8, самолет Ан-2, самолет EuroStar SLW).

Цель работы. Исследование пространственной неоднородности толщины льда в зависимости от строения ледяного покрова на примере затороопасного участка р. Лены в районе острова Тинная.

Методы исследований. Для измерения ледяного покрова применен георадар «ОКО-2» (Группа компаний «Логис-Геотех») с модернизированным антенным блоком АБ-400 (центральная частота 400 МГц) с борта воздушного судна Ми-8. По данным георадиолокации выполнена количественная оценка пространственной неоднородности толщины в зависимости от строения ледяного покрова с применением статистического анализа.

Результаты исследований. Анализ полученных результатов георадиолокации показал, что в зоне заберегов прослеживается торосовый лед повышенной толщины с коэффициентом вариации 18–20 %. В зоне фарватера зафиксированы пониженные значения коэффициента вариации толщины монолитного льда 7–10 %. Установлена зональная закономерность пространственного распределения неоднородностей толщины льда от его строения на исследуемой территории, по которой можно проводить распознавание границ распространения различных типов льда в русле реки.

Выводы. Полученные результаты о пространственных характеристиках ледяного покрова могут быть полезны при анализе ледовой обстановки на реках в период весеннего половодья.

Ключевые слова: лед, толщина, типы строения ледяного покрова, река Лена, остров Тинная, георадиолокация.

Введение

В период ледостава с учетом комплекса гидрометеорологических условий и морфологических характеристик русла на разных участках реки наблюдается неоднородность ледяного покрова, состоящего из различных типов льда. На реках выделяют два основных типа строения льда – кристаллический (монолитный) и шуговой (торосовый) [1, 2]. В работе [3] представлены материалы о пространственной вариации толщины с различными характеристиками снежно-ледяного покрова, которые были получены на эталонных участках площадью 100 м². Результаты анализа данных показали, что запросы практики не могут быть удовлетворены дискретными измерениями на гидрологических постах.

Особое место занимают работы [3, 4], в которых выявлены особенности распределения толщины ледяного покрова, полученные по данным радиолокационных аэроледомерных съемок рек, озер, водохранилищ. Материалы георадиолокационных исследований [5–9] показывают, что не рассмотрены вопросы, связанные с определением характеристик ледяного покрова. Актуальной задачей в связи с этим представляются георадиолокационные исследования по определению зависимости пространственной неоднородности толщины льда от типов строения ледяного покрова.

Характеристика участка

Лена – крупнейшая река, протекающая по территории Северо-Восточной Сибири Российской Федерации. Длина вместе с дельтой – 4400 км. Истоком Лены считается небольшое озеро в 7 км к западу от озера Байкал. Река течет с юга на север и впадает в море Лаптевых. По характеру течения условно делится на три части. Верхнее течение – до впадения реки Витим, среднее течение – до впадения реки Алдан и нижнее течение – до дельты. В устье примерно в 150 км от моря начинается обширная дельта Лены [10].

Морфология русла играет важную роль в формировании ледяного покрова. Между реками Витим и Алдан река Лена течет по Приленскому плато в глубокой долине с высокими (до 300 м) крутыми, нередко обрывистыми бортами, изрезанными множеством распадков. Лишь ниже города Покровска река Лена выходит на равнину. Как следствие, происходит резкое расширение долины, а русло разветвляется на протоки. Только пойма имеет ширину 5–7 км, а местами и 15 км, а вся долина имеет ширину 20 км [10]. На этом участке реки толщина льда распределяется по-иному. При падении уровня воды в русле наблюдается лед на берегу малой толщины, а посередине реки – толстый [11].

Для исследования выбран интересный участок около острова Тинная (рис. 1). Русло реки Лены в данном месте однорукавное, с четкой выраженной параболической формой. По данным источника [2], от острова Батамайский до острова Тинная ежегодно в период весеннего половодья происходит задержка вскрытия реки. На этом отрезке образуются скопления льдин протяженностью до 100 км, которые уменьшают открытое сечение русла реки до 80 %. Из-за наличия островов в русле реки происходит увеличение толщины льда до 200 см, что существенно ограничивает льдопропускную способность русла в период весеннего половодья.

Методика исследования

Исследования пространственной неоднородности толщины ледяного покрова р. Лены в период ледостава проведены на затороопасном участке в районе острова Тинная. По ранее проведенным исследованиям ледяного покрова была

*mpfedoroff@gmail.com

**Lar-fed-90@rambler.ru

***Omealex47@yandex.ru

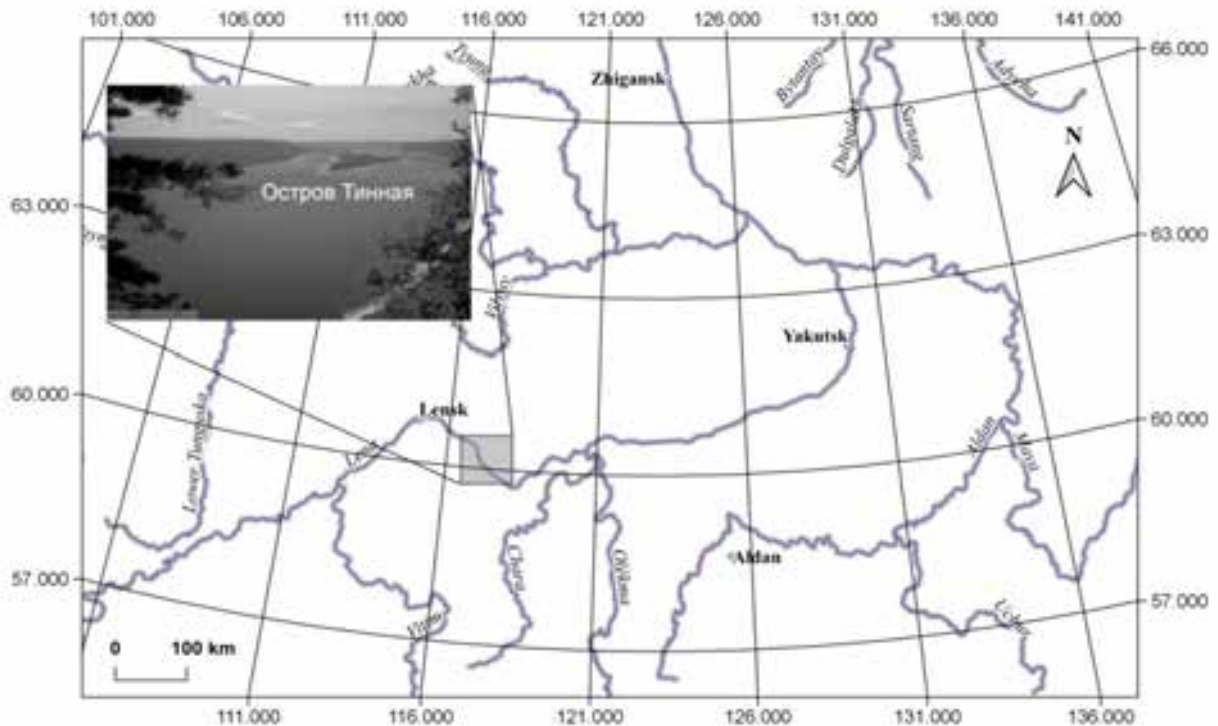


Рисунок 1. Участок исследования ледяного покрова р. Лены в районе острова Тинная.
Figure 1. Site of the study of the Lena ice cover in the area of the Tinnaya island

отработана методика георадиолокационных измерений с борта воздушного судна (вертолет Ми-8, самолет Ан-2, самолет EuroStar SLW). В результате были модернизированы приемно-передающее устройство, расположенное в антенном блоке АБ-400 (центральная частота 400 МГц) георадара «ОКО-2» (Группа компаний «Логис-Геотех») и система высокоскоростной записи информации, позволяющая регистрировать большой объем данных при высоких скоростях полета до 150 км/ч [12]. Антенный блок был закреплен с помощью специальной подвески за люк вертолета Ми-8. Высота полета воздушного судна составила примерно 20 м, а скорость – 50 км/ч. В процессе измерений были заданы следующие параметры сканирования. Количество точек по глубине – 512; развертка по глубине составила 200 нс, учитывающая временной интервал распространения электромагнитной волны в воздухе (высота полета) и в слое ледяного покрова (толщина льда); накопление георадиолокационных трасс в каждой точке с последующим усреднением – 4, шаг между трассами составил 1 м и диэлектрическая проницаемость пресноводного льда – 3.2 [3, 12].

В данном случае позиционирование данных георадиолокации к местности с использованием приемника GPS не применялось, так как не было необходимости, поскольку на участке исследований находились ориентиры (остров и судоводные знаки), которые были использованы для привязки данных георадиолокации к местности. План георадиолокационных профилей представлен на рис. 2. Три профиля протяженностью 7 км сняты вдоль реки параллельно друг другу, т. е. один пройден по фарватеру, остальные два профиля – по берегам. Два коротких профиля протяженностью 800 м получены поперек реки. Стрелки профилей на плане указывают направление полета вертолета. В результате измерений получено 5 георадиолокационных файлов.

На рис. 4 показана проинтерпретированная радарограмма поперечного профиля р4. Направление радарограммы реверсировано относительно профиля р2. На отрезках 0–275 м и 550–800 м, пролегающих в районе берегов, также выявлен торосовый лед. При этом на отрезке 275–550 м зафиксирован монолитный лед.

На фрагменте радарограммы профиля р3 (рис. 5) прослежен торосовый лед. Поскольку профиль пройден по берегу, то на дневной поверхности льда зафиксированы торосы. Нижняя граница торосового льда также имеет нарушенный характер.

Фрагмент радарограммы р0 демонстрирует состояние ледяного покрова в фарватере. Обращает на себя внимание тот факт, что в фарватере преобладает монолитный лед, но местами прослеживается торосовый лед (рис. 6). Радарограмма разделена сегментами из-за различия типов строений ледяного покрова. В сегментах I и III прослеживается торосовый лед, а во II сегменте – монолитный лед. Стоит отметить, что дневная поверхность ледяного покрова относительно ровная.

Результаты

По результатам обработки и интерпретации радарограмм построены графики толщины льда программой Golden Software Grapher. На рис. 7 представлен разрез ледяного покрова по данным профилей р2 и р4. Установлено, что в берегах прослеживается повышенная толщина торосового льда. Толщина льда по фарватеру меньше в сравнении с берегами. График на рис. 8, а, построенный по данным профиля р0, показывает приблизительно однородное распределение толщины льда в фарватере. Графики по данным профилей р1 и р3 демонстрируют неравномерное распределение толщины торосового льда на левом и правом берегу (рис. 8, б).

Примечательно, что основные типы строений ледяного покрова по характерным зонам достаточно дифференцированы на спутниковых снимках, полученных методом дистанционного зондирования Земли [17]. Существующие методы

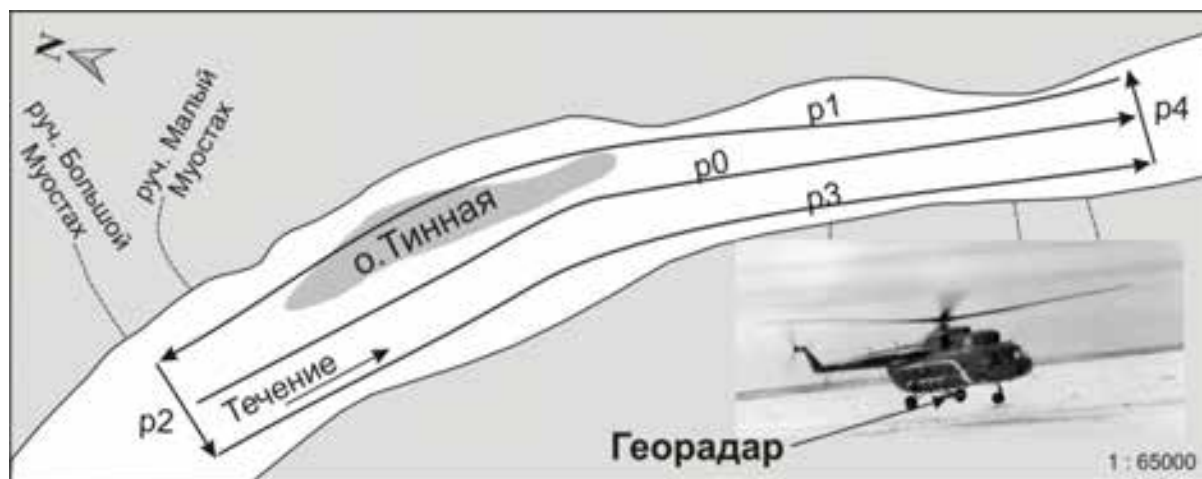


Рисунок 2. План измерений на участке о-ва Тинная.
Figure 2. Measurement plan for the area of Tinnaya Island

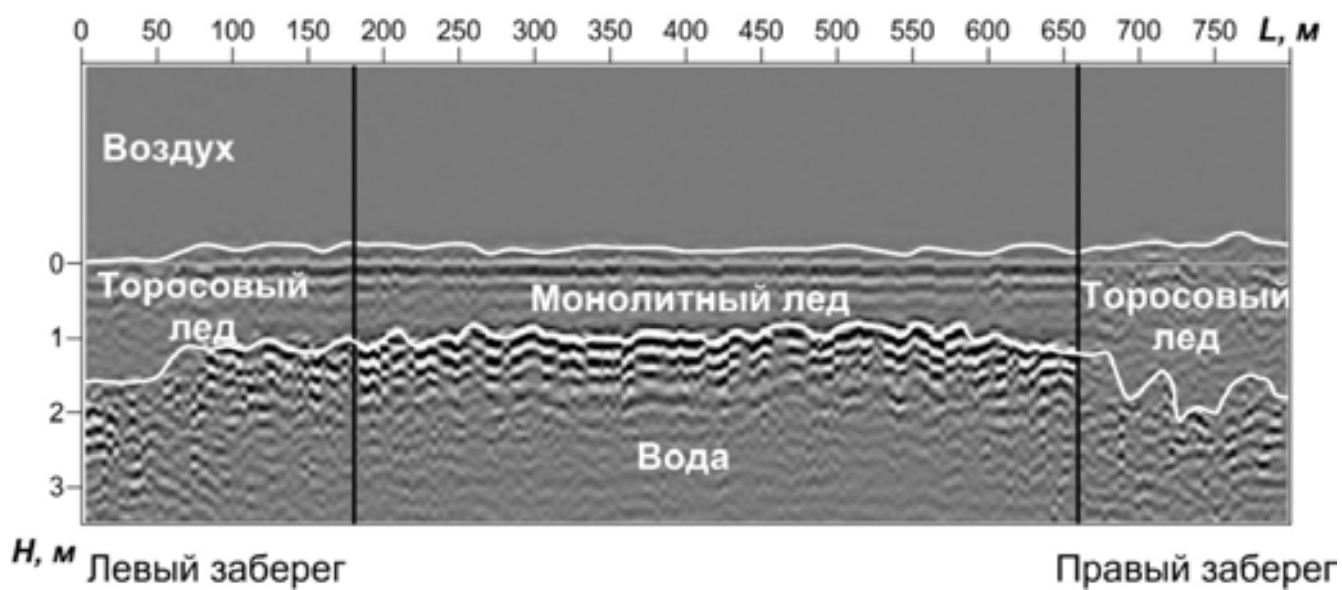


Рисунок 3. Проинтерпретированная радарограмма поперечного профиля p2.
Figure 3. Interpreted radargram of the transversal profile p2

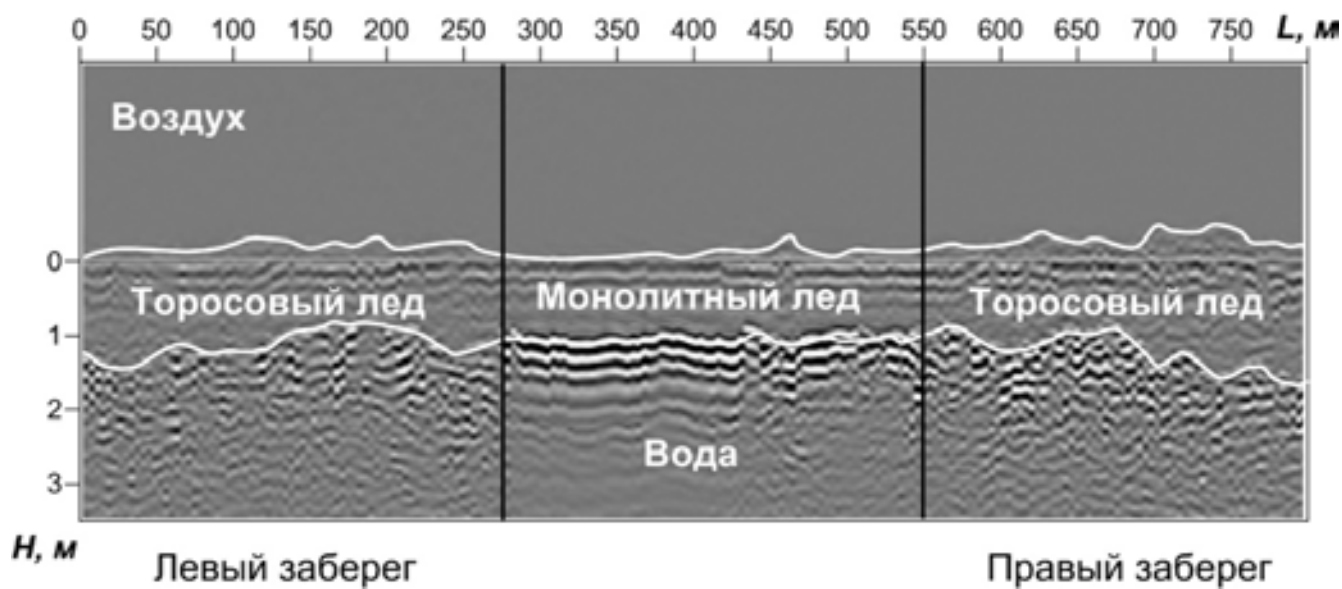


Рисунок 4. Проинтерпретированная радарограмма поперечного профиля p4.
Figure 4. Interpreted radargram of the transversal profile p4.

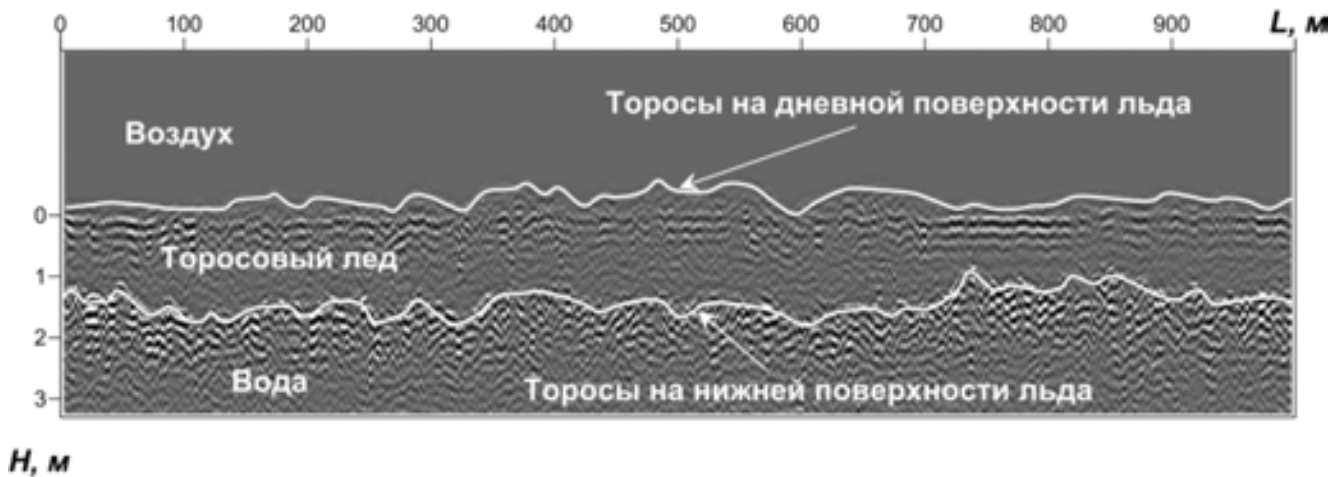


Рисунок 5. Фрагмент радарограммы продольного профиля р3.
Figure 5. Fragment of the radarogram of the longitudinal profile p3.

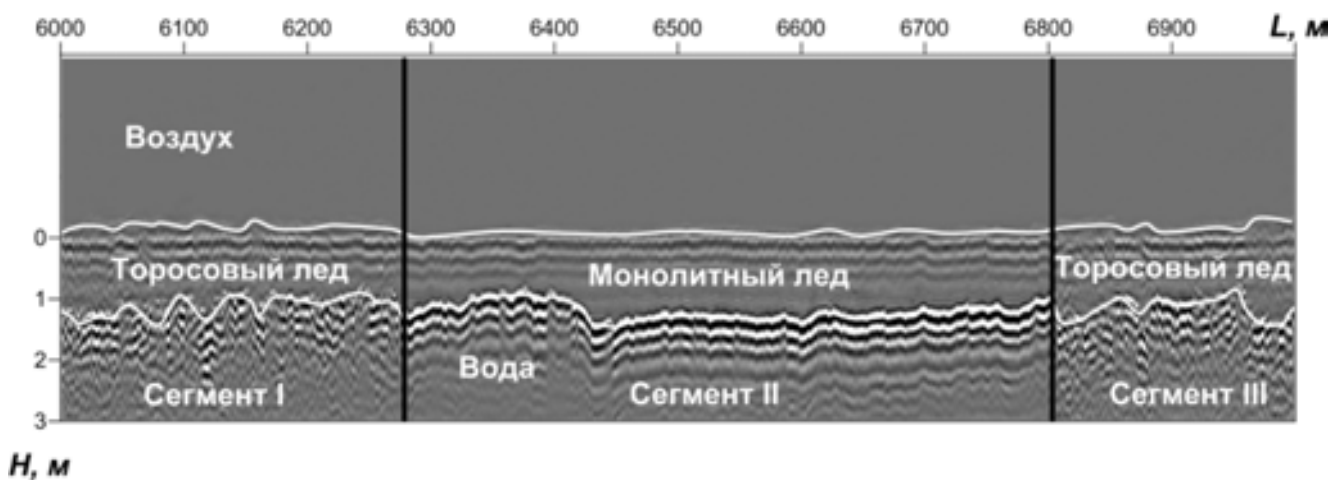


Рисунок 6. Фрагмент радарограммы продольного профиля р0.
Figure 6. Fragment of the radarogram of the longitudinal profile p0.

дешифрирования осуществляют переход от яркости изображения к характеристикам строения льда [18, 19]. При распознавании используется ряд признаков. Прямые признаки – тон, тональная структура и текстура изображения объекта, размеры и форма. Косвенные признаки – взаимная связь объектов с окружающей средой. Спутниковые снимки исследуемого участка в районе острова Тинная имеют низкое разрешение, что затрудняет произвести дешифровку.

Полученные результаты георадиолокационных измерений показали, что прослеживается изменчивость толщины льда в зависимости от расположения в русле реки и по типу строений ледяного покрова. Поэтому для количественной оценки пространственной неоднородности толщины льда применен статистический анализ. При определении вариации толщины льда использована система абсолютных и относительных статистических показателей:

- среднее значение толщины льда $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x}{n}$;
- среднее квадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$;
- коэффициент вариации $v = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100 \%$.

В процессе выполнения расчетов выполнена выборка данных по профилям р2, р4 в соответствии с характерными зонами – фарватер, левый и правый берег с целью получения достоверных данных по типу строений ледяного покрова. Сгруппированные данные по зонам представлены в табл. 1.

Результаты статистических показателей по данным р2 и р4 представлены в табл. 2. Данные показывают, что в зоне фарватера не выявлены заметные различия монолитного льда. Коэффициент вариации в зоне фарватера находится в пределах от 7 до 10 %. В берегах прослеживается изменчивость повышенной толщины торосового льда с коэффициентом вариации 18–20 %.

Данные продольных профилей р0, р1 и р3 (табл. 3) также подтверждают характерные закономерности распределения толщины льда в берегах и в фарватере. Сравнение данных левого и правого берега показало, что вариация толщины льда составила 18–20 %. Также необходимо выделить профиль р0, пролегающий по фарватеру, в котором коэффициент вариации составил 14 % при среднем значении толщины льда 98 см. Завышенное значение коэффициента

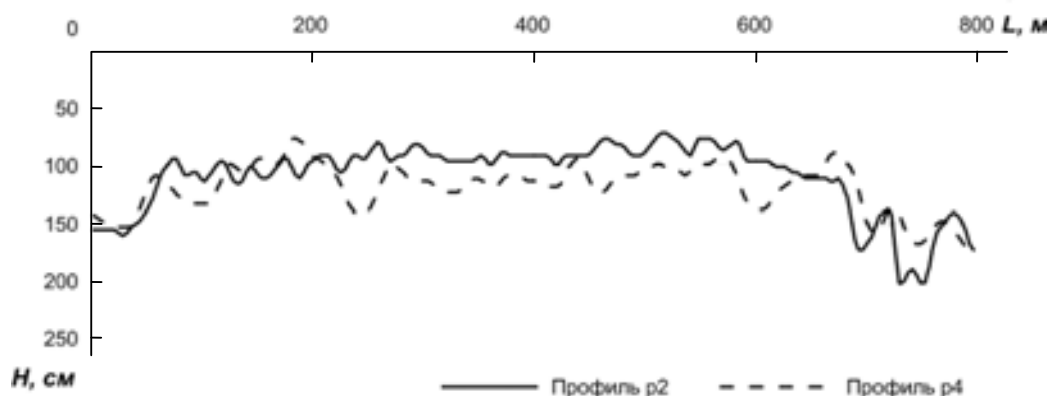


Рисунок 7. Графики толщины льда по данным поперечных профилей p2 и p4.
Figure 7. Graphs of ice thickness according to transversal profiles p2 and p4.

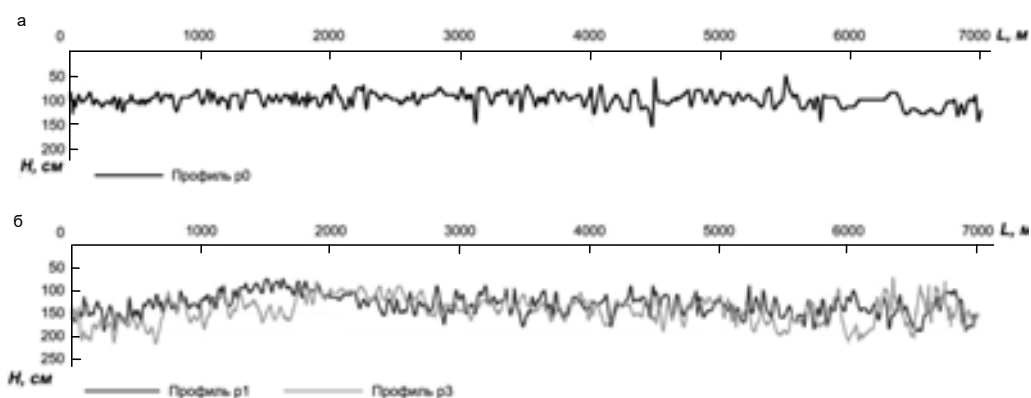


Рисунок 8. Графики толщины льда по данным продольных профилей p0, p1 и p3.
Figure 8. Graphs of ice thickness according to the longitudinal profiles p0, p1 and p3

вариации обусловлено различием типов строений ледяного покрова в фарватере. Подтверждение этому находим во фрагменте радарограммы p0 (рис. 6), в котором прослеживается чередование монолитного и торосового льда.

Заключение

Результаты георадиолокационных исследований пространственной неоднородности толщины ледяного покрова р. Лены получены на примере острова Тинная. На основе данных по толщине льда выполнен статистический анализ, который показал, что зона заберегов характеризуется повышенной толщиной торосового льда с коэффициентом вариации

Таблица 1. Группировка георадиолокационных данных по характерным зонам.
Table 1. Grouping GPR data by characteristic zones

Поперечные георадиолокационные профили	Зона левого заберега	Зона фарватера	Зона правого заберега
p2	0–180 м	180–660 м	620–800 м
p4	0–275 м	275–550 м	550–800 м

Таблица 2. Статистические показатели данных поперечных профилей p2 и p4.
Table 2. Statistical indicators of transversal profiles p2 and p4.

Статистические показатели	p2/p4		
	Зона левого заберега	Зона фарватера	Зона правого заберега
\bar{x}	120/117	91/111	157/129
σ	23/22	9/7	28/26
v	19/19	10/7	18/20

Таблица 3. Статистические показатели данных продольных профилей p0, p1 и p3.
Table 3. Statistical indicators of longitudinal profiles p0, p1 and p3.

Статистические показатели	p1 левый заберег	p0 фарватер	p3 правый заберег
\bar{x}	129	98	141
σ	23	14	28
v	18	14	20

18–20 %. В зоне фарватера отмечены пониженные значения коэффициента вариации толщины монолитного льда 7–10 %. При чередовании монолитного и торосового льда в зоне фарватера коэффициент вариации составил 14 %.

Установлена зональная закономерность распределения толщины ледяного покрова от его строения на исследуемой территории, по которой можно проводить распознавание границ распространения различных типов льда в русле реки. Полученные материалы исследований представляют качественно новую гидрологическую и гляциологическую информацию, позволяющую характеризовать ледяной покров по длине реки и могут быть полезны при анализе ледовой обстановки на реках в период весеннего половодья.

Благодарности

Авторы выражают свою благодарность начальнику отдела гидропрогнозов Федерального государственного бюджетного учреждения Якутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды К. И. Кусатову за практические советы при проведении исследования и продуктивные дискуссии при написании статьи, благодарность начальнику ГКУ РС (Я) «Служба спасения РС (Я)» Н. А. Находкину и заместителю начальника А. Н. Быкову за организацию георадиолокационных исследований с борта воздушного судна (Ми-8).

ЛИТЕРАТУРА

1. Донченко Р. В. Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1987. 248 с.
2. Войтковский К. Ф. Основы гляциологии. М.: Наука, 1999. 256 с.
3. Финкельштейн М. И., Лазарев Э. И., Чижов А. Н. Радиолокационные аэроледомерные съемки рек и озер, водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 117 с.
4. Чижов А. Н. Формирование ледяного покрова и пространственное распределение его толщины. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 127 с.
5. Moldoveanu-Constantinescu M., Stewart R. 3D ground penetrating radar surveys on a frozen river lagoon // Recorder. Official publication of the Canadian Society of Exploration Geophysicists. 2004. Vol. 29, № 09. <https://csegrecorder.com/articles/view/3d-ground-penetrating-radar-surveys-on-a-frozen-river-lagoon>
6. Best H., McNamara J. P., Liberty L. Association of Ice and River Channel Morphology Determined Using Ground-penetrating Radar in the Kuparuk River, Alaska // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2005. Vol. 37, № 2. P. 157–162.
7. Healy D., Katopodis C., Tarrant P. Application of Ground Penetrating Radar for River Ice Surveys // 14th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Quebec City, June 19–22, 2007. https://www.researchgate.net/publication/228894967_Application_of_ground_penetrating_radar_for_river_ice_surveys
8. Delaney A. J., Arcone S. A., Chacho E. Winter Short-Pulse Radar Studies on the Tanana River, Alaska // Arctic. 1990. Vol. 43, № 3. P. 244–254. <http://dx.doi.org/10.14430/arctic1618>
9. Galley R. J., Trachtenberg M., Langlois A., Barber D. G., Shafai L. Observations of geophysical and dielectric properties and ground penetrating radar signatures for discrimination of snow, sea ice and freshwater ice thickness // Cold Regions Science and Technology. 2009. Vol. 57, issue 1. P. 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2009.01.003>
10. Глушков А. В. Реки востока России: путеводитель-справочник. 2-е изд. Якутск, 2016. 502 с.
11. Fedorov M. P., Fedorova L. L., Omelyanenko A. V., Kulyandin G. A. Study of Formation of Lena River Ice Cover According of Decade Measurements by GPR // 15th International Conference on ground Penetrating Radar. 2014. <https://doi.org/10.1109/ICGPR.2014.6970434>
12. Fedorov M. P., Fedorova L. L., Omelyanenko A. V. Investigation of the Lena river ice cover by GPR from helicopter // 14th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 4–8, 2012. Shanghai, China 2012. <https://doi.org/10.1109/ICGPR.2012.6254958>
13. Мачерет Ю. Я. Радиозондирование ледников. М.: Научный мир, 2006. 392 с.
14. Ермаков А. П., Старовойтов А. В., Владов М. Л. Георадиолокационные исследования верхней части разреза при проектировании сейсмических работ в зимнее время // Технологии сейсморазведки. 2012. № 2. С. 89–97.
15. Fedorov M. P., Fedorova L. L., Savvin D. V., Kulizhnikov A. M. The study of the ice crossings on the rivers by the ground-penetrating radar // 16th International Conference of Ground Penetrating Radar. June 13–16, 2016. Hong Kong, China, 2016. <https://doi.org/10.1109/ICGPR.2016.7572625>
16. Michel B., Ramseier R. O. Classification of river and lake ice // Canadian Geotechnical Journal. 1971. Vol. 8. P. 36–45. <https://doi.org/10.1139/t71-004>
17. Аншаков Г. П., Журавель Ю. Н., Ращупкин А. В. Использование мульти- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования для автоматизированного мониторинга рек и водоемов в весенний период // Компьютерная оптика. 2015. Т. 39, № 2. С. 224–233.
18. Йоханнессен О. М., Александров В. Ю., Фролов И. Е. и др. Научные исследования в Арктике. Т. 3. Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение и применение. СПб.: Наука, 2007. 512 с.
19. Thuan Chu, Apurba Das, Karl-Erich Lindenschmidt. Monitoring the Variation in Ice-Cover Characteristics of the Slave River, Canada Using RADARSAT-2 Data – A Case Study // Remote Sensing. 2015. Vol. 7(10). P. 13664–13691. <https://doi.org/10.3390/rs71013664>

Статья поступила в редакцию 03 июля 2019 года

Estimation of spatial heterogeneity of the Lena River ice cover using the ground penetrating radar

Maksim Petrovich FEDOROV^{1,*}
Larisa Lukinichna FEDOROVA^{1,**}
Aleksandr Vasil'evich OMEL'YANENKO^{2***}

¹N. V. Chersky Mining Institute of the North of the Siberian Branch of RAS, Yakutsk, Russia

²Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of RAS, Yakutsk, Russia

Relevancy. During the period of ice formation, in a complex of hydrometeorological conditions and morphological characteristics of the river bed, spatial heterogeneity of the ice cover consisting of various types of ice is observed in different parts of the river. Currently, this issue of determining the characteristics of the ice cover of rivers by the method of georadar is not sufficiently studied. The authors carry out long-term studies of the ice cover using the georadar method from the aircraft (Mi-8 helicopter, An-2 aircraft, EuroStar SLW aircraft).

Purpose of the work. The study of the spatial heterogeneity of the ice thickness depending on the structure of the ice cover using the example of a hazardous section of the Lena river in the area of Tinnaya island.

Research methods. To measure the ice cover, OKO-2 ground-penetrating radar (Logis-Geotech Group of Companies) was used with the upgraded AB-400 antenna unit (center frequency is 400 MHz) on board Mi-8 aircraft. The spatial inhomogeneity of the thickness depending on the structure of the ice cover was quantified using statistical analysis.

Research results. The analysis of the obtained results of georadiolocation showed that there is ice ridge of increased thickness with a coefficient of variation of 18-20% in the ice-free area along the bank of the river. In the fairway channel zone, lower values of variation coefficient of 7-10% monolithic ice thickness were recorded. The zonal regularity of the spatial distribution of the heterogeneity of the ice thickness from its structure in the study area has been determined, which can be used to recognize the distribution boundaries of various types of ice in the river bed.

Conclusions. The results obtained on the spatial characteristics of the ice cover can be useful in analyzing the ice situation on the rivers during the spring flood.

Keywords: ice, thickness, types of structure of ice cover, the Lena, Tinnaya island, ground penetrating radar

REFERENCES

1. Donchenko R V. 1987, *Ledovyy rezhim rek SSSR* [Ice regime of the rivers of the USSR], 248 p.
2. Voitkovskiy K. F. 1999, *Osnovy glyatsiologii* [The basics of glaciology]. Moscow, 256 p.
3. Finkelstein M. I., Lazarev E. I., Chizhov A. N. 1984, *Radiolokatsionnyye aéroledomernyye s"yemki rek i ozer, vodokhranilishch* [Radar airborne surveys of rivers and lakes, reservoirs], 117 p.
4. Chizhov A. N. 1990, *Formirovaniye ledyanogo pokrova i prostranstvennoye raspredeleniye yego tolshchiny* [Formation of ice cover and the spatial distribution of its thickness], 127 p.
5. Moldoveanu-Constantinescu M., Stewart R. 2004, 3D ground penetrating radar surveys on a frozen river lagoon. *Recorder. Official publication of the Canadian Society of Exploration*, vol. 29, no. 09. <https://csegrecorder.com/articles/view/3d-ground-penetrating-radar-surveys-on-a-frozen-river-lagoon>
6. Best H., McNamara J. P., Liberty L. 2005, Association of Ice and River Channel Morphology Determined Using Ground-penetrating Radar in the Kuparuk River, Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, vol. 37, no. 2, P. 157–162.
7. Healy D., Katopodis C., Tarrant P. 2007, Application of Ground Penetrating Radar for River Ice Surveys. *14th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Quebec City*. https://www.researchgate.net/publication/228894967_Application_of_ground_penetrating_radar_for_river_ice_surveys
8. Delaney A. J., Arcone S. A., Chacho E. 1990, Winter Short-Pulse Radar Studies on the Tanana River, Alaska. *Arctic*, vol. 43, no. 3, P. 244–254. <http://dx.doi.org/10.14430/arctic1618>
9. Galley R. J., Trachtenberg M., Langlois A., Barber D. G., Shafai L. 2009, Observations of geophysical and dielectric properties and ground penetrating radar signatures for discrimination of snow, sea ice and freshwater ice thickness. *Cold Regions Science and Technology*, vol. 57, issue 1, P. 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2009.01.003>
10. Glushkov A. V. 2016, Rivers of the east of Russia: Guidebook. 502 p.
11. Fedorov M. P., Fedorova L. L., Omelyanenko A. V., Kulyandin G. A. 2014, Study of Formation of Lena River Ice Cover According of Decade Measurements by GPR. *15th International Conference on ground Penetrating Radar*. <https://doi.org/10.1109/ICGPR.2014.6970434>
12. Fedorov M. P., Fedorova L. L., Omelyanenko A. V. 2012, Investigation of the Lena river ice cover by GPR from helicopter. *14th International Conference on Ground Penetrating Radar, June 4–8. Shanghai, China 2012*. <https://doi.org/10.1109/ICGPR.2012.6254958>
13. Macheret Yu. Ya. 2006, *Radiozondirovaniye lednikov* [Radiosonde measurement of glaciers]. Moscow, 392 p.
14. Ermakov A. P., Starovoitov A. V., Vladov M. L. 2012, GPR studies of the upper section during the design of seismic works in winter. *Tekhnologii seismorazvedki* [Seismic Technologies], no. 2, P. 89–97. (In Russ.)
15. Fedorov M. P., Fedorova L. L., Savvin D. V., Kulizhnikov A. M. 2016, The study of the ice crossings on the rivers by the ground-penetrating radar. *16th International Conference of Ground Penetrating Radar. June 13–16. Hong Kong, China*. <https://doi.org/10.1109/ICG-PR.2016.7572625>
16. Michel B., Ramseier R. O. 1971, Classification of river and lake ice. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 8, pp. 36–45. <https://doi.org/10.1139/t71-004>
17. Anshakov G. P., Zhuravel Yu. N., Raschupkin A. V. 2015, The use of multi- and hyperspectral remote sensing data for automated monitoring of rivers and reservoirs in the spring. *Komp'yuternaya optika* [Computer optics], vol. 39, no. 2, P. 224–233. (In Russ.)
18. Johannessen O. M., Aleksandrov V. Yu., Frolov I. E. et al. 2007, *Nauchnyye issledovaniya v Arktike* [Scientific research in the Arctic]. Vol. 3. Remote sensing of sea ice on the Northern Sea Route: study and application. Saint Petersburg, 512 p.
19. Thuan Chu, Apurba Das, Karl-Erich Lindenschmidt. 2015, Monitoring the Variation in Ice-Cover Characteristics of the Slave River, Canada Using RADARSAT-2 Data – A Case Study. *Remote Sensing*, vol. 7(10), P. 13664–13691. <https://doi.org/10.3390/rs71013664>

The article was received on July 03, 2019

*mpfedoroff@gmail.com

**Lar-fed-90@rambler.ru

***Omealex47@yandex.ru

Радиационные исследования отвалов Кизеловского угольного бассейна

Елена Александровна МЕНЬШИКОВА^{*},
Сергей Михайлович БЛИНОВ^{**},
Дмитрий Александрович БЕЛЫШЕВ^{***},
Роман Дмитриевич ПЕРЕВОЩИКОВ^{****}

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, Пермь

Актуальность работы. Достаточно широкое распространение углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов и растущие показатели использования этого полезного ископаемого в энергетической отрасли ставят задачи исследования возможных радиоэкологических проблем, связанных с его добычей, транспортом и сжиганием. В связи с активизацией внимания к реализации направления отложенного ресурсного потенциала различных отходов актуальны и исследования пород шахтных отвалов угледобычи на предмет их радиационной безопасности.

Целью исследования является оценка потенциальной радиационной опасности пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна на территории г. Губахи Пермского края.

Методы изучения. Исследования включали измерения мощности амбиентного эквивалента дозы непрерывного гамма-излучения (МЭД) и удельных активностей основных радионуклидов природного происхождения (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) гамма-спектрометрическим методом.

Результаты. Породы исследованных отвалов характеризуются допустимым уровнем удельной эффективной активности естественных радионуклидов в диапазоне изменений 52–238 Бк/кг. Наибольший вклад в этот показатель вносит активность ^{226}Ra (до 63 %), несколько меньший связан с ^{232}Th (до 40 %) и ^{40}K (до 28 %). Согласно результатам проведенных исследований, по показателю МЭД породы шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна соответствуют требованиям нормативных документов в области радиационной безопасности, в том числе для территории жилой застройки. При этом для основного объема проб измеренные значения МЭД превышают фоновое гамма-излучение. Для отдельных отвалов отмечена закономерность увеличения гамма-излучения с глубиной, обусловленная гипергенным переносом элементов из поверхностных слоев отвалов.

Выводы. Полученные результаты демонстрируют отсутствие ограничений по радиационным характеристикам для возможного использования вещества отвалов Кизеловского угольного бассейна и дополняют широкий перечень опубликованных исследований по экологическому состоянию этой территории.

Ключевые слова: уголь, шахтные отвалы, радиоактивность, естественные радионуклиды, Кизеловский угольный бассейн, Пермский край.

Введение
В настоящее время для оценки экологического состояния территорий часто применяются методы оценки потенциальной радиационной опасности объектов окружающей среды и гамма-спектрометрические измерения активности естественных радионуклидов. В связи с активизацией использования угля в качестве топлива, темпы роста которого в мире превышают использование нефти, все больший интерес вызывают радиоэкологические проблемы, связанные с добычей, транспортом и сжиганием угля. В природе достаточно широко распространены угли с повышенным содержанием естественных радионуклидов, в связи с чем энергетика, основанная на использовании угля, а также объекты размещения отходов предприятий угольной промышленности часто являются источниками загрязнения окружающей среды радионуклидами.

Отечественные исследования, связанные с оценкой радиационной опасности при добыче и сжигании угля, проведены в основных угледобывающих районах Сибири и Дальнего Востока [1, 2]. Известно о существенном увеличении активности радионуклидов в твердых продуктах сжигания угля [3]. Так, по данным исследований Уртуйского бурого угольного месторождения, угли которого отличаются высоким содержанием природных радиоактивных элементов, увеличение активности радионуклидов в угольных шлаках в сравнении с углем составляет 5,5 раза, в золе – 8,7 раза [4]. При сжигании углей даже с низкими концентрациями радиоактивных элементов в их продуктах сжигания содержание этих элементов обычно увеличивается в 3–4 раза по отношению к исходному топливу.

Активные исследования радиоактивности углей проводятся в Китае [5]. Результаты исследований по удельной активности ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U в углях месторождений в провинции Юньнань в Восточном Китае демонстрируют аналогичный уровень этих показателей в сравнении с обобщенными данными для углей территории Китая. При этом полученные результаты отличаются более высокими значениями в сравнении с данными по углям Австралии и Польши.

Радиационные исследования угольных отвалов в последние годы проводятся на территории Польши [6], где угольная отрасль создает наибольшее количество отходов в сравнении со всеми промышленными отходами страны – около 30 млн т в год. На площади 4000 га к настоящему времени размещено более 760 млн т отходов добычи каменного угля. Природоохранными нормами стран Европейского союза отвалы отходов угледобычи рассматриваются как важный вторичный ресурс, прежде всего для дополнительного извлечения угля [7], а также для дорожного и гражданского строительства, закладки заброшенных подземных выработок. В связи с этим возможное активное использование этих отходов предполагает их радиационную безопасность.

✉ menshikova_e@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5199-7590>

✉ blinov_s@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4953-3567>

✉ dmitry-belyshev@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9917-5593>

✉ rperevoshnikov@bk.ru

Объектом данных исследований являются породы отвалов угольных шахт объединения «Кизелуголь» в окрестностях города Губахи Пермского края. Кизеловский угольный бассейн вытянут узкой полосой в меридиональном направлении вдоль западного склона Среднего Урала, имеет протяженность более 100 км, а ширину 15–20 км.

Добыча угля на этой территории велась еще с конца XVIII в., но интенсивное развитие получила с 1930-х гг. В период активной разработки в годы Великой Отечественной войны и послевоенное время в бассейне насчитывалось 37 шахт с ежегодной добычей около 12 млн т. По причине нерентабельности добычи в сложных горно-геологических условиях в 1997 г. началась ликвидация шахт, завершенная к 2002 г.

Разработка месторождений угля в Кизеловском бассейне сопровождалась образованием породных отвалов, в которых размещались обломки аргиллитов, песчаников, известняков с присутствием угля. Кроме того, в них содержится древесина, металлические предметы и строительный мусор. Уголь, формирующийся за счет медленного разложения органического вещества под действием биологических и геологических процессов, всегда содержит в своем составе природные радиоактивные вещества уранового и актиноуранового рядов (^{238}U и продукты его распада ^{234}U , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Pb , ^{210}Po и т. д.; ^{235}U и продукты его распада ^{219}Rn и т. д.), ториевого ряда (^{232}Th и продукты его распада ^{220}Rn , ^{216}Po), а также долгоживущий радиоактивный изотоп ^{40}K . Таким образом, естественная радиоактивность угля формируется за счет природных радионуклидов. Уран в окислительных условиях земной поверхности, как правило, присутствует в виде хорошо растворимых соединений и поэтому значительно более широко рассеян, чем торий, хотя среднее содержание урана в земной коре ниже, чем тория.

Породы отвалов Кизеловского угольного бассейна неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб. Они складировались в виде терриконов высотой до 80 м, хребтовых и плоских отвалов. В 53 отвалах, занимающих более 300 га, складировано свыше 24 млн м³ твердых отходов угледобычи [8, 9].

Шахтные отвалы, подверженные процессам ветровой и водной эрозии, самовозгоранию, являются крупными объектами загрязнения окружающей среды и наряду с самоизливами кислых шахтных вод определяют экологическую ситуацию этой территории [10, 11]. Горение пород отвалов вызывает образование пустот в их массиве, обрушение и осадку горелых пород, выбросы газов, пыли и горной массы. Термическое воздействие на горную массу отвалов сопровождается преимущественно их выгоранием и спеканием, реже – плавлением. В массиве отвала формируется зональность, обусловленная перераспределением исходного вещественного состава, техногенным минералообразованием, в том числе с формированием неустойчивых фаз водных и безводных сульфатов Al, Fe, Ca, Mg и аммония. Изменение внешнего облика горелых отвалов с черно-серой окраски пород на желто-красную отражает стадии обжига вещества: желтые породы представляют собой продукты начальной стадии обжига, которые составляют основу большинства слабо горевших, чаще всего небольших отвалов; розовые породы – среднетемпературной стадии обжига в окислительной среде и присутствуют во всех горелых отвалах; в зоне отвала, где температура достигает 1000 °С и более, образуется отвальный спек или остеклованный клинкер [12].

Среди широкого перечня опубликованных исследований по экологическим проблемам территории Кизеловского угольного бассейна отсутствует информация о радиационной обстановке. Целью данной работы является оценка потенциальной радиационной опасности шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна. Исследования включали измерения непосредственно на объектах и пробоотбор с дальнейшим лабораторным исследованием пород из шести отвалов шахт «Центральная», «им. Калинина», «Новая», «Нагорная», «Шумихинская» и «им. 40-летия Октября» (рис. 1).

Исследованные отвалы занимают площадь более 60 га, в них складировано более 3 млн м³ горных пород (табл. 1). Форма планировки отвалов до проведения рекультивации была различная: коническая с системой плосковершинных гряд высотой до 6 м с понижениями между ними; хребтовая; плосковершинная с террасированными склонами. В настоящее время практически все отвалы Кизеловского бассейна плоские, технический этап рекультивации предполагал их выравнивание и покрытие слоем глины. В результате биологического этапа рекультивации отвалы частично подвержены процессам зарастания (рис. 2).

Горные выработки для проведения измерений и отбора проб грунта были пройдены преимущественно в пределах останцов – нерекультивированных участков отвалов с первоначальным строением, оставленных для хозяйственного использования. На отвалах шахт «Центральная» и «Нагорная» останцов нет, поэтому выработки были пройдены с проходкой верхнего слоя глины в центральной части отвалов (рис. 2).

Методы исследования

Оценка радиационной опасности пород шахтных отвалов выполнена в соответствии с требованиями действующих нормативных документов МУ 2.6.1.2398-08, НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09) и включала измерение мощности амбиентного эквивалента дозы непрерывного гамма-излучения (МЭД), а также измерение удельной активности естественных радионуклидов гамма-спектрометрическим методом.

При проведении измерений МЭД использовано поверенное оборудование лаборатории экологической геологии Естественного института ПГНИУ. При осуществлении контроля МЭД применялись дозиметры-радиометры с

Таблица 1. Параметры исследованных шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна.

Table 1. Parameters of the investigated mine dumps of the Kizelovsky coal basin.

Шахта	Параметры отвалов до рекультивации, 2003 г. [8]				Форма отвала после рекультивации
	Форма	Площадь, га	Высота, м	Объем, тыс. м ³	
Центральная	Конический	7,5	26	798	Плоский
Им. Калинина	Плоский	0,5	4	16	Плоский
Новая	Плоский	6,1	3	15	Плоский
Нагорная	Конический	3,7	40	261	Плоский
Шумихинская	Плоский	30	11	1253	Плоский
Им. 40-летия Октября	Плоский	12,4	7	719	Плоский

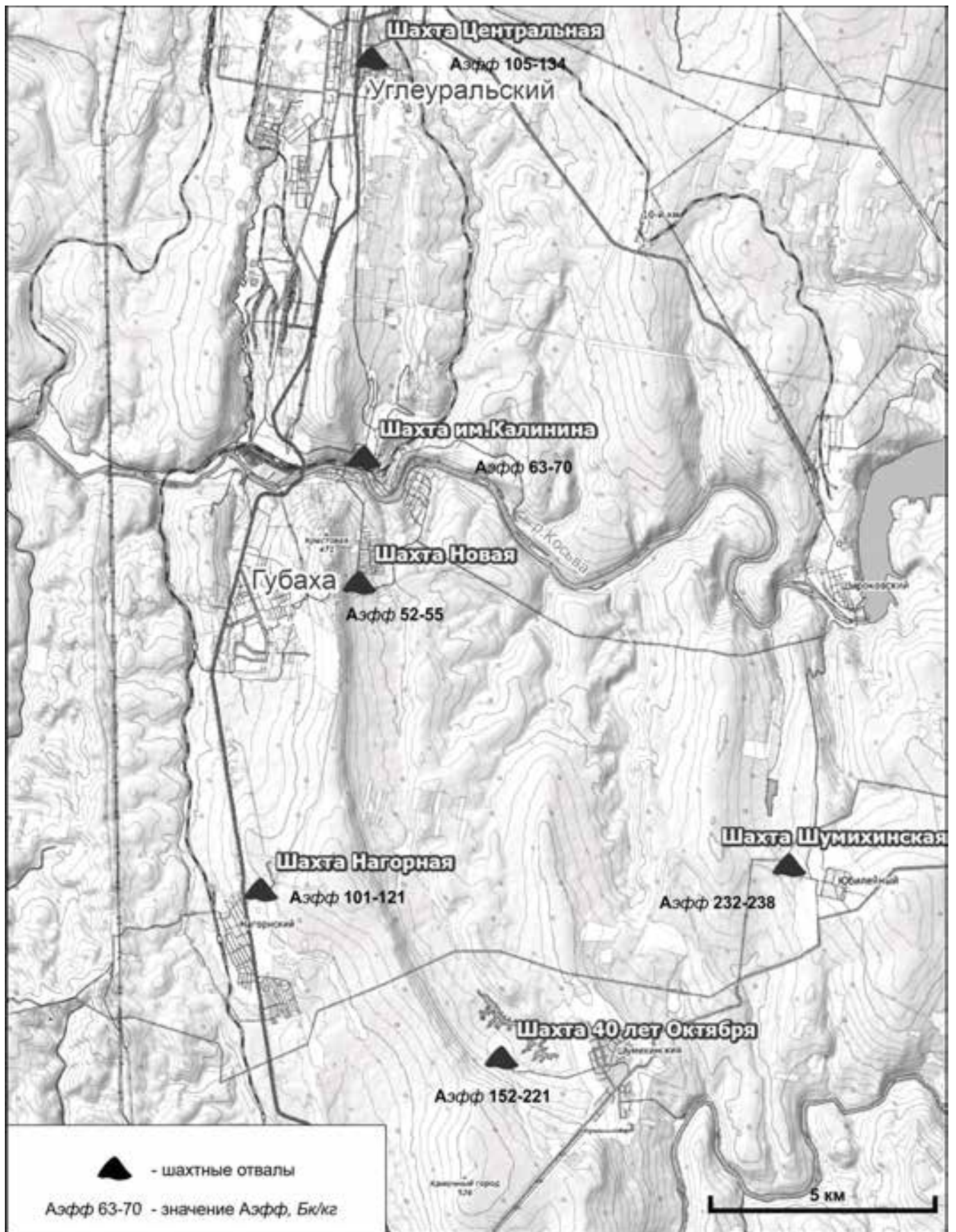


Рисунок 1. Схема расположения объектов исследования и значения удельной эффективной активности ЕРН.
Figure 1. Way-finding diagram of the study and the values of the specific effective activity of natural radionuclides.



**Рисунок 2. Космические снимки исследованных отвалов шахт Кизеловского угольного бассейна.
Figure 2. Space images of the investigated dumps of the mines of the Kizelovsky coal basin.**

автоматическими блоками детектирования, измеряющими мощность дозы гамма-излучения. Технические характеристики используемой аппаратуры соответствовали требованиям п. 4.3. МУ 2.6.1.2398-08.

Гамма-спектрометрические измерения проведены в лаборатории петрофизических исследований кафедры геофизики геологического факультета ПГНИУ. Измерение активности естественных радионуклидов (ЕРН) и определение их содержания проводились при помощи гамма-спектрометра «Мультирад», который представляет собой лабораторное оборудование (в том числе и для передвижных лабораторий) с широким спектром возможностей и может применяться на предприятиях Минатома, Госсанэпиднадзора, МЧС, природоохранных предприятий различных ведомств. Принцип действия этого спектрометра основан на преобразовании энергии ионизирующих излучений в электрические импульсы, которые с помощью аналого-цифрового преобразователя переводятся в цифровой сигнал. Определяемые радионуклиды ^{232}Th , ^{40}K , ^{226}Ra .

Нормирование воздействия ЕРН в соответствии с требованиями НРБ-99/2009 проводится по расчетной величине удельной эффективной активности $A_{\text{эфф}}$, которая характеризует суммарную удельную активность естественных радио-

нуклидов в исследуемом материале, определяемую с учетом их биологического воздействия на организм человека (Бк/кг). Формула для ее расчета имеет вид:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 A_{\text{Th}} + 0,085 A_{\text{K}},$$

где A_{Ra} , A_{Th} удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th находящиеся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, Бк/кг; A_{K} – удельная активность ^{40}K , Бк/кг.

Результаты и их обсуждение

Значения мощности дозы гамма-излучения на территории исследования представлены в табл. 2. По результатам проведенных измерений наблюдаемые значения гамма-излучения находятся пределах 0,10–0,16 мкЗв/ч. Образцов пород отвалов с МЭД гамма-излучения, превышающей нормативные значения в 0,3 мкЗв/ч (для территорий жилой застройки) и 0,6 мкЗв/ч (для промышленных территорий), не обнаружено.

По материалам Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала федерального государственного бюджетного учреждения «Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», на территории Пермского края радиоактивных источников, подлежащих учету Росгидромета, нет [13]. По программе радиационного мониторинга наблюдения ведутся за фоновой мощностью эквивалентной дозы гамма-излучения, как за наиболее опасным излучением, имеющим высокую проникающую способность. Наблюдения проводятся на 17 метеостанциях края. Среднегодовое значение гамма-фона составило по г. Перми и Пермскому краю 0,11 мкЗв/ч.

С учетом фонового подхода к оценке измеренных значений гамма-излучения для основного объема проб этот показатель незначительно (до 1,5 раза) превышает фоновое гамма-излучение в г. Губахе, которое по данным наблюдений [13], для этой территории составляет 0,11 мкЗв/ч. Измеренные значения гамма-излучения пород отвалов, как правило, незначительно превышают и радиационный фон на прилегающей территории. Для отдельных отвалов отмечена закономерность увеличения МЭД гамма-излучения с глубиной – до 27 %, обусловленная, очевидно, гипергенным переносом элементов из поверхностных слоев отвалов в более глубокие.

Определение удельной эффективной активности ЕРН пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна показало отсутствие ограничений для их использования в качестве строительных материалов. С учетом значения удельной эффективной активности ЕРН в диапазоне 52–238 Бк/кг проанализированные образцы согласно п. 5.3.4 НРБ-99 можно отнести к первому классу строительных материалов. В соответствии с указанными нормами допустимая величина $A_{\text{эфф}}$ для первого класса строительных материалов (с возможностью использования их в населенных пунктах) составляет не более 370 Бк/кг. С учетом формулы расчета наибольший вклад в величину $A_{\text{эфф}}$ исследованных пород вносит удельная активность ^{226}Ra (до 63 %), меньший вклад связан с ^{232}Th (до 40 %) и ^{40}K (до 28 %), (табл. 3). Из исследованных отвалов наибольшие значения $A_{\text{эфф}}$ отмечены для отвалов шахты «Шумихинская» (до 238 Бк/кг) и шахты «им. 40-летия Октября» (до 221 Бк/кг) (рис. 1).

Данные об удельной эффективной активности ЕРН углей и породных отвалов различных месторождений отрывочны [14]. Сравнение полученных результатов с опубликованными данными по другим территориям (табл. 3) показывает, что наиболее близкими по усредненным показателям к рассматриваемым объектам Кизеловского угольного бассейна являются данные по породным отвалам Верхнесилезского бассейна в Польше [6]. При этом отмеченные максимальные активности ЕРН для исследованных отвалов на территории Польши показывают однозначное несоответствие пород отдельных отвалов Верхнесилезского бассейна действующим нормативам Российской Федерации для использования в качестве строительных материалов с возможностью применения в населенных пунктах, прежде всего по высоким показателям удельных активностей ^{232}Th и ^{226}Ra .

Опубликованные результаты по углям и породам шахтных отвалов Польши (табл. 2) демонстрируют закономерность большей удельной активности вмещающих пород (размещенных в отвалах) [6] в сравнении с продуктивными

Таблица 2. Значения МЭД гамма-излучения пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна, мкЗв/ч.

Table 2. Values of gamma radiation DER from rocks of mine dumps of the Kizelovsky coal basin, mcSv/h.

Место отбора	Шифр пробы*	МЭД гамма-излучения	Фон на прилегающей территории
Шахта «Центральная»	6P	0,12	0,11
	6G	0,11	
Шахта им. Калинина	4P	0,14	0,12
	4G	0,13	
Шахта «Новая»	5P	0,11	0,11
	5G	0,14	
Шахта «Нагорная»	3P	0,11	0,10
	3G	0,14	
	7P	0,13	
Шахта «Шумихинская»	7G	0,10	0,10
	8P	0,15	
	8G	0,16	
Шахта им. 40-летия Октября, горелый отвал	1G	0,13	0,12
	2P	0,12	
	2G	0,15	
Фоновое гамма-излучение по данным Пермского ЦГМС [13]		0,11	

*Пробы с индексом P отобраны с поверхности, G – с глубины 0,5 м.

Таблица 3. Удельная активность ЕРН пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна.
Table 3. The specific activity of the natural radionuclides of mine dumps rocks of the Kizelovsky coal basin.

Место отбора	Шифр пробы	Величина активности, Бк/кг				Величина вклада активностей ЕРН в общей формуле расчета $A_{эфф}$, %		
		A_{Th}	A_K	A_{Ra}	$A_{эфф}$	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra
Шахта «Центральная»	6P	32,95	447,00	53,25	134,41	32,1	28,3	39,6
	6G	32,25	250,50	41,73	105,26	40,1	20,2	39,7
Шахта им. Калинина	4P	19,52	119,20	35,00	70,70	36,2	14,3	49,5
	4G	13,93	58,20	40,50	63,69	28,6	7,8	63,6
Шахта «Новая»	5P	14,54	60,60	28,30	52,50	36,3	9,8	53,9
	5G	13,29	48,50	33,48	55,00	31,7	7,5	60,8
Шахта «Нагорная»	3P	30,86	277,70	37,18	101,21	39,9	23,3	36,8
	3G	35,41	299,80	49,18	121,05	38,3	21,0	40,7
Шахта «Шумихинская»	7P	64,20	451,00	110,60	233,04	36,1	16,5	47,4
	7G	63,60	429,00	118,60	238,38	35,0	15,3	49,7
	8P	62,90	471,00	109,80	232,23	35,5	17,3	47,2
	8G	62,90	449,00	103,30	223,86	36,3	17,4	46,3
Шахта им. 40-летия Октября, горелый отвал	1G	65,50	491,00	94,00	221,54	38,8	18,8	42,4
	2P	46,19	368,00	61,00	152,78	39,6	20,5	39,9
	2G	44,89	398,00	66,30	158,94	37,0	21,3	41,7
<i>Среднее</i>		40,00	308,00	65,00	144,00	36,1	17,3	46,6
Обобщенные данные по угольным отвалам Верхнесилезского бассейна в Польше [6]:								
минимум		8,00	110,00	8,00				
максимум		850,00	1250,00	632,00				
<i>Среднее</i>		67,00	496,00	62,00				
Средняя удельная активность угля по миру [2]		20,00	50,00	–				
Обобщенные данные по углям различных месторождений [5]:								
Китай		37,50	106,00	49,40				
Польша		14,30	129,90	18,10				
Австралия		24,00	75,00	21,00				

угольными пластами [15]. Указанная закономерность отмечена и исследованиями на рудниках Кузбасса, где содержание ЕРН в углях в 2–5 раз меньше, чем во вмещающих породах [2].

В соответствии с Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» № 3-ФЗ радиационный мониторинг осуществляется на всех стадиях горнодобывающих работ, включая геологоразведочные и эксплуатационные работы. При необходимости проводится оценка качества продукции и отходов. В рамках направления отложенного ресурсного потенциала различных отходов и возможности их вторичного использования в последние годы предлагаются перспективные технологии, учитывающие специфику состава пород угольных отвалов. В частности, разработаны технологии производства строительной керамики [16, 17], когда присутствующие в породах угольные частицы, выгорая при обжиге, позволяют достичь экономии традиционных энергоносителей и получить высококачественные стеновые материалы, востребованные на рынке. Предлагаются технологии с использованием термических процессов в массиве отвалов с целенаправленным обжигом горных пород и с контролируемым достижением заранее заданных физико-механических свойств (крепость, пористость, сорбционная активность и др.) [18, 19].

Заключение

Полученные результаты показали, что исследованные породы шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна по показателю мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы непрерывного гамма-излучения соответствуют требованиям нормативных документов в области радиационной безопасности, в том числе для территории жилой застройки. Уровень удельной эффективной активности естественных радионуклидов составил 52–238 Бк/кг. Наибольший вклад в этот показатель вносит активность ^{226}Ra (до 63 %), несколько меньший связан с ^{232}Th (до 40 %) и ^{40}K (до 28 %).

С учетом величины значения эффективной удельной активности естественных радионуклидов проанализированные образцы пород шахтных отвалов Кизеловского угольного бассейна относятся к первому классу строительных материалов в соответствии с п. 5.3.4 НРБ-99/2009, что допускает их использование в населенных пунктах. Отмеченная закономерность увеличения МЭД гамма-излучения с глубиной, обусловленная гипергенным выносом элементов из поверхностных слоев, ставит задачу оценки радиационных параметров на всю глубину отвального массива, прежде всего для объектов возможного вторичного использования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (задание 5.6881.2017/8.9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидорова Г. П., Крылов Д. А. Оценка содержания радиоактивных элементов в углях и продуктах их сжигания // ГИАБ. 2015. С. 369–376.
2. Крылов Д. А., Овсейчук В. А., Сидорова Г. П. Радиоактивность углей // Энергия: экономика, техника, экология. 2015. № 5. С. 2–11.
3. Pak Y. N., Pak D. Y., Ponomaryova M. V., Baizbayev M. B., Zhelayeva N. V. Radioactivity of Coal and Its Combustion Wastes // Coke and Chemistry. 2018. Vol. 61, № 5. P. 188–192.
4. Суханов Р. А., Сидорова Г. П. Проблемы использования углей с повышенной радиоактивностью // Горный журнал. 2009. № 2. С. 67–69.
5. Xin Wang, Qiyang Feng, Ruoyu Sun, Guijian Liu. Radioactivity of Natural Nuclides (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China // Minerals. 2015. № 5. P. 637–646. <https://doi.org/10.3390/min5040513>
6. Kozłowska B., Walencik A., Dorda J., Zipper W. Radioactivity of dumps in mining areas of the Upper Silesian Coal Basin in Poland // EPJ Web of Conferences. 2012. Vol. 24. 8 p. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20122405006>
7. Gramor Ł. Coal mining waste dumps as secondary deposits – examples from the Upper Silesian Coal Basin and the Lublin Coal Basin // Geology, Geophysics & Environment. 2014. Vol. 40, № 3. P. 285–289. <https://doi.org/10.7494/geol.2014.40.3.285>
8. Красавин А. П., Сафин Р. Т. Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского бассейна в связи с закрытием шахт. Пермь, 2005. 175 с.
9. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края: энцикл. / гл. ред. А. И. Кудряшов. Пермь: Книжная площадь, 2006. 464 с.
10. Бачурин Б. А. Экологические проблемы горнопромышленных районов Пермского края // Экология и промышленность России. 2006. № 4. С. 32–35.
11. Меньшикова Е. А., Блинов С. М. Эколого-геохимическое состояние донных отложений рек Кизеловского угольного бассейна в период после ликвидации шахт // Вестник Пермского университета. 2005. № 3. С. 167–174.
12. Воробьев А. Е., Портнов В. С., Маусымбаева А. Д., Бекетова М. С. Изменение качества углелодной массы в терриконах // Труды университета. 2016. № 3 (64). С. 61–65.
13. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2016 году: доклад. Пермь: ООО «ВК-Сервис», 2017. 222 с.
14. Куркатов С. В. Гигиеническая оценка радиационной опасности углей и попутного минерального сырья Канско-Ачинского угольного бассейна: автореф. дис. ... канд. мед. наук. 14.00.07. Кемерово: КемГМА, 1997. 25 с.
15. Bem H., Wiczorkowski P., Budzanowski M. Evaluation of technologically enhanced natural radiation near the coal-fired power plants in the Lodz region of Poland // Environmental Radioactivity. 2002. Vol. 61, № 2. P. 191–201.
16. Баталин Б. С., Белозерова Т. А., Гайдай М. Ф. Строительная керамика из терриконов Кизеловского угольного бассейна // Стекло и керамика. 2014. № 3. С. 8–10.
17. Гайдай М. Ф., Вайсман Я. И., Глушанкова И. С., Семейных Н. С. Использование отходов угледобычи при производстве строительной керамики по экологически безопасной, ресурсосберегающей технологии // Вестник МГСУ. 2016. № 3. С. 93–110.
18. Воробьев А. Е., Джимиева Р. Б. Экологические аспекты ресурсовоспроизводящих технологий угольного комплекса // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. Белгород: БГТУ, 2015. С. 311–325.
19. Воробьев А. Е., Мозолькова А. В. Ресурсовоспроизводящие технологии в угольной промышленности // ГИАБ. 2005. № 10. С. 168–170.

Статья поступила в редакцию 13 июня 2019 года

Radiation studies of dumps of the Kizelovsky coal basin

Elena Aleksandrovna MENSHIKOVA¹,
Sergey Mikhailovich BLINOV²,
Dmitriy Aleksandrovich BELYSHEV³,
Roman Dmitrievich PEREVOSHCHIKOV⁴

Perm State National Research University, Perm, Russia

Relevance of the work. The fairly widespread distribution of coals with a high content of natural radionuclides and the growing indicators of the use of this mineral in the energy industry set the task of studying possible radioecological problems associated with its extraction, transport and burning. In connection with the implementation of the direction of the deferred resource potential of various wastes, studies of the rocks of coal mining dumps for their radiation safety are also relevant.

The aim of the study is to assess the potential radiation hazard of the rocks of mine dumps of the Kizelovsky coal basin within the territory of the town of Gubakha, the Perm Territory.

Methods of study. The studies included measuring the ambient dose equivalent dose rate of continuous gamma radiation (DER) and specific activities of the main radionuclides of natural origin (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th) using the gamma spectrometric method.

Results. The rocks of the studied dumps are characterized by an acceptable level of specific effective activity of natural radionuclides with a change range of 52-238 Bq/kg. The greatest contribution to this indicator is made by the activity of ²²⁶Ra (up to 63%), a slightly smaller one is associated with ²³²Th (up to 40%) and ⁴⁰K (up to 28%). According to the results of the studies and the DER indicator, the rocks of the mine dumps of the Kizelovsky coal basin correspond to the requirements of regulatory documents in the field of radiation safety, including for residential areas. Moreover, for the main sample volume, the measured DER values exceed the background gamma radiation. For individual dumps, a pattern of increase in gamma radiation with depth, due to the hypergene transfer of elements from the surface layers of dumps, is noted.

Conclusions. The results obtained demonstrate the absence of restrictions on radiation characteristics for the possible use of the material from the Kizelovsky coal basin dumps and supplement the wide list of published studies on the ecological state of this territory.

Keywords: coal, mine dumps, radioactivity, natural radionuclides, Kizelovsky coal basin, the Perm Territory.

The work was carried out with the financial support of the Ministry of education and science of the Russian Federation (ex. 5.6881.2017 / 8.9).

REFERENCES

1. Sidorova G. P., Krylov D. A. 2015, Estimation of the content of radioactive elements in coal and products of their combustion. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], pp. 369–376. (In Russ.)
2. Krylov D. A., Ovseychuk V. A., Sidorova G. P. 2015, Radioactivity of coals. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology], No 5, P. 2–11. (In Russ.)
3. Pak Y. N., Pak D. Y., Ponomaryova M. V., Baizbayev M. B., Zhelayeva N. V. 2018, Radioactivity of Coal and Its Combustion Wastes. *Coke and Chemistry*. Vol. 61, No 5. P. 188–192.
4. Sukhanov R. A., Sidorova G. P. 2009, Problems of use of coals with increased radioactivity. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], No 2. P. 67–69. (In Russ.)
5. Xin Wang, Qiyan Feng, Ruoyu Sun, Gujian Liu. 2015, Radioactivity of Natural Nuclides (⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China. *Minerals*. No 5. P. 637–646. <https://doi.org/10.3390/min5040513>
6. Kozłowska B., Walencik A., Dorda J., Zipper W. 2012, Radioactivity of dumps in mining areas of the Upper Silesian Coal Basin in Poland. *EPJ Web of Conferences*. Vol. 24. 8 p. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20122405006>
7. Gramor Ł. 2014, Coal mining waste dumps as secondary deposits – examples from the Upper Silesian Coal Basin and the Lublin Coal Basin. *Geology, Geophysics & Environment*. Vol. 40, No 3. P. 285–289. <https://doi.org/10.7494/geol.2014.40.3.285>
8. Krasavin A. P., Safin R. T. 2005, Ekologicheskaya reabilitatsiya uglepromyshlennykh territoriy Kizelovskogo basseyna v svyazi s zakrytiyem shakht [Ecological rehabilitation of coal-mining territories of the Kizelovsky basin in connection with the closure of mines], Perm, 175 p.
9. 2006, Mineral resources of the Perm region: *Encycl./Ed. by A. I. Kudryashov*. Perm, 464 p.
10. Bachurin B. A. 2006, Ecological problems of mining regions of the Perm region. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia], No 4, P. 32–35. (In Russ.)
11. Mеньшикова Е. А., Блинков С. М. 2005, Ecological and geochemical state of bottom sediments of rivers of Kizelovsky coal basin in the period after liquidation of mines. *Vestnik Permskogo universiteta* [Bulletin of Perm University]. No 3. Pp. 167–174. (In Russ.)
12. Vorobyov A. E., Portnov V. S., Mausymbaeva A. D., Beketova M. S. 2016, Change of quality of carbon mass in mine waste. *Trudy universiteta* [University's works], No 3 (64). P. 61–65. (In Russ.)
13. 2017, *O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Permskogo kraya v 2016 godu* [On the state and environmental protection of the Perm region in 2016], report, Perm, 222 p.
14. Kurkatov S. V. 1997, *Gigiyenicheskaya otsenka radiatsionnoy opasnosti ugley i poputnogo mineral'nogo syr'ya Kansk-Achinskogo ugol'nogo basseyna* [Hygienic assessment of the radiation hazard of coal and associated mineral raw materials of the Kansk-Achinsk coal basin], PhD thesis, Kemerovo, 25 p.
15. Bem H., Wiczorkowski P., Budzanowski M. 2002, Evaluation of technologically enhanced natural radiation near the coal-fired power plants in the Lodz region of Poland. *Environmental Radioactivity*. Vol. 61, No 2. P. 191–201.
16. Batalin B. S., Belozeroва T. A., Gaiday M. F. 2014, Building ceramics from heaps of the Kizelovsky coal basin. *Steklo i keramika* [Glass and Ceramics], No 3, P. 8–10. (In Russ.)

✉ menshikova_e@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5199-7590>

² blinov_s@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4953-3567>

³ dmitry-belyshev@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9917-5593>

⁴ rperevoshchikov@bk.ru

17. Gaiday M. F., Weisman J. I., Glushankova I. S., Semeinykh N. S. 2016, Use of coal mining waste in the production of construction ceramics by ecologically safe, resource-saving technology, *VESTNIK MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture], No 3. P. 93–110. (*In Russ.*)
18. Vorobyov A. E., Djimieva R. B. 2015, *Ekologicheskiye aspekty resursovosproizvodyashchikh tekhnologiy ugol'nogo kompleksa. Energo- i resursoberegayushchiye ekologicheski chistyye khimiko-tekhnologicheskiye protsessy zashchity okruzhayushchey sredy* [Ecological aspects of resource-reproducing technologies of the coal complex. Energy and resource-saving environmentally friendly chemical-technological processes of environmental protection], book of reports of International scientific conference. Belgorod. P. 311–325.
19. Vorobyov A. E., Mozolkova A. V. 2005, Resource-reproducing technologies in the coal industry. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], No 10, P. 168–170. (*In Russ.*)

The article was received on June 13, 2019

Технические науки Engineering sciences

УДК 622.83

<https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-4-90-97>

Forecast of the stress-strain state of the prefabricated lining of underground tunnels of curvilinear cross-section

Maksim Anatol'evich KARASEV^{1*},
Nguyen Tai Tien^{1,2**}
Mariia Aleksandrovna VILNER^{1***}

¹Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

²Hanoi Mining and Geological University, Vietnam, Hanoi

A well-developed transportation system ensures economic growth in most countries. Improving its quality through the construction of tunnels is one of the most common practices in many countries of the world. The length of tunnels increases significantly, they are combined into a developed network, so there is a need to increase traffic capacity. To meet the growing demand for transportation, tunnels occupy an increasingly large area and the number of lines is growing. Usually, the circular shape of the tunnel section is used in the construction of deep-level tunnels. Currently, it is the most common in the world due to the development of shield tunneling and significant supporting strength of the tunnel lining in comparison with other cross-sectional shapes. However, the efficiency ratio of the section remains small; the rectangular shape of the section shows to good advantage by this indicator. The authors of this work have combined the advantages of circular and rectangular shapes of the tunnel section into a new form - quasi-rectangular.

The aim of the paper is to study the operation of the lining of a quasi-rectangular tunnel. The study of the stress state of the lining was performed on the basis of numerical simulation using the Plaxis 2D software package.

Results show that the flexure moment and normal forces in the lining of the quasi-rectangular tunnel are respectively 6.5 and 1.023 times higher than when using the circular cross-sectional shape, however, taking into account the traditionally used thicknesses of the lining, the quasi-rectangular tunnel lining remains stable. With the same safety margin of structures, the area of a circular tunnel should be 1.25 times larger compared to a quasi-rectangular tunnel.

Keywords: tunnel; curvilinear cross section, optimization, lining, stress state, pattern of interaction.

Introduction

Nowadays, the most common form of cross-section of urban transport tunnels is circular. Due to the circular shape of the tunnel, its lining has the greatest supporting strength. The construction of such tunnels is carried out using tunnel boring machines by the earth pressure balanced tunneling method or without it. The circular cross-section shape of the tunnel is also used for double-track tunnels, the diameter of which is significant and usually exceeds 10 m. At the same time, the construction cost of a double-track tunnel is less than the construction of two single-track tunnels. In addition, the cost of a double-track tunnel can be further reduced in comparison with two single-track tunnels by changing its shape from circular to elliptical, horseshoe-shaped or rectangular (Fig. 1) [1]. The disadvantage of the circular shape of tunnels is the low efficiency ratio of the cross-sectional area. Thus, the tunnel has a large cross-sectional area, which ultimately increases the cost of construction. Meanwhile, although the approximation of the cross-sectional shape to a rectangular one allows more efficient use of its area, the drawback of this approach is the increase in stress concentration in the corner zones of the tunnel lining. Therefore, the intermediate shape between the circle and the rectangle will allow both to increase the efficiency ratio of the cross section in comparison with the tunnel of circular shape, and to reduce stress concentration in the corner sections of the lining, which ultimately will reduce the cost of construction.

Currently, the existing tunneling equipment and the adopted construction technology make it possible to efficiently build tunnels not only of circular shape, but also of a more complex one, to design various cross-sectional shapes of the tunnels. Thus, the search for the optimal shape of the cross section of the tunnel, on the one hand, is not limited by the technological capabilities of construction using tunneling machines, and on the other hand, it is promising from the point of view of reducing the cost of tunnels construction. The works [3, 4] present the experience of construction of tunnels of curvilinear shape.

1. Methods and methodology of work

1.1. Technology of construction with the help of the tunnel boring machine

The tunnel boring machines allowing construction of tunnels, the cross-section shape of which differs from the circular shape, have been tested to a sufficient degree at underground construction facilities in Japan and China (Fig. 2) [5, 6]. For example, the tunnel boring machine was used for the Fukutoshin underground line in Tokyo enabling to form an oval-shaped cross section of the tunnel. The length of the Baicheng underground line in China is 3.345 km. It was built using the tunnel boring machine, which allows you to construct domed shaped and horseshoe-shaped tunnels.

The curvilinear cross-section shape of the tunnels (Fig. 3, b) is often used for double-track tunnels due to the following advantages: it allows you to reduce the width and height of the section; the efficiency ratio of the cross-sectional area increases.

✉ karasev_ma@pers.spmi.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-8939-0807>

** taitien12@gmail.com

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-5246-9252>

*** s185064@stud.spmi.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-0424-100X>

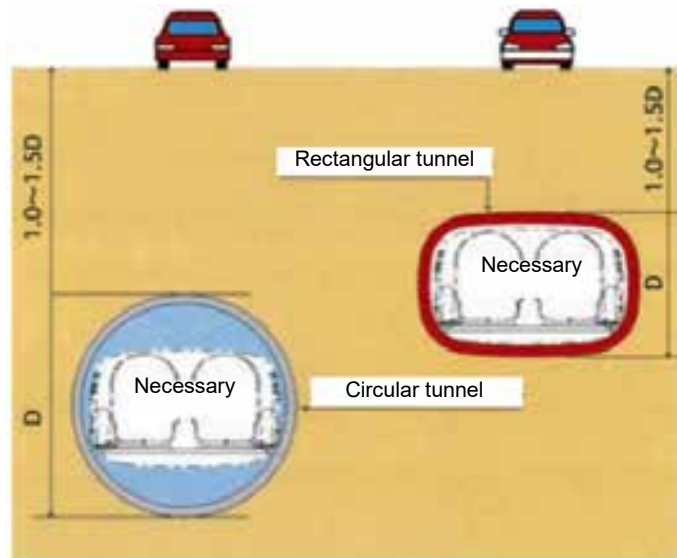


Figure 1. Comparison between circular and rectangular shapes [2].
Рисунок 1. Сравнение между круговой и прямоугольной формами [2].

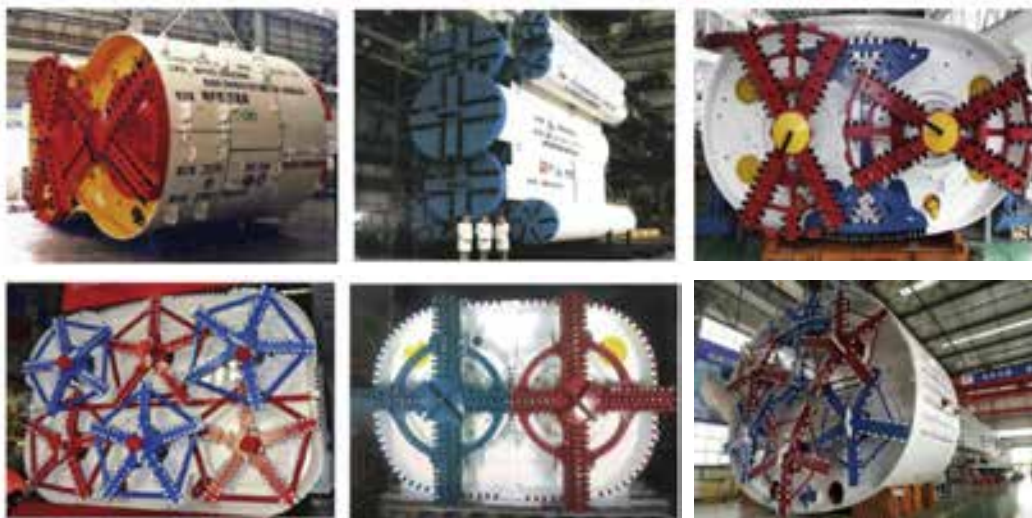


Figure 2. Designs of tunnel boring machines for tunnels of curvilinear shape [7].
Рисунок 2. Конструкции щитовых комплексов для тоннелей криволинейного очертания [7].

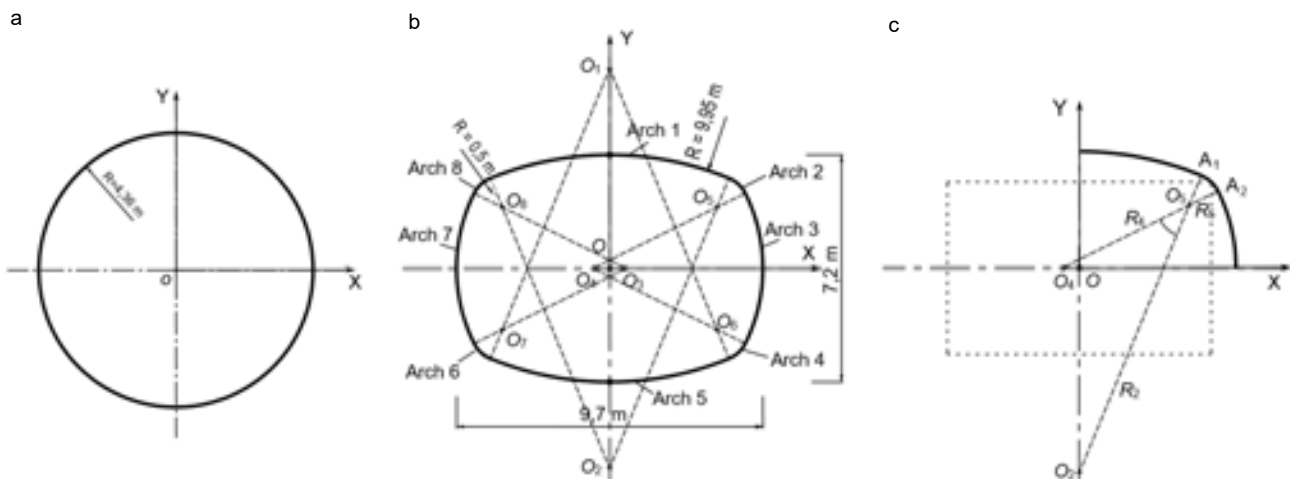


Figure 3. The tunnel of circular cross section (a), curvilinear cross section (b) and the diagram for determining the shape and size of the curvilinear section of the tunnel (c).
Рисунок 3. Тоннель кругового поперечного сечения (а), криволинейного поперечного сечения (б) и диаграмма определения формы и размеров криволинейного сечения тоннеля (в).

Tunnels with a complex cross-sectional shape have a significant drawback, the supporting strength of the lining of such tunnels, ceteris paribus, is lower than in tunnels of circular shape (Fig. 3, a). However, this disadvantage can be overcome through the development of more advanced building materials, including fiber reinforced shotcrete, and due to the rational choice of the curvilinear outline of the lining as well [8–10].

The work considers a tunnel of curvilinear cross-section, the construction of which is conducted from 8 centers – from O_1 to O_8 . Internal dimensions are determined by the shape of the rectangular construction clearance, which is set based on the requirements of regulatory documents. The construction is done as follows. The first step is to select the location of the O_5 center. Then a circle with radius $R_5 = O_5A$ is drawn. O_5A_1 and O_5A_2 are drawn through points A_1 and A_2 ; O_2 and O_4 are marked at the intersection with OX and OY axes. Finally, circles with radius $R_2 = O_2A_1$ and $R_4 = O_4A_2$ are constructed (Fig. 3, c). The resulting construction must be mirrored to the remaining three quarters. Fixed values of geometric parameters of the tunnel are accepted in the work but an algorithm is being developed to optimize the geometric parameters of the adopted shape of the cross section of the tunnel, which will determine their most rational parameters based on the stress factor of the tunnel lining, taking into account the specified efficiency ratio of the tunnel section. The optimization algorithm will be based on the solution of the problem by the HRM method [11]. Testing of the stress condition of the tunnel lining will be carried out on the basis of solving the problem of mechanics of underground structures based on the scheme of joint interaction “lining-soil mass”. The statement of the problem of determining the stress state of the lining according to the joint interaction scheme is presented in the next section.

1.2. Building a numerical model for forecasting the development of lining strain-stress state during the construction of a tunnel of curvilinear shape

The work considers the forecast of the development of the stress-strain state of the tunnel lining of curvilinear cross-section and compares it with the stress state of the lining of a circular shape. The depth of the tunnel is assumed to be 10 m, the ground-water level is 0.5 from the surface of the earth. The construction of the tunnel is carried out by the tunnel boring machine with the construction of a prefabricated lining in the tail section, under the protection of the shield shell. The parameters of the cross section of the tunnel of curvilinear cross section and the main parameters of the lining are given below.

Calculation of the stress state of the lining according to the interaction scheme enables to present the nature of transmission of loads from the rock mass to the lining of the tunnel as a result of their joint interaction. When considering a tunnel with curvilinear cross-section, both quasi-analytical methods (N. N. Fotieva) and numerical methods of analysis can be used for calculation using the joint interaction scheme [12]. The latter have advantages due to the possibility of specifying undirected boundary conditions, as well as taking into account nonlinear deformation of the soil mass in explicit form by defining an elastic-plastic model of the environment [13] or models based on the theory of the modified theory of deformation plasticity (Hypoplasticity) [14]. The hardening soil model is adopted as a model of deformation of the soil mass, which was widely used in solving the problems of forecasting the load on the lining of underground structures[15], as well as the prediction of subsidence of the earth’s surface

Parameters of the finite element scheme.

Параметры конечно-элементной модели.

Width B , m	9.70
Tunnel height H , m	7.20
External radii, m	
R_1	9.95
R_2	9.95
R_3	5.35
R_4	5.35
R_5	1.00
R_6	1.00
R_7	1.00
R_8	1.00
Thickness of the lining m , m	0.50
The cross-sectional area of the tunnel S , m ²	59.70

Physico-mechanical characteristics of the soil and lining material.

Физико-механические характеристики грунта и материала обделки.

Parameter	Concrete	Soil
Specific weight γ , kN/m ³	24	19.5
Effective cohesion s , kN/m ²	–	7
Effective angle of internal friction ϕ , deg	–	20.5
Angle of dilatancy ψ , deg	–	4.81
Poisson's ratio ν	0.15	0.35
Modulus of deformation E , MPa	35 000	–
Modulus of deformation E_{50}^{ref} , MPa	–	32.5
Modulus of deformation E_{oed}^{ref} , MPa	–	32.5
Modulus of volume elasticity E_{ur}^{ref} , MPa	–	97.5
Indicator m	–	0.5

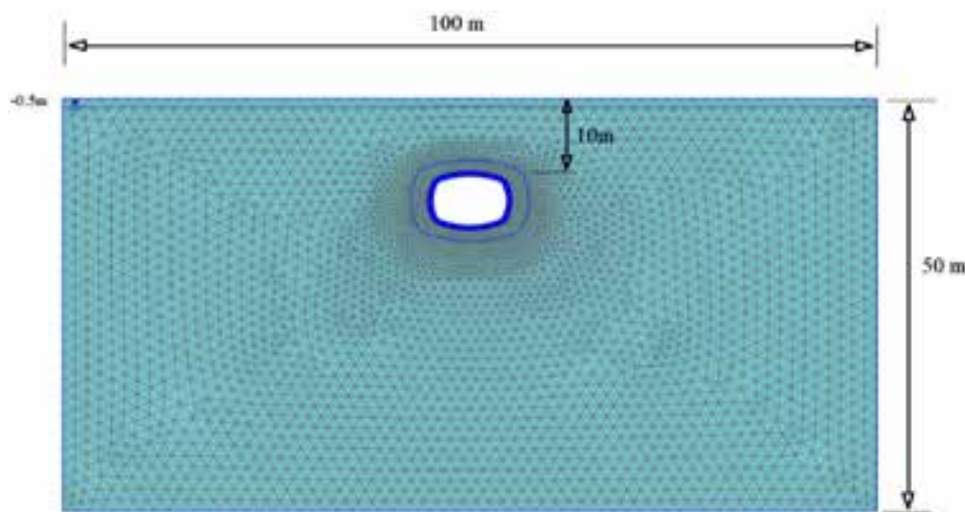


Figure 4. The finite element scheme for predicting the development of a stress-strain state in a tunnel lining.
 Рисунок 4. Конечно-элементная модель прогноза развития НДС в обделке тоннеля.

[16, 17]. The model is a class of models with double hardening, where the shearing plastic deformations and volumetric plastic deformations meet the corresponding surface of plastic currents and plastic potential.

The surfaces of the plastic flow are not fixed in the space of main stress but can expand isotopically, which allows modeling both mobilization of soil strength and plastic volumetric contraction. This generally allows the model to be applied in a wide range of changes in the mechanical behavior of sandy and clay soils.

When performing numerical simulation, the computational space was divided into triangular 15-node elements (Fig. 4). Rod elements are used for modeling the tunnel. Numerical model size: width is 100 m, height is 50 m; model consists of approximately 6680 elements. Displacements along the bottom boundary of the model are not allowed in both directions; displacements in the horizontal direction are not allowed along lateral boundaries of the model. The problem was solved in gravitational setting.

Physico-mechanical characteristics of soils and lining of the tunnel are given in table below.

In order to compare the distribution of internal forces in the lining of the tunnel with curvilinear cross-section and the lining of a circular tunnel, two numerical models were constructed where the lining of the tunnel is located under similar conditions, the cross-sectional area of which is equal to each other $S_c = 59.7 \text{ m}^2$, while the equivalent diameter of the circular shape tunnel R was 4.36 m.

2. Analysis of the development of the stress-strain state of the prefabricated lining of the curvilinear tunnel

The results obtained on the basis of numerical calculations performed on the Plaxis software package show (Fig. 5) that the largest moment in the lining of a tunnel of a quasi-rectangular shape is 0.4916 (MN × m)/m compared to 0.0755 (MN × m)/m in the lining of the tunnel of a circular cross section. The maximum longitudinal force is 1.139 MN/m and 1.113 MN/m, respectively. The results show that the internal force in the lining of the tunnel with a curvilinear cross-section shape is greater than in the lining of the tunnel with a circular cross-section by about 1.023 times, the bending moment is 6.5 times. The performed assessment of the lining strength allows us to say that the supporting strength of the lining of the tunnel of curvilinear cross-section is still provided, however, it is necessary to increase the percentage of reinforcement of its section. The useful cross-sectional area of the curvilinear tunnel is 1.25 times larger than the circular shape tunnel.

To estimate the influence of the lateral pressure coefficient on the strain-stress state of the lining of the tunnel of curvilinear cross-section, a number of calculations were performed where the parameter K (coefficient of passive earth pressure) varied from 0.25 to 1.0. The calculation results are presented in the form of diagrams of flexures moments and normal forces (Fig. 6).

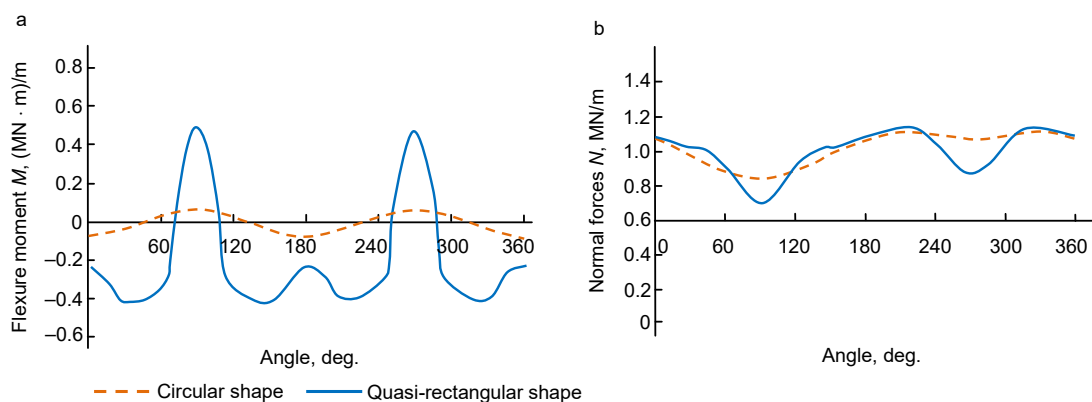


Figure 5. Bending-moment diagram (a) and normal force diagram (b) in a prefabricated tunnel lining for quasi-rectangular and circular shapes (the angle is measured counterclockwise on the right axis).

Рисунок 5. Эпюры изгибающего момента (а) и продольной силы (б) в сборной обделке тоннелей для квазипрямоугольной и круглой форм (угол измеряется против часовой стрелки по оси справа).

The results showed that when changing the coefficient of passive earth pressure K from 0.25 to 1.0, the normal force in the sides of the prefabricated lining of tunnels of various shapes did not change significantly, but the normal force in the section from the sides to the arch of the prefabricated lining tunnels increase with increasing coefficient of passive earth pressure. The magnitude of the flexure moment (in absolute value) in the prefabricated tunnel lining decreases with increasing coefficient of passive earth pressure. The results show that the maximum flexure moments between the circular and curvilinear cross section of the tunnel have a large difference, while the gap between normal forces is insignificant.

To estimate the influence of the deformation characteristics of the soil mass on the strain-stress state lining of the tunnel of curvilinear cross section, a number of calculations were performed, where the parameter E_{50}^{ref} , varied from 5 MPa to 75 MPa. The results show that the flexure moment in the lining of the tunnel decreases with increasing deformation modulus E . In this case, the maximum normal force decreases slightly. The maximum flexure moment is 0.781 (MN × m)/m and 0.376 (MN × m)/m, the maximum normal forces are 1.199 MN/m and 1.120 MN/m, the corresponding deformation modulus E is 5 MPa and 75 MPa. For both circular and quasi-rectangular tunnel shapes, it can be noted that as the deformation module increases, bending moments and normal forces decrease.

In order to estimate the influence of soil mass cohesion on the strain-stress state lining of the tunnel of curvilinear cross section, a number of calculations were performed, where the parameter C varied from 0 kPa to 300 kPa. The results show that the amount of soil mass cohesion does not significantly affect the maximum bending moment and maximum normal force. These results also correspond to the results of M. Palassi [15], who studied the formation of a stress state in the lining of a circular-shaped tunnel.

4. Conclusions

The performed studies allow us to draw the following conclusions:

- during the construction of tunnels under similar conditions, the internal forces induced in lining a tunnel with a circular cross section is lower than in a tunnel with a curvilinear cross section; while the normal forces differ slightly, and bending moments differ by more than 6 times, the tunnel shape has a greater influence on the bending moments than on the normal forces;
- the tunnel with curvilinear cross-section shape has a higher cross-sectional efficiency ratio compared to a circular shape tunnel, which can reduce the cost for construction of a tunnel with a significant length;

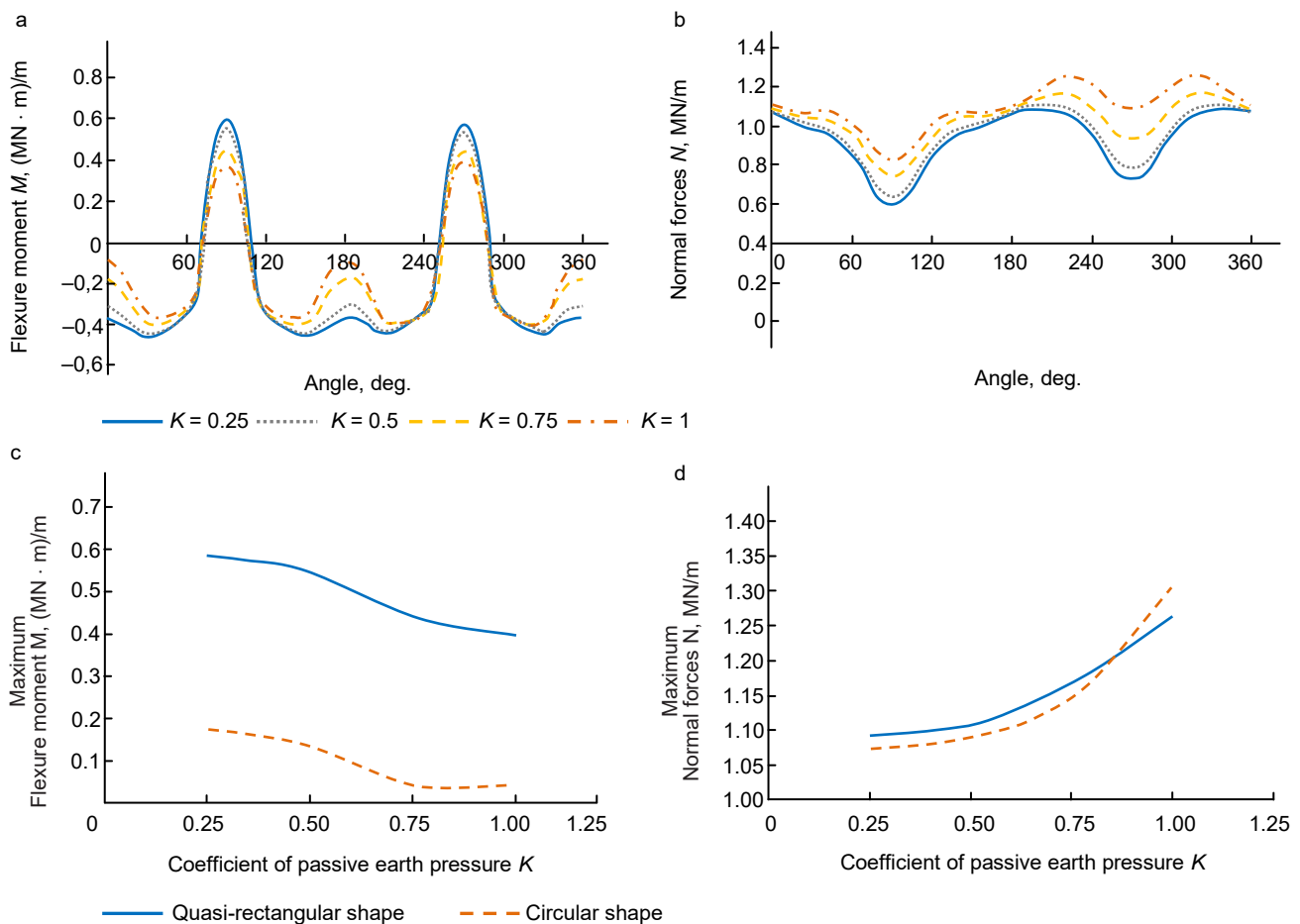


Figure 6. Bending-moment diagram (a) and normal force diagram (b) in the prefabricated tunnel lining for different values of the coefficient of passive earth pressure K and the maximum bending-moment diagram (c) ($M_{max} = |M_+, M_-|$) and maximum normal force (d) ($M_{max} = |M_+, M_-|$) in the prefabricated tunnel lining for curvilinear and circular cross-sectional shape depending on the coefficient of passive earth pressure K . Рисунок 6. Эпюры изгибающего момента (а) и продольной силы (б) в сборной обделке тоннелей для различных значений коэффициента бокового давления K и эпюры максимального изгибающего момента (в) ($M_{max} = |M_+, M_-|$) и максимальной продольной силы (г) в сборной обделке тоннелей для криволинейной и круговой формы поперечного сечения в зависимости от коэффициента бокового давления K .

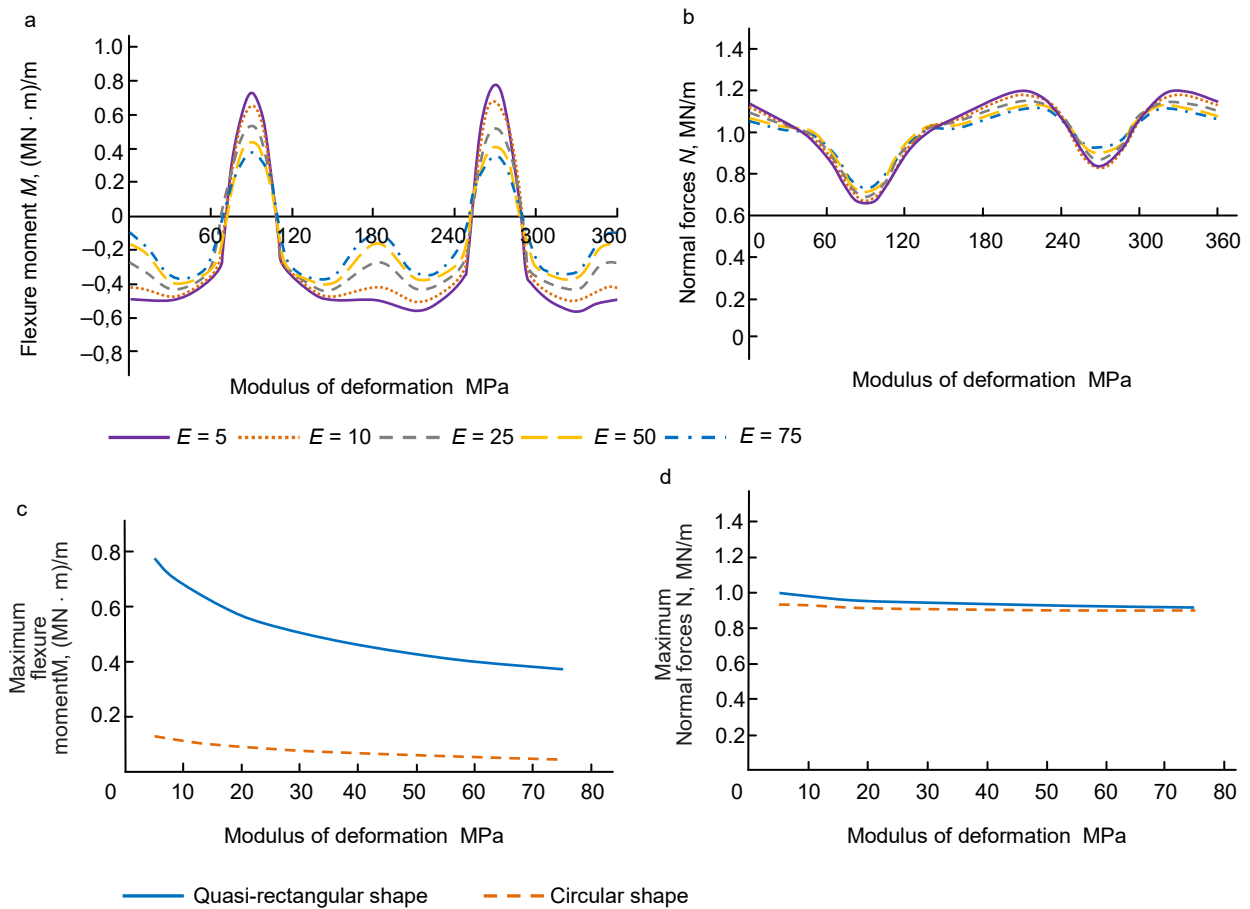


Figure 7. Bending-moment diagram (a) and normal force diagram (b) in the prefabricated tunnel lining for various values of the deformation modulus E and diagrams of the maximum bending moment (c) and maximum normal force (d) in the prefabricated tunnel lining for curvilinear and circular shapes depending on the deformation module E .

Рисунок 7. Эпюры изгибающего момента (а) и продольной силы (б) в сборной обделке тоннелей для различных значений модуля деформации E и эпюры максимального изгибающего момента (в) и максимальной продольной силы (г) в сборной обделке тоннелей для криволинейной и круглой форм в зависимости от модуля деформации E .

- the advanced tunnel boring machine can be designed for various cross-sectional shapes and for curvilinear cross-section as well, so the equipment for the construction of such tunnels is not a limiting factor;
- the search for a more optimal shape of tunnels of curvilinear shape for specific engineering and geological conditions will reduce stress in the lining.

Further research will be aimed at developing an algorithm for optimizing the parameters of a quasi-rectangular cross-section, providing optimal tunnel curvature parameters from the point of view of the development of the strain-stress state in the lining.

REFERENCES

1. Széchy K. 1973, The art of tunnelling. 2nd Revised & Enlarged edition. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1097 p.
2. Kawai K., Minami T. 2001, Development of Rectangular Shield. *Komatsu Technical Report*, vol. 47(148), pp. 46–54.
3. Nakamura H., Kubota T., Furukawa M., Nakao T. 2003, Unified construction of running track tunnel and crossover tunnel for subway by rectangular shape double track cross-section shield machine. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 18, issues 2-3, P. 253–262. [http://dx.doi.org/10.1016/S0886-7798\(03\)00034-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0886-7798(03)00034-8)
4. Vinod M., Khabbaz H. 2019, Comparison of rectangular and circular bored twin tunnels in weak ground. *Underground Space*, vol. 4, issue 4, pp. 328–339. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.004>
5. Krcík M. 2007, Non-circular full face tunnel boring machines – 21st century challenge. *Underground Space: the 4th Dimension of Metropolises*. Prague, Czech Republic, pp. 1205–1210.
6. Zhang N., Jeong H., Jeon S. 2018, Development and Research Trends of TBM Manufacturing Technology in China. *Journal of the Korean society of mineral and energy resources engineers*, vol. 55, issue 4, pp. 314–322. <https://doi.org/10.32390/ksmer.2018.55.4.314>
7. Li J. 2017, Key Technologies and Applications of the Design and Manufacturing of Non-Circular TBMs. *Engineering*, vol. 3, issue 6, pp. 905–914. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eng.2017.12.002>
8. Liu X., Liu Z., Ye Y., Bai Y., Zhu Y. 2018, Mechanical behavior of quasi-rectangular segmental tunnel linings: Further insights from full-scale ring tests. *Tunneling and Underground Space Technology*, vol. 79, pp. 304–318. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.05.016>
9. Huang X., Zhua Y., Zhanga Z., Zhuc Y., Wang S., Zhuang Q. 2018, Mechanical behavior of segmental lining of a sub-rectangular shield tunnel under self-weight. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 74, pp. 131–144.
10. Liu X., Ye Y., Liu Z., Huang D. 2018, Mechanical behavior of quasi-rectangular segmental tunnel linings: First results from full-scale ring tests. *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 71, pp. 440–453. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2017.09.019>
11. Do N. A., Dias D., Oreste P., Maigre I. D. 2014, A new numerical approach to the hyperstatic reaction method for segmental tunnel linings. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, vol. 38, issue 15, pp. 1617–1632. <https://doi.org/10.1002/nag.2277>
12. Fotieva N. N. 1974, *Raschet obdelok tonneley nekrugovogo poperechnogo secheniya* [Calculation of lining for non-circular cross-section tunnels]. Moscow.

13. Schanz T., Vermeer P. A., Bonnier P. G. 1999, The Hardening Soil Model: Formulation and verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*, pp. 281–296. <http://dx.doi.org/10.1201/9781315138206-27>
14. Mašin D. 2007, A hypoplastic constitutive model for clays with meta-stable structure. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 44(3), pp. 363–375. <https://doi.org/10.1139/t06-109>
15. Palassi M., Mohebbi M. 2008, Design of Lining of Tunnels Excavated in Soil and Soft Rock. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 13, pp. 11–24.
16. Celik S. 2017, Comparison of Mohr-Coulomb and Hardening Soil Models Numerical Estimation of Ground Surface Settlement Caused by Tunneling. *Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology*, pp. 95–102. <https://doi.org/10.21597/jist.2017.202>
17. Zelger J. 2012, Calibration of 2D pre-relaxation factors in tunneling with 3D Finite element calculations: Master thesis. Graz, Austria: Institute of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

The article was received on October 10, 2019

Прогноз напряженно-деформированного состояния сборной обделки тоннелей метрополитена криволинейного поперечного сечения

Максим Анатольевич КАРАСЕВ^{1*},
Нгуен Тай Тиен^{1, 2**},
Мария Александровна ВИЛЬНЕР^{1***}

¹Санкт-Петербургский горный университет, Россия, Санкт-Петербург

²Ханойский горный и геологический университет, Вьетнам, Ханой

Для экономического роста большинства стран требуется хорошо развитая транспортная система. Повышение ее качества за счет строительства тоннелей является одной из наиболее распространенных практик во многих странах мира. Длина тоннелей значительно увеличивается, они объединяются в развитую сеть, появляется необходимость увеличения пропускной способности. Чтобы удовлетворить растущий спрос на перевозки, тоннели занимают все большую площадь и количество линий растет. Традиционно при строительстве тоннелей глубокого заложения применяется круговая форма сечения тоннеля, в настоящее время она является наиболее распространенной в мире из-за развития шитовой проходки тоннелей и значительной несущей способности обделки тоннелей по сравнению с другими формами поперечного сечения. Однако коэффициент использования сечения остается небольшим, по этому показателю выигрывает прямоугольная форма сечения. Авторы работы обосновали преимущества круговой и прямоугольной форм сечения тоннеля в новую форму – квазипрямоугольную. Целью статьи является изучение работы обделки тоннеля квазипрямоугольной формы. Изучение напряженного состояния обделки выполнено на основании численного моделирования с использованием программного комплекса Plaxis 2D. Результаты моделирования показывают, что изгибающий момент и нормальные силы в обделке тоннеля квазипрямоугольной формы оказываются соответственно в 6,5 и 1,023 раза выше, чем при использовании круговой формы сечения, однако с учетом традиционной применяемых толщин обделок тоннеля квазипрямоугольной формы сохраняет устойчивость. При том же габарите приближения строений площадь круглого тоннеля должна быть в 1,25 раза больше по сравнению с квазипрямоугольным тоннелем.

Ключевые слова: тоннель; криволинейное поперечное сечение; оптимизация; обделка; напряженное состояние; схема взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Széchy K. The art of tunnelling. 2nd Revised & Enlarged edition. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1973. P. 1097
2. Kawai K., Minami T. Development of Rectangular Shield // Komatsu Technical Report. 2001. Vol. 47(148). P. 46–54.
3. Nakamura H., Kubota T., Furukawa M., Nakao T. Unified construction of running track tunnel and crossover tunnel for subway by rectangular shape double track cross-section shield machine // Tunnelling and Underground Space Technology. 2003. Vol. 18, issues 2-3. P. 253–262. [http://dx.doi.org/10.1016/S0886-7798\(03\)00034-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0886-7798(03)00034-8)
4. Vinod M., Khabbaz H. Comparison of rectangular and circular bored twin tunnels in weak ground // Underground Space. 2019. Vol. 4, issue 4. P. 328–339. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.004>
5. Krcik M. Non-circular full face tunnel boring machines – 21st century challenge // Underground Space – the 4th Dimension of Metropolises. Prague, Czech Republic, 2007. P. 1205–1210.
6. Zhang N., Jeong H., Jeon S. Development and Research Trends of TBM Manufacturing Technology in China // Journal of the Korean society of mineral and energy resources engineers. 2018. Vol. 55, issue 4. P. 314–322. <https://doi.org/10.32390/ksmer.2018.55.4.314>
7. Li J. Key Technologies and Applications of the Design and Manufacturing of Non-Circular TBMs // Engineering. 2017. Vol. 3, issue 6. P. 905–914. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eng.2017.12.002>
8. Liu X., Liu Z., Ye Y., Bai Y., Zhu Y. Mechanical behavior of quasi-rectangular segmental tunnel linings: Further insights from full-scale ring tests // Tunneling and Underground Space Technology. 2018. Vol. 79. P. 304–318. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.05.016>
9. Huang X., Zhua Y., Zhanga Z., Zhuc Y., Wang S., Zhuang Q. Mechanical behavior of segmental lining of a sub-rectangular shield tunnel under self-weight // Tunnelling and Underground Space Technology. 2018. Vol. 74. P. 131–144.
10. Liu X., Ye Y., Liu Z., Huang D. Mechanical behavior of Quasi-rectangular segmental tunnel linings: First results from full-scale ring tests // Tunnelling and Underground Space Technology. 2018. Vol. 71. P. 440–453. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2017.09.019>
11. Do N. A., Dias D., Oreste P., Maigre I. D. A new numerical approach to the hyperstatic reaction method for segmental tunnel linings // International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 2014. Vol. 38, issue 15. P. 1617–1632. <https://doi.org/10.1002/nag.2277>
12. Фотиева Н. Н. Расчет обделок тоннелей некругового поперечного сечения. М.: Стройиздат, 1974.
13. Schanz T., Vermeer P. A., Bonnier P. G. The Hardening Soil Model: Formulation and verification // Beyond 2000 in Computational Geotechnics. 1999. P. 281–290.
14. Mašin D. A hypoplastic constitutive model for clays with meta-stable structure // Canadian Geotechnical Journal. 2007. Vol. 44(3). P. 363–375. <https://doi.org/10.1139/t06-109>
15. Palassi M., Mohebbi M. Design of Lining of Tunnels Excavated in Soil and Soft Rock // The Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2008. Vol. 13. P. 11–24.
16. Celik S. Comparison of Mohr-Coulomb and Hardening Soil Models Numerical Estimation of Ground Surface Settlement Caused by Tunneling // İğdir University Journal of the Institute of Science and Technology. 2017. P. 95–102. <https://doi.org/10.21597/jist.2017.202>
17. Zelger J. Calibration of 2D pre-relaxation factors in tunneling with 3D Finite element calculations: Master thesis. Graz, Austria: Institute of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2012.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2019 года

✉ karasev_ma@pers.spmi.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8939-0807>

** taitien12@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5246-9252>

*** s185064@stud.spmi.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0424-100X>

Исследование устойчивости карьерного экскаватора с изменяемым положением кабины

Владимир Семенович ВЕЛИКАНОВ*,
Ольга Рашидовна ПАНФИЛОВА

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Россия, Магнитогорск

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения визуальной информативности машиниста карьерного экскаватора при выполнении операций экскаваторного цикла за счет внедрения перспективного технического решения по изменению пространственного положения кабины относительно рабочего оборудования. Поворотная платформа карьерного экскаватора приводится в уравновешенное положение за счет выбора массы противовеса и компоновки на платформе всех механизмов. Реализация технического решения по изменению положением кабины определяет необходимость в оценке на устойчивость.

Цель работы: оценка устойчивости карьерного экскаватора с изменяемым положением кабины.

Методология исследования. Использован системный подход, включающий статический метод расчета одноковшовых карьерных экскаваторов, а также классических положений теоретической механики.

Результаты и их применение. Теоретически установлены расчетные значения коэффициента устойчивости для разных моделей карьерных экскаваторов. Произведены расчет массы противовеса, оценка уравновешенности поворотной платформы и устойчивости карьерного экскаватора ЭКГ-10.

Выводы. Доказана полная обоснованность принятого оригинального технического решения, так как полученные значения коэффициента устойчивости соответствуют нормативным требованиям, а именно, коэффициент устойчивости должен быть не менее 1,4, ПАО «Уралмашзавод». С использованием стандартных средств MS Excel получены расчетные значения коэффициента устойчивости для разных моделей карьерных экскаваторов, которые находятся в диапазоне 1,38–1,42. Представленное конструктивное решение позволит добиться увеличения фактической производительности экскаваторов на 10–15 %.

Ключевые слова: экскаватор, устойчивость, кабина, методика, эффективность.

Введение
Обзорность как один из наиболее важных показателей эргономичности оказывает значительное влияние на управляемость карьерного экскаватора. Подготовка оператора к принятию решений и его информационная поддержка напрямую находятся в непосредственной зависимости от значения показателя обзорности. В связи с этим несомненна актуальность исследований, посвященных совершенствованию карьерных экскаваторов в области улучшения обзорности и освещенности рабочего пространства, а также компоновки рабочего места оператора, поскольку эти факторы оказывают непосредственное влияние на управляемость машины [1, 2].

Качество обзора с рабочего места машиниста карьерного экскаватора зависит от ряда конструктивных характеристик модульной кабины, а именно:

- расположение кабины относительно кузова и стрелы экскаватора;
- размеры стекол;
- площадь остекления;
- количество и ширина перемычек между стеклами.

Показатели конструктивного совершенства, которые определяют условия работы оператора экскаватора, рассмотрены в ряде работ [1-6]. Доказано, что визуальная информативность производственной зоны и рабочего пространства оператора является весьма важной характеристикой. Установлен коэффициент обзора K_i , принимающий значения от 0 до 1 и являющийся мерой обзорности. Этот коэффициент устанавливается для каждого объекта наблюдения. Размер объекта наблюдения может характеризоваться его площадью для поверхностей или длиной для линий, а также может быть представлен в виде углового размера. Коэффициент обзора определяется как соотношение размеров видимой и полной (необходимой для обзора) поверхности или линии, принадлежащей заданному объекту наблюдения. Размеры некоторых объектов наблюдения весьма малы, в таком случае объект считается точечным. Коэффициент обзора для него равен единице при нахождении объекта в поле зрения оператора. При расположении точечного объекта вне поля зрения оператора коэффициент обзора равен нулю [1].






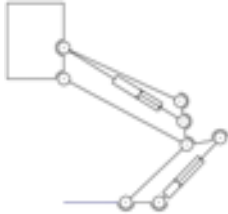
- Применительно к карьерным экскаваторам все объекты наблюдения можно разделить на две группы:
- объекты преимущественного наблюдения – забой, транспорт, ковш, рукоять и стрела экскаватора;
 - объекты периодического наблюдения – верхняя кромка забоя, пульт управления, гусеницы экскаватора.

Коэффициент обзора может быть увеличен с помощью изменения положения кабины относительно поворотной платформы экскаватора. Данное техническое решение в настоящее время применяется в конструкциях строительных экскаваторов малого класса с массой кабины до 0,5 т. Например, подвижными кабинами оснащены машины моделей МН3049, МН3059, 330D МН компании Caterpillar, модели EC480D с функцией Step Safe Cab концерна Volvo, перегружатели на базе пневмоколесных гидравлических строительных экскаваторов. Вопрос улучшения обзорности кабины карьерного экскаватора рассмотрен в публикации [1], в которой предложено оснащение машины подвижной кабиной. За счет конструкции, обеспечивающей вертикальное и горизонтальное перемещение кабины, обеспечивается более эффективное использование карьерного экскаватора. Элементы механизма перемещения кабины

*rizhik_00@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-558-2733>

Таблица 1. Известные механизмы подъема кабин.
Table 1. Known cab lifting mechanisms.

Тип оборудования	Общий вид	Кинематическая схема механизма изменения положения кабины
Hitachi ZX240LC-5G		
Volvo EC480D		
Caterpillar MH3049		

воспринимают нагрузки, обусловленные их собственным весом и весом кабины. Эти силы учтены при моделировании механизма, также модель предусматривает возможность варьирования массы и скорости подъема кабины.

Механизм изменения положения кабины карьерного экскаватора, состоит из опорного основания и подъемной платформы. На основании параллельно установлены два ножничных механизма. На подъемной платформе устанавливается модульная кабина. Ножничные механизмы представляют собой перекрещивающиеся рычаги и приводятся в движение гидроцилиндрами, установленными на подъемной платформе. Смонтированный в кабине выносной пульт управления позволяет осуществлять перемещение.

Использование в конструкции карьерного экскаватора механизма для горизонтального и вертикального перемещения кабины определяет необходимость в оценке уравновешенности и устойчивости машины.

Методология

Определение уравновешенности поворотной платформы и устойчивости экскаватора является целью статического расчета одноковшовых карьерных экскаваторов. Поворотная платформа уравновешивается за счет выбора противовеса необходимой массы и рационального расположения всех механизмов на ней [7-12].

Для расчета массы противовеса, устанавливаемого на карьерном экскаваторе, оборудованном прямой лопатой, рассматривают два расчетных положения:

1. Ковш находится на опорной поверхности (момент от веса рукояти и ковша отсутствует);
2. Ковш заполнен грузом и выдвинут на 2/3 вылета рукояти.

Первое расчетное положение в большинстве случаев обеспечивает устойчивость экскаватора. Для второго расчетного положения массу противовеса определяют из уравнения моментов относительно точки В (рис. 1) [13] по формуле:

$$m_{\text{пр}} = \frac{G_c(r_c - R_0) + G_p r_p + G_{\text{к+п}} r_k - G_{\text{н}}(r_{\text{н}} + R_0)}{g(r_{\text{пр}} + R_0)}$$

Уравновешенность поворотной части карьерных экскаваторов ПАО «Уралмашзавод» определяется из условия невыхода равнодействующей вертикальных сил при грузе в ковше, находящемся на максимальном вылете, за пределы роликового круга с запасом 8–10 %, именно при этих условиях определяется масса закладного противовеса.

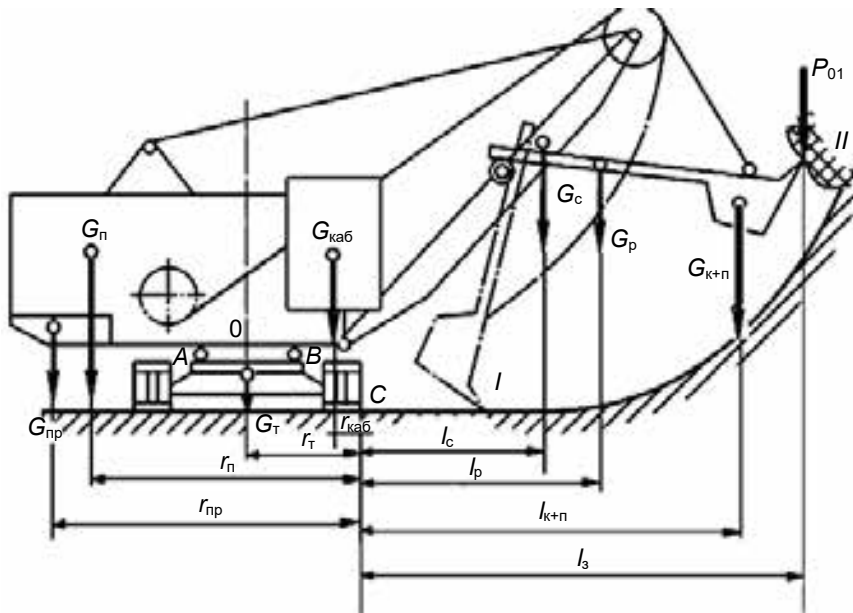


Рисунок 1. Схема для расчета устойчивости карьерного экскаватора с изменяемым положением кабины (крайние положения ковша). I-крайнее нижнее положение ковша; II-крайнее верхнее положение ковша.
Figure 1. Scheme for calculating the stability of a mine excavator with a variable cab position (extreme positions of the bucket). I- the lowest position of the bucket; II- the highest position of the bucket.

Способность опорной части карьерного экскаватора не опрокидываться и не сдвигаться относительно грунтового основания под действием внешних нагрузок, включающих силы тяжести составных частей экскаватора и груза в ковше, сопротивление копанию, силы инерции, характеризуется устойчивостью [7-14].

Коэффициент устойчивости служит численным выражением устойчивости карьерного экскаватора:

$$k_y = \frac{\sum M_y}{\sum M_{\text{опр}}} > 1,$$

где M_y – суммарный момент восстанавливающих (удерживающих) сил относительно ребра опрокидывания, Н × м; $M_{\text{опр}}$ – суммарный момент опрокидывающих сил относительно ребра опрокидывания, Н × м.

В современных методиках оценки устойчивости экскаваторов имеются существенные различия в подходах к учету видов усилий, которые влияют на величину восстанавливающих и опрокидывающих моментов.

1. Методика Правил Ростехнадзора предусматривает расчет устойчивости машины как в рабочем, так и в нерабочем состоянии.

2. Методика Ковровского экскаваторного завода предусматривает расчет коэффициента статической устойчивости только на основании моментов, создаваемых силой тяжести элементов конструкции экскаватора и груза в ковше.

3. Методика, предложенная ВНИИстройдормашем, дополнительно учитывает центробежные силы, действующие на элементы конструкции экскаватора при повороте платформы.

4. Методика Карасева–Живейнова заключается в проверке выполнения условия устойчивости для всех возможных положений экскаватора и его рабочего оборудования с опасным сочетанием нагрузок [7-12].

Как правило, для оценки устойчивости карьерного экскаватора с прямой лопатой рассматриваются четыре варианта нагружения [7-12]:

1. Отрыв препятствия, например, негабарита. Экскаватор установлен на горизонтальной поверхности, рабочее оборудование расположено перпендикулярно ходовому устройству, ковш без груза, на зубья ковша, расположенные на высоте напорного вала, действует максимальное усилие, стрела расположена под углом 45° к горизонту, подъемные канаты занимают вертикальное положение.

2. Стандартная работа экскаватора. Экскаватор установлен на горизонтальной поверхности, рабочее оборудование расположено перпендикулярно ходовому устройству, рукоять расположена горизонтально и максимально выдвинута, угол наклона стрелы к горизонту составляет 45°, ковш заполнен грузом, в подъемных канатах действует рабочее усилие, напорное усилие направлено к забою и составляет половину рабочего. Опрокидывающий и удерживающий моменты рассчитывают по формуле:

$$k_y = \frac{\sum M_y}{\sum M_{\text{опр}}} = \frac{G_{\text{т}} r_{\text{т}} + G_{\text{пр}} r_{\text{пр}} + G_{\text{н}} r_{\text{н}}}{P_{01} l_3 + G_{\text{к+п}} l_{\text{к}} + G_{\text{р}} l_{\text{р}} + G_{\text{с}} l_{\text{с}}},$$

где $G_{\text{т}}$, $G_{\text{пр}}$, $G_{\text{н}}$, $G_{\text{к+п}}$, $G_{\text{р}}$, $G_{\text{с}}$ – вес ходовой тележки, противовеса, поворотной платформы, ковша с породой, рукояти, стрелы, кН, соответственно; P_{01} – расчетная сила сопротивления пород копанию, кН; $r_{\text{т}}$, $r_{\text{пр}}$, $r_{\text{н}}$, l_3 , $l_{\text{к}}$, $l_{\text{р}}$, $l_{\text{с}}$ – плечи действия сил, м, соответственно.

$$P_{01} = k_f E \times 10^3 (H_{\text{в}} k_{\text{р}})^{-1},$$

где k_f – коэффициент сопротивления горных пород копанию, МПа; E – вместимость ковша экскаватора м³; $H_{\text{в}}$ – высота напорного вала, м; $k_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления горных пород.

Таблица 2. Массы узлов механической части карьерного экскаватора ЭКГ-10.
Table 2. Weight of nodes of the mechanical part of the EKG-10 mining excavator.

Наименование узла	Масса, т
Конструктивная масса машины без противовеса	350,0
Противовес	50,0
Поворотная платформа с оборудованием	154,0
Стрела в сборе	27,4
Рукоять	11,5
Ковш	16,2
Нижняя и гусеничная рамы	105,0
Кабина машиниста	5,3
Максимальная масса горной породы в ковше	25,0

Таблица 3. Координаты центров масс узлов экскаватора ЭКГ-10 относительно ребра опрокидывания.
Table 3. Coordinates of the centers of nodes weight of the ECG-10 excavator relative to the tipping edge.

Наименование элемента	Обозначение	Значение, м	Обозначение	Значение, м
Противовес	$X_{пр} (r_{пр})$	-10,3	$Y_{пр}$	0,5
Поворотная платформа с оборудованием	$X_{п} (r_{п})$	-5,5	$Y_{п.пл}$	3,1
Стрела в сборе	$X_{стр} (l_c)$	7,7	$Y_{стр}$	6,6
Рукоять	$X_{рук\ max} (l_p)$	9,2	$Y_{рук\ max}$	-
Ковш	$X_{гр\ max} (l_{к+п})$	12,2	$Y_{гр\ max}$	-
Нижняя и гусеничная рамы	$X_{т} (r_t)$	-3,5	$Y_{т}$	-
Кабина машиниста	$X_{каб} (r_{каб})$	-0,6	$Y_{каб}$	-
Горная порода в ковше	$X_{гр\ max} (l_{к+п})$	12,2	$Y_{гр\ max}$	-

3. Экскаватор движется вверх по уклону (транспортное положение). Рукоять полностью выдвинута, ковш находится у поверхности земли, стрела с канатно-блочным управлением располагается под минимальным (около 30°) углом к опорной поверхности.

4. Экскаватор движется по уклону вверх (транспортное положение). Рукоять расположена вертикально, стрела с канатно-блочным управлением располагается под максимальным углом к опорной поверхности.

Общая устойчивость карьерного экскаватора проверяется из условия невыхода равнодействующей вертикальных сил, включая усилия на зубьях ковша при копании, массу ходовой тележки и массу закладного противовеса, рассчитанного на уравновешенность поворотной части, за пределы опорного контура ходовой тележки. Как правило, коэффициент устойчивости составляет не менее 1,4, этого вполне достаточно.

Результаты

Расчет массы противовеса, оценка уравновешенности поворотной платформы и устойчивости карьерного экскаватора с изменяемым положением кабины произведены по известной методике, представленной в справочной литературе [8], с использованием стандартных средств «MS Excel». Исходные данные, а именно массы узлов механической системы карьерного экскаватора ЭКГ-10 (рис. 1, табл. 2), а также расположение центров масс основных элементов относительно ребра опрокидывания указаны в табл. 3 [13]. При необходимости линейные размеры L_i , м, элементов конструкции определяются в зависимости от массы карьерного экскаватора m_3 , т, и коэффициента пропорциональности k_i (принимается из справочной литературы) по эмпирическому выражению:

$$L_i = k_i \sqrt[3]{m_3}.$$

Использование стандартных средств «MS Excel» позволило получить следующие результаты для некоторых образцов карьерных экскаваторов.

Расчетные значения коэффициента устойчивости k_y : ЭКГ-5А – 1,38; ЭКГ-10 – 1,41; ЭКГ-12,5 – 1,43; ЭКГ-20А – 1,42.

Выводы

Исследование устойчивости карьерного экскаватора с изменяемым положением кабины позволило доказать полную обоснованность принятого технического решения, так как полученные расчетные значения коэффициента устойчивости соответствуют требованиям (коэффициент устойчивости должен быть не менее 1,4, ПАО «Уралмашзавод»). Подъемник кабины расширяет технологические возможности использования экскаваторов, что обуславливает практическую значимость предложенного технического решения. Улучшение показателей обзорности за счет внедрения предложенного устройства обеспечивает более полное использование эксплуатационных возможностей машины, что повышает эффективность выполнения технологических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Velikanov V. S., Kozyr A. V., Dyorina N. V. Engineering implementation of view objectives in mine excavator design // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. P. 1592–1596. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.683>
2. Шабанов А. А., Великанов В. С. Оценка одиночных и групповых эргономических показателей горнотранспортного оборудования на основе нечетких моделей // ГИАБ. 2011. Отд. вып. № 5. Горный инженер-2. Перспективы развития горнотранспортного оборудования. С. 326–332.
3. Ayane N., Gudadhe M. Review study on improvement of overall equipment effectiveness in construction equipments // Int. J. Eng. Dev. Res. 2015. Vol. 3, issue 2. P. 487–490. <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1502091.pdf>
4. Chen J., Yu S., Wang S., Lin Z., Liu G., Deng L. Aircraft cockpit ergonomic layout evaluation based on uncertain linguistic multiattribute decision making // Advances in Mechanical Engineering. 2014. <https://doaj.org/article/1af0395a59cb4577a477c26cad313a85>
doi: 10.1155/2014/698159
5. Le Q. H., Lee J. W., Yang S. Y. Remote control of excavator using head tracking and flexible monitoring method // Automation in Construction. 2017. Vol. 81. P. 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.015>
6. Ayane N., Gudadhe M. Review study on improvement of overall equipment effectiveness in construction equipments // Int. J. Eng. Dev. Res. 2015. Vol. 3, issue 2. P. 487–490. <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1502091.pdf>
7. Казаченко Г. В., Басалай Г. А. Способ оценки устойчивости одноковшовых экскаваторов // ГИАБ. 2014. № 3. С. 89–96.
8. Буряк Е. С. Горные машины и оборудование: методические указания к расчетно-практическим занятиям. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2015. 53 с.
9. Холявко А. А., Капралов П. А., Буева А. А. Устойчивость экскаватора // Молодежь и наука: сб. материалов X Юбилей. всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 80-летию образования Красноярского края. Красноярск, 2014. С. 208–209.
10. Семенов А. В., Вахрушев С. И. Исследование устойчивости одноковшовых экскаваторов // Master's Journal. 2016. № 2. С. 424–434.
11. Гуров М. Ю., Смирнова О. Г. Использование анкеров для крепления опор деррик-кранов // Сб. науч. тр., посвящ. 75-летию со дня рождения первого заведующего кафедрой «Строительно-дорожные машины» д. т. н., профессора Янцена И. А. Караганда: Болашак-Баспа, 2010. С. 140–145.
12. Liu L., Zhou Y., Mi Y., Lu D., Chen Y. Performance parameter optimization of excavator cab shock absorbers based on Kriging method // Jiangsu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban) / Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition). 2015. Vol. 36(5). P. 497–503. <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1671-7775.2015.05.001>
13. ИЗ-Картекс им. П. Г. Коробкова. Брошюры с техническими характеристиками. <http://iz-kartex.com/karemyie-ekskavatory>
14. Тураев Х. Т., Урунбаев Э. Автоматизация исследования устойчивости движения колесно-транспортных машин: программа. Св-во об официальной регистрации программы для ЭВМ № 001100305. Ташкент: ГКНТ Республики Узбекистан, Государственное патентное ведомство.
15. Прокопенко В. С., Решетов А. В. Совершенствование одноковшового экскаватора // Международная научно-практическая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. 2015. С. 846-849.

Статья поступила в редакцию 10 октября 2019 года

Study of the stability of a mine excavator with a variable cab position

Vladimir Semenovich VELIKANOV*,
Olga Rashidovna PANFILOVA

Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, Russia, Magnitogorsk

Relevance of the work is due to the need to increase the visual informativeness of the mine excavator driver during the excavation cycle operations with the help of a promising technical solution for changing the spatial position of the cab relative to the working equipment. The revolving platform of the mine excavator is brought into a balanced position due to the choice of the mass of the counterweight and the arrangement of all mechanisms on the platform. The implementation of a technical solution for changing the position of the cab determines the need for stability assessment.

Purpose of the work: stability assessment of a mine excavator with a variable cab position.

Methodology of research. The systems approach was used, including the static method for calculating single-bucket mine excavators, as well as the classical principles of the theoretical mechanics.

Results and their application. Theoretically, the calculated values of the stability coefficient for different models of mine excavators are determined. The counter-weight mass was calculated, the balance of the revolving platform and the stability of the EKG-10 mining excavator were estimated.

Conclusions. The full validity of the original technical solution was proved, since the obtained values of the stability coefficient comply with regulatory requirements, namely, the stability coefficient must be at least 1.4, PAO Uralmashzavod. Using standard MS Excel tools, the calculated values of the stability coefficient for different models of mine excavators are obtained, which are in the range of 1.38-1.42. The presented constructive solution will allow increasing the actual productivity of excavators by 10-15%.

Keywords: excavator, stability, cab, technique, efficiency.

REFERENCES

1. Velikanov V. S., Kozyr A. V., Dyorina N. V. 2017, Engineering implementation of view objectives in mine excavator design. *Procedia Engineering*. Vol. 206. P. 1592-1596. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.683>
2. Shabanov A. A., Velikanov V. S. 2011, Evaluation of single and group ergonomic indicators of mining equipment based on fuzzy models. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], Special issue No 5, Mining Engineer-2. Prospects of development of mining transport equipment. P. 326-332. (In Russ.)
3. Ayane N., Gudadhe M. 2015, Review study on improvement of overall equipment effectiveness in construction equipments. *Int. J. Eng. Dev. Res.* Vol. 3, issue 2. P. 487-490. <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1502091.pdf>
4. Chen J., Yu S., Wang S., Lin Z., Liu G., Deng L. 2014, Aircraft cockpit ergonomic layout evaluation based on uncertain linguistic multiattribute decision making. *Advances in Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.amep.2014.07.005>
5. Le Q. H., Lee J. W., Yang S. Y. 2017, Remote control of excavator using head tracking and flexible monitoring method. *Automation in Construction*. Vol. 81. P. 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.06.015>
6. Ayane N., Gudadhe M. 2015, Review study on improvement of overall equipment effectiveness in construction equipments. *Int. J. Eng. Dev. Res.* Vol. 3, issue 2. P. 487-490. <https://www.ijedr.org/papers/IJEDR1502091.pdf>
7. Kazachenko G. V., Basalay G. A. 2014, Method of assessment of stability of single-bucket excavators. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], No 3. Pp. 89-96. (In Russ.)
8. Buryak E. S. 2015, *Gornyye mashiny i oborudovaniye* [Mining machinery and equipment], guidelines for practical studies. Arkhangelsk, 53 p.
9. Holyavko A. A., Kapralov P. A., Bueva A. A. 2014, *Ustoychivost' ekskavatora* [Excavator stability], Youth and Science: book of reports of the X Anniversary All-Russian scientific and technical conference dedicated to the 80th anniversary of the formation of the Krasnoyarsk Territory. Krasnoyarsk. P. 208-209.
10. Semenov A. V., Vakhrushev S. I. 2016, Research of stability of single-bucket excavators. *Master's Journal*. No 2. P. 424-434.
11. Gurov M. Yu., Smirnova O. G. 2010, *Ispol'zovaniye ankerov dlya krepleniya opor derrick-kranov* [The use of anchors for fastening derrick-crane supports]. Book of reports dedicated to the 75th anniversary of the first head of the department "Building and road machines", Doctor of Technical Sciences, Professor Yantsen I. A. Karaganda, Bolashak Baspa. P. 140-145.
12. Liu L., Zhou Y., Mi Y., Lu D., Chen Y. 2015, Performance parameter optimization of excavator cab shock absorbers based on Kriging method. *Jiangsu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)*. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition). Vol. 36(5). P. 497-503. <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1671-7775.2015.05.001>
13. Iz-Kartex named after P.G. Korobkov. Brochures with technical specifications. <http://iz-kartex.com/karernyye-ekskavatory>
14. Turaev Kh. T., Urumbaev E. *Avtomatizatsiya issledovaniya ustoychivosti dvizheniya kolesno-transportnykh mashin* [Automation of research of movement stability of wheeled transport vehicles], program. Certificatethe of official registration of the computer program No 001100305, State committee for science and technology of the Republic of Uzbekistan, State Patent Office.
15. Prokopenko V. S., Reshetov A. V. 2015, *Sovershenstvovaniye odnokovshovogo ekskavatora* [Improvement of one-bucket excavator]. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists of BSTU named after. V. G. Shukhov. P. 846-849.

The article was received on October 10, 2019

✉ rizhik_00@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-558-2733>

Элементарная теория измерительного кабеля при резистивном методе измерения скорости детонации взрывчатых веществ

Сергей Васильевич ИЛЯХИН¹,
Илья Юрьевич МАСЛОВ²,
Павел Александрович БРАГИН²

¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Россия, Москва

²ООО «Глобал Майнинг Эксплозив - Раша», Московская обл., г. Наро-Фоминск, пос. Селятино

Актуальность темы, цель и методы исследования. В настоящее время для измерения скорости детонации во взрывчатых веществах в промышленных и лабораторно-полигонных условиях широко применяются рефлектометрический и резистивный методы. В основе указанных методов лежит фиксация соответствующим измерительным прибором изменения длины неповрежденного линейного датчика при распространении по заряду детонационной волны. Датчик представляет собой специальный кабель и располагается по длине заряда ВВ при подготовке заряда к взрыву. При резистивном методе прибор измеряет и записывает величину электрического сопротивления кабеля, уменьшающегося по мере распространения детонационной волны. При этом исходят из представления, что кабель практически мгновенно разрушается, а электропроводящие в зоне химических реакций детонационной волны продукты детонации замыкают проводящие элементы кабеля. Однако практически мгновенное разрушение измерительного кабеля возможно только при достаточно высоком детонационном давлении. При давлениях, недостаточных для быстрого разрушения кабеля, возникает вопрос о возможности использования указанного метода для измерения скорости детонационной (ударной) волны.

Результаты и выводы. Показано, что инструментальный комплект, применяемый при резистивном методе измерения скорости детонации взрывчатых веществ, можно использовать для измерения скорости распространения относительно слабых детонационных волн в ВВ и ударных волн в пассивных конденсированных средах. Получены ограничения на величину фронтального давления во фронте детонационной волны в ВВ или во фронте ударной волны в пассивных средах и время действия ударного импульса, при выполнении которых указанный метод позволяет получать корректные результаты.

Ключевые слова: рефлектометрический метод, резистивный метод, измерительный кабель, вязко-пластичное разрушение оболочек кабеля, давление во фронте ударной волны, длительность ударного импульса.

Введение
В настоящее время измерение скорости детонации во взрывчатых веществах в промышленных и лабораторно-полигонных условиях осуществляется преимущественно рефлектометрическим [1–7] или резистивным [7–12] методами.

В обоих методах по заряду располагают непрерывный линейный датчик в виде специального (для каждого метода) коаксиального измерительного кабеля, который присоединяется к соответствующему измерительному прибору.

При рефлектометрическом методе прибор посылает в кабель короткие импульсные сигналы, которые отражаются от его противоположного конца кабеля. Измеряется и записывается время задержки между посланным и принятым импульсами, которое пропорционально длине кабеля. При этом независимо от величины проводимости вещества в детонационной волне или фронте горения и независимо от состояния конца кабеля (обрыв, хорошее или плохое замыкание или даже просто смятие без разрушения кабеля) происходит надежное отражение сигнала от места деформирования (разрушения) кабеля при воздействии на него. Это дает возможность измерять как быстрые, так и медленные детонационные процессы, а также горение, вплоть до таких низких скоростей, как 500 м/с и менее [1–7].

При резистивном методе прибор измеряет и записывает величину электрического сопротивления кабеля, уменьшающегося по мере распространения детонационной волны [7–12]. При этом исходят из представления, что кабель практически мгновенно разрушается, а электропроводящие в зоне химических реакций детонационной волны продукты детонации [13, 14] замыкают проводящие элементы кабеля.

Оба метода обеспечивают непрерывные измерения скорости разрушения кабеля в промышленных условиях.

Исторически первым появился и получил широкое распространение резистивный метод, который зарекомендовал себя надежным и достаточно точным методом измерений скорости детонации ВВ в промышленных и полигонных условиях при высоких параметрах детонационного процесса. Однако в случае низкоскоростных режимов взрывчатого разложения ВВ возникает вопрос о приемлемости схемы мгновенного разрушения кабеля и замыкания его проводящих элементов продуктами детонации, так как давление и температура в продуктах взрывчатого разложения существенно уступают данным показателям высокоскоростного детонационного процесса. В рекламных проспектах и сопроводительной к резисторному прибору документации отсутствуют данные о минимальных параметрах детонационного процесса, которые способен зафиксировать прибор. Это вызывает затруднения в работе экспертных и исследовательских организаций, использующих резистивный метод измерения скорости детонации.

В настоящей работе осуществлена теоретическая оценка возможности применения резистивного метода измерений в зависимости от параметров детонационной (ударной) волны, что актуально для экспертных и исследовательских организаций, имеющих соответствующее оборудование.

Материалы и результаты исследований.

При резистивном методе измерения скорости детонации ВВ используется специальный измерительный кабель, проложенный вдоль заряда. Конструкция измерительного кабеля представлена на рис. 1.

При обосновании возможности замеров скорости детонационной волны с использованием измерительных кабелей представленного типа исходят из следующей качественной картины явления:

- изоляционные оболочки кабеля разрушаются в зоне химических реакций детонационной волны;
- продукты детонации в зоне химических реакций имеют высокую электропроводимость [13, 14];

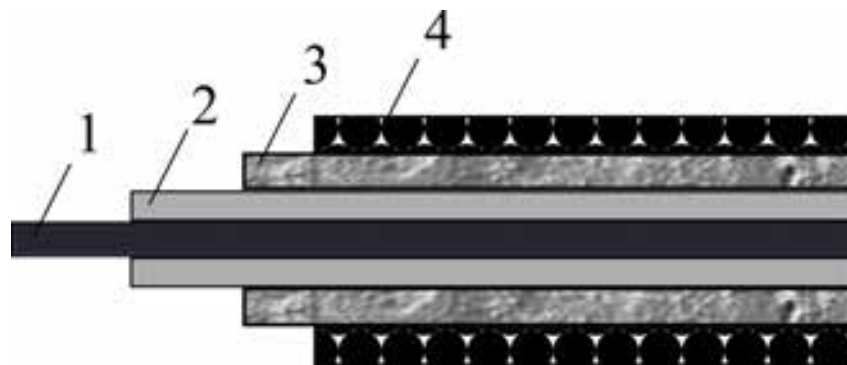


Рисунок 1. Конструкция измерительного кабеля. 1 – центральный металлический провод; 2 – внутренняя изоляционная оболочка; 3 – оболочка из тонких сплетенных металлических проволочек; 4 – внешняя изоляционная оболочка.

Figure 1. Measuring cable design. 1– central metal wire; 2 – inner insulating sheath; 3 – the shell of thin woven metal wires; 4 – external insulating sheath.

– центральный провод (1) и оболочка из сплетенных металлических проволочек (3) замыкаются между собой электропроводящими продуктами взрыва (рис. 1) [7–12].

Рассмотрим измерительный кабель марки «Probecable» (рис. 1).

Внешние и внутренние изоляционные оболочки кабеля изготовлены из блок-сополимеров пропилена и этилена. Молекулы пропилена в структуре молекулы рассматриваемого полимера придают ему прочность и термостойкость, а молекулы этилена – эластичность и снижают температуру стеклования полимера измерительного кабеля. Изменением соотношения между длиной (и количеством) цепочек полипропилена и полиэтилена в структуре макромолекул полимеров добиваются необходимых физико-механических свойств материалов оболочек. Расчеты на основании [15] показали, что данный пластик вследствие сжатия под действием ударной волны нагревается до температуры больше, чем его температура спинодали, если давление в ударной волне, воздействующей на рассматриваемый пластик, больше 7 ГПа (температура спинодали – это температура, при которой происходит взрывоподобное вскипание пластика, сопровождающееся разлетом мельчайших капель, на которые диспергирует пластик. Для полимеров, имеющих полиэтиленовую основу, температуры спинодали составляет примерно 800 К [16]).

Однако при низкоскоростных режимах детонации давление в зоне реакции составляет 1,2–3,5 ГПа [17]. Следовательно, представления о практически мгновенном разрушении изоляционных оболочек под действием детонационного давления с последующим замыканием проводящих элементов кабеля ионизированными продуктами детонации в случае измерений низкоскоростных режимов детонации некорректны.

Рассмотрим деформирование измерительного кабеля при давлениях ниже 7 ГПа.

Полагаем, что деформация материалов изоляционных оболочек описывается законом Бингама, так как согласно исследованиям [15, 18] при ударном воздействии на полимеры, имеющие полиэтиленовую основу, их разрушение при температурах ниже температуры спинодали происходит вязко-пластичным образом.

Введем следующие обозначения (численные данные соответствуют измерительному кабелю марки «Probecable»):

$R_{н.в}$ – наружный радиус внешней изоляционной оболочки, $R_{н.в} = 0,9$ мм;

R_1 – внутренний радиус внешней изоляционной оболочки, $R_1 = 0,65$ мм;

r_1 – наружный радиус внутренней изоляционной оболочки, $r_1 = 0,4$ мм;

$r_{ж}$ – радиус центрального металлического провода, $r_{ж} = 0,2$ мм;

$R_{пр}$ – радиус металлической проволочки из коаксиальной сетчатой оплетки, $R_{пр} = 0,025$ мм;

n – количество металлических проволочек в коаксиальной сетчатой оплетке, $n = 48$;

τ_1, τ_2 – характерное предельное напряжение сдвига, при достижении которого начинается течение материала внешней и внутренней изоляционных оболочек соответственно;

μ_1, μ_2 – динамический коэффициент структурной (пластической) вязкости материала внешней и внутренней изоляционных оболочек соответственно;

P – величина внешнего давления, обжимающего измерительный кабель;

t_* – время действия внешнего давления.

Микроскопическое изучение коаксиальной сетчатой оплетки показало:

– сеть из металлических проволочек сплетена так, что толщина области пучности (область пересечения нескольких прядей проволочек) $h = 0,25$ мм;

– плетение осуществлено таким образом, что в нем образованы сквозные отверстия, имеющие форму, подобную усеченной четырехугольной пирамиде;

– верх усеченной пирамиды обращен в сторону внутренней изоляционной оболочки;

– начальный эффективный радиус отверстия равен: со стороны внешней оболочки – $a_1 = 0,5$ мм; со стороны внутренней изоляционной оболочки – $a_1 = 0,34$ мм;

N_L – линейная плотность отверстий, $N_L = 3600$ отв/м.

Принимаем следующую качественную картину замыкания проводящих элементов измерительного кабеля под действием всесторонне обжимающего ударного воздействия.

Под действием внешнего давления происходит сжатие наружной изолирующей оболочки, которое передается металлической сетке. В узлах пучности сжатие практически сразу передается внутренней изолирующей оболочке. Сетка, с

одной стороны, внедряется во внутреннюю изолирующую оболочку, а с другой – материал внешней оболочки начинает втекать в свободное сеточное пространство. Для соприкосновения сетки с центральным проводом необходимо, чтобы сетка углубилась во внутреннюю оболочку на глубину

$$h_2 = r_1 - r_{*} \quad (1)$$

При этом глубина проникновения материала внешней оболочки в сетку h_1 должна удовлетворять условию:

$$h_1 < R_1 - r_1 - h_2 \quad (2)$$

Согласно формуле Бекингема [19], секундный объемный расход $Q(a, h)$ вязко-пластичного вещества через цилиндрический канал равен

$$Q(a, h) = \frac{\pi a^4 P}{8\mu h} \left(1 - \frac{4}{3} \left(\frac{2\tau h}{aP} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{2\tau h}{aP} \right)^4 \right), \quad (3)$$

где a, h – эффективный радиус и длина канала соответственно.

Объем материала внутренней изолирующей оболочки, приходящийся на одно отверстие, равен

$$V_p = \frac{\pi(r_1^2 - r_*^2)}{N_L} \quad (4)$$

Время истечения объема материала V_p через отверстие равно

$$t_* = \frac{V_p}{Q(a_2, h_2)} \quad (5)$$

На основании (1), (3)–(5), учитывая значения параметров, определяем

$$t_* \cong \frac{4\mu_2}{P} \quad (6)$$

Из (6) определяем ограничения на величину внешнего давления и величину ударного импульса

$$P \geq \frac{4\mu_2}{t_\delta} \text{ и } Pt_\delta \geq 4\mu_2.$$

Например, при $\mu_2 \approx 1000 \text{ Па} \times \text{с}$ и $t_\delta \cong 10^{-5} \text{ с}$: $P \geq 0,4 \text{ ГПа}$.

Дополнительно на основании (2)–(5) находим ограничение на величины μ_1 и τ_1 : $\mu_1 > 70 \mu_2$ и $\tau_1 > \tau_2$.

Последнее достигается регулированием физико-механических свойств блок-сополимеров, из которых изготавливаются оболочки измерительного кабеля.

Выводы.

Предложена элементарная теория измерительного кабеля при резистивном методе измерения скорости детонации ВВ.

Показано, что резистивный метод измерения скорости детонации взрывчатых веществ можно использовать при измерении скорости распространения слабых детонационных волн в ВВ и ударных волн в пассивных средах в случае, если величина ударного импульса, воздействующего на кабель будет больше учетверенного значения коэффициента динамической вязкости материала внутренней изоляционной оболочки.

ЛИТЕРАТУРА

- Kittell D. E., Mares J. O., Son J. F., Son S. F. Using time-frequency analysis to determine time-resolved detonation velocity with microwave interferometry // Review of scientific instruments. 2015. Vol. 86, № 4. P. 1–10. 044705. <https://doi.org/10.1063/1.4916733>
- Rae P. Determination velocity of detonation using high-resolution time domain reflectometry // Review of Scientific Instruments. 2019. Vol. 90, № 8. 085005. <https://doi.org/10.1063/1.5100750>
- Lee Chun-Kwon, Gu-Young Kwon, Lee Yeong, Lee Geon, Bang Su, Shin Yong-June. Insulation Characteristics and Fault Analysis of HTS Cable via Stepped Frequency Waveform Reflectometry // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 2019. № 3. P. 99.
- Rodriguez G., Gilbertson S. M. Ultrafast fiber Bragg grating interrogation for sensing in detonation and shock wave experiments // Sensors. 2017. Vol. 17, № 1. P. 27.
- Сапронов Е. М., Бердов С. П., Белин В. А., Астахов Е. О. Повышение эффективности отбойки горной породы на основе исследования скорости детонации ЭВВ рефлектометрическим методом // Горный журнал. 2012. № 9 (спец. вып.). С. 46–50.
- Методика измерений скорости детонации взрывчатых веществ рефлектометрическим методом с использованием измерителя скорости детонации SpeedVOD. СТО 01.01.004–2013. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2013. 21 с.
- Кутуев В. Ф., Меньшиков П. В., Жариков С. Н. Анализ методов исследования детонационных процессов ВВ // Проблемы недропользования. 2016. № 3. С. 78–87.
- Маслов И. Ю., Пупков В. В., Кампель Ф. Б. и др. Определение фактической скорости детонации и работоспособности новых эмульсионных ВВ с целью выбора рациональной плотности заряжения при взрывоподготовке железных руд // ГИАБ. 2003. № 5. С. 56–60.
- Маслов И. Ю., Пупков В. В., Кампель Ф. П. и др. Метод непрерывного измерения скорости детонации зарядов промышленных ВВ // Взрывное дело. 2006. № 96/53. С. 101–113.
- Добрынин И. А. Методика измерения скорости детонации ПВВ в скважинных зарядах с применением современных датчиков // ГИАБ. 2007. ОВ № 8. С. 27–33.

11. Котяшев А. А., Маторин А. С., Меньшиков П. В. Определение характеристик эмульсионных взрывчатых веществ методом производственного эксперимента // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Чтения памяти В. Р. Кубачека: сб. докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2009. С. 58–63.
12. Методика измерений скорости детонации взрывчатых веществ реостатным методом с использованием измерителя скорости детонации VOD Mate CTO 01.01.004-2011. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2011. 17 с.
13. Ershov A. P., Satonkina N. P., Ivanov G. M. et al. Reaction zones and conductive zones in dense explosives // Proc. of 13th International Detonation Symposium 351-07-01. Norfolk, VA, 2006. Office of Naval Research. Arlington, VA. P. 79–88.
14. Сатонкина Н. П., Прууэл Э. Р., Ершов А. П. и др. Эволюция электропроводности эмульсионных ВВ при их детонационном превращении // Физика горения и взрыва. 2015. Т. 51, № 3. С. 91–97.
15. Кунижев Б. И., Цечоева А. Х., Кушхатлоков С. Л., Кадыкоева М. Х. Ударная адиабата и оценка температуры ударно-сжатого полиэтилена // Научные известия. 2015. № 1. С. 89–93.
16. Хищенко К. В., Ломоносов И. В., Фортов В. Е., Шленский О. Ф. Термодинамические свойства пластиков в широком диапазоне плотностей и температур // ДАН. 1996. Т. 349, № 3. С. 322–325.
17. Маторин А. С., Павлютенков В. М. Водосодержащие взрывчатые вещества местного приготовления. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 194 с.
18. Цечоева А. Х. Процессы разрушения некоторых полимерных композитных материалов при высокоскоростном нагружении: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 02.00.06. Нальчик, 2013. 17с.
19. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 840 с.

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2019 года

Elementary theory of a measuring cable with a resistive method for measuring velocity of detonation of an explosive

Sergey Vasilyevich ILYAKHIN¹,
Ilya Yuryevich MASLOV²,
Pavel Alexandrovich BRAGIN²

¹The Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow, Russia,

²Global Mining Explosive - Russia, Moscow region, Naro-Fominsk, Selyatino village.

Relevance, purpose and methods of research. Currently, reflectometry and resistive methods are widely used to measure the velocity of detonation of explosives in industrial and laboratory field conditions. The basis of these methods is fixing with a suitable measuring device changes in the length of an intact linear sensor during propagation of a detonation wave over a charge. The sensor is a special cable and is located along the length of the explosive charge when preparing the charge for an explosion. With the resistive method, the device measures and records the value of the electrical resistance of the cable, which decreases as the detonation wave propagates. At the same time, one proceeds from the idea that the cable is destroyed almost instantly, and the detonation products electrically conducting in the zone of chemical reactions of the detonation wave close the conductive elements of the cable. However, almost instantaneous destruction of the measuring cable is possible only with a sufficiently high detonation pressure. At pressures insufficient for the rapid destruction of the cable, the question arises of the possibility of using this method to measure the velocity of a detonation (shock) wave.

Results and conclusions. It is shown that the tool kit used in the resistive method for measuring the detonation velocity of explosives can be used to measure the propagation velocity of relatively weak detonation waves in explosives and shock waves in passive condensed media. Limitations are obtained on the value of the frontal pressure in the front of the detonation wave in the explosive or in the front of the shock wave in passive media and the duration of the shock pulse, during which the specified method allows obtaining correct results.

Keywords: reflectometry method, resistive method, measuring cable, ductile fracture of cable sheaths, pressure at the front of the shock wave, duration of the shock pulse.

REFERENCES

- Kittel D. E., Mares J. O., Son J. F., Son S. F. 2015, Using time-frequency analysis to determine time-resolved detonation velocity with microwave interferometry. Review of scientific instruments. Vol. 86, No 4. P. 1–10. 044705. <https://doi.org/10.1063/1.4916733>
- Rae P. 2019, Determination velocity of detonation using high-resolution time domain reflectometry. Review of Scientific Instruments. Vol. 90, No 8. 085005. <https://doi.org/10.1063/1.5100750>
- Lee Chun-Kwon, Gu-Young Kwon, Lee Yeong, Lee Geon, Bang Su, Shin Yong-June. 2019, Insulation Characteristics and Fault Analysis of HTS Cable via Stepped Frequency Waveform Reflectometry. IEEE Transactions on Applied Superconductivity. No 3. P. 99.
- Rodriguez G., Gilbertson S. M. 2017, Ultrafast fiber Bragg grating interrogation for sensing in detonation and shock wave experiments. Sensors. Vol. 17, No 1. P. 27.
- Sapronov E. M., Berdov S. P., Belin V. A., Astakhov E. O. 2012, Improving the efficiency of rock blasting based on the study of detonation velocity of emulsion explosives by the reflectometric method. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], No 9, (special issue). P. 46–50. (In Russ.)
- 2013, *Metodika izmereniy skorosti detonatsii vzryvchatykh veshchestv reflektometricheskim metodom s ispol'zovaniyem izmeritelya skorosti detonatsii SpeedVOD* [Methodology for measuring the detonation velocity of explosives using the reflectometric method and the SpeedVOD detonation velocity meter]. Sanitary Engineering Department 01.01.004–2013. Ekaterinburg, 21 p.
- Kutuev V. F., Menshikov P. V., Zharikov S. N. 2016, Analysis of methods of investigation of detonation processes of explosives. *Problemy nedropol'zovaniya* [Subsoil Use Issues]. No 3. P. 78–87. (In Russ.)
- Maslov I. Yu., Pupkov V. V., Kampel F. B. et al. 2003, Determination of the actual detonation velocity and operability of new emulsion explosives with the aim of choosing a rational loading density during the explosion of iron ores. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], P. 56–60. (In Russ.)
- Maslov I. Yu., Pupkov V. V., Kampel F. P. et al. 2006, Method for continuous measurement of the detonation velocity of charges of industrial explosives. *Vzryvnoye delo* [Explosion technology], P. 101–113. (In Russ.)
- Dobrynin I. A. 2007, Methodology for measuring the velocity of detonation of explosives in borehole charges using modern sensors. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], No 8, P. 27–33. (In Russ.)
- Kotyashv A. A., Matorin A. S., Menshikov P. V. 2009, *Opredeleeniye kharakteristik emul'sionnykh vzryvchatykh veshchestv metodom proizvodstvennogo eksperimenta* [Characterization of emulsion explosives by the production experiment method]. Technological equipment for the mining and oil and gas industries. Readings in memory of V. R. Kubachek: book of reports. VII International Scientific conference Yekaterinburg. P. 58–63.
- 2011, *Metodika izmereniy skorosti detonatsii vzryvchatykh veshchestv reostatnym metodom s ispol'zovaniyem izmeritelya skorosti detonatsii VOD Mate STO 01.01.004-2011* [Method of measuring the detonation velocity of explosives by the rheostatic method using the VOD Mate detonation velocity meter SED 01.01.004-2011]. Ekaterinburg, 17 p.
- Ershov A. P., Satonkina N. P., Ivanov G. M. et al. 2006, Reaction zones and conductive zones in dense explosives. Proc. of 13th International Detonation Symposium 351-07-01. Norfolk, VA. Office of Naval Research. Arlington, VA. P. 79–88.
- Satonkina N. P., Prueel E. R., Ershov A. P. et al. 2015, Evolution of electrical conductivity of emulsion explosives during their detonation transformation. *Fizika gorennya i vzryva* [Combustion, Explosion and Shock Waves], Vol. 51, No 3. P. 91–97. (In Russ.)
- Kunyzhev B. I., Tsechoeva A. H., Kushkhatokov S. L., Kadykoeva M. Kh. 2015, Shock adiabat and temperature estimation of shock-compressed polyethylene. *Nauchnyye izvestiya* [Scientific News], No 1, P. 89–93. (In Russ.)
- Khishchenko K. V., Lomonosov I. V., Fortov V. E., Shlensky O. F. 1996, Thermodynamic properties of plastics in a wide range of densities and temperatures. *Doklady akademii nauk* [Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Sections], vol. 349, No 3. P. 322–325. (In Russ.)
- Matorin A. S., Pavlyutenkov V. M. 2004, *Vodosoderzhashchiye vzryvchatyye veshchestva mestnogo prigotovleniya* [Water-based explosives of local manufacture], Ekaterinburg, 194 p.
- Tsechoeva A. Kh. 2013, *Protsessy razrusheniya nekotorykh polimernykh kompozitnykh materialov pri vysokoskorostnom nagruzenii* [Destruction processes of some polymer composite materials under high speed loading], PhD thesis, 02.00.06. Nalchik, 17p.
- Loitsyansky L. G. 1987, *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of fluid and gas], Moscow, 840 p.

The article was received on November 14, 2019

✉ isv11@mail.ru

Новый способ определения радиуса волнистости канатов с помощью нелинейных уравнений

Сергей Владимирович ПОЛЯКОВ*

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, Санкт-Петербург

Актуальность работы. Подъемный канат как гибкий элемент, способный нести высокую растягивающую нагрузку, широко применяется в современной подъемно-транспортной технике. Надежность подъемного каната во многом определяется его расчетом, проведенным с учетом различий геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов, выбором конструкции каната в зависимости от условий его эксплуатации, технологией изготовления, качеством исходных материалов. Однако, несмотря на достигнутые успехи в конструировании подъемных стальных канатов и технологии их изготовления, практика эксплуатации показывает, что сроки службы подъемных канатов изменяются в больших пределах (от 90 до 1200 сут). Браковка подъемных канатов в первые месяцы их эксплуатации по причине образования в них волнистости и обрывов проволок приводит к экономическим и социальным затратам.

Целью данной работы является повышение безопасности эксплуатации подъемного каната путем определения с помощью нелинейных уравнений статки допустимого значения радиуса волнистости, при котором разрешена эксплуатация подъемного каната. При эксплуатации стальных канатов в них появляется волнистость в результате различия геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов, при которой ось каната принимает форму пространственной винтовой линии. При этом необходимо знать допустимое значение радиуса волнистости, при котором возможна дальнейшая эксплуатация каната. В данной работе подготовлена методика определения допустимого значения радиуса волнистости для подъемных канатов при нелинейных уравнениях. Представлен пример расчета допустимого значения радиуса волнистости подъемного каната при нелинейных уравнениях.

Методология исследования. Использован системный подход, включающий аналитические и вычислительные методы с применением нелинейной части теории расчета подъемного каната, а также классических положений расчета подъемного каната.

Результатом работы является определение допустимого значения радиуса волнистости при нелинейных уравнениях статки, полученного с помощью подготовленной методики, при котором возможна дальнейшая эксплуатация подъемного каната.

Выводы. Подготовленная методика обеспечит повышение безопасности подъемного каната в подъемно-транспортном оборудовании, что имеет большое практическое значение для строительной отрасли России.

Ключевые слова: канат, деформации, допустимое значение, волнистость, угол свивки, расчет каната.

Введение
При эксплуатации подъемных канатов в них появляется волнистость в результате различия геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов, при которой ось каната принимает форму пространственной винтовой линии. При этом необходимо знать допустимое значение радиуса волнистости, при котором возможна дальнейшая эксплуатация подъемного каната [1, 2].

В работах проф. М. Н. Хальфина [3, 4] было получено выражение допустимого значения радиуса волнистости на основе линейной теории расчета подъемных канатов. Также была сделана попытка определения количественного значения радиуса волнистости, составляющего 1,08 мм, которое включено в редакцию «Правилами устройства безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» [5] и «Правилами устройства безопасной эксплуатации пассажирских подвесных и буксировочных канатных дорог». Далее мы попытаемся получить выражение допустимого радиуса волнистости для подъемного каната при нелинейных уравнениях статки.

Определение допустимого значения радиуса волнистости при нелинейных зависимостях

Допустимое значение радиуса волнистости при линейных зависимостях определяется из условия прочности подъемного каната, полученного в работе [6].

Допустимая величина радиуса волнистости для каната двойной свивки, согласно исследованиям [4, 7], была получена проф. М. Н. Хальфиным

В связи с тем, что учитывается изменение углов свивки винтовых элементов каната за период его деформации, то условие прочности каната с учетом изменений геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов с помощью нелинейных уравнений было получено исследователем.

После математических преобразований было получено уравнение допустимого значения радиуса волнистости при нелинейных зависимостях:

$$\frac{d_b}{d_k} \leq 1 + \frac{R_b^n}{R_k} \leq 1 + \frac{\frac{1}{2} \left(A_{14} \Delta \varepsilon + A_{24} \Delta \theta + (A_{44} - mg_0) \frac{1}{\rho} + A_{411} \Delta \varepsilon^2 + A_{412} \Delta \varepsilon \Delta \theta + A_{422} \Delta \theta^2 + A_{414} \Delta \varepsilon \frac{1}{\rho} + A_{424} \Delta \theta \frac{1}{\rho} + A_{444} \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 \right)}{R_k (A \varepsilon + C \theta + A_{11} \varepsilon^2 + A_{12} \varepsilon \theta + A_{22} \theta^2)}, \quad (1)$$

где d_b – диаметр спирали волнистости; d_k – диаметр стального каната; R_k – радиус каната (линейная теория); R_b^n – радиус волнистости (нелинейная теория); m – число винтовых элементов в каждом слое каната; μ_1 – коэффициент сужения каната; $A_{11}, A_{12}, A_{14}, A_{22}, A_{23}, A_{24}, A_{34}, A_{44}, A_{411}, A_{412}, A_{414}, A_{422}, A_{424}, A_{444}$ – агрегатные коэффициенты жесткости; $\Delta \varepsilon, \Delta \theta, 1/\rho$ – дополнительная продольная, крутильная и изгибная деформация каната; g_0 – жесткость пряди на изгиб.

Алгоритм расчета допустимого значения радиуса волнистости для подъемного каната при нелинейных зависимостях

Исследования по определению допустимого значения радиуса волнистости проводились на ПК IBM PC по разработанному алгоритму.

Исходные данные к расчету подъемного каната:

*555ots@mail.ru

Конструкция каната $6 \cdot 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 7 \cdot 7(1 + 6)$

Диаметр проволоки

Диаметр слоя проволоки

Площадь поперечного сечения проволоки

Диаметр слоя прядей

Шаг свивки слоя проволоки

Шаг свивки слоя прядей

Угол свивки слоев проволоки

Угол свивки слоев прядей

Радиус свивки проволоки

Радиус свивки прядей

Натяжение стального каната

Временное сопротивление (маркировочная группа)

Количество прядей в каждом слое: центральная прядь (круглая); первый слой (круглая); второй слой (круглая).

Модуль упругости I рода $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа

Модуль упругости II рода $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа

Определение параметров свивки подъемного каната

Определение параметров свивки подъемного каната с учетом различия геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов для расчета допустимого значения радиуса волнистости при нелинейных зависимостях производится в следующей последовательности.

Определяется изменение угла свивки подъемного каната с учетом неравномерности геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов.

Определяются агрегатные коэффициенты жесткости для двух вариантов свивки каната:

– все слои прядей направлены в одну сторону;

– наружный слой прядей направлен в одну сторону, а остальные – в противоположную.

Определяются дополнительные деформации: продольные, крутильные и изгибные [8–10], основные деформации растяжения и кручения.

Определяются нормальные напряжения в поперечном сечении проволоки каната двойной свивки с учетом различия геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов при нелинейных зависимостях [10].

Определяется запас прочности подъемного каната с учетом различия геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов при нелинейных зависимостях и изменении σ_v – растягивающих напряжений для круглых проволок в пределах от 160 до 200 МПа [11, 12].

Определяется допустимое значение радиуса волнистости для подъемного каната при нелинейных зависимостях (1).

Примеры расчета допустимого значения радиуса волнистости подъемного каната при нелинейности деформаций

При известных конструкциях канатов, при его натяжении можно определить допустимое значение радиуса волнистости в нелинейной форме.

Для проведения исследований по определению допустимого значения радиуса волнистости, полученного в нелинейной форме, нами были использованы канаты: 14,5 – Г-В-Л-О-Р-1960, ГОСТ 7669-80; 16 – Г-В-Л-О-Р-1960, ГОСТ 7669-80; 21 – Г-В-Л-О-Р-1960, ГОСТ 7669-80; 30 – Г-В-Л-О-Р-1670, ГОСТ 7669-80; 35,5 – Г-В-Л-О-Р-1960, ГОСТ 7669-80.

Конструктивные данные к расчету допустимого значения радиуса волнистости при нелинейности деформаций:

Конструкция каната – $6 \cdot 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 7 \cdot 7(1 + 6)$

Диаметр каната – 14,5; 16; 21; 30; 35,5 мм

Маркировочная группа – 1670; 1960 Н/мм²

Модуль упругости I рода – $E = 2,1 \times 10^5$ МПа

В таблице представлены расчетные допустимые значения радиуса волнистости, полученные на основе (1).

При исследовании канатов проф. М. Н. Хальфиным были получены с помощью линейной теории расчета канатов допустимые значения радиуса волнистости, составляющие 1,08, которые включены в редакцию «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» [3, 13, 14].

Как было показано ранее, при эксплуатации стальных канатов в них появляются изменения геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов, но с помощью полученных нами теоретических и экспериментальных исследований выведено значение допустимого радиуса волнистости подъемного каната при нелинейности деформаций,

Допустимые значения радиуса волнистости подъемных канатов при нелинейных зависимостях.

Permissible values of the radius of waviness of the winding ropes with non-linear dependencies.

Конструкция каната	Диаметр каната, мм	Маркировочная группа, Н/мм ²	Допустимое значение радиуса волнистости
$6 \cdot 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 7 \cdot 7(1 + 6)$	14,5	1960	1,052
$6 \cdot 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 7 \cdot 7(1 + 6)$	16,0	1960	1,046
$6 \cdot 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 7 \cdot 7(1 + 6)$	21,0	1960	1,043
$6 \cdot 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 7 \cdot 7(1 + 6)$	30,0	1670	1,042
$6 \cdot 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 7 \cdot 7(1 + 6)$	35,5	1670	1,042

составляющее 1,04–1,05. При достижении отношения диаметра спирали волнистости d_b к диаметру каната d_k , равного 1,04, нами рекомендуется прекращение дальнейшей эксплуатации стальных канатов с целью повышения безопасности.

Сравнение допустимых значений радиуса волнистости, полученных при нелинейной теории расчета канатов с рекомендованными в литературе линейными значениями радиуса волнистости, показывает, что нелинейная теория дает более точные значения и на 30 % меньше при идентичных исходных данных.

Заключение

В нашей стране до 2003 г., согласно «Правилам безопасной эксплуатации подвесных канатных дорог» [5, 11], запрещалась эксплуатация подъемного каната при визуальном обнаружении неравномерности геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов (волнистости) в канате. При этом [5] количественное ограничение диаметра волнистости не было предусмотрено. В то же время «Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» предусматривается эксплуатация при отношении диаметра спирали волнистости d_b к диаметру каната d_k , меньшем 1,08, что позволяет значительно повысить безопасность эксплуатации и продлить срок службы подъемных канатов с образованиями изменениями геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов.

Для определения оптимального значения радиуса волнистости нами разработана методика, построенная на полученных нелинейных уравнениях статики, включающая рекомендации по повышению безопасности подъемного каната с образовавшимися в нем изменениями геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов (волнистости). При достижении отношения диаметра спирали волнистости d_b к диаметру каната d_k , равного 1,04, нами рекомендуется прекращение дальнейшей эксплуатации стальных канатов с целью повышения безопасности.

Целью методики является, исходя из конструкции подъемного каната, растягивающей нагрузки и запаса прочности, повышение безопасности эксплуатации подъемного каната путем определения с помощью нелинейных уравнений статики допустимого значения радиуса волнистости в канате с учетом образовавшихся в нем изменений геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов (волнистости) [9, 10].

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований установлены новые и подтвержденные существующие закономерности влияния конструктивных параметров подъемных канатов на их прочностные характеристики, позволяющие обосновать оптимальные параметры канатов с учетом различия геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов при нелинейности деформаций, обеспечивающие повышение надежности и долговечности подъемных машин, что имеет большое практическое значение для строительной отрасли России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stiepanov A., Koskin A. A few words more on the properties of viscoelastic winding ropes // Mine hoisting '96: International Scientific and Technical Conference, 8–10 October 1996, Gliwice, Poland. Vol. 2. P. 65–68.
2. Nemtsov M. V., Trifanov G. D. A magnetic method of wire-rupture detection in steel cables // Russian Electrical Engineering. 2017. Т. 88, № 5. P. 285–288.
3. Хальфин М. Н. Расчет шахтного подъемного каната с учетом неодинаковости физико-механических свойств его винтовых элементов // Очистные и проходческие машины и инструменты. Новочеркасск, 1988. С. 122–126.
4. Хальфин М. Н. Расчет стальных канатов с целью различия геометрических параметров и механических свойств проволок // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2005. Спец. вып. С. 5–13.
5. Правила устройства безопасной эксплуатации пассажирских подвесных и буксировочных канатных дорог. М.: НПО ОБТ, 2003. 80 с.
6. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты. Киев: Техника, 1966. 327 с.
7. Глушко М. Ф., Малиновский В. А., Шигарина Л. И., Каноненко Л. А. Нелинейные уравнения равновесия прямого каната // Прикладная механика. 1979. №12. С. 127–129.
8. Осипова Т. Н., Нестеров А. П. Уменьшение динамических нагрузок в канатах барабанных подъемников // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 2, № 7 (68). С. 17–22.
9. Поляков С. В. Уравнение нелинейной статики каната двойной свивки с учетом волнистости // Новые технологии управления движением технических объектов: материалы 8 Междунар. науч.-техн. конф. (Новочеркасск, 14 дек. 2005 г.). Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. Вып. 6. С. 83–88.
10. Поляков С. В. Уравнение нелинейной статики спирального каната с учетом волнистости // Новые технологии управления движением технических объектов: материалы 8 Междунар. науч.-техн. конф. (Новочеркасск, 14 дек. 2005 г.). Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. Вып. 6. С. 88–91.
11. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузовых подвесных канатных дорог. М.: Недра, 1995. 29 с.
12. Бережинский В. И., Шатило А. Н. Канаты шахтных подъемных установок. М.: Университетская книга, 2015. 232 с.
13. Осипова Т. Н., Нестеров А. П. Уменьшение динамических нагрузок в канатах барабанных подъемников // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 2, № 7 (68). С. 17–22.
14. Хальфин М. Н., Мамаев Ю. Д., Иванов Б. Ф. Несущие закрытые канаты грузовых подвесных канатных дорог. Новочеркасск: НГТУ, 1998. 128 с.
15. Поляков С. В. Исследование подъемного каната с возникшими изменениями геометрических параметров и механических свойств винтовых элементов // Научно-технический журнал Брянского государственного ун-та. 2019. С. 257-264.

Статья поступила в редакцию 08 апреля 2019 года

New way to determine the radius of waviness of ropes with the help of nonlinear equations

Sergey Vladimirovich POLYAKOV*

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia

Relevance of the work. The winding ropes as a flexible element capable of carrying a high tensile load is widely used in modern hoisting-and-transport equipment. The reliability of the winding rope is largely determined by its calculation, taking into account the differences in the geometric parameters and mechanical properties of the screw elements, the choice of the rope design depending on its operating conditions, manufacturing technology, and the quality of the basic material. However, despite the success achieved in the design of steel winding ropes and their manufacturing technology, operating practice shows that the lifespan of winding ropes varies over a wide range (from 90 to 1200 days). The rejection of winding ropes in the first months of their operation due to the formation of waviness and wire ruptures in them leads to economic and social costs.

The purpose of this work is to increase the safety of the operation of a winding rope by determining, using nonlinear equations of statics, the permissible value of the radius of waviness at which the winding rope is allowed to operate. During the operation of steel ropes, undulation appears in them as a result of differences in the geometric parameters and mechanical properties of screw elements, in which the axis of the rope takes the form of a spiral line. In this case, it is necessary to know the permissible value of the radius of waviness at which further operation of the rope is possible. In this paper, we have prepared a methodology for determining the permissible value of the radius of waviness for winding ropes with non-linear equations. An example of calculating the permissible value of the radius of undulation of a winding rope for non-linear equations is presented.

Methodology of research. A systematic approach was used, including analytical and computational methods using the nonlinear part of the theory of calculation of a winding rope, as well as the classical principles of calculating a winding rope.

The result of the work is the determination of the permissible value of the radius of undulation for non-linear equations of static obtained using the prepared methodology, in which further operation of the winding rope is possible.

Conclusions. The prepared methodology will increase the safety of the winding rope in hoisting-and-transport equipment, which is of great importance for the construction industry in Russia.

Keywords: rope, deformation, permissible value, waviness, twist angle, rope calculation.

REFERENCES

1. Stiepanov A., Koskin A. 1996, A few words more on the properties of viscoelastic winding ropes. Mine hoisting '96: International Scientific and Technical Conference, Gliwice, Poland. Vol. 2. P. 65–68.
2. Nemtsov M. V., Trifanov G. D. 2017, A magnetic method of wire-rupture detection in steel cables. Russian Electrical Engineering. Vol. 88, No 5. P. 285–288.
3. Khalfin M. N. 1988, *Raschet shakhtnogo pod'yemnogo kanata s uchetom neodinakovosti fiziko-mekhanicheskikh svoystv yego vintovykh elementov. Ochistnyye i prokhodcheskiye mashiny i instrumenty* [Calculation of a mine winding rope, taking into account the different physical and mechanical properties of its screw elements. Cleaning and sinking machines and tools]. Novochoerkassk, P. 122–126.
4. Khalfin M. N. 2005, Calculation of steel ropes in order to distinguish geometric parameters and mechanical properties of wires. *Izvestiya VU-Zov. Severo-Kavkazskiy region* [University News. North Caucasus region]. Technical Sciences Series, Special issue, P. 5–13. (In Russ.)
5. 2003, *Pravila ustroystva bezopasnoy ekspluatatsii passazhirskikh podvesnykh i buksirovochnykh kanatnykh dorog* [Rules for the safe operation of passenger skyline and hauling ropeways]. Moscow, 80 p.
6. Glushko M. F. 1966, *Stal'nyye pod'yemnyye kanaty* [Steel winding ropes]. Kyiv, 327 p.
7. Glushko M. F., Malinovsky V. A., Shigarina L. I., Kanonenko L. A. 1979, Nonlinear equilibrium equations of a straight rope. *Prikladnaya mekhanika* [Applied mechanics], No 12, P. 127–129. (In Russ.)
8. Osipova T. N., Nesterov A. P. 2014, Reduction of dynamic loads in the ropes of elevating drum. *East-European Journal of Advanced Technologies. Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], vol. 2, No 7 (68). P. 17–22. (In Russ.)
9. Polyakov S.V. 2006, *Urvneniye nelineynoy statiki kanata dvoynoy svivki s uchetom volnistosti. Novyye tekhnologii upravleniya dvizheniyem tekhnicheskikh ob'yektov* [Equation of nonlinear statics of a double twist rope taking into account waviness. New technologies for controlling the movement of technical objects], proceedings of 8th International scientific conference, Novochoerkassk, Rostov-on-Don, Issue 6. P. 83–88.
10. Polyakov S. V. *Urvneniye nelineynoy statiki spiral'nogo kanata s uchetom volnistosti. Novyye tekhnologii upravleniya dvizheniyem tekhnicheskikh ob'yektov* [Equation of nonlinear statics of a spiral rope taking into account waviness. New technologies for controlling the movement of technical objects], proceedings of 8th International scientific conference, Novochoerkassk, Rostov-on-Don. Issue 6. P. 88–91.
11. 1995, *Pravila ustroystva i bezopasnoy ekspluatatsii gruzovykh podvesnykh kanatnykh dorog* [Rules for the design and safe operation of skyline ropeways]. Moscow, 29 p.
12. Berezhinsky V. I., Shatilo A. N. 2015, *Kanaty shakhtnykh pod'yemnykh ustanovok* [Mine winding plant ropes], Moscow, 232 p.
13. Osipova T. N., Nesterov A. P. 2014, Reduction of dynamic loads in the ropes of elevating drum. *East-European Journal of Advanced Technologies. Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], vol. 2, No 7 (68). P. 17–22. (In Russ.)
14. Khalfin M. N., Mamayev Yu. D., Ivanov B. F. 1998, *Nesushchiye zakrytyye kanaty gruzovykh podvesnykh kanatnykh dorog* [Conveying locked rope ropes of skyline ropeways], Novochoerkassk, 128 p.
15. Polyakov S. V. 2019, Study of a winding rope with changes in the geometric parameters and mechanical properties of screw elements. *Nauchno-tekhnicheskyy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific and Technical Journal of Bryansk State University], P. 257-264. (In Russ.)

The article was received on April 08, 2019

Влияние циклических изменений величины одноосного сжатия на относительную проницаемость базальтов и известняков

Сергей Викторович БИРЮЛИН,
Ирина Анатольевна КОЗЛОВА,
Анатолий Константинович ЮРКОВ

Институт геофизики им. Ю. П. Булашевца УрО РАН, Россия, Екатеринбург

Актуальность работы. Изменения структуры области упругих напряжений деформируемого блока земной коры могут определять поведение ряда индикаторов предстоящих сейсмических событий. Поэтому важным вопросом является изучение изменений структуры порового пространства в условиях сжатия для понимания поведения физических явлений и процессов, происходящих при подготовке сейсмических событий.

Цель работы: изучение изменения проницаемости образцов горных пород при одноосном сжатии в условиях циклически меняющегося сжимающего напряжения.

Методология исследования: проектирование и сборка установки, последующее проведение серии экспериментов над образцами горных пород различного состава в условиях одноосного сжатия.

Результаты. В данной работе приведены результаты изучения изменений восстановления давления в балластной камере, характеризующего относительную проницаемость, для образцов андезит-базальтов и известняка при циклическом одноосном сжатии. Построены зависимости изменения проницаемости от циклического изменения давления на образцах.

Выводы. Исследовались образцы андезит-базальтового состава и известняки. В ходе экспериментов установлено, что при одноосном сжатии образцов горных пород происходят изменения их проницаемости. В подавляющем большинстве случаев при увеличении давления гидравлического пресса на образцы их проницаемость уменьшалась до достижения критического значения, после которого проницаемость начинала увеличиваться вплоть до разрушения образца. Установлено, что проницаемость исследованных образцов известняков изменяется с увеличением величины одноосного сжатия по-другому по сравнению с образцами андезит-базальтов. Они сохраняют свою проницаемость на одном уровне, вплоть до начала трещинообразования. Для образцов андезит-базальтового состава характерен возврат значений проницаемости при циклических изменениях давления (возврате давления к начальному уровню). Полученный результат подтверждает наличие упругих деформаций в исследованных образцах андезит-базальтов.

Ключевые слова: одноосное сжатие, упругие деформации, циклическое одноосное сжатие, андезит-базальт, известняк, проницаемость.

Введение
Подготовка тектонических землетрясений происходит в области упругих напряжений деформируемого блока земной коры. После разгрузки (снятия напряжения) в области очага геологическая среда может вернуться в исходное состояние и готова снова накапливать напряжение, если не произошло необратимых разрушений. Изменение напряженно-деформированного состояния горного массива напрямую отражается в изменениях структуры порового пространства слагающих его горных пород, т. е. влияет на их проницаемость, пористость и трещиноватость. Эти изменения структуры влияют на физические явления, которые могут выступать в качестве индикаторов готовящегося сейсмического события. Особенно это важно для объяснения вариаций объемной активности почвенного радона. Поэтому изучение характера изменения структуры порового пространства в условиях сжатия, которое пока возможно только на образцах горных пород, является важным для понимания процессов, происходящих как в очаге землетрясения, так и при производстве подземных горных работ.

На изучение изменения проницаемости горных пород при увеличении давления обращали внимание многие исследователи [1]. В основном это было связано с изменениями проницаемости коллекторов в условиях повышенных давлений. Внимание исследователей концентрировалось на изучении проницаемости при условиях, существующих на нефтяных и газовых месторождениях [2, 3], т. е. ограничивалось породами осадочного генезиса. Исследований на кристаллических породах известно очень мало. Следует отметить работу [4] по исследованию проницаемости образцов базальта. В работе [5] показано, что в образцах горных пород андезит-базальтового состава при увеличении давления проницаемость монотонно уменьшается вплоть до разрушения образца. Для известняков проницаемость практически не меняется до начала интенсивного трещинообразования. Исследования объемной активности радона (ОАР) в шахтах при подготовке горных ударов показали, что наблюдаемые вариации ОАР при подготовке горных ударов связаны в большей мере с изменением коэффициента эманирования горных пород, который при сохранении РТ-условий в точке измерений определяется содержаниями урана и тория, а также существующей проницаемостью горных пород. Коэффициент эманирования горных пород зависит от проницаемости горных пород, которая не всегда связана с пористостью [6]. Было отмечено, что поведение ОАР при подготовке горных ударов для условий горных выработок Северо-Уральского бокситового района различается и зависит от того, в каких породах (известняки или бокситы) находится аппаратура, регистрирующая радон. Аномалии ОАР в известняках, предшествующие горному удару, начинались не ранее чем за 1 ч до события. При измерениях в бокситах аномальные значения ОАР начинали проявляться почти за сутки до горного удара [7]. С точки зрения проявления деформаций, известняки представляют собой менее пластичную горную породу по сравнению с бокситами. Приведенные в работе [5] результаты по изменению проницаемости известняков объясняют поведение ОАР в известняках при изучении горных ударов на шахтах СУБРа.

✉ serrega2009@gmail.com

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-8115-8034>

✉ ikozlova75@mail.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-0281-9218>

✉ akyurkov@mail.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-6790-0340>

Целью исследований было изучение изменения проницаемости образцов горных пород при одноосном сжатии в условиях циклически меняющихся различных величин сжимающего напряжения. При наличии упругих деформаций после снятия нагрузки проницаемость должна возвращаться к исходному уровню. Исследование изменения проницаемости при циклических изменениях сжимающей нагрузки использовано в ряде работ [8]. Стоит отметить, что при исследованиях на разработанном лабораторном стенде регистрировались только относительные изменения проницаемости по измерениям времени восстановления давления в балластной камере лабораторного стенда.

Одноосное сжатие, при котором проводилось изучение изменения проницаемости, в какой-то мере моделирует условия подготовки горных ударов в подземных выработках. Кроме того, условия одноосного сжатия достаточно просто реализовать в лабораторных условиях и организовать проведение измерений.

Аппаратура и методика

Для выполнения экспериментов был разработан и изготовлен специальный лабораторный стенд (рис. 1), включающий гидравлический пресс, манометр, балластную камеру, устройство для герметичного закрепления исследуемого образца, двухходовой вакуумный кран, коммуникационные соединения, вакуумный насос. При изготовлении балластной камеры и внутренних каналов использован опыт исследований, приведенный в работе [9].

Исследования выполнялись на образцах эффузивных горных пород андезит-базальтового состава и известняках девонского возраста. Образцы представляли собой отобранный керн из скважин диаметром 60 мм и высотой 70 мм.

Подготовленный образец цилиндрической формы устанавливался на балластную камеру и вместе с ней помещался под пресс. Для герметизации использовались специально подготовленные прокладки из алюминия. Именно с неплотным прилеганием образцов к рабочей поверхности связаны основные ошибки определения величины проницаемости, что было отражено в работе [10]. После установки образца под пресс проверялась герметичность собранной установки при давлении пресса на образец в пределах 0,5–1,5 МПа.

Методика проведения исследований заключалась в следующем: с помощью вакуумного насоса при открытом двухходовом кране вакуумировалась балластная камера до достижения давления около 0,04–0,05 атм (используемый манометр имеет шкалу в делениях атмосферы). Время восстановления или выравнивания давления при экспериментальных определениях проницаемости используется различными авторами довольно часто [11]. После этого вакуумный насос отключался и начинался отсчет времени восстановления давления в балластной камере. В зависимости от величины проницаемости образцов интервалы восстановления давления изменялись. Для образцов с небольшой проницаемостью измерялось время восстановления давления через промежутки в 0,01 атм, для всех остальных время изменение давления фиксировалось через 0,1 атм. До полного восстановления давления в балластной камере эксперименты доводились не всегда. Это обусловлено продолжительным временем восстановления давления при небольших градиентах в конечной стадии эксперимента. При проведении исследований особое внимание было уделено выбору размеров исследуемых образцов и скорости изменения нагрузки, учитывая результаты, приведенные в работах [12, 13].

Первоначально снималась фоновая кривая восстановления давления в балластной камере при начальном давлении на образец (обычно это 1,5 МПа). Далее дискретно повышалось давление на образец на 0,5–1 МПа и снималась кривая восстановления давления. Затем давление на образец снижалось до фонового и снималась кривая восстановления давления в балластной камере. Такие шаги повторялись при очередном повышении давления на образец вплоть до разрушения образца, которое фиксировалось как по значимому увеличению проницаемости (уменьшению времени восстановления давления), так и визуально – по появлению трещин и сколов.

Торцы образцов были закрыты уплотняющими алюминиевыми прокладками, поэтому поступление наружного воздуха в образец и далее в балластную камеру происходило только через его боковые поверхности.

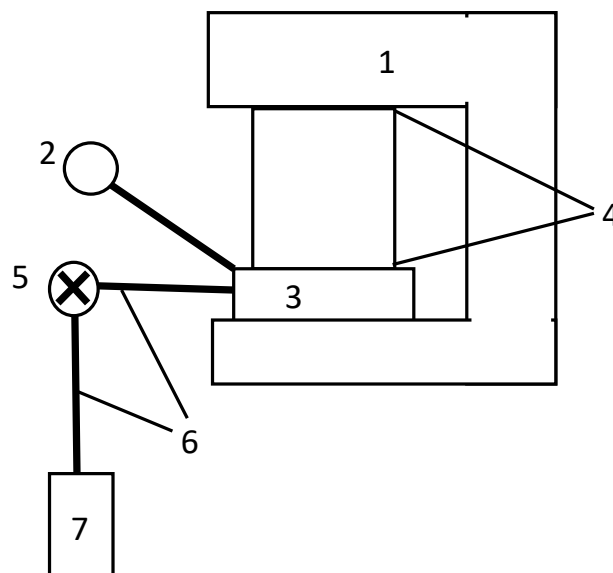


Рисунок 1. Блок-схема лабораторного стенда. 1 – гидравлический пресс, 2 – манометр, 3 – балластная камера, 4 – устройство для герметичного закрепления исследуемого образца, 5 – двухходовой вакуумный кран, 6 – коммуникационные соединения, 7 – вакуумный насос.
Figure 1. Block diagram of a laboratory bench. 1 – hydraulic press, 2 – pressure gauge, 3 – ballast chamber, 4 – device for sealed fastening the test sample, 5 – two-way vacuum valve, 6 – communication connections, 7 – vacuum pump.

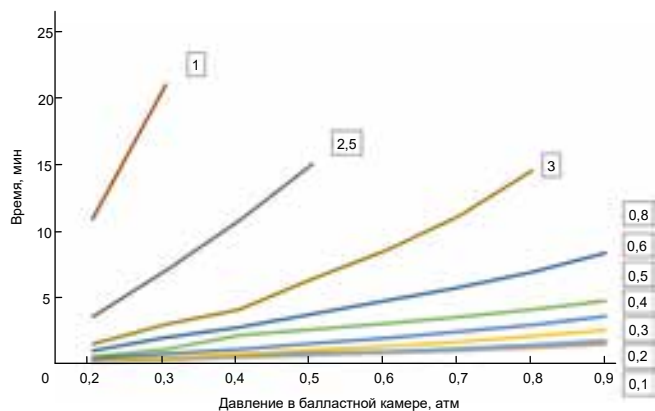


Рисунок 2. График изменения проницаемости для породы андезит-базальтового состава. Цифры в квадратах обозначают давление пресса в МПа [5].

Figure 2. Graph of change in permeability for andesite-basalt composition. The numbers in squares indicate the pressure of the press in MPa [5].

Обсуждение результатов

На рис. 2 представлен график [5], который получен при дискретном увеличении давления пресса без возврата к исходному для образца андезит-базальтового состава.

Общий интервал изменения давлений пресса составил от 0,1 до 3 МПа. При давлениях пресса до 0,3 МПа проницаемость оставалась на одном уровне. Стоит отметить, что в данной работе рассмотрены относительные изменения проницаемости по измерениям времени восстановления давления в балластной камере. При последующих увеличениях давления пресса проницаемость уменьшалась, вплоть до значения в 1 МПа. При этом значении, вероятно, все микротрещины и поры максимально сжались, что обусловило минимальную проницаемость. При давлении пресса в 2,5 МПа проницаемость начала увеличиваться, что может говорить о начале появления трещин. Тенденция к увеличению проницаемости продолжилась до давления пресса в 3 МПа.

На рис. 3 представлен график изменения проницаемости при изменении давления без возврата к исходному для образца известняка [5]. Из рис. 3 видно, что при давлениях пресса от 0,2 до 1,5 МПа проницаемость оставалась примерно на одном уровне. Увеличение проницаемости начинается с давления 2,5 МПа. Визуально при этом давлении на

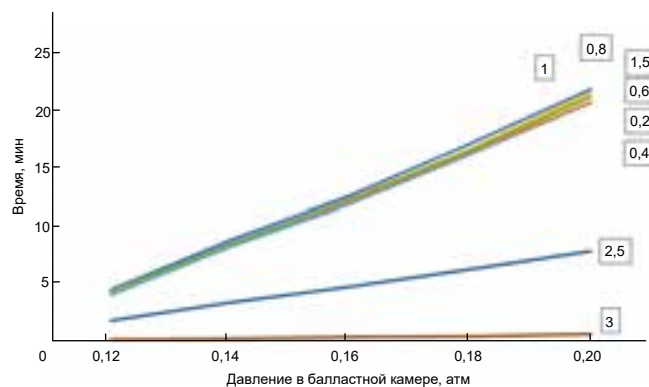


Рисунок 3. График изменения проницаемости для известняка. Цифры в квадратах обозначают давление пресса в МПа [5].

Figure 3. Permeability graph for limestone. The numbers in squares indicate the pressure of the press in MPa [5].

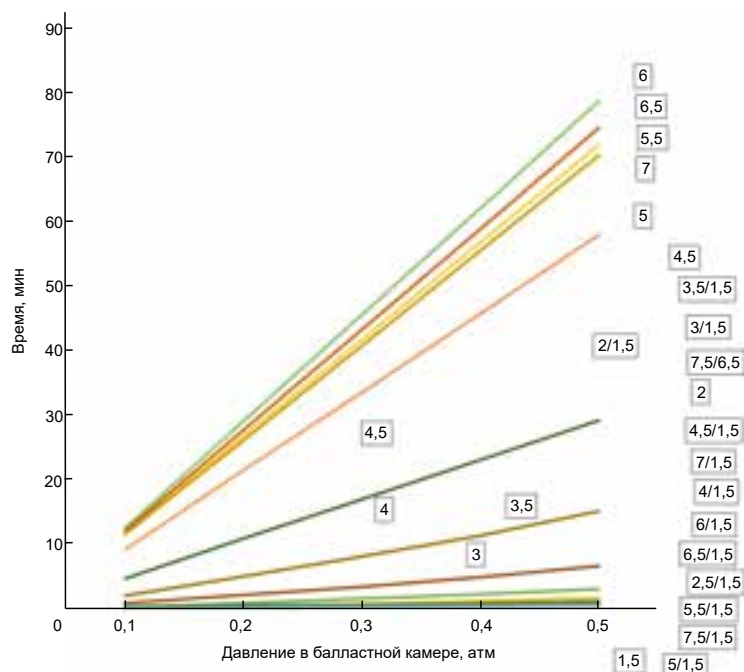


Рисунок 4. График изменения проницаемости для образца андезит-базальтового состава при циклическом изменении давления. Цифры в квадратах обозначают давление пресса в МПа. Цифры в квадратах с косой чертой (/) относятся к кривой изменения давления в балластной камере при изменении давления пресса от повышенного (перед чертой) к начальному (после черты) в МПа.

Figure 4. Graph of permeability changes for an andesite-basalt composition sample under cyclic pressure changes. The numbers in squares indicate the pressure of the press in MPa. The numbers in squares with a slash (/) refer to the pressure change curve in the ballast chamber when the press pressure changes from elevated (before the line) to the initial (after the line) in MPa.

образце начинают появляться сколы и трещины. Такое поведение кривой восстановления давления (проницаемости) свидетельствует о том, что для образца известняка практически отсутствует участок упругой деформации. Поэтому для образцов известняка измерения при циклических изменениях нагрузки не проводились. Исследования проницаемости известняков при изменениях как одноосного, так и всестороннего давления проводились многими авторами, например, аналогичные результаты для известняков были получены в работе [14].

Для подтверждения наличия в образцах упругих деформаций были проведены исследования изменения проницаемости при циклическом изменении величины давления. В этом случае при наличии упругих деформаций проницаемость должна восстанавливаться после снятия давления.

На рис. 4 показаны результаты изменения кривых восстановления давления в балластной камере при циклических изменениях величины одноосного сжатия. Общий интервал изменения давления составил от 1,5 до 7,5 МПа. Давление изменялось циклически от исходного базового к повышенному и обратно. При давлении 7,5 МПа образец разрушился. Как мы видим из приведенного графика, после каждого возврата от повышенного давления пресса к исходному базовому проницаемость каждый раз возвращалась практически на исходный уровень. Такое поведение кривой восстановления давления в балластной камере указывает на наличие участка упругих деформаций практически во всем диапазоне изменения одноосного сжатия. На всем диапазоне изменения давления по измерению сигналов акустической эмиссии проявлялся эффект Кайзера. Полученные результаты согласуются с выводами, сделанными в работе [15] о проявлении эффекта Кайзера только в пределах упругих деформаций.

Заключение

Выполненные исследования показали, что при одноосном сжатии образцов горных пород происходят изменения их проницаемости. Чаще всего при увеличении давления пресса на образцы проницаемость уменьшалась до достижения критического значения, после которого проницаемость начинала увеличиваться вплоть до разрушения образца. Установлено, что исследованные образцы известняков являются существенно менее пластичными в сравнении с андезит-базальтами и сохраняют свою проницаемость на одном уровне, вплоть до начала трещинообразования. Для образцов андезит-базальтового состава характерен возврат значений проницаемости при циклических изменениях давления (возврате давления к начальному уровню). Полученный результат возможен только при наличии упругих деформаций в исследованных образцах андезит-базальтов. Результаты исследования изменения проницаемости известняков при изменении сжимающей нагрузки объясняют различия в поведении кривых объемной активности радона, полученных при изучении процесса подготовки горных ударов на шахтах СУБРа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрынин В. М., Вендельштейн Б. Ю., Кожевников Д. А. Петрофизика. М.: Недра, 1991. 368 с.
2. Соболев Г. А., Пономарев А. В. Акустическая эмиссия и стадии подготовки разрушения в лабораторном эксперименте // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4/5. С. 50–62.
3. Дахнов В. Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщенности горных пород. М.: Недра, 1975. 334 с.
4. Malik A., Chakraborty T., Rao S. Strain rate effect on the mechanical behavior of basalt: observations from static and dynamic tests // Thin-walled structures. 2018. Vol. 126. P. 127–137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2017.10.014>
5. Бирюлин С. В. Изменение проницаемости горных пород в условиях одноосного сжатия // XIX Урал. молодеж. науч. школа по геофизике: сборник науч. материалов. 2018. С. 24–26.
6. Федорова А. Я. Вопросы определения проницаемости горных пород // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. 2016. С. 311–316.
7. Уткин В. И., Юрков А. К. Радон как «детерминированный» индикатор природных и техногенных геодинамических процессов // ДАН. 2009. Т. 426, № 6. С. 816–820.
8. Хашпер А. Л., Аминев Т. Р., Федоров А. И., Жонин А. В. Исследование зависимости проницаемости горной породы от ее напряженно-деформированного состояния // Геологический вестник. 2019. № 1. С. 133–140. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-10>
9. Устройство для определения пористости и проницаемости образцов горных пород: пат. 2342646 Рос. Федерация / Афиногенов Ю. А. № 2007106661; заявл. 21.02.07; опубл. 27.12.08, Бюл. № 36. 3 с.
10. Казанцева Т. П. Исследования по изучению газопроницаемости соляных пород по образцам кернов геолого-разведочных скважин в условиях Романовского участка Верхнекамского месторождения // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. 2018. № 1. С. 333–336.
11. Асадов А. Ш. Экспериментальное исследование проницаемости горных пород по кривым выравнивания давления и оценка проницаемости забоя бурящейся скважины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. № 10-1. С. 13–15.
12. Feng P., Dai F., Liu Y., Xu N., Zhao T. Effects of strain rate on the mechanical and fracturing behaviors of rock-like specimens containing two unparallel fissures under uniaxial compression // Soil dynamics and earthquake engineering. 2018. Vol. 110. P. 195–211. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.03.026>
13. Komurlu E. Loading rate conditions and specimen size effect on strength and deformability of rock materials under uniaxial compression // International journal of geo-engineering. 2018. P. 9–17. <https://doi.org/10.1186/s40703-018-0085-z>
14. Карманский А. Т. Коллекторские свойства горных пород при изменении вида напряженного состояния // Записки Горного института. 2009. Т. 183. С. 289–292.
15. Meng Q., Zhang M., Han L., Pu H., Chen Y. Acoustic emission characteristics of red sandstone specimens under uniaxial cyclic loading and unloading compression // Rock mechanics and rock engineering. 2018. Vol. 51, issue 4. P. 969–988. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1389-6>

Статья поступила в редакцию 03 июля 2019 года

The effect of cyclic changes in uniaxial compression value on the relative permeability of basalts and limestones

Sergey Viktorovich BIRYULIN,
Irina Anatol'evna KOZLOVA,
Anatoliy Konstantinovich YURKOV

Bulashevich Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Relevance of the work. Changes in the structure of the elastic stress range of the deformable block of the earth's crust can determine the behavior of a number of indicators of upcoming seismic events. Therefore, an important issue is the study of changes in the structure of pore space under compression in order to understand the behavior of physical phenomena and processes that occur during the preparation of seismic events.

Purpose of the work: study of changes in the permeability of rock samples under uniaxial compression in the context of cyclically varying compressive stress.

Methodology of the study: design and assembly of the plant, followed by a series of experiments on rock samples of various compositions under uniaxial compression.

Results. This paper presents the results of a study of changes in pressure recovery in the ballast chamber, which characterizes the relative permeability, for andesite-basalt and limestone samples under cyclic uniaxial compression. The dependences of the change in permeability from the cyclic change in pressure on the sample are constructed.

Conclusions. Samples of andesite-basalt composition and limestones were studied. During the experiments it was found that with uniaxial compression of rock samples, changes in their permeability occur. In the vast majority of cases, with increasing pressure of the hydraulic press on the samples, their permeability decreased until a critical value was reached, after which the permeability began to increase until the sample was destroyed. It was found that the permeability of the studied limestone samples changes with an increase in the uniaxial compression in a different way compared with the andesite-basalt samples. They retain their permeability at the same level, right up to cracks formation. Samples of andesite-basalt composition are characterized by a return of permeability values during cyclic changes in pressure (pressure return to the initial level). The obtained result confirms the presence of elastic deformations in the studied andesite-basalt samples.

Keywords: uniaxial compression, elastic deformation, cyclic uniaxial compression, andesite-basalt, limestone, permeability.

REFERENCES

1. Dobrynin V. M., Wendelstein B. Yu., Kozhevnikov D. A. 1991, *Petrofizika* [Petrophysics]. Moscow, 368 p.
2. Sobolev G. A., Ponomarev A. V. 1999, Acoustic emission and fracture preparation stages in a laboratory experiment. *Vulkanologiya i seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], No 4/5. P.50-62 (In Russ.)
3. Dakhnov V. N. 1975, *Geofizicheskiye metody opredeleniya kollektorskikh svoystv i neftegazonasyschennosti gornyykh porod* [Geophysical methods for determining reservoir properties and oil and gas saturation of rocks], 334 p.
4. Malik A., Chakraborty T., Rao S. 2018, Strain rate effect on the mechanical behavior of basalt: observations from static and dynamic tests. *Thin-walled structures*. Vol. 126. P. 127–137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2017.10.014>
5. Biryulin S. V. 2018, *Izmeneniye pronitsayemosti gornyykh porod v usloviyakh odnoosnogo szhatiya* [Change in rock permeability under uniaxial compression]. XIX Ural scientific school of geophysics for young researchers. Book of reports. P. 24–26.
6. Fedorova A. Ya. 2016, *Voprosy opredeleniya pronitsayemosti gornyykh porod* [Rock permeability issues]. Oil and gas technologies and new materials. Problems and solutions. Book of reports. P. 311–316.
7. Utkin V. I., Yurkov A. K. 2009, Radon as a "determinate" indicator of natural and technogenic geodynamic processes. *Doklady akademii nauk* [Transactions (Doklady) of the Russian Academy of Sciences. Earth Science Sections], Vol. 426, No 6. P. 816–820. (In Russ.)
8. Hashper A. L., Aminev T. R., Fedorov A. I., Zhonin A. V. 2019, Study of the dependence of rock permeability on its stress-strain state. *Geologicheskii vestnik* [Geological Bulletin], No 1, P. 133–140. <https://doi.org/10.31084/2619-0087/2019-1-10>
9. 2008, *Ustroystvo dlya opredeleniya poristosti i pronitsayemosti obraztsov gornyykh porod* [Device for determining the porosity and permeability of rock samples]. Patent Rf no 2342646.
10. Kazantseva T. P. 2018, Studies on the gas permeability of salt rocks from core samples of exploration wells in the conditions of the Romanovsky site of the Verkhnekamskoye field. *Problemy razrabotki mestorozhdeniy uglevododorodnykh i rudnykh poleznykh iskopayemykh* [Problems of development of hydrocarbon and ore mineral deposits], No1, P. 333-336. (In Russ.)
11. Asadov A. Sh. 2017, Experimental study of rock permeability from pressure equalization curves and an assessment of the permeability of the bottom of a drilled well. *Aktual'nyye problemy gumanitarnyykh i yestestvennykh nauk* [Topical issues of the humanities and natural sciences]. No 10-1. P. 13–15. (In Russ.)
12. Feng P., Dai F., Liu Y., Xu N., Zhao T. 2018, Effects of strain rate on the mechanical and fracturing behaviors of rock-like specimens containing two unparallel fissures under uniaxial compression. *Soil dynamics and earthquake engineering*. Vol. 110. P. 195–211. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.03.026>
13. Komurlu E. 2018, Loading rate conditions and specimen size effect on strength and deformability of rock materials under uniaxial compression. *International journal of geo-engineering*. P. 9–17. <https://doi.org/10.1186/s40703-018-0085-z>
14. Karmansky A. T. 2009, The reservoir properties of rocks when changing the type of stress state. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], vol. 183. P. 289–292. (In Russ.)
15. Meng Q., Zhang M., Han L., Pu H., Chen Y. 2018, Acoustic emission characteristics of red sandstone specimens under uniaxial cyclic loading and unloading compression. *Rock mechanics and rock engineering*. Vol. 51, issue 4. P. 969–988. <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1389-6>

The article was received on July 03, 2019

✉ serrega2009@gmail.com

🌐 <https://orcid.org/0000-0001-8115-8034>

✉ ikozlova75@mail.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-0281-9218>

✉ akyurkov@mail.ru

🌐 <https://orcid.org/0000-0002-6790-0340>

Системный подход, принципы формирования и критерии оценки перегрузочных систем с гибкими свойствами

Аркадий Васильевич ЮДИН
Виктор Степанович ШЕСТАКОВ*

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность работы обусловлена тем, что с увеличением глубины карьеров эффективность стационарных транспортно-перегрузочных систем (ТПС) снижается. Повышение эффективности комплексов основано на развитии технологии с гибкими свойствами.

Цель работы: развитие теории, обоснование методики формирования и оценки ТПС с гибкими свойствами в глубоких карьерах.

Методология исследования: обобщение, системный подход, анализ принципов формирования и оценки ТПС, синтез технических решений перегрузочных систем (ПС).

Результаты. В рамках системного подхода разработана структурная модель, выявлены функции, рассмотрены основные параметры, указаны целевые функции оценки ТПС. Сделано обоснование целесообразности ввода ТПС с гибкими свойствами, разработана методика оценки и характеристики свойств систем, сформированы принципы и структурные признаки модульных ПС. Приведено техническое решение ПС с гибкими свойствами из конструктивных модулей на примере ПС при комбинированном автомобильно-железнодорожном транспорте (АЖТ).

Выводы. Недостаточное развитие теории, ограниченность области применения стационарных ТПС в значительной мере обусловили тенденции к снижению эффективности комбинированного транспорта в глубоких карьерах. Создание ТПС нового поколения на основе технологий с гибкими свойствами, модульных концепций, разработка методики и критериев их оценки являются актуальными научными и практическими направлениями.

Ключевые слова: система, транспорт, перегрузка, оценка свойства, гибкость, модуль, показатель, техническое решение, грузопоток, целевая функция.

Введение
Транспортно-перегрузочные системы (ТПС) карьеров в полной мере могут быть отнесены по терминологии к «большим техническим системам (БТС)» или к сложным системам. Основными характеристиками, которые определяют БТС, являются: структура; связи – внутренние в самой системе и внешние – с окружающей средой; вид управления по каналам внешних и внутренних связей; характеристика неопределенностей, связанных с функционированием (поведением) системы [1–4].

При системном подходе двух- и трехзвенный комбинированный транспорт, включающий сборочный транспорт с коммуникациями (СТ), перегрузочные системы (ПС), магистральный транспорт с коммуникациями из карьера (МТ) и на поверхности (ТП), системологически рассматриваются как большие технические ТПС. Такие системы представляют совокупность транспортных, технологических и перегрузочных средств с единым целевым назначением и с присущими им особенностями: по структуре, связям, управлению и поведению.

В строгой постановке под карьерной ТПС понимается определенное в пространстве карьера и времени множество подсистем (СТ, ПС1, МТ, ПС2, ТП) с известными свойствами и упорядоченными между собой связями, технологически объединенных единым грузопотоком и ориентированных на выполнение главной задачи системы. Структурная модель ТПС применительно к комбинированному транспорту изображена на рис. 1, а.

Карьерные ТПС могут быть охарактеризованы как разомкнутые, сложные, материальные, технические системы искусственного образования, комплексные по составу и подчиняющиеся функциональной декомпозиции.

В зависимости от целевой функции, а также характера связей с внешней средой карьерные ТПС выполняют следующие функции: прием, аккумуляцию, передачу внутри системы с разделением или без разделения горной массы (ГМ), с изменением или без изменения свойств и качеств системообразующего грузопотока и передачу его на выходе с параметрами, регламентированными целевой функцией. В зависимости от полноты выполняемых функций ТПС дополнительно классифицируются как полные или неполные, а подсистемы – с замкнутым или разомкнутым циклами.

В карьерной ТПС основным системообразующим компонентом является материальный объект процесса – грузопоток транспортируемой и перегружаемой горной массы. Грузопоток определяет основные параметры и характеристики ТПС: вход, процесс, выход, управление с помощью обратных связей и ограничений. Вход ТПС укрупненно может быть представлен характеристиками: годовым Q_r и часовым Q грузопотоками, грузоподъемностью СТ q_a , закономерностью (в дискретном и вероятностном описании) интенсивности поступления грузопотока, свойствами и крупностью поступающей в систему горной массы и др.

Объекты и свойства в системном процессе соединяются различными связями: связи 1-го порядка (прямые) функционально необходимы для выполнения основных транспортно-перегрузочных операций. К прямым связям можно отнести связи технологические, количественно определяющие степень технологического соответствия характеристик смежных подсистем; связи 2-го порядка – дополнительные.

Системный процесс способствует получению заданного результата взаимодействия объектов системы с использованием их свойств и связей. В целях упрощения анализа и на стадии – создания ТПС целесообразно принимать условия, что структура процессора каждой подсистемы оптимизирована по одной из целевых функций

$$F(y) \rightarrow \min S;$$

$$F(y_i) \rightarrow \min T_{\text{в}} \text{ при } S_i \neq \min S;$$

$$F(y_i) \rightarrow \max \Pi_r \text{ при } T_{\text{в}} \neq \min T_{\text{в}},$$

где S – затраты на ТПС (ПС); $T_{\text{в}}$ – время ввода ТПС (ПС); Π_r – показатель гибкости ТПС (ПС).

* shestakov.v.s@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9468-6696>

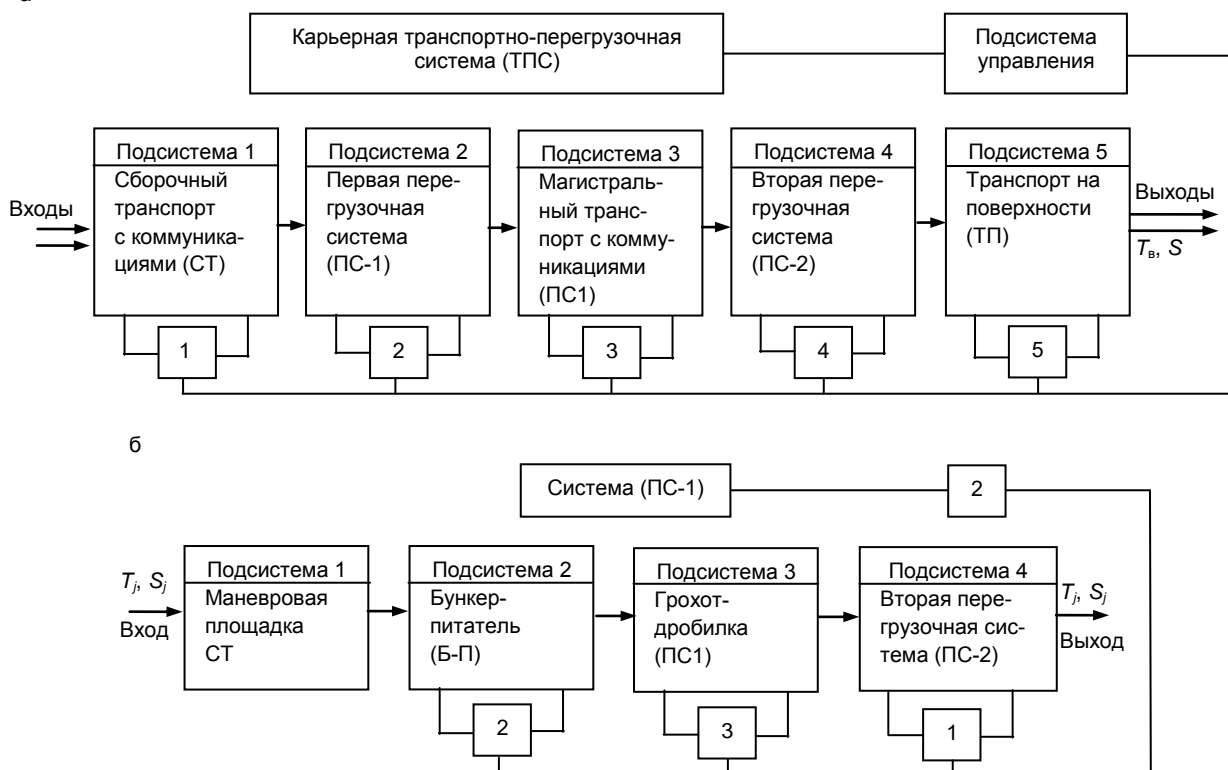


Рисунок 1. Структурная модель транспортно-перегрузочной системы при комбинированном транспорте. а – структура при двух- и трехзвенном комбинированном транспорте; б – пример декомпозиции перегрузочной системы (РС-1) при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте.

Figure 1. Structural model of the transport and reloading system for combined transport. a – structure for two- and three-link combined transport; b – the example of decomposition of a reloading system (RS-1) in combined automobile-conveyor transport.

Последняя целевая функция характеризуется свойствами гибкости ПС (наличие запаса производственной мощности, аккумулирующая способность, наличие в элементах встроенной гибкости для самонастройки и адаптации, потенциальной гибкости, универсальность и приспособляемость, нечувствительность и др.).

Процессы искусственно созданных карьерных ПС так или иначе связаны с приемом, аккумулированием, преобразованием, передачей грузопотока, который в целом стабилизирован между элементами подсистемы и подчиняется балансу:

$$Q_{\text{вх}} \rightarrow |Q_{\text{вх}} \leq Q_{\text{ПС1}} \leq Q_{\text{МТ}} \leq Q_{\text{ПС2}} \leq Q_{\text{ТП}}| \rightarrow Q_{\text{вых}}.$$

Функционирование карьерной ТПС рассматривается, прежде всего, как последовательность транспортно-перегрузочных операций. В системе высшего порядка (суперсистеме) функционируют подсистемы СТ, МТ, ПС, ТП, реализующие отдельные операции при соблюдении целостности для каждой подсистемы, и выход из каждой подсистемы является входом в другую подсистему.

Описание общих свойств карьерных ТПС в процессе их исследования представляет значительные трудности. Возникает необходимость в изучении системы по частям – подсистемам, а затем на основании свойств подсистем и связей между ними формируется вывод об общих свойствах карьерной ТПС в целом. При исследовании сложных систем возникают задачи анализа и синтеза. Пример декомпозиции подсистемы ПС1 приведен на рис. 1, б применительно к ТПС при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте.

Перегрузочные системы являются подсистемами (элементами) большой карьерной ТПС. ПС по отношению к подсистемам СТ, МТ, ТП являются внутренними и сами включают в себя несколько самостоятельных элементов.

Под карьерной ПС будем подразумевать определенную в пространстве и времени совокупность функциональных элементов с известными свойствами и упорядоченными между собой связями, которые конструктивно, технологически и управлением связаны единым грузопотоком и наделены свойствами изменять или сохранять качественное состояние перегружаемой горной массы.

В практике машиностроения, судостроения высокую экономическую эффективность показывают гибкие производственные системы. По своей природе комбинированный транспорт обладает свойствами гибких систем. Дальнейшее совершенствование технологии в глубоких карьерах целесообразно проводить на основе транспортно-перегрузочных систем с гибкими свойствами. Такая постановка вопроса созвучна основным направлениям инновационного подхода к развитию технологии и опирается на опережающие темпы ввода непрерывных видов транспорта, компьютерных технологий, робототехнических комплексов (РТК), модульных концепций при проектировании сложных инженерных объектов.

Определение и понятия о свойствах гибкости ТПС и отдельных подсистем комбинированного транспорта были сформулированы и раскрыты в работах [5–9]. Принцип подхода к проектированию ПС из конструктивных модулей изложен в работах [10–12].

Одна из причин недостаточно высокой эффективности действующих линий циклично-поточной технологии (ЦПТ) – применение стационарных комплексов оборудования, что противоречит требованиям отработки глубоких горизонтов на карьерах. Около 60 % затрат при сооружении стационарных ТПС приходится на строительные и монтажные работы и на проходку выработок. Ввод ЦПТ занимает до трех-четырех лет. ЦПТ при стационарных объектах не обладает свойствами гибкости.

Существующие стационарные ПС лишают комплексы ЦПТ мобильности и гибкости в работе, не способствуют максимальному снижению объема перевозок СТ. Пространственное расположение рудного тела в границах карьеров вызывает необходимость разработки новой техники, обладающей мобильностью. К такой технике следует отнести переносные конвейерные установки, передвижные дробильные ПС, специальные подъемники, объединенные общим названием – «гибкие технологические модули» [6].

Одно из фундаментальных положений комбинированного транспорта и обоснования применения модульных ПС – это сокращение расстояния транспортирования СТ. В некоторых работах требования предписывают иметь расстояние транспортирования до 1,0 км, по данным других работ – до 1,5–2,0 км. Поддержание оптимальной длины транспортирования СТ достигается только при своевременном вводе ПС и КТ с понижением горных работ. Эксплуатация КМТ в карьерах показала, что при стационарных ПС расстояние транспортирования АТ в ходе отработки увеличивается, а себестоимость единицы ГМ растет. При магистральных перевозках на железорудных карьерах работа АТ характеризуется значительной высотой подъема (от 80–100 до 120–160 м) и расстоянием транспортирования (от 2,2–2,6 до 4,2–4,8 км).

Основой для совершенствования ЦПТ должно стать создание мобильных модулей, способных быстро перемещаться в рабочей зоне. Развитие исследований в данном направлении создает предпосылку перехода к гибким производственным системам.

Убедительное технико-экономическое обоснование применения ТПС, включающей передвижной модульный дробильный ПП, систему КНК по сравнению с АТ, выполнено в работе [13]. Исследованы карьеры различного типа. Для меднорудного карьера приведенные затраты по сравниваемым системам составили 457 и 370 млн долл. соответственно. В карьере железистых кварцитов себестоимость руды соответственно составила 1,238 и 1,244 долл./т, а срок окупаемости инвестиций – 8 лет. В фосфатном карьере себестоимость руды при АТ – 2,711 долл./т, при гибкой ТПС – 2,61 долл./т. С ростом глубины карьеров и объемов грузопотока экономический эффект от гибкой ТПС растет за счет снижения затрат на АТ. На Ковдорском карьере при увеличении глубины карьера до 240 м расстояние транспортирования АТ возросло в 1,5 раза, а сменная производительность автосамосвала НД-1200 снизилась в 2 раза [14]. В алмазодобывающих карьерах Якутии с увеличением глубины разработки с 100 до 400 м расстояние перевозок АТ возросло от 3,0 до 7,4 км. При этом производительность автосамосвалов грузоподъемностью 40 т снизилась более чем в 2 раза, а грузоподъемностью 110–120 т – в 2,9 раза [15]. Усложнение условий эксплуатации с глубиной разработки приводит к резкому снижению производительности АТ. Доля АТ в себестоимости ГМ глубоких карьеров достигает 55–70 % (Карагайский ГОК, Ковдорский ГОК, алмазодобывающие карьеры Якутии). Оптимальным решением повышения эффективности АТ является переход на комбинированный транспорт на основе ТПС с гибкими свойствами.

В ухудшающихся горнотехнических условиях отработки глубоких карьеров традиционные методы проектирования и технические решения ТПС входят в противоречие с требованиями интенсификации транспортных процессов. Свойства гибкости транспортных систем могут быть повышены за счет модульных концепций построения структур как ПС, так и подсистем СТ и МТ. При синтезе гибких технологий в стадии разработки оборудования и в стадии проектирования ТПС необходимо учитывать факторы, определяющие гибкость систем:

- возможность попеременного приема и перегрузки скальной горной массы и полезного ископаемого (принцип замещения);
- возможность перераспределения грузопотоков между ПС, установленных на нескольких концентрационных горизонтах (принцип перераспределения);
- ввод секции ПС с заданной единичной мощностью на новом горизонте с минимальным временем;
- возможность занимать минимальные размеры площадок;
- возможность максимального снижения объемов горно-подготовительных, строительных и специальных работ в карьере;
- возможность снижения объемов консервируемых бортов карьера и целиков под размещение вводимых ПС и КНК;
- возможность поддержания оптимальной длины транспортирования СТ.

При этом следует учитывать, что дальность транспортирования, профиль трассы АТ, тип КТ и его исполнение в модульных концепциях выбираются таким образом, чтобы в глубоких карьерах основную тяжесть работы по транспортированию горной массы переложить на КТ.

К основным принципам эффективной эксплуатации ТПС относится соответствие параметров взаимодействующих транспортных и перегрузочных подсистем, их согласованность по производительности и времени работы. Технологическая связь подсистем общей ТПС осуществляется из условия

$$\sum Q_s \leq \sum Q_{CT} \leq \sum Q_{PC} \leq \sum Q_{MT}, \quad (1)$$

где Q_s , Q_{CT} , Q_{PC} , Q_{MT} – суммарная производительность экскаваторов СТ, ПС, МТ соответственно.

На практике даже при соблюдении условия (2) взаимодействие подсистем осложнено несогласованностью их работы по грузопотокам и по времени. Причины несогласованности самые различные: принцип действия и надежность сопрягаемых подсистем; стохастическая природа транспортных процессов; изменчивость свойств грузопотока; отсутствие необходимых свойств гибкости и др. В глубоких карьерах, в условиях стесненной рабочей зоны, как правило, не удается эффективно использовать качества и достоинства комбинированного транспорта, если структура ТПС принята на основе стационарных комплексов. Такие системы не обладают свойствами гибкости, не способны адаптироваться к условиям разработки.

Сформулируем определение понятия гибкости ТПС (ПС). Под гибкостью системы будем понимать комплекс ее свойств, обеспечивающих ввод комбинированного транспорта заданной мощности с заданной относительной скоростью, а также адаптацию и перенастройку системы при изменении внешней среды с целью достижения максимального эффекта. В таблице приведены характеристики свойств гибкости ТПС. Гибкость – это новое качественное изменение фундаментальных основ комбинированного транспорта. Основным качеством гибких ТПС, в отличие от жестких (фиксированных) систем, является возможность поочередного ввода в действие необходимого количества секций ПС и КТ заданной единичной мощности. В таких условиях оценку ТПС и ПС предлагается проводить с помощью комплексного показателя гибкости системы Π_r и вводить его для оценки проектов и технологии наряду с основными нормативными и натуральными показателями. Смысл показателя сводится:

- к оценке темпов ввода АКТ (перераспределение объемов грузопотоков с циклических видов транспорта на непрерывный), учитываемых коэффициентом гибкости системы K_r ;

- к оценке относительной скорости ввода или перенастройки технологии, учитываемой коэффициентом скорости v_r . Величины K_r и v_r могут быть получены путем соотношения с эталонными нормативными показателями, а при их отсутствии – с показателями «жесткой» технологии со стационарными ПС и КТ.

Значения показателей определяются по формулам:

$$K_r = \frac{Q_r}{Q_n} < 1; v_r = \frac{T_r}{T_n} < 1; \Pi_r = \frac{K_r}{v_r} > 1,$$

где Q_r, Q_n – объемы ГМ с применением гибкой системы и нормативный заданный объем системы соответственно; T_r, T_n – время ввода гибкой системы и нормативное время ввода на заданную мощность соответственно.

Чем больше значение K_r и чем меньше значение v_r , тем выше свойства гибкости системы и тем эффективнее ТПС. Показатель Π_r получен путем деления коэффициентов гибкости. При этом лучшие свойства системы определяет более высокий показатель гибкости. В нашем случае Π_r – безразмерная величина.

Далее приведена методика оценки свойств гибкости отдельных подсистем ТПС:

- автомобильного сборочного транспорта [3]

$$K_{ГАТ} = \frac{L_{MT}}{L_{CT}}; K_{ГАТ} = \frac{L_{MPC}}{L_{CTPC}}; \tag{2}$$

- перегрузочной системы

$$K_{ГПС} = \frac{T_{MPC}}{T_{CTPC}}; \tag{3}$$

- конвейерного магистрального транспорта

$$K_{ГКТ} = \frac{T_{MKT}}{T_{CTKT}}; K_{ГКТ} = \frac{Q_{MKC}}{Q_{CTKC}}. \tag{4}$$

В формулах (2)–(4) приняты следующие обозначения: L_{MT}, L_{CT} – расстояние транспортирования АТ в магистральном и сборочном режимах движения; L_{MPC}, L_{CTPC} – расстояние транспортирования АТ при применении модульных ПС и стационарных ПС; T_{MPC}, T_{CTPC} – время ввода в действие в рабочей зоне глубоких горизонтов модульных секций ПС заданной единичной мощности и стационарных ПС; T_{MKT}, T_{CTKT} – время ввода КТ в рабочей зоне на глубоких горизонтах специальными и стационарными конвейерами; Q_{MKT}, Q_{CTKT} – объемы ГМ, транспортируемой специальными и стационарными конвейерами.

Можно рассматривать три аспекта при освоении и проектировании гибких ТПС и ПС в карьерах. Во-первых, при проектировании технологии в проектных организациях горнодобывающих отраслей. При этом сущность состоит в том, что разработку сложных ТПС нужно вести на основе САПР и синтеза их из типовых технических решений модульных ПС, модульных КНК-перегрузателей, типовых площадок под ПС и секций КТ и др.

Характеристика свойств гибкости транспортно-перегрузочных систем.
Characterization of adaptable properties of transport and reloading systems.

Свойства и качества гибкости	Сущность реализации свойств и качеств гибкости
Наличие запаса производственной мощности	Полная гибкость может быть достигнута за счет наличия в системе и возможности размещения дополнительных секций ПС и КТ в зависимости от возможных изменений горнотехнических условий, физико-механических свойств горной массы и конъюнктуры производства
Аккумулирующая способность	Гибкость повышается за счет наличия в системе аккумулирующей емкости. Величина емкости влияет на качество гибкости системы и определяет вероятностные характеристики простоя сопрягаемого транспорта
Наличие в системе встроенной гибкости для выполнения самонастройки	Способность адаптации ко всякого рода внутренним и внешним изменениям без вмешательства оператора
Наличие в системе потенциальной гибкости	Способность системы предвидеть будущие изменения в технологии, задаваемые извне и устранить их путем вмешательства со стороны обслуживающего персонала и перенастройки системы
Универсальность и приспособляемость	Способность системы перегружать различные объемы с различными физико-механическими свойствами горной массы посредством введения надлежащих изменений извне или путем самонастраивания
Нечувствительность	Способность системы адаптироваться к качественным и количественным изменениям входного грузопотока без возникновения собственных нарушений в системе

Во-вторых, при освоении в горном машиностроении. Задача модульного конструирования предполагает освоение такого количества транспортных модулей и модулей перегрузочных систем, из которых можно синтезировать необходимое количество ТПС с заданными свойствами гибкости, обеспечивающих выполнение операций по перегрузке и транспортированию в различных отраслях горного производства. На стадии разработки модулей в них встраивается несколько свойств гибкости, сколько необходимо для достижения высокой эксплуатационной производительности ТПС с коэффициентом готовности не менее 0,9; максимально возможной массы транспортируемых и монтируемых модулей при минимальном времени их стыковки; благоприятных условий работы человека; сохранения окружающей среды и других качеств.

В-третьих, гибкие ТПС предусматривают возможность изменения их структуры в период эксплуатации. При изменившихся условиях могут быть введены новые модули технологического оборудования (например, при изменении физико-механических свойств горной массы), дополнительные секции ПС и КНК-перегрузателей с учетом более детального планирования горных работ.

При экономической оценке ТПС с гибкими свойствами за критерий оптимизации были приняты приведенные затраты на ТПС при сохранении заданного показателя гибкости системы. Целевая функция общих приведенных затрат с учетом ввода АКТ в эксплуатацию и при отработке зоны за период оптимизации T_o имеет вид:

$$S_{об} = S_{ПС} + S_{АТ} + S_{КТ} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $S_{ПС}$, $S_{АТ}$, $S_{КТ}$ – приведенные затраты на ПС, АТ, КТ за период оптимизации.

Обозначим T_b – время ввода единичной мощности ПС, мес. Из имеющегося опыта принято, что мощность стационарных ПС производительностью 5 млн т в год вводится за период $T_b = 12$ мес, 10 млн т в год – 24 мес, 15 млн т в год – 36 мес. Затраты $S_{ПС}$ и $S_{АТ}$ в формуле (5) зависят от показателя T_b . За время ввода системы в эксплуатацию АТ работает в режиме магистрального транспорта и транспортирует весь объем ГМ, эксплуатационные расходы на содержание ПС не учитываются. С учетом сказанного целевая функция затрат, приведенных к одному месяцу эксплуатации, принимает вид:

$$S_{об} = \frac{1}{12} [T_o K_{ПС} K_n + T_b C_{АТМ} + (T_o - T_b)(C_{ПС} + C_{АТС} + C_{к.т})],$$

где $K_{ПС}$ – инвестиционные вложения на оборудование КМ, ТМ, АМ модулей, доставку и монтаж оборудования, вложения, связанные со строительными и планировочными работами при вводе ПС; $C_{АТМ}$, $C_{АТС}$ – затраты на автотранспорт при транспортировании ГМ в магистральном и сборочном режимах соответственно; $C_{к.т}$ – затраты на конвейерный транспорт; $C_{ПС}$ – эксплуатационные затраты на содержание ПС.

Перегрузочные системы с гибкими свойствами могут быть спроектированы на основе модульных концепций с использованием модулей (М) различного назначения, уровня сложности и полноты насыщения. Выбор типа М диктуется спецификой требований, связанных с монтажом и переносом ПС в карьере, с уровнем развития грузоподъемной и транспортной техники, с требуемым количеством свойств гибкости, закладываемых в систему.

Применительно к гибким ПС под термином «модуль» должны обозначаться те части элементов ПС, которые повторяются в совокупности систем различного назначения и мощности. Это могут быть элементы подъездных площадок, бункеров, технологического оборудования, части оснований, законченные помещения, технологические установки законченной заводской готовности и др.

Внедрение модульных принципов в практику ТПС предопределяет доработку их классификации. Классификационно будем рассматривать следующие М для гибких ТПС: конструктивные (КМ) – плоскостные или объемные, конструктивно и технологически законченные сборочные единицы; сборочные (СМ) – объемные или весовые единицы как результат расчленения крупногабаритного или массивного технологического оборудования; агрегат-модули (АМ) и помещения-модули (ПМ) – самостоятельные изделия для функций обеспечения, законченной заводской готовности, оформленные в виде стандартных контейнеризированных унифицированных изделий; технологические модули (ТМ) – конструктивно и технологически законченные функциональные единицы как самостоятельные части ПС с насыщением; транспортные модули (ТрМ). Условимся перечисленные М объединить в три группы: КМ и СМ, АМ и ПМ, ТМ и ТрМ. В дальнейшем для краткости изложения соответственно будем их обозначать: КМ, АМ, ТМ, ТрМ. Таким образом, при проектировании любая секция ПС может быть скомпонована из

$$\begin{aligned} N_c [n_1 (КМ) + n_2 (АМ)]; \\ N_c [n_1 (КМ) + n_2 (АМ) + n_3 (ТМ)] + ТрМ; \\ N_c [n_2 (АМ) + n_3 (ТМ)] + ТрМ; \\ N_c n_3 (ТМ) + ТрМ, \end{aligned}$$

где N_c – количество вводимых секций; n_i – количество модулей в группе.

В ТПС с гибкими свойствами заданная мощность ПС разбита на несколько секций с оптимальной для технологии единичной мощностью, которые вводятся очередями на одном горизонте или располагаются каскадно на нескольких смежных горизонтах. Гибкость ТПС повышается также за счет динамичной связи ПС с конвейерным подъемником, который вводится не на всю проектную длину, а очередями. Система отличается от стационарной повышением свойств гибкости. Для примера на рис. 2 изображены схемы размещения ПС с гибкими свойствами на рабочих площадках глубоких карьеров при АКТ.

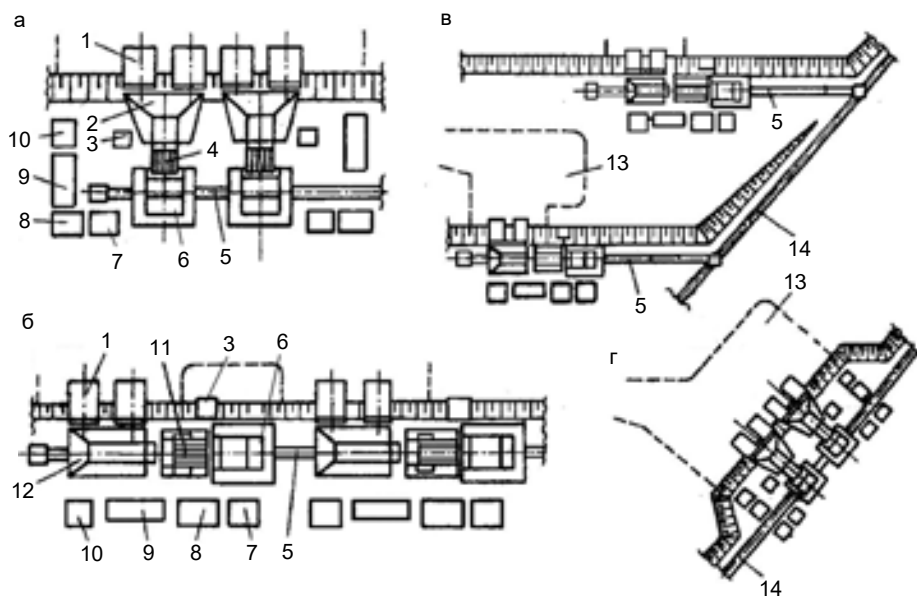


Рисунок 2. Схемы комплектования и размещения модульных РС на рабочих площадках при комбинированном автомобильно-конвейерном транспорте. 1 – подъездная эстакада (КМ); 2 – бункер (ТМ); 3 – пункт управления (АМ); 4 – вибропитатель-грохот (ТМ); 5 – передаточный конвейер (ТМ); 6 – дробилка (ТМ); 7 – маслостанция (АМ); 8 – пункт обогрева рабочих (АМ); 9 – электрооборудование (АМ); 10 – система вентиляции (АМ); 11 – виброгрохот (ТМ); 12 – бункер-питатель (ТМ); 13 – маневровая площадка автотранспорта; 14 – конвейерный подъемник (остальные обозначения в тексте).

Figure 2. Schemes for completing and placement of modular RS at work sites with combined automobile and conveyor transport. 1 – approach trestle (КМ); 2 – bunker (ТМ); 3 – control point (АМ); 4 –vibration feeder-screen (ТМ); 5 – transfer conveyor (ТМ); 6 – crusher (ТМ); 7 – high-pressure pump station (АМ); 8 – workers warming centre (АМ); 9 – electrical equipment (АМ); 10 – ventilation system (АМ); 11– vibration screen (ТМ); 12 – bunker-feeder (ТМ); 13 – reversing area of vehicles; 14 – conveyor lift (other symbols are in the text).

По расположению на рабочей площадке и по отношению к конвейерному подъемнику модульные РС могут проектироваться по нескольким схемам: с параллельным расположением секций на одном уступе, когда их продольные оси перпендикулярны уступу, и с погрузкой горной массы на общий передаточный конвейер (рис. 2, а); с последовательным расположением секций на одном уступе, когда их продольные оси совпадают с осью передаточного конвейера (рис. 2, б); с каскадным расположением секций на смежных уступах или через уступ с индивидуальными передаточными конвейерами (рис. 2, в), с параллельным расположением секций непосредственно над конвейерным подъемником.

Рассмотрим возможность использования изложенных в статье принципов применительно к введению РС с гибкими свойствами при комбинированном АЖТ. На рис. 3 показана упрощенная технологическая схема ввода переносной РС в рабочей зоне карьера.

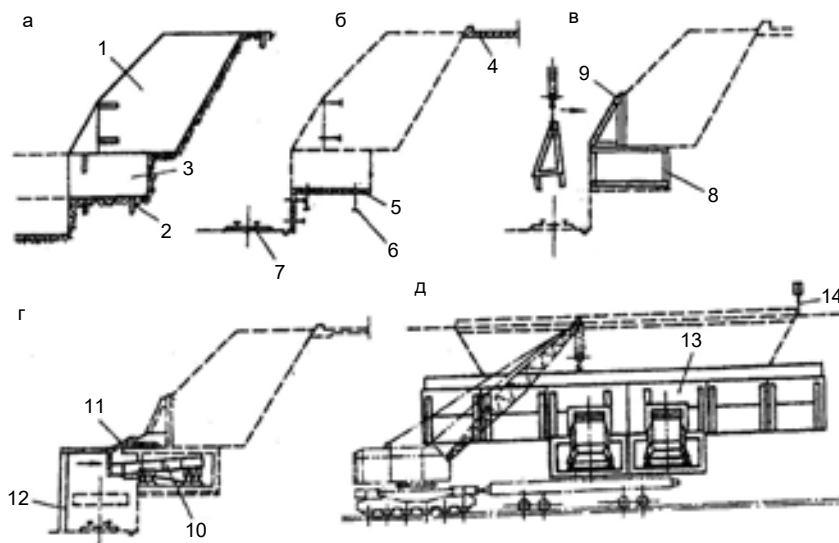


Рисунок 3. Упрощенная технологическая схема ввода переносной перегрузочной системы. а – подготовительные горные работы; б – строительные работы; в–д – монтажные работы; 1, 3 – выемка под бункер и нишу корпуса; 2 – шпury под анкеры; 4, 5 – бетонные работы под оголовки и корпус; 6 – установка анкера; 7 – укладка погрузочного пути; 8–14 – монтируемые конструктивные модули.

Figure 3. Simplified process diagram for the initiation of a portable reloading system. а - e – installation works; 1, 3 – the hollow space for a bunker and a housing assembly recess; 2 – holes for bolts; 4, 5 – concrete works for a cap sill and housing assembly; 6 – erection of the bolt; 7 – laying of the leading track; 8-14 – assembled structural modules.

Подготовительные и горные работы. В объем работ входят: подготовка площадки; контурное взрывание по профилю бункера; бурение отверстий под анкерные крепления.

Строительные работы. В объем работ входят: устройство оголовка бункера; укладка железобетонного основания под конструкции и вибропитатель; прокладывается железнодорожный путь на заданной отметке.

Монтажные и транспортные работы. Транспортирование конструкций осуществляется по внутрикарьерным железнодорожным путям. Подвоз оборудования и его монтаж осуществляются отдельными модулями с массой 10–15 т каждый. Складирование оборудования не предусматривается. Все соединения конструкций сборно-разборные. Монтаж осуществляется железнодорожными кранами.

Порядок монтажа. Вначале устанавливается несущий элемент конструкции – корпус, сверху устанавливается вибропитатель с приводом, далее закрепляется днище бункера, устанавливается вертикальная рама выпускного отверстия, закрепляются боковые передние стенки бункера. Далее подвешивается наклонный лоток с приводом, устанавливаются пульт управления, другое оборудование и агрегированные модули. Структура и операции монтажа модулей показаны на рис. 4. Оборудование монтируют в следующем порядке. В нише на анкерах закрепляют основание, на основании закрепляют вибропитатель с приводом. Затем над вибропитателем устанавливают корпус и закрепляют его на основании. В собранном виде корпус является базой для монтажа остальных модулей ПС. Сверху корпуса устанавливают две откидные плиты (стрелка l на рис. 4). В плане обе плиты имеют общий вырез в форме «ласточкин хвост». Далее на корпусе устанавливают и закрепляют шарнирно-вертикальную раму (стрелка d). В нижней части рамы между стойками образуется проем шириной b (ширина выпускного отверстия). По сторонам рамы закрепляются на шарнирах откилки (стрелка f). Свободные концы откилков закрепляют к уступу анкерами. Далее проводится монтаж остальных элементов ПС. Способ извлечения вибропитателя из корпуса показан на рис. 5.

На рис. 6 приведен пример технического решения модульной переносной ПС при комбинированном АЖТ с вибропитателем ГПТ производительностью 2000 т/ч. В основу решения заложены принципы, предъявляемые к ПС с гибкими свойствами. Система включает конструктивные модули, изготавливаемые в заводских условиях.

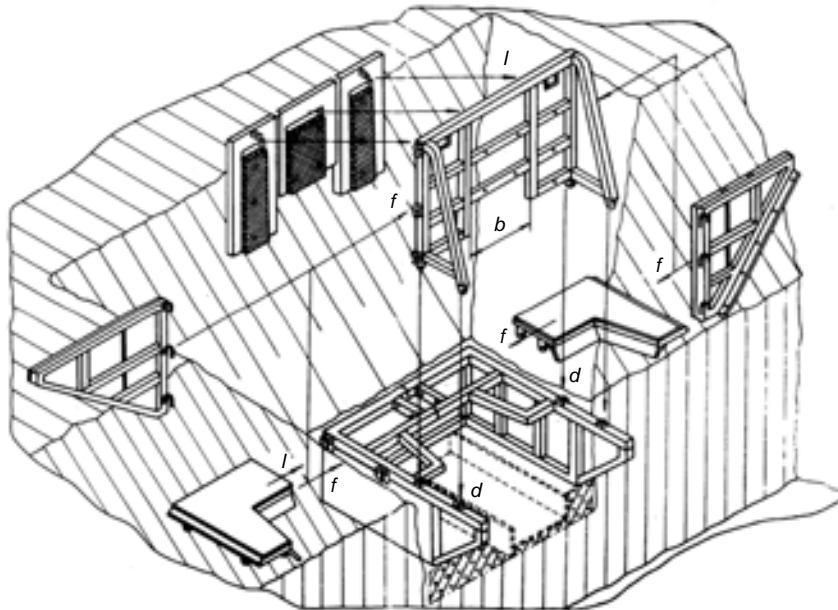


Рисунок 4. Структура и последовательность монтажа переносной перегрузочной системы (а. с. 1418232).
Figure 4. The structure and erection sequence of the portable transfer system (Patent RF 1418232).

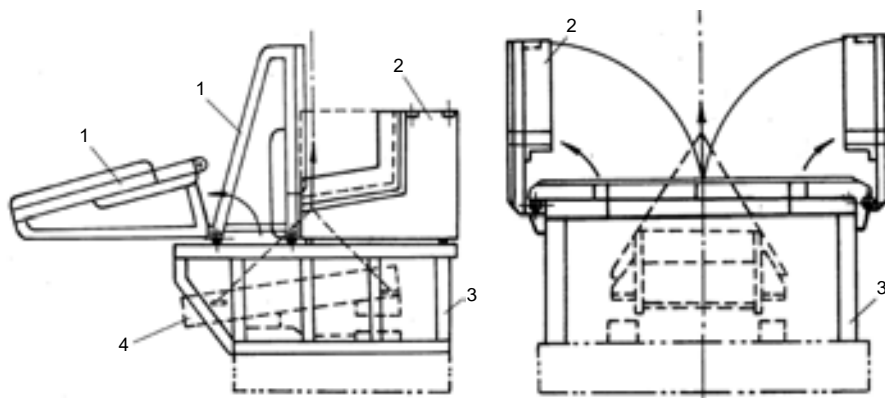


Рисунок 5. Способ демонтажа вибропитателя ГПТ из корпуса перегрузочной системы. 1 – откидная передняя стенка; 2 – откидные плиты; 3 – корпус; 4 – вибропитатели ГПТ.

Figure 5. The method of dismantling the vibration feeder GPT from the body of the reloading system. 1 – throw-back front wall; 2 – throw-back plates; 3 – body; 4 – vibratory feeders GPT.

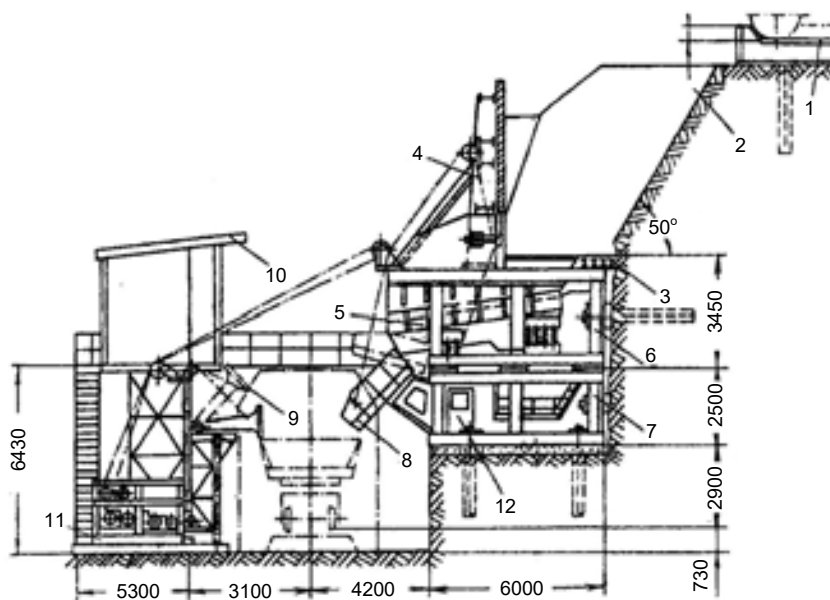


Рисунок 6. Принципиальная схема переносной РС с вибропитателем при автомобильно-железнодорожном транспорте. 1 – подъездная площадка; 2 – бункер в теле уступа; 3 – переходная площадка; 4 – передняя стенка; 5 – вибропитатель ГПТ; 6 – корпус питателя; 7 – корпус опорный; 8 – подъемный лоток; 9 – отбойный щит; 10 – пункт управления; 11 – блок лебедок; 12 – блок электрооборудования.
Figure 6. Schematic diagram of a portable RS with a vibratory feeder for automobile-railway transport. 1 – incoming yard; 2 – the bunker in the body of the pit bank; 3 – transitional area; 4 – front wall; 5 – vibration feeder GPT; 6 – feeder housing; 7 – support housing; 8 – lifting tray; 9 – baffle; 10 – control unit; 11 – block of winding machines; 12 – block of electrical equipment.

Заключение

В рамках системного анализа разработана структурная модель, определены функции, выявлены классификационные признаки, основные параметры и характеристики, указаны целевые функции и методика оценки ТПС. Сделано обоснование целесообразности ввода ТПС с гибкими свойствами, дано определение понятия о «гибкости» ТПС и РС, разработаны методика оценки и характеристики свойств гибкости систем, сформулированы принципы и структурные признаки модульных РС. Приведено техническое решение РС с гибкими свойствами из конструктивных модулей на примере РС при комбинированном АЖТ.

ЛИТЕРАТУРА

- Хубка В. Теория технических систем: пер. с нем. М.: Мир, 1987. 208 с.
- Сагинов А. С., Даниеров А. И., Акашев З. Т. Основы проектирования и расчета карьерных пластинчатых конвейеров. Алма-Ата: Наука, 1984. 328 с.
- Кулешов А. А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. М.: Недра, 1980. 317 с.
- Юдин А. В. Тяжелые вибрационные питатели и питатели-грохоты для горных перегрузочных систем. Екатеринбург: Типография УЦАО УрО РАН, 2009. 400 с.
- Юдин А. В. Применение гибких транспортно-перегрузочных систем – путь интенсификации комбинированного транспорта в глубоких карьерах // Изв. вузов. Горный журнал. 1989. № 1. С. 75–82.
- Астафьев Ю. П. Комплексному освоению минеральных ресурсов – гибкие технологические модули // Технология и техника открытых горных разработок при извлечении полезных ископаемых. М.: Изд-во МГИ, 1988. 128 с.
- Усынин В. И. Повышение эффективности использования ЦПТ в карьерах для обеспечения мощных грузопотоков // Технология и техника открытых горных разработок при извлечении полезных ископаемых. М.: Изд-во МГИ, 1988. 128 с.
- Яковлев В. Л., Смирнов В. П., Кармаев Г. Д. и др. Условия применения в карьерах комплексов ЦПТ с крутонаклонным конвейерным подъемом // Карьерный транспорт, проблемы и решения. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2001. 165 с.
- Решетняк С. П. Формирование рабочих зон глубоких карьеров при исследовании передвижных дробильно-перегрузочных комплексов // Ресурсосберегающая технология разработки недр. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1986. С. 20–24.
- Юдин А. В., Линева В. П. Перспективность применения типовых решений переносных перегрузочных пунктов // Изв. вузов. Горный журнал. 1982. № 5. С. 21–25.
- Шакиров А. Ш., Супрун В. И. Перегрузочные устройства, используемые при комбинированном транспорте // Черная металлургия. 1982. № 11. С. 24–30.
- Рубан А. Д., Шендеров А. И. Перспективные направления научно-технического развития поточной и ЦПТ // Тяжелое машиностроение. 2003. № 7. С. 17–21.
- Rukavina M. S. Mobile crushinghandles 3000tph/Rock Produkts. 1985. № 5. С. 37–40.
- Смирнов В. П., Лель Ю. И. Теория карьерного большегрузного автотранспорта. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. 285 с.
- Разживин В. М., Попов В. М., Марков Н. Г. Проблемы транспорта в карьерах ПО «Якутнипроалмаз» // Проблемы разработки глубоких карьеров и пути их решения: Всесоюз. науч.-практ. конф. Кривой Рог, 1987. С. 54–55.
- Ржевский В. В., Истомин В. В., Супрун В. Н. Комплексы оборудования и вскрытие рабочих горизонтов мощных глубоких карьеров // Горный журнал. 1982. № 11. С. 27–31.

Статья поступила в редакцию 28 мая 2019 года

Systems approach, principles of formation and evaluation criteria for reloading systems with adaptable properties

Arkadiy Vasil'evich YUDIN
Viktor Stepanovich SHESTAKOV

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

The relevance of the work is due to the fact that with an increase in the depth of quarries, the efficiency of stationary transport and reloading systems (TRS) decreases. Improving the efficiency of complexes is based on the development of technology with adaptable properties.

Purpose of the work: development of the theory, substantiation of the methodology for the formation and evaluation of TRS with adaptable properties in deep quarries.

Research methodology: generalization, systematizing, analysis of principles of formation and evaluation of TRS, synthesis of technical solutions of reloading systems (RS).

Results. Within the framework of the systematic approach, the structural model is developed, functions are identified, the main parameters are considered, the target functions for assessing TRS are indicated. Substantiation of expediency of introduction of TRS with adoptable properties is made, method of estimation and characteristics of properties of systems is developed, principles and structural features of modular RS are formed. The technical solution of substations with adaptable properties from structural modules is given using RS in combined automobile-railway transport (ART) as an example.

Conclusions. The insufficient development of the theory and the limited scope of stationary TRS have led to a decrease in the efficiency of combined transport in deep quarries. Creation of a new generation of TRS on the basis of technologies with adaptable properties, modular concepts, development of methods and criteria for their evaluation are relevant scientific and practical directions.

Keywords: system, transport, overload, property estimation, adaptability, module, indicator, technical solution, cargo flow, objective function.

REFERENCES

1. Khubka V. 1987, *Teoriya tekhnicheskikh sistem* [Theory of technical systems], transl. from German Moscow, 208 p.
2. Saginov A. S., Danierov A. I., Akashev Z. T. 1984, *Osnovy proyektirovaniya i rascheta kar'yernykh plastinchatykh konveyerov* [Fundamentals of design and calculation of quarry slat-type conveyers]. Alma-Ata: 328 p.
3. Kuleshov A. A. 1980, *Moshchnyye ekskavatoro-avtomobil'nyye komplekсы kar'yerov* [Powerful excavator and automotive complexes of quarries]. Moscow, 317 p.
4. Yudin A. V. 2009, *Tyazhelye vibratsionnyye pitateli i pitateli-grokhoty dlya gornykh peregruzochnykh sistem* [Heavy vibrating feeders and screen feeders for rock reloading systems]. Yekaterinburg, 400 p.
5. Yudin A. V. 1989, The use of flexible transport and reloading systems is a way to intensify combined transport in deep quarries. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 1, pp. 75—82. (In Russ.)
6. Astafiev Yu. P. 1988, *Kompleksnomu osvoyeniyu mineral'nykh resursov – gibkiye tekhnologicheskkiye moduli. Tekhnologiya i tekhnika otkrytykh gornykh razrabotok pri izvlechenii poleznykh iskopayemykh* [Flexible technological modules for the integrated development of mineral resources. Technology and machines of open cast mining in the extraction of minerals]. Moscow, 128 p.
7. Usynin V. I. 1988, *Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya TSPT v kar'yerakh dlya obespecheniya moshchnykh gruzopotokov. Tekhnologiya i tekhnika otkrytykh gornykh razrabotok pri izvlechenii poleznykh iskopayemykh* [Improving the efficiency of the use of In-pit [Crushing and Conveying in quarries to ensure powerful cargo flows. Technology and machines of open cast mining in the extraction of minerals]. Moscow, 128 p.
8. Yakovlev V. L., Smirnov V. P., Karmaev G. D. et al. 2001, *Usloviya primeneniya v kar'yerakh kompleksov TSPT s krutonaklonnym konveyernym pod'yemom. Kar'yernyy transport, problemy i resheniya* [Conditions of use in open pit complexes of In-pit Crushing and Conveying with a steeply inclined conveyor lift. Quarry transport, problems and solutions]. Ekaterinburg, 165 p.
9. Reshetnyak S. C. 1986, *Formirovaniye rabochnykh zon glubokikh kar'yerov pri issledovanii peredvizhnykh drobil'no-peregruzochnykh kompleksov* [Formation of working zones of deep quarries in the study of mobile crushing and reloading complexes]. Resource-saving technology of subsoil development. Apatites, P. 20—24.
10. Yudin A. V., Linev V. P. 1982, Perspective of use of standard solutions of portable reloading facilities]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 5, P. 21—25. (In Russ.)
11. Shakirov A. Sh., Suprun V. I. 1982, Reloading devices used in combined transport. *Chernaya metallurgiya* [Ferrous metallurgy], No 11, P. 24—30. (In Russ.)
12. Ruban A. D., Shenderov A. I. 2003, Promising areas of scientific and technological development of in-line and In-pit Crushing and Conveying. *Tyazheloye mashinostroyeniye* [Heavy engineering], P. 17—21. (In Russ.)
13. Rukavina M. C. 1985, Mobile crushing handles 3000tph/Rock Produkts. No 5. P. 37-40.
14. Smirnov V. P., Lel Yu. I. 2002, *Teoriya kar'yernogo bol'shegruznogo avtotransporta* [Theory of quarry heavy-duty vehicles]. Yekaterinburg, 285 p.
15. Razzhivin V. M., Popov V. M., Markov N. G. 1987, Problems of transport in the quarries of the Yakutniiproalmaz PO. Problems of developing deep quarries and ways to solve them: All-Russian research-to-practice conference. P. 54—55.
16. Rzhhevsky V. V., Istomin V. V., Suprun V. N. 1982, Complexes of equipment and opening of producing levels of powerful deep quarries. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], No 11, P. 27—31. (In Russ.)

The article was received on May 28, 2019

Экономические науки Economic sciences

УДК 338.14

<https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-4-127-133>

Development of methods of monitoring and selecting an outsourcer to create engineering underground structures as a factor of sustainable development of territories

Efim Lazarevich GOL'DMAN^{1*},
Yana Nikolaevna LOZOVSKAYA^{1**},
Zhanna Aleksandrovna FRANKEVICH^{2***}

¹Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

²National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

The relevance of the research is due to the fact that currently in Russia there is an acute problem of sustainable development of territories, especially Western and Eastern Siberia, the Far East. In this regard, it is planned to implement investment projects aimed at developing the infrastructure of the region and providing for large-scale construction. This process is characterized by the need for outsourcing when performing construction and installation works and, therefore, the evaluation and selection of an outsourcing organization. However, at present, there is no single methodology for monitoring and selecting an outsourcer.

The aim of the study is to develop a methodological approach to the process of monitoring and selecting an outsourcer in the implementation of national projects for the development of the territories of the Far Eastern Federal District.

Methods of research. The paper used methods of analysis and generalization of specialized literature on the problems of sustainable development of territories, evaluation the effectiveness of investment projects, as well as system analysis, empirical, and general logical research methods.

The result is a technique proposed for practical use, which allows the "Price" criterion to be correlated with the value of possible environmental and economic damage due to structural and geological factors and to make effective management decisions based on the data obtained when implementing the monitoring process and selecting an outsourcing organization. Within the framework of the methodology, an economic-mathematical model for assessing possible economic damage has been developed.

Conclusions. The developed methodology, in conditions of the strategic need for spatial development of Russia, specifies not only a list of the main criteria for monitoring and selecting an outsourcer, but also allows preventing possible environmental and economic damage, which will contribute to the sustainable development of the territories of the Far Eastern Federal District.

Keywords: sustainable development of territories, method of estimation of an outsourcer, selection criteria, ecological and economic damage, spatial development

Introduction

The term "sustainable development" was first introduced at the World Conference on Environment in Stockholm in 1972. Today, there are more than 100 interpretations of the concept of "sustainable development". The textbook or fundamental definition of sustainable development was introduced in 1987 by the World Commission on Environment and Development (WCED) directed by G. Kh. Brundtland at the 42nd session of the UN General Assembly in the report called "Our Common Future". "Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs" [1–3]. At the beginning of the XXI century, needs for the use of new management methods are reflected in the idea of sustainable development both at the level of territories and individual economic entities. The "Spatial Development Strategy" developed in Russia (project of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation, 2016) suggests changes in the spatial (territorial) organization of society in order to develop the country's socio-economic system taking into account the impact of global challenges. As part of the strategy, some measures are planned; they are aimed at reducing the tendency that began in the 1990s, the downward trend in the share of the Russian economy of the strategically important macrozones called "Siberia" and "Far East". While macrozones are characterized by the relative proximity and transport accessibility of rapidly developing commodity markets in the Asia-Pacific region, they have the diversified economic complex, and include the main raw material entities of Western and Eastern Siberia, the Far East; their share in the cost of fixed assets of industries and the total gross regional product of the Russian Federation and population indicators has been reduced by 3%, 1%, 5% per year since the 1990s. In such conditions, the problem of sustainable development of macrozones "Far East" and "Siberia" is of particular relevance.

The state program called "Social and Economic Development of the Far East and the Baikal Region" adopted in the Russian Federation is aimed at solving the problems of sustainable development of territories. Within the framework of the program, it is planned to implement 23 complex investment projects providing more than 1/3 of the increase in GRP. The implementation of investment projects is aimed at developing infrastructure with the involvement of the region's mineral resources base in the economy and attracting 2.36 trillion rubles of extrabudgetary investments within the framework of mineral resource clusters. Integrated investment projects aimed at developing the territories of the Far East, the city of Vladivostok, tourist clusters, the creation a mining and metallurgical cluster in the Amur Region, suggest large-scale construction. At the same time, the neces-

✉ e27548@mail.ru

** vana197@list.ru

🌐 <http://orcid.org/0000-0002-114-8794>

*** ianna-frank@mail.ru

🌐 <http://orcid.org/0000-0001-6478-3276>

sary condition is the availability of uninterrupted, reliable water, electricity and heat supply for housing and industrial-civil construction, which implies the creation of underground engineering structures and, in turn, the planned and integrated use of the underground space. To perform construction and installation works, organizations usually use outsourcing. The selection of an outsourcer is carried out by means of contract bidding. Moreover, outsourcing is determined by the selection of criteria for evaluating the performance of contractors. It should be noted that today there is no methodology containing the optimal set of criteria and satisfying the interests of all participants in the construction process. Thus, the development of methods for monitoring and selecting an outsourcer for the implementation of construction projects is an urgent scientific task.

Methods of research

These methods include analysis and generalization of specialized literature, publications in periodicals devoted to the problems of sustainable development of territories, assessment of the effectiveness of investment projects, as well as system analysis, comparison, empirical, and general logical research methods.

Discussion

The main approaches to the selection of criteria for evaluating the performance of contractors engaged to state and municipal needs are given in the Federal Law No. 44-FZ dated on 05.04.2013 “On the contract system in the procurement of goods, works and, services to ensure state and municipal needs”. There are 6 selection criteria:

1. Contract price;
2. Expenses for operation and repair of goods, for use of work results;
3. Terms of delivery of goods, completion of works, provision of services;
4. Qualitative, functional and environmental characteristics of the volume of procurement;
5. Terms of guarantee as to the volume of procurement;
6. Qualification of bidders in procurement proceedings.

In large (strategic) companies (Gazprom, Rosneft), a contractor is selected based on an assessment of its compliance with corporate rules (standards).

Currently, the research has been conducted on the topic of the optimal choice of an outsourcing company, various selection methods have been developed, evaluation criteria have been determined [4, 5]. The analysis of existing methods and the criteria contained therein is given here (Table 1).

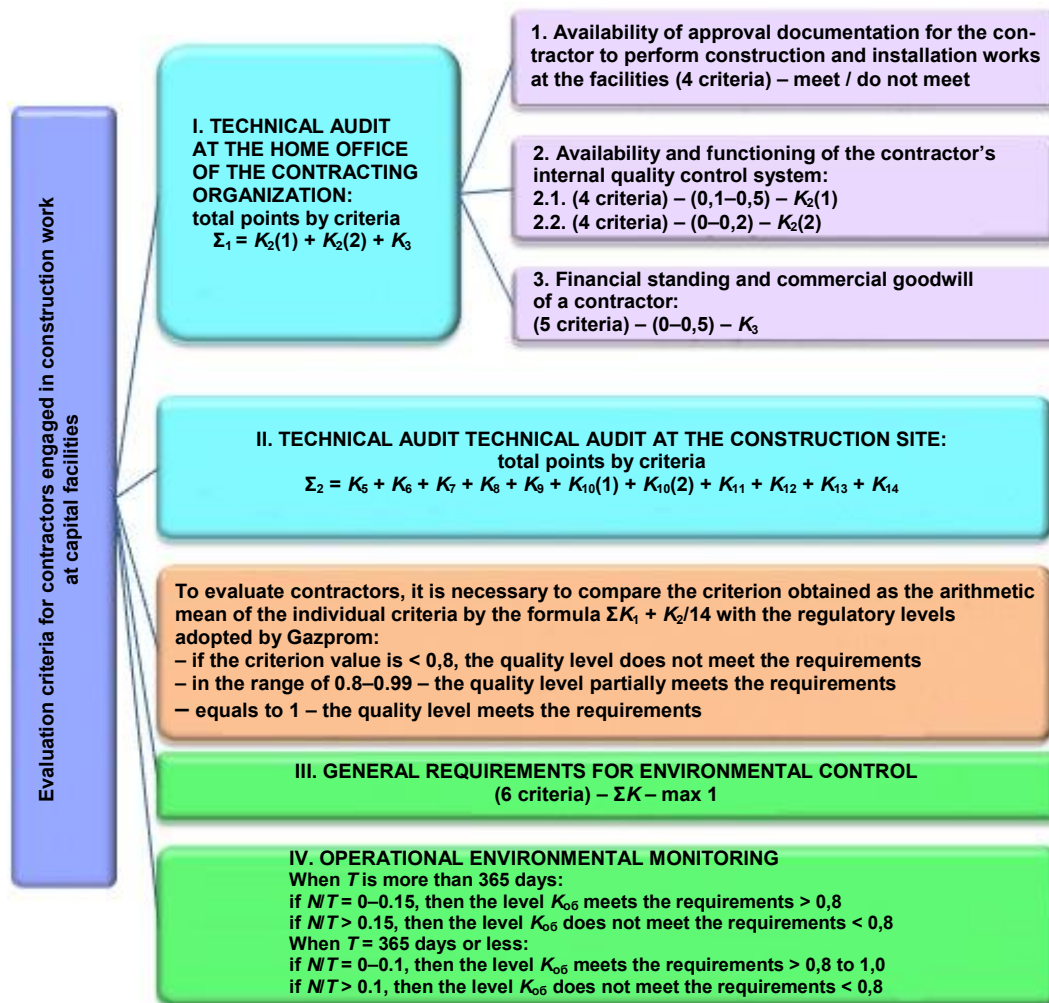


Figure 1. Evaluation criteria for companies carrying out construction work at capital construction projects as part of outsourcing.
Рисунок 1. Критерии оценки организаций, осуществляющих производство строительных работ на объектах капитального строительства в рамках аутсорсинга.

Table 1. Comparative analysis of existing methods for evaluating outsourcing companies.**Таблица 1. Сравнительный анализ существующих методик оценки компаний-аутсорсеров.**

Authors of the methods	The essence of the methods	Criteria for selecting a contractor
P. V. Gentzler	Selection of a contractor according to the established criteria (8 criteria)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualification 2. Willingness to get started quickly 3. Related specialties 4. Physical well-being of workers, lack of bad habits 5. Material and technical resources 6. Goodwill 7. Contractor price 8. Warranty period of work execution
P. V. Zhanov	Selection of a contractor according to the established criteria (4 criteria)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reputation 2. Contractor price 3. Term of completion of works 4. Accuracy of execution
T. N. Soldatenko	The model has been created for a comprehensive indicator of business reputation based on expert evaluation of the significance of factors in the structure of business reputation (8 criteria)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualification 2. Material and technical resources 3. Contractor's reputation 4. Price 5. Warranty period of work execution 6. Term of contract 7. Quality of execution 8. Trust of banks
A. M. Akinpelu	Selection of a contractor according to the established criteria (5 criteria)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Contractor's reputation 2. Contractor price 3. Accuracy of implementation of commitments 4. Trust of banks 5. Assistance in the implementation of the project
M. V. Demidenko	Selection of a contractor according to the established criteria (6 criteria)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualification 2. Contractor price 3. Term of the contract (performance of works) 4. Guarantee of performance of works 5. Liability insurance 6. Refusal to prepayment
T. V. Nakashidze	A scoring system based on the matrix mechanisms of a comprehensive risk assessment of the choice of a contractor has been developed (5 criteria)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qualification 2. Various experts 3. Material and technical resources 4. Contractor's price 5. Quality of execution
Yu. V. Vedernikova	Model with the best set of criteria	Set of criteria depending on the project with a mandatory assessment of the customer's professional experience with a contractor and the labor intensity of the project
Zh. B. Dorokhova	Automation of the business process of selecting a contractor using the COBRA++ system	Software systems are used in real time covering an overview of all stages of construction, not requiring a choice of criteria
Sobah Abbas Petersen	A program in which a number of "competency questions" are asked for a particular contractor	After answering a number of competency questions for specific contractors, the tender organizer receives an estimate for this agent

PAO Gazprom has developed a method of corporate evaluation of general contractors, which contains more than 120 evaluation criteria that meet the requirements of the legislation of the Russian Federation in the field of construction, design and survey work [6, 7]. As a result of the analysis and processing of the criteria for evaluating the performance of the contractor, the appropriateness of its cooperation with the Gazprom Group companies is determined (Fig. 1).

The analysis allows us to conclude that there is no single methodology that meets the interests of all participants in the construction and contains the optimal set of criteria. The only criterion is "Price", which can be found in all methods. "Price", of course, is an important criterion for choosing an outsourcing company, but not a determining one. The cheapest contractor is not always the best, since the possible problems with it can have a much greater impact on implementation of the project than the initial cost savings. In addition, it is necessary to take into account the possibility of various risks associated with the construction processes and subsequent operation of facilities [8–11]. It should be noted that none of the existing methods takes into account the probability of occurrence of negative events in the process of construction and operation of the facility due to the presence of structural and geological factors, and the consequent possible economic damage [12].

The study proposes the developed methodology for monitoring and selecting an outsourcer during construction and installation work, taking into account a certain list of quantitative and qualitative assessment criteria established depending on the conditions of the project and at the discretion of the customer, as well as the mandatory consideration of the possible economic damage that may occur as a result of negative events during the operation of facilities [13–15].

Taking into account the physical and mechanical properties of building structures and materials (strength, corrosion resistance, etc.), the state of the geological environment of the underground space (groundwater, dangerous geological processes, soil properties, etc.), partial or complete failure may occur during the operation of underground structures system or its constituent elements and the inevitability of the occurrence of negative technological changes in the environment, which will require additional funds to eliminate the consequences of emergencies. Therefore, when choosing an outsourcing organization, it is necessary

Table 2. Basic failures in communication systems and recommendations for restoring the reliability of their functioning.
Таблица 2. Основные отказы в коммуникационных системах и рекомендации по восстановлению надежности их функционирования.

Physical disturbances arising from the system	Possible consequences from emerging disturbances	Necessary measures to restore the reliability of the system	Inflation index for costs β
Severe corrosion damage to the supporting structures of the lining	Reduced bearing capacity of the support, deformation and destruction of mining production	Complete overhaul with the removal of used lining, opening the trenches of the route and backfilling	≥ 1
Disruption of integrity of underground structure supports, ruptures/shear fractures of bolt junctions	Leaks, returns, deformations, subsidence, violation of dimensions, reduction of operational reliability of mine workings	Partial repair of the support in the places of its deformation	0.3–0.5
Lost of host rocks adjacent to the mine working supports	Propagation of deformation of supports, reduction of bearing capacity of the support, detachment of the trough block, violation of dimensions	Partial repairs of supports and cementation of host rocks around workings	0.4–0.5
Water resistance disturbance of the system with water ingress to electrical equipment, water main pipes and discharged water in the underground sources	The possibility of the lost of rocks, poisoning of drinking springs, the creation of emergency situation	Cementation of the host rocks around the working, waterproofing of the supports, making cement screed	0.8–1.0
Formation of frost on the elements of underground structures	Distortion of the cross-section, equipment failures, cable breakage, defects and damage creation	Partial repairs of the support inside the system	0.3–0.4
The silting of the open or closed drainage systems	Structures flooding	Partial repair with cementation of the fixed space, local drainage	0.5–0.6
Super-permissible deflections of beams and floor slabs	Cracks in the tensioned zone waterproofing defect, leaks, corrosion of fittings, structural failure	Partial or complete overhaul of the system	0.8–1.0
Hyperadmissible ellipticity of rings of the support	Irregularity of dimensions, reduction of bearing capability of the support	Partial or complete overhaul of mine working	0.8–1.0

to be guided not only by the amount of direct construction costs (“contractor’s price”), but also consider the amount of cost to restore the system. The studies have determined the possible main failures occurring in communication systems, given the recommendations of necessary measures to restore the reliability of their functioning, the coefficient of cost increase (Table 2).

The amount of possible economic damage is recommended to be calculated by the formula (taking into account the time factor if necessary):

$$E_y = [(S_{tr} - L_t) \times \Delta Q \times t_{rec} + S_{rec} + S_c + S_{en}]P_o,$$

where S_{tr} is the price of transporting resources through the communications system, rubles/unit; L_t – costs of transportation of resources, rubles/unit; ΔQ – decrease in the volume of transportation of resources upon failure, units/year, months; t_{rec} – system recovery period, years, months; S_{rec} – system recovery costs, rub.; S_c – compensation payments to enterprises whose economic indicators have worsened, rub.; S_{en} – environmental damages payment, rub.; P_o – probability of failure, unit fraction.

Conclusions and results

The developed methodology allows the implementation of the monitoring process and the selection of an outsourcing organization to correlate the “Price” criterion with the amount of possible economic damage due to the presence of structural and geological factors and make effective management decisions based on the data obtained.

Thus, for the sustainable development of the territories of the Far Eastern Federal District, taking into account the necessary limitation of negative impact on the environment and ensuring the protection and rational use of natural resources, it is recommended to use the developed methodology for monitoring and evaluating an outsourcer considering not only criteria indicators, but also the amount of likely economic damage due to the onset of negative events during the operation of facilities.

REFERENCES

1. Bekrenev I. V., Lozovskaya Ya. N. 2017, Methodological aspects of the formation of an adaptive mechanism for sustainable development of an enterprise based on a targeted integrated approach. *Vestnik RUDN* [RUDN Journal], Series "Economy", vol. 25, no. 2, pp. 233–241. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2017-25-2-233-241>
2. Nazarova Z. M., Kosyanov V. A., Kalinin A. R., Desyatkin A. S. 2018, Prospects for geologic exploration in Russia: western way or native development model? *Gornyi zhurnal*, no. 11, pp. 38–42. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.11.06>
3. Kalinin A. R. 2015, Modern ecological and economic aspects of energy efficiency in the areas of sound nature management. *Ekonomika v promyshlennosti*, no. 3, pp. 42–46.
4. Aglyamova L. R., Mostovskiy N. N., Mostovskaya P. A., Simankina T. L. 2017, Selection of contractors based on Pareto optimal set. *Nauka i obrazovanie: novoye vremya* [Science and education: new time], no. 3 (20), pp. 219–228. (In Russ.)
5. Soldatenko T. N. 2014, Model of business reputation of a contractor in the construction of a building. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy* [Construction of Unique Buildings and Structures], no. 12 (27), pp. 7–23. (In Russ.)
6. Lozovskaya Ya. N., Frankevich J. A. 2019, Improving approaches to assessing the effectiveness of implementing a system of environmentally-oriented enterprise management for sustainable development. *Gornyi Zhurnal* [Mining Journal], no. 5, pp. 51–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.05.09>
7. Alejandro Germán Frank, Nathalie Dalle Molle, Wolfgang Gerstlberger, João Augusto Bonzanini Bernardi, Danilo Cuzzuol Pedrini. 2016, An integrative environmental performance index for benchmarking in oil and gas industry. *Journal of Cleaner Production*, vol. 133, pp. 1190–1203.
8. Mohammad Ali Rezvani Befrouei, Mohammad Taghipour. 2015, Identification and Management of Risks in Construction Projects. *American Journal of Civil Engineering*, no. 5, pp. 170–177.
9. Apollo M. 2017, Prognostic and diagnostic capabilities of OOBN in assessing investment risk of complex construction projects. *Procedia Engineering*, no. 196, pp. 236–243.
10. Petrov A. A., Kuznetsov B. O. 2017, Formation of a complex information model of risk management in construction. *Korporativnoye upravleniye i innovatsionnoye razvitiye ekonomiki Severa: vestnik Nauchno-issledovatel'skogo tsentra korporativnogo prava, upravleniya i venchurnogo investirovaniya Syktyvkar'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Corporate Governance and Innovative Development of the Economy of the North: Bulletin of the Research Center for Corporate Law, Governance and Venture Investments of Syktyvkar State University], no. 1, pp. 13–22. (In Russ.)
11. Korol' S. P. 2016, Risks as a category for assessing innovative development: construction. *Sovremennyye tekhnologii upravleniya* [Modern Management Technology], no. 2 (62). 6204. (In Russ.) URL: <http://sovman.ru/article/6204/>
12. Budzulyak B. V., Apostolov A. A., Seleznev N. F., Moiseev L. P., Alekseenko N. N. 2015, Rating of contractors as a factor to minimize the risks of investment activity. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry], no. 4, pp. 12–16. (In Russ.)
13. Frondel M., Krätschell K., Zwick L. 2018, Environmental management systems: Does certification pay? *Economic Analysis and Policy*. September, vol. 59, pp. 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2018.02.006>
14. Serdal Ozusaglam, Effie Kesidou, Chee Yew Wong. 2018, Performance effects of complementarity between environmental management systems and environmental technologies. *International Journal of Production Economics*, vol. 197, pp. 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.12.026>
15. Qian W., Hörisch J., Schaltegger S. 2017, Environmental management accounting and its effects on carbon management and disclosure quality. *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 1608–1619. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.051>

The article was received on November 01, 2019

Разработка методики мониторинга и отбора аутсорсера для создания инженерных подземных сооружений как фактор устойчивого развития территорий

Ефим Лазаревич ГОЛЬДМАН^{1*},
Яна Николаевна ЛОЗОВСКАЯ^{1**},
Жанна Александровна ФРАНКЕВИЧ^{2***}

¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Россия, Москва

²Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, Москва

Актуальность исследования обусловлена тем, что в настоящее время в России остро стоит проблема устойчивого развития территорий, в особенности Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока. В связи с этим предусмотрена реализация инвестиционных проектов, направленных на развитие инфраструктуры региона и предусматривающих масштабное строительство. Данный процесс характеризуется необходимостью применения аутсорсинга при выполнении строительно-монтажных работ и, следовательно, оценкой и выбором организации-аутсорсера. Однако в настоящее время не существует единой методики мониторинга и отбора аутсорсера.

Целью исследования является разработка методического подхода к процессу мониторинга и отбора аутсорсера при реализации национальных проектов по развитию территорий Дальневосточного федерального округа.

Методы исследования. В статье использованы методы анализа и обобщения специализированной литературы по проблемам устойчивого развития территорий, оценке эффективности инвестиционных проектов, а также системный анализ, эмпирические, общелогические методы исследования.

Результатом является предлагаемая для практического использования методика, позволяющая при осуществлении процесса мониторинга и выбора организации-аутсорсера соотносить критерий «Цена» с величиной возможного эколого-экономического ущерба вследствие наличия конструктивных и геологических факторов и на основе полученных данных принимать эффективные управленческие решения. В рамках методики разработана экономико-математическая модель оценки возможного экономического ущерба.

Выводы. Разработанная методика в условиях стратегической необходимости пространственного развития России конкретизирует не только перечень основных критериев для мониторинга и отбора аутсорсера, но и позволяет предотвратить возможный эколого-экономический ущерб, что будет способствовать устойчивому развитию территорий Дальневосточного федерального округа.

Ключевые слова: устойчивое развитие территорий, методика оценки аутсорсера, критерии отбора, эколого-экономический ущерб, пространственное развитие

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекренев И. В., Лозовская Я. Н. Методические аспекты формирования адаптивного механизма устойчивого развития предприятия на основе целевого комплексного подхода // Вестник РУДН. Сер. «Экономика». 2017. Т. 25, № 2. С. 233–241. <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2017-25-2-233-241>
2. Nazarova Z. M., Kosyanov V. A., Kalinin A. R., Desyatkin A. S. Prospects for geologic exploration in Russia: western way or native development model? // Gornyi zhurnal. 2018. № 11. P. 38–42. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.11.06>
3. Kalinin A. R. Modern ecological and economic aspects of energy efficiency in the areas of sound nature management // Ekonomika v promyshlennosti. 2015. № 3. P. 42–46.
4. Аглямова Л. Р., Мостовский Н. Н., Мостовская П. А., Симанкина Т. Л. Выбор подрядных организаций на основе построения парето-оптимального множества // Наука и образование: новое время. 2017. № 3 (20). С. 219–228.
5. Солдатенко Т. Н. Модель деловой репутации подрядчика при строительстве здания // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 12 (27). С. 7–23.
6. Лозовская Я. Н., Франкевич Ж. А. Совершенствование подходов к оценке эффективности внедрения системы экологически ориентированного управления предприятием с целью устойчивого развития // Горный журнал. 2019. № 5. С. 51–54. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.05.09>
7. Alejandro Germán Frank, Nathalie Dalle Molle, Wolfgang Gerstlberger, João Augusto Bonzanini Bernardi, Danilo Cuzzuol Pedrini. An integrative environmental performance index for benchmarking in oil and gas industry // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 133. P. 1190–1203.
8. Mohammad Ali Rezvani Befrouei, Mohammad Taghipour. Identification and Management of Risks in Construction Projects // American Journal of Civil Engineering. 2015. № 5. P. 170–177.
9. Apollo M. Prognostic and diagnostic capabilities of OOBN in assessing investment risk of complex construction projects // Procedia Engineering. 2017. № 196. P. 236–243.
10. Петров А. А., Кузнецов Б. О. Формирование комплексной информационной модели управления рисками в строительстве // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2017. № 1. С. 13–22.
11. Король С. П. Риски как категория оценки инновационного развития: строительство // Современные технологии управления. 2016. № 2 (62). 6204. URL: <http://sovman.ru/article/6204/>
12. Будзуляк Б. В., Апостолов А. А., Селезнев Н. Ф., Моисеев Л. П., Алексеенко Н. Н. Рейтинговая оценка подрядчиков – фактор минимизации рисков инвестиционной деятельности // Газовая промышленность. 2015. № 4. С. 12–16.
13. Frondel M., Krättschell K., Zwick L. Environmental management systems: Does certification pay? // Economic Analysis and Policy. September 2018. Vol. 59. P. 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2018.02.006>

✉ e27548@mail.ru

** vana197@list.ru

🌐 <http://orcid.org/0000-0002-114-8794>

*** janna-frank@mail.ru

🌐 <http://orcid.org/0000-0001-6478-3276>

14. Serdal Ozusaglam, Effie Kesidou, Chee YewWong. Performance effects of complementarity between environmental management systems and environmental technologies // International Journal of Production Economics. 2017. Vol. 197. P. 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.12.026>
15. Qian W., Hörisch J., Schaltegger S. Environmental management accounting and its effects on carbon management and disclosure quality // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 174. P. 1608–1619. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.051>

Статья поступила в редакцию 01 ноября 2019 года

Алгоритм принятия решений по результатам системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов на территориях недропользования Урала

Татьяна Анатольевна ЛЕБЕДЕВА*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Россия, Новосибирск

Актуальность исследования. В настоящее время особую значимость для принятия обоснованных решений по освоению природного потенциала имеет информация, получаемая в процессе мониторинга, в том числе мониторинга лесных земель. Особенностью этих работ на сегодня является отсутствие совмещения процедур сбора данных, их обработки с моделями структурных элементов лесных земель, что требует решения рассматриваемой проблемы.

Целью исследования является формирование по результатам системного мониторинга системы взаимосвязанных алгоритмов принятия решений в сфере использования лесных земель в промышленных регионах.

Методология формирования системы взаимосвязанных алгоритмов принятия решений в сфере использования лесных земель в промышленных регионах базируется на использовании математических моделей природных объектов лесных экосистем, природных явлений в них и лесообразующих процессах, на процедурах комплексной оценки и оптимизации использования лесных земель в промышленных регионах в соответствии с современными положениями концепции экологически устойчивого развития территорий.

Результаты и их применение. Рассмотрены разработанные по результатам системного мониторинга алгоритмы принятия решений в сфере использования лесных земель: обоснование стратегических индикаторов устойчивого развития лесных земель в промышленных регионах в условиях современных вызовов и рисков; комплексная эколого-экономическая оценка природно-ресурсного потенциала лесных земель; определение «коридоров» допустимого использования лесных земель в промышленных регионах в конкретных природно-климатических и социально-экономических условиях; согласование индивидуальных интересов землепользователей на лесных землях с общественными предпочтениями развития промышленных регионов; многокритериальная оптимизация использования лесных земель в промышленных регионах. Изложены основные принципы прогнозирования параметров комплексной оценки лесных земель, использования показателя потребления чистой первичной продукции лесных экосистем, последовательности экологизации экономики использования лесных земель в промышленных регионах, обоснования уступок экстремальных значений частных критериев при многокритериальной оптимизации. Приведены предложенные дополнительные индикаторы устойчивого развития лесных территорий на Среднем Урале, результаты расчетов по изменению природно-ресурсного потенциала лесных земель в районе недропользования; дано обоснование многокритериальной оптимизации использования сырьевых ресурсов лесных земель.

Выводы. Предложенные алгоритмы принятия решения в сфере системного мониторинга лесных земель являются интеллектуальной поддержкой пользователей при анализе информации в сфере земельных отношений. Они обеспечивают предметный диалог, позволяющий формировать необходимую информацию в удобном для пользователя виде, вносить коррективы в процесс обработки данных и принимать решения.

Ключевые слова: системный мониторинг, лесопокрытые ландшафты, алгоритмы принятия решений, стратегические индикаторы, комплексная оценка, «коридоры» землепользования, конфликты интересов, многокритериальная оптимизация.

Введение

Системный мониторинг лесных земель представляет собой многоцелевую информационную систему наблюдений, оценки (в натуральных показателях) и прогнозирования, состоящую из мониторинга состояния лесных земель и мониторинга использования лесных земель. Достоверная информация основывается на обязательном знании о прошлом состоянии лесных земель (о параметрах, характеристиках и индикаторах коренных типов леса на конкретных территориях). Системность мониторинга лесных земель выражается в наблюдениях, начальной оценке и прогнозировании состояния и использования всего природно-ресурсного потенциала: лесных ресурсов (древесных, недревесных, дикоросов); средоформирующих функций (поддержания состава атмосферного воздуха, водоохранно-водоформирующей, климатоформирующей, почвообразующей, средозащитных функций).

В настоящее время широкое развитие получают мониторинговые системы спутникового базирования; которые позволяют получать оперативную информацию о состоянии лесных земель, накапливающуюся в соответствующих базах данных и используемую чаще всего в оперативном планировании. Развивается база географических данных с большой пространственной детализацией для региональных систем. Особенностью этих работ является отсутствие совмещения процедур сбора данных и их первичной обработки с моделями структурных элементов лесных земель – лесными экосистемами. Необходимо объединение оперативных, алгоритмических, модельных и программных средств сбора и обработки данных по лесным землям с функциями прогноза и принятия решений.

Методы

Алгоритмы принятия решений по результатам системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных регионах Урала базируются:

- на результатах сбора и обработки биометрических и биопродукционных параметров лесных земель;
- учете широкопространственных и долговременных последствий использования лесных земель в промышленных регионах;
- математических моделях природных объектов, явлений и процессов в пространстве (динамика соотношения древостоев по породному составу и типам лесовосстановления в производных лесах) и времени (изменения биометрических и биопродукционных параметров лесных земель);
- многокритериальной оптимизации использования лесных земель в промышленных регионах.

✉ taranova.ekb@bk.ru

Результаты

Основные разработанные по результатам системного мониторинга алгоритмы принятия решений в сфере использования лесных земель включают:

- обоснование стратегических индикаторов устойчивого развития лесных земель в промышленных регионах в условиях современных вызовов и рисков;
- комплексную эколого-экономическую оценку природно-ресурсного потенциала лесных земель;
- определение «коридоров» допустимого использования лесных земель в промышленных регионах в конкретных природно-климатических и социально-экономических условиях;
- согласование индивидуальных интересов землепользователей на лесных землях с общественными предпочтениями развития промышленных регионов;
- многокритериальную оптимизацию использования лесных земель в промышленных регионах на основе эколого-экономических и социальных показателей.

Обоснование стратегических индикаторов устойчивого развития лесных земель

Устойчивое управление лесами (лесными землями) [1] включает вопросы лесной политики, организации лесного дела, инвентаризации лесов и ведение лесного хозяйства (заготовка лесных ресурсов, лесовосстановление, охрана и защита лесов). На первом этапе разработки «Концепции устойчивого развития лесных земель (лесов)» существовало суждение о том, что лесные земли являются очень ценным имуществом, но имуществом особого рода, потому что блага, приносимые лесами, зачастую средоформирующие функции не подлежат материальной оценке. В связи с этим оборот лесных земель должен быть урегулирован, исходя из презумпции экологических приоритетов в использовании лесов, т. е. материальная оценка всего комплекса благ лесных земель считалась практически неосуществимой. Теперь же разработанные методология [2, 3], научные принципы [4] и информационное методическое обеспечение земельно-очередных работ по лесным землям [5] позволяют перейти к устойчивому управлению лесами.

Осуществлена корректировка индикаторов «Монреальского процесса» [6] к эколого-экономическим и социальным условиям Среднего Урала, поскольку в их совокупности отсутствуют важные критерии:

- характеризующие трансформацию лесных ландшафтов за 300-летний период промышленного освоения и развития территории;
- характеризующие изменение потребления обществом чистой первичной продукции (ЧПП) экосистем лесных земель.

Количественным измерителем чистой первичной продукции в природных системах являются [7] доли ненарушенных (коренных типов леса), полунарушенных (лесные земли с производными лесонасаждениями) и нарушенных земель (земли сельхозугодий, населенных пунктов, промышленных объектов). Предложенные дополнительные индикаторы устойчивого развития лесных земель, характеризующие трансформацию лесных ландшафтов в Свердловской области, представлены в табл. 1. Они позволяют:

- количественно оценить соответствие существующего состояния использования лесных земель условиям устойчивого управления ими;
- обосновать «коридоры» допустимого изъятия ЧПП из природных экосистем на лесных землях.

Комплексная эколого-экономическая оценка природно-ресурсного потенциала лесных земель в промышленных регионах по данным системного мониторинга

Комплексная оценка лесопокрываемых ландшафтов производится по данным мониторинга биометрических [8] и биопродукционных [9] параметров с учетом их трансформации [10, 11] от антропогенного и техногенного воздействий в промышленных регионах. Комплексным критерием оценки является оценка лесных ресурсов и основных средоформирующих функций. Основные принципы дисконтирования будущих эффектов лесопокрываемых ландшафтов на территориях недропользования Урала приведены в табл. 2. В табл. 3 приведены результаты расчетов по данным системного мониторинга состояния лесных экосистем в регионе функционирования горнодобывающих комплексов (Нижне-Тагильский лесокадастровый район).

Определение «коридоров» допустимого использования лесных земель в промышленных регионах

Определение «коридоров» допустимого использования лесных земель производится по экологическим параметрам (уровню сохранения естественных экосистем, по балансу природных и антропогенных потоков энергии – биомассы в окружающей среде, по степени изъятия природных ресурсов и объектов – растительного покрова, почвы, земельных участков), по социальным параметрам (занятость населения в экономике региона, состояние здоровья населения, сохранение социальных функций природных ландшафтов) и по экономическим параметрам (технологическим, техническим, по затратам, доходам).

Экологические параметры «коридоров» допустимого недропользования лесных земель объединены общим показателем – допустимым потреблением обществом чистой первичной продукции биосферы (ЧППБ). В естественных (ненарушенных) экосистемах позвоночные животные, в том числе и человек, потребляли не более 1 % ЧППБ [7]; к началу XX в. – уже более 2 % [19]. Баланс потребления чистой первичной продукции был проведен в 1991 г. для Австрии [19]. Анализ величины потребления чистой первичной продукции для России был выполнен в 1993 г. [20]. Было показано, что к среднемировому уровню этот показатель приближался только для освоенной территории Европейской части России. В настоящее время площадь освоенных хозяйственной деятельностью территорий (нарушенных экосистем) в мире достигает 60 %, что соответствует потреблению человеком более 10 % чистой первичной продукции биосферы, т. е. уже серьезно нарушена замкнутость круговорота биогенов (CO₂, соединения азота, фосфора, калия), существенно сокращается биоразнообразие.

В табл. 4 приведены показатели потребления чистой первичной продукции на территории Свердловской области (2016 г.). По уровню потребления ЧПП лесных земель экологически устойчивому развитию соответствуют территории трех лесокадастровых районов Свердловской области (Ивдель-Оусский, Серовский и Тавдинский); нарушенные земли занимают 4,7–11,9 %. Два лесокадастровых района области подошли к напряженному уровню экологически устойчивого

Таблица 1. Предложенные дополнительные индикаторы устойчивого развития лесных территорий в Свердловской области.
Table 1. Proposed additional indicators of sustainable development of forest areas in the Sverdlovsk region.

Индикаторы	Основные параметры индикаторов	
	Статические	Динамические
Уровень сохранения коренных экосистем на лесных землях	Сохранившиеся горные леса Сохранившиеся равнинные леса Сохранившиеся заболоченные леса	Сокращение при увеличении коренных экосистем
Кратность основного лесопользования на лесных землях (рубка леса)	Доля территорий: – с одnorазовой рубкой леса – двухразовой рубкой леса – трехразовой рубкой леса	Сокращение лесных земель со сплошными рубками Увеличение площадей лесных земель с постепенными и выборочными рубками
Уровень загрязнения компонентов экосистем на лесных землях	Доля территорий: – с радиоактивным загрязнением древесины – химическим загрязнением почв – химическим загрязнением воды	Расширение территорий лесных земель: – с изолированными радиоактивно загрязненными древостоями – рекультивированными лесными почвами, восстановленными лесопокрытыми водосборами
Социальная значимость лесных земель	Доля лесных земель, выполняющих: – рекреационную роль – оздоровительную роль – воспитательно-образовательную роль – эстетическую роль	Увеличение площади лесных земель: – с восстановленными рекреационными и оздоровительными зонами – обустроенными рекреационными и оздоровительными зонами – естественной информативностью воспитательно-образовательных и эстетических участков лесных земель
Потребление обществом чистой первичной продукции экосистем лесных земель	Доля ненарушенных земель (земли с коренными типами леса) Доли полунарушенных земель (земли с производными типами леса, некоторые сельхозугодия) Нарушенные земли (земли населенных пунктов, промышленных, транспортных и энергетических предприятий)	Тренды изменения параметров индикаторов

Таблица 2. Принципы дисконтирования эффектов лесных земель в промышленных регионах.
Table 2. Principles of discount effects of forest lands in industrial regions.

Условия оценки и вид расчетной формулы	Литературные источники (основные)
<i>Разовая реализация эффектов лесных земель</i>	
Оценка будущей древесины D в момент посадки леса: $\mathcal{E} = \frac{D}{(1+P)^T}$	А. М. Шустер (1969) [12] К. Г. Гофман (1974) [13] И. В. Туркевич (1977) [9]
Оценка будущей древесины D в момент t периода $(0, T)$: $\mathcal{E} = \frac{D}{(1+P)^{T-t}}$	В. В. Варанкин (1974) [14]
Оценка в момент суммы годовых эффектов R за интервал τ : $\mathcal{E} = \frac{D=R\tau}{(1+P)^{(T-t/2-t)}}$	Н. И. Кожухов (1988) [15]
<i>Постоянная реализация эффектов лесных земель</i>	
Оценка суммы ежегодных эффектов R за бесконечный период времени $(0, T)$: $\mathcal{E} = \frac{R}{P}$	Рослесхоз, 2000 г. [16] Росземкадастр [17]
Оценка суммы интервальных (за интервал τ) эффектов R за бесконечный период времени $(0, T)$: $\mathcal{E} = \frac{R}{(1+P)^\tau - 1}$	К. Г. Гофман (1977) [13]
Оценка суммы ежегодных эффектов R за ограниченный период времени $(0, T)$: $\mathcal{E} = R \frac{[(1+P)^T - 1]}{P(1+P)^T}$	К. Г. Гофман (1977) [13] П. Пирс (1992) [18]

Таблица 3. Оценка по результатам системного мониторинга природно-ресурсного потенциала лесных земель в Нижне-Тагильском лесокатастровом районе (районы разработки Гусевогорского, Собственно-Качканарского, Высокогорского месторождений полезных ископаемых).**Table 3. Evaluation based on the results of systematic monitoring of the natural resource potential of forest lands in the Nizhniy-Tagil forest cadastral region (development areas of the Gusevogorsky, Sobstvenno-Kachkanarsky, Vysokogorsky mineral deposits).**

Порода	Класс бонитета	Оценка отдельных видов природных благ лесных земель				
		Лесные ресурсы	Поддержание состава воздуха атмосферы	Водоохранно-водорегулирующая	Климато-образующая	Почвообразующая
Сосна	II	43,3	44,8	69,4	23,4	42,0
	III	35,2	33,9	47,6	18,9	29,7
	IV-V	18,7	16,1	20,3	8,4	12,2
Ель	II	41,9	40,2	68,2	19,6	40,6
	III	30,2	37,4	63,0	19,2	37,1
	IV-V	13,8	29,0	43,1	18,2	25,2

Таблица 4. Показатели потребления чистой первичной продукции (ЧПП) на территории Свердловской области (2016 г.), %.**Table 4. Indicators of consumption of net primary production (NPP) in the Sverdlovsk region (2016), %.**

Лесокатастровый район	Ненарушенные земли	Полунарушенные земли (земли с	Нарушенные земли
	(земли с коренными типами леса)	производными лесами)	
Ивдель-Оусский	27,6	67,7	4,7
Серовский	24,2	67,3	8,5
Тавдинский	19,3	68,8	11,9
Ново-Лялинский	14,8	71,5	13,7
Нижнетагильский	12,7	68,9	18,4
Алапаевский	15,8	66,6	17,6
Туринский	14,3	71,2	14,5
Красноуфимско-Шалинский	8,1	60,0	31,9
Екатеринбургский	17,2	55,2	24,0
Припышминский	7,4	62,8	28,0
<i>Итого</i>	16,8	60,9	22,3

развития; нарушенные земли доходят до 15 %. Три лесокатастровых района Свердловской области (Красноуфимско-Шалинский, Екатеринбургский, Припышминский) имеют катастрофический уровень экологического состояния; нарушенные земли, не производящие ЧПП природных экосистем, уже занимают здесь 24–32 % территории.

Согласование индивидуальных интересов землепользователей лесных земель с общественными предпочтениями развития промышленных регионов

Основные особенности соотношений индивидуальных и общественных интересов при использовании лесных земель в промышленных регионах заключаются, главным образом, в следующем:

- индивидуальные интересы состоят в максимальной прибыли за относительно короткий период времени, а общественные предпочтения – в долговременном, постоянном использовании лесных земель;
- индивидуальные интересы не отражают комплексность использования ресурсов лесных земель, а общественные предпочтения состоят в оптимальном использовании всей совокупности лесных (природных) благ;
- индивидуальные интересы игнорируют системный характер лесных земель (взаимосвязи в лесных экосистемах), а общественные предпочтения воспринимают участки лесных земель как взаимосвязанный элемент глобальной системы растительного покрова территории.

Алгоритм согласования индивидуальных интересов и общественных предпочтений состоит:

- в последовательной экологизации экономики использования лесных земель от существующей ее формы в виде максимизации доходов (за счет снижения собственных затрат) сначала к учету и дисконтированию экстерналий издержек, а затем к экономике устойчивого развития – «зеленой» экономике [21] с максимальным учетом последствий и минимизации негативных воздействий;
- обосновании соотношений рыночных ставок дисконтирования пользователей лесных земель [18] и ставок дисконтирования общественных предпочтений [22];
- обосновании (определении) уступок интересам индивидуальных пользователей и общественным предпочтениям на основе анализа зависимостей критериев от вариантов землепользования [23].

Последовательность оценки экологизации экономики использования лесных земель в промышленных регионах при согласовании индивидуальных интересов землепользователей с общественными предпочтениями развития территории приведена в табл. 5.

Оптимизация использования лесных земель

Для раскрытия неопределенности оптимальных решений составляется матрица n вариантов землепользования [23]. Далее рассчитываются дополнительные специальные критерии раскрытия неопределенности оптимальных решений в использовании лесных земель.

Таблица 5. Последовательность экологизации экономики использования лесных земель (в том числе для целей «... разработки месторождений полезных ископаемых» – Статьи 21 и 25 «Лесного кодекса РФ» в форме их аренды на срок до 49 лет).
Table 5. Consistency of greening the economy of forest land use (including for the purposes of "... development of mineral deposits" – Articles 21 and 25 of the "Forest Code of the Russian Federation" in the form of leases for up to 49 years).

Вид дисконтированных доходов	Определение дисконтированного дохода
Дисконтированный доход недропользователя (землепользователя) за период T лет – срок разработки месторождения	$\Theta = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - (3_t + 3_{et})}{(1 + P_t)^t} \rightarrow \max$
Учет общей суммы издержек недропользователя (землепользователя) за период T лет – срок разработки месторождения	$\Theta = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - (3_t + 3_{et} + C_t)}{(1 + P_t)^t} \rightarrow \max$
Учет долговременных эколого-экономических последствий недропользования (землепользования) за период более T лет – после закрытия производства	$\Theta = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - (3_t + 3_{et} + C_t)}{(1 + P_t)^t} \pm \sum_{t=T+1}^{\infty} \frac{Y_t}{(1 + P_t)^t}$

Примечание: R – стоимость продукции землепользования; 3 – величина затрат (издержек); 3_{et} – экологические издержки производства, включающие затраты на предотвращение вреда окружающей среде (например, на очистные сооружения) и экономического ущерба от загрязнения окружающей среды (например, платы за выбросы загрязняющих веществ); P – показатель дисконта (для индивидуальных природопользователей в пределах 0,08–0,12, в основном зависит от складывающейся на рынке процентной ставки); C_t – экстерналии издержки; Y_t – сумма долговременных эколого-экономических последствий за период, значительно больший T .
 Note: R is the cost of land use products; $3=C$ (costs); C_t – the amount of costs (costs); C_{et} – environmental production costs, including the costs of preventing environmental damage (e.g. waste treatment facilities) and economic damage from environmental pollution (e.g. pollutant emissions charges); P – discount indicator (for individual natural resource user in the range of 0.08–0.12, mainly depends on the market interest rate); C_t – external costs; Y_t is the sum of long-term environmental and economic consequences for a period significantly greater than T .

Критерий «средних затрат» в землепользовании определяется по максимальному из средних значений показателя P для каждой совокупности параметров состояния:

$$\max_j = \left(\frac{P_{1j} + \dots + P_{ij} + \dots + P_{6j}}{6} \right) = \max P_j,$$

где P_{ij} – показатель эффективности i -го варианта с j -й совокупностью параметров.

Критерий «минимаксных затрат». При использовании критерия «минимаксных затрат» выбирают вариант землепользования, для которого худший результат лучше, чем худший для любого другого варианта:

$$\max_j P_j^{\min} = \min_i \max_j P_{ij},$$

Критерий «минимаксного риска». Для особо сложных случаев организации землепользования рациональный вариант выбирают по критерию «минимаксного риска». При этом разница P_{ij} преобразуется в матрицу рисков R_{ij} согласно соотношению

$$P_{ij} = P_{ij} - P_i^{\max} = P_{ij} - \max \bar{P}_{ij}.$$

Смысл этого критерия сводится к устранению риска слишком больших потерь при появлении экстремальных условий функционирования объектов землепользования (изменение климата, риски наводнений, природных пожаров, риски болезней и распространения вредителей флоры и фауны на лесных землях). На этом заканчивается алгоритм однокритериальной оптимизации использования лесных земель на основе данных системного мониторинга и информационного обеспечения комплексной оценки лесных земель; далее – непосредственно сама многокритериальная оптимизация.

Многокритериальная оптимизация использования лесных земель на основе эколого-экономических и социальных показателей (критериев) состоит в строгом формализованном представлении данной задачи [24–26]: выбор и обоснование частных критериев оптимизации отдельно по экологическому, социальному, экономическому и технологическому факторам; определение экстремальных значений частных критериев эффективности использования лесных земель, раскрытие в случае необходимости неопределенности однокритериальных оптимальных решений (при наличии нескольких различающихся вариантов землепользования около экстремального значения критерия); обоснование на основе частных критериев (экологического, социального, экономического, технологического) комплексного критерия оптимизации в форме интегрального критерия на основе приведения всех измерителей критериев к денежной форме или к иным измерителям, например, на основе распределения энергии [27, 28] или в векторной форме (решаемого лексикографическим методом или методом уступок [29–31]).

Основные положения многокритериальной оптимизации использования земель в промышленных районах недропользования по экономическим измерителям изложены в публикации [32].

Заключение

Стратегические приоритеты и индикаторы многоцелевого использования лесных земель имеют четкую очередность: экологические, социальные и, наконец, экономические. В старопромышленных регионах Среднего и Южного Урала они отражают негативные последствия от накопленных промышленных отходов и необходимость поддержания усложняющегося землепользования. На Северном и Приполярном Урале стратегические приоритеты использования лесных земель отражают поддержание традиционного землепользования у малочисленных народов Севера.

Предложенные алгоритмы принятия решения в сфере системного мониторинга лесных земель являются интеллектуальной поддержкой пользователей при анализе информации в сфере земельных отношений. Они обеспечивают предметный диалог, позволяющий формировать необходимую информацию в удобном для пользователя виде, вносить коррективы в процесс обработки данных и принимать решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпачевский М. Л. и др. Основы устойчивого лесоуправления. М.: WWF, 2009. 143 с.
2. Лебедев Ю. В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 583 с.
3. Sellers P. J., Dickinson R. E., Randall D. A., Betts A. K., Hall F. G., Berry J. A., Collatz G. J., Denning A. S., Mooney H. A., Nobre C. A., Sato N., Field C. B., Henderson-Sellers A. Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere // Science. 1997. Vol. 275. P. 502–509. <https://doi.org/10.1126/science.275.5299.502>
4. Лебедев Ю. В. Методология, принципы и практика оценки лесных экосистем // Изв. вузов. Лесной журнал. 2015. № 2. С. 9–20.
5. Крупинин Н. Я., Лебедева Т. А. Информационное обеспечение оценочных работ по лесным землям Среднего Урала (территории недропользования). Екатеринбург: УГГУ, 2015. 159 с.
6. Монреальский процесс: критерии и индикаторы сохранения и устойчивого управления лесами умеренной и бореальной зон // Лесохозяйственная информация. 2008. № 10. С. 89–96.
7. Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. 472 с.
8. Kondratyev K. Y., Krapivin V. F., Varotsos A. Global Carbon Cycle and Climate Change. Chichester, U. K.: Springer Praxis Books, 2003. 343 p.
9. Krapivin V. F., Shutko A. M. Information technologies for remote monitoring of the environment. Chichester, U. K.: Springer Praxis Books, 2012. 498 p.
10. Walter L. L., Breckle S. W. Ecological systems of the geosphere. Berlin: Springer Verlag, 1985. 242 p.
11. Watson R. T., Noble I. R., Bolin B., Ravindranath N. H., Verardo D. J., Dokken D. J. Land use, Land-use change, and forestry. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 875 p.
12. Шустер А. М. Фактор времени в оценке экономической эффективности капитальных вложений. М.: Наука, 1969. 243 с.
13. Гофман К. Г. Учет фактора времени при экономической оценке лесных земель // Экономическая оценка лесных земель. М., 1974. С. 72–76.
14. Варанкин В. В. Методологические вопросы региональной оценки природных ресурсов. М.: Наука, 1974. 239 с.
15. Кожухов Н. И. Экономика воспроизводства лесных ресурсов. М.: Лесная промышленность, 1988. 262 с.
16. Методика экономической оценки лесов: постановление № 43 от 10.03.2000 г. М.: Рослесхоз, 2000. 31 с.
17. Методика государственной кадастровой оценки земель Лесного фонда РФ: утв. Росземкадастром 15.04.2002 г. № П/263. 49 с.
18. Пирс П. Х. Введение в лесную экономику: пер. с англ. М.: Экология, 1992. 224 с.
19. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Экологический вызов и устойчивое развитие. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 416 с.
20. Лосев К. С., Потапов И. И., Чеснокова И. В., Докукина Т. П. Экстерналии с позиций современной экологии // Экономика природопользования. 2008. № 5. С. 3–8.
21. Гусев А. А. Пути формирования «зеленой» экономики в России // Экономика природопользования. 2014. № 1. С. 28–36.
22. Robert M. Solow. The Economics of Resources or the Resources of Economics // American Economic Review: Papers and Proceedings. 1974. Vol. 64, № 2. P. 1–14. <https://www.jstor.org/stable/1816009>
23. Лебедева Т. А., Коковин П. А., Арефьев С. А. Научные основы устойчивого землепользования в промышленных регионах // Изв. вузов. Горный журнал. 2017. № 4. С. 19–27.
24. Марчук Г. И. Окружающая среда и проблемы оптимизации // Тр. МИАН СССР. 1984. Т. 166. С. 123–129.
25. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. М.: Высш. школа, 1976. 320 с.
26. Попырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1978. 416 с.
27. Подолинский С. А. Труд человека и его отношение к распределению энергии. Изд. 2-е / Сер. «Мыслители Отечества». М.: Белые Альфы, 2005. 160 с.
28. Большаков В. Н., Корытин Н. С., Кряжемский Ф. В., Шишмарев В. М. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем // Экология. 1998. № 5. С. 339–448.
29. Fishburn P. C. Lexicographic Orders, Utilities and Decision Rules: A Survey // Management science. 1974. Vol. 20, № 11. С. 1442–1471. <https://doi.org/10.1287/mnsc.20.11.1442>
30. Grabovsky W. Lexicographic and time minimization in the transportation problem. Warszawa, 1972. 142 с.
31. Подиновский В. В., Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Ленанд, 2016. 192 с.
32. Лебедев Ю. В., Кокарев К. В. Решение многокритериальных задач в недропользовании методом последовательных уступок // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докл. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2016. С. 133–136.

Статья поступила в редакцию 01 ноября 2019 года

Decision-making algorithm based on the results of systematic monitoring of forested landscapes in the subsoil use territories of the Urals

Tatiana Anatolievna LEBEDEVA*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

Relevance of the research. Currently, information obtained during monitoring, including monitoring of forest lands, is of particular importance for making informed decisions on the development of natural potential. A feature of these works today is the lack of combination of data collection procedures, their processing with models of structural elements of forest lands, which requires a solution to the problem under consideration. The aim of the study is to form, according to the results of system monitoring, a system of interconnected decision-making algorithms in the field of forest land use in industrial regions.

The methodology for the formation of a system of interrelated decision-making algorithms in the field of forest land use in industrial regions is based on the use of mathematical models of natural objects of forest ecosystems, natural phenomena in them and forest-forming processes, on the procedures of a comprehensive assessment and optimization of forest land use in industrial regions in accordance with current provisions of the concept of environmentally sustainable development of territories.

Results and their application. The following decision-making algorithms for the use of forest lands developed based on the results of system monitoring are considered: substantiation of strategic indicators of sustainable development of forest lands in industrial regions in the face of modern challenges and risks; integrated environmental and economic assessment of the natural resource potential of forest lands; definition of "corridors" of permissible use of forest land in industrial regions in specific climatic and socio-economic conditions; coordination of individual interests of land users on forest lands with social preferences for the development of industrial regions; multi-criteria optimization of forest land use in industrial regions. The basic principles of forecasting the parameters of a comprehensive assessment of forest lands, the use of an indicator of the consumption of net primary production of forest ecosystems, the sequence of greening the economy of forest land use in industrial regions, the justification of concessions to the extreme values of particular criteria in multicriteria optimization are described. The proposed additional indicators of sustainable development of forest areas in the Middle Urals, the results of calculations to change the natural resource potential of forest lands in the subsoil use area are presented; substantiation of multicriteria optimization of the use of forest land raw materials is given.

Conclusions. The proposed decision-making algorithms in the field of systematic monitoring of forest lands are the intellectual support of users in the analysis of information in the field of land relations. They provide a substantive dialogue that allows you to generate the necessary information in a user-friendly way, make adjustments to the data processing process and make decisions.

Keywords: system monitoring, forested landscapes, decision-making algorithms, strategic indicators, integrated assessment, "corridors" of land use, conflicts of interest, multi-criteria optimization.

REFERENCES

1. Karpachevsky M. L. et al. 2009, *Osnovy ustoychivogo lesoupravleniya* [Fundamentals of sustainable forest management]. Moscow, 143 p.
2. Lebedev Yu. V. 2011, *Otsenka lesnykh ekosistem v ekonomike prirodopol'zovaniya* [Assessment of forest ecosystems in environmental economics], Ekaterinburg, 583 p.
3. Sellers P. J., Dickinson R. E., Randall D. A., Betts A. K., Hall F. G., Berry J. A., Collatz G. J., Denning A. S., Mooney H. A., Nobre C. A., Sato N., Field C. B., Henderson-Sellers A. 1997, Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. Vol. 275. P. 502–509. <https://doi.org/10.1126/science.275.5299.502>
4. Lebedev Yu. V. 2015, Methodology, principles and practice of assessing forest ecosystems. *Izvestiya vuzov. Lesnoy Zhurnal* [Bulletin of Higher Educational Institutions. Forestry Journal], No 2, P. 9–20. (In Russ.)
5. Krupinin N. Ya., Lebedeva T. A. 2015, *Informatsionnoye obespecheniye otsenochnykh rabot po lesnym zemlyam Srednego Urala (territorii nedropol'zovaniya)* [Information support of valuation work on forest lands of the Middle Urals (subsoil use territory)]. Yekaterinburg, 159 p.
6. 2008, The Montreal Process: criteria and indicators of conservation and sustainable forest management of the temperate and boreal zones. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], No 10, P. 89–96. (In Russ.)
7. Gorshkov V. G. 1995, *Fizicheskiye i biologicheskiye osnovy ustoychivosti zhizni* [Physical and biological foundations of life sustainability], Moscow, 472 p.
8. Kondratyev K. Y., Krapivin V. F., Varotsos A. 2003, *Global Carbon Cycle and Climate Change*. Chichester, U. K.: Springer Praxis Books, 343 p.
9. Krapivin V. F., Shutko A. M. 2012, *Information technologies for remote monitoring of the environment*. Chichester, U. K.: Springer Praxis Books, 498 p.
10. Walter L. L., Breckle S. W. 1985, *Ecological systems of the geosphere*. Berlin: Springer Verlag, 242 p.
11. Watson R. T., Noble I. R., Bolin B., Ravindranath N. H., Verardo D. J., Dokken D. J. 2000, *Land use, Land-use change, and forestry*. Cambridge: Cambridge University Press, 875 p.
12. Schuster A. M. 1969, *Faktor vremeni v otsenke ekonomicheskoy effektivnosti kapital'nykh vlozheniy* [The time factor in assessing the economic efficiency of capital investments], Moscow, 243 p.
13. Hoffman K. G. 1995, 1974, *Faktor vremeni v otsenke ekonomicheskoy effektivnosti kapital'nykh vlozheniy* [The time factor in assessing the economic efficiency of capital investments]. Economic assessment of forest land. Moscow, P. 72–76.
14. Varankin V. V. 1974, *Metodologicheskiye voprosy regional'noy otsenki prirodnykh resursov* [Methodological issues of regional assessment of natural resources], Moscow, 239 p.
15. Kozhukhov N. I. 1988, *Ekonomika vosproizvodstva lesnykh resursov* [Economics of reproduction of forest resources]. Moscow, 262 p.
16. 2000, *Methods of economic valuation of forests: Resolution No 43 of March 10, 2000* Moscow, 31 p.
17. 2002, *Methods of State Cadastral Assessment of Land of the Forest Fund of the Russian Federation: approved by Federal Land Inventory Service of Russia, 15.04.2002 г. No P. 263.* 49 p.
18. Peter H. Pearce 1992, *Introduction to Forestry Economics*, translated from English, Moscow, 224 p.
19. Danilov-Danilyan V. I., Losev K. S. 2000, *Ekologicheskyy vyzov i ustoychivoye razvitiye* [Environmental challenge and sustainable development], Moscow, 416 p.
20. Losev K. S., Potapov I. I., Chesnokova I. V., Dokukina T. P. 2008, Externalities from the standpoint of modern ecology. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Environmental economics], No 5, P. 3–8. (In Russ.)

✉ taranova.ekb@bk.ru

21. Gusev A. A. 2014, Ways to create a green economy in Russia. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Environmental economics], No 1, P. 28–36. (In Russ.)
22. Robert M. Solow. 1974, The Economics of Resources or the Resources of Economics. *American Economic Review: Papers and Proceedings*. Vol. 64, No 2. P. 1–14. <https://www.jstor.org/stable/1816009>
23. Lebedeva T. A., Kokovin P. A., Arefiev S. A. 2017, Scientific bases of sustainable land use in industrial regions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 4, P. 19–27. (In Russ.)
24. Marchuk G. I. 1984, *Okruzhayushchaya sreda i problemy optimizatsii* [Environment and optimization issues], vol. 166, P. 123–129.
25. Melentiev L. A. 1976, *Optimizatsiya razvitiya i upravleniya bol'shikh sistem energetiki* [Optimization of the development and management of large energy systems], Moscow, 320 p.
26. Popyrin L. S. 1978, *Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya teploenergeticheskikh ustanovok* [Mathematical modeling and optimization of heat power plants], Moscow, 416 p.
27. Podolinsky S. A. 2005, *Trud cheloveka i yego otnosheniye k raspredeleniyu energii* [Human labor and its relation to energy distribution]. Second edition/Series "Thinkers of the Fatherland". Moscow, 160 p.
28. Bolshakov V. N., Korytin N. S., Kryazhensky F. V., Shishmarev V. M. 1998, New approach to assessing the value of biotic components of ecosystems. *Ekologiya* [Ecology], No 5, P. 339-448.
29. Fishburn P. C. 1974, Lexicographic Orders, Utilities and Decision Rules: A Survey. Vol. 20, No 11. P. 1442–1471. <https://doi.org/10.1287/mnsc.20.11.1442>
30. Grabovsky W. 1972, Lexicographic and time minimization in the transportation problem. 142 p.
31. Podinovskiy V. V., Gavrilov V. M. 2016, *Optimizatsiya po posledovatel'no primenyayemykh kriteriyam* [Optimization according to consistently applied criteria]. Moscow, 192 p.
32. Lebedev Yu. V., Kokarev K. V. 2016, *Resheniye mnogokriterial'nykh zadach v nedropol'zovanii metodom posledovatel'nykh ustupok. Innovatsionnyye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy* [The solution of multicriteria problems in subsoil use by the method of successive concessions. Innovative geotechnologies in the development of ore and non-ore deposits]: book of reports, Ekaterinburg, P. 133–136.

The article was received on November 01, 2019

Исследование пространственных диспропорций в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов в России

Илья Викторович НАУМОВ*

Институт экономики УрО РАН, Россия, Екатеринбург
Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург
Уральский государственный экономический университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность. Проблема нарушения земельных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых, строительных, лесозаготовительных, изыскательских работах, при размещении промышленных и твердых бытовых отходов, вследствие утечки при транзите нефти, газа, продуктов переработки нефти сегодня стоит как никогда остро. Работа по восстановлению нарушенных земельных ресурсов осуществляется не в полном объеме, к тому же приоритет в рекультивации данных ресурсов смещен в сторону более благополучных, центральных регионов. Принятая в феврале 2019 г. «Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года» ставит задачи разработки мероприятий, направленных на сохранение и развитие зеленого фонда городов и пригородных территорий, сохранение и повышение плодородия сельскохозяйственных земель, восстановление лесов и водных биологических ресурсов, развитие системы эффективного обращения с отходами производства и потребления, включая развитие индустрии обработки и утилизации отходов. Пространственные приоритеты восстановления земельных ресурсов данным документом не определены.

Цель исследования. Основной целью данной работы является исследование пространственных диспропорций в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов в России для поиска приоритетов реализации «Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 года» в части рекультивации земель.

Результаты исследования. Сопоставление восстановленных и рекультивированных земельных ресурсов в субъектах РФ позволило нам выявить наличие пространственных диспропорций. Приоритет в рекультивации земельных ресурсов отдается регионам с невысокими объемами нарушенных земель, входящим в Центральный, Южный, Приволжский, Северо-Кавказский федеральные округа. Регионы, входящие в Уральский, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа, обладающие высокими объемами нарушенных земельных ресурсов, такие как ХМАО, ЯНАО, Республика Коми, Кемеровская и Иркутская области, практически не восстанавливают их. Объем нарушенных земельных ресурсов в данных регионах в течение года в разы превышает объем их восстановления.

Выводы. Для повышения эффективности осуществляемой в России деятельности по восстановлению земельных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых, проведении строительных работ считаем необходимым учитывать пространственные особенности размещения нарушенных земель. Смещение пространственных приоритетов в сторону первоочередного восстановления земельных ресурсов в регионах с высокой их концентрацией и осуществление жесткого экологического контроля над процессами их восстановления поможет остановить проблему ежегодного роста объема нарушенных земель в России и повысить экологическую безопасность территорий.

Ключевые слова: пространственные диспропорции, нарушенные и рекультивированные земли, региональные системы, «Стратегия пространственного развития РФ».

Введение

Земельные ресурсы, их состояние, качественный уровень их использования, сохранения, восстановления, как считает большинство исследователей, в совокупности определяют темпы экономического роста, эффективность производства и общего уровня благосостояния граждан [1]. Исследование и последующая разработка месторождений полезных ископаемых, строительство промышленных объектов, транспортных магистралей и объектов логистической инфраструктуры, полигонов захоронения бытовых и промышленных отходов и другие виды хозяйственной деятельности наносят серьезный ущерб лесным, водным и земельным ресурсам нашей страны. Решение проблемы деградации земельных ресурсов имеет первостепенное значение для благополучного социально-экономического развития территориальных систем. О необходимости проведения комплекса мер по восстановлению данных ресурсов и конкретных мероприятиях писали такие исследователи, как Н. Ю. Антонинова, Шубина Л. А. [2], В. Г. Брыжко [3], А. А. Харионовский, М. Ю. Данилова [4], В. А. Тарбаев, О. В. Тараканов [5], Г. М. Чайкина, Н. Ю. Антонинова [6], Н. С. Иванова, Е. В. Шипилова, А. Б. Макаров [7], А. В. Фаткулина [8]. По данным Федеральной службы государственной статистики, на 1 января 2017 г. объем нарушенных земельных ресурсов составлял 1085,6 тыс. га. В течение только 2017 г. в России было нарушено 255,9 тыс. га земель, а восстановлено всего лишь 98,7 тыс. га [2]. По данным за 2018 г., самая высокая концентрация нарушенных земель (по отношению ко всей площади имеющихся у регионов земельных ресурсов) была отмечена в Республике Крым и г. Севастополе. В результате размещения промышленных (в том числе строительных) и твердых бытовых отходов в данном регионе было нарушено 5,8 % площади (табл. 1). Высокий уровень нарушения земельных ресурсов (выше среднего уровня в 0,2 %) был также отмечен в г. Санкт-Петербурге (3,6 %), Кемеровской (1,1 %), Тюменской (0,7 %), Белгородской (0,3 %), Калининградской (0,23 %), Челябинской (0,23 %) областях, ХМАО (0,6 %) и ЯНАО (0,2 %). В Тюменской и Калининградской областях причиной нарушения земельных ресурсов стала разработка месторождений полезных ископаемых, а в Санкт-Петербурге и Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах, помимо этого, строительство промышленных и инфраструктурных объектов, транспортных магистралей [3]. В Кемеровской, Белгородской и Челябинской областях серьезной причиной нарушения земельных ресурсов стало размещение промышленных (в том числе строительных) и твердых бытовых отходов.

Результаты исследования

Исследование пространственных особенностей процессов нарушения земель в РФ показало, что регионы с высоким уровнем деградации земельных ресурсов сконцентрированы в Уральском, Сибирском и Дальневосточном макро-регионах, т. е. в минерально-сырьевых центрах РФ (рис. 1) [5].

Наиболее высокий объем нарушенных земельных ресурсов был выявлен в таких регионах, как Республика Коми, ХМАО, ЯНАО, Кемеровская и Иркутская области. Объем нарушенных земель в данных территориальных системах пре-

* lilia_naumov@list.ru

Таблица 1. Удельный вес нарушенных земель в регионах РФ в 2017 г., %¹.
Table 1. Proportion of disturbed lands in the regions of the Russian Federation in 2017,%¹

Регионы с объемом нарушенных земельных ресурсов выше среднего значения по РФ	Доля нарушенных земель
Республика Крым и Севастополь	5,83
Санкт-Петербург и область СЗАО	3,62
Кемеровская область	1,08
Тюменская область	0,66
Ханты-Мансийский автономный округ	0,57
Белгородская область	0,31
Калининградская область	0,23
Челябинская область	0,23
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,20

вышал верхнюю границу среднего квадратического отклонения данного показателя (48,2 тыс. га) от среднего значения, рассчитанного по всем регионам:

$$V_i > \left(\bar{V}_1 + \sqrt{\frac{\sum (V_i - \bar{V}_1)^2}{n}} \right),$$

где V_i – объем нарушенных земель в i -м регионе, га; \bar{V}_1 – среднее значение объема нарушенных земель по исследуемым регионам, га; n – число исследуемых регионов.

Превышение данного показателя свидетельствует о высокой неоднородности исследуемого явления, о действительно высоком его значении по сравнению со средним уровнем данного показателя, характерным для большинства объектов. Так, в Ханты-Мансийском автономном округе был зафиксирован аномально высокий уровень нарушенных земель – 266,2 тыс. га, в Ямало-Ненецком автономном округе – 132,3 тыс. га, в Кемеровской области – 98,1 тыс. га, в Иркутской области – 53,9 тыс. га и Республике Коми – 48,8 тыс. га (табл. 2). Данные регионы отмечены темно-красным цветом на рис. 1. Более 55 % всего объема нарушенных земельных ресурсов РФ сконцентрировано именно в этих регионах.

Нарушение земельных ресурсов в данных территориальных системах происходило вследствие разработки месторождений полезных ископаемых, при строительных работах и при размещении промышленных и твердых бытовых отходов.



Рисунок 1. Объем нарушенных земельных ресурсов в регионах РФ на 1 января 2017 года, га.
Figure 1. Volume of disturbed land resources in the regions of the Russian Federation on January 1, 2017, ha.

¹Рассчитано автором на основании статистических данных об объемах нарушения земель [2] и площади земельных ресурсов в субъектах РФ [4]

Таблица 2. Объем нарушенных земель в субъектах РФ в 2017 г., га [2].
Table 2. Volume of disturbed lands in the subjects of the Russian Federation in 2017, ha [2].

Объем нарушенных земель	Регион					Всего
	Республика Коми	ХМАО	ЯНАО	Кемеровская область	Иркутская область	
При разработке месторождений полезных ископаемых	22 862	199 280	100 287	92 332	47 412	462 173
Вследствие утечки при транзите нефти, газа, продуктов переработки нефти	326	2159	13	0	0	2498
При строительных работах	22 638	63 024	29 599	2795	5348	123 405
При мелиоративных работах	37	0	0	1,5	0	38,0
При лесозаготовительных работах	379	640	0	7	4	1029
При изыскательских работах	1961	0	0	0	13	1974
При размещении промышленных и твердых бытовых отходов	515	90	82	2474	1065	4226
При иных работах	93	990	2320	483	538 518	3895
Всего	48 810	266 182	132 302	98 093	53 851	599 239

Только в Республике Коми значительный объем земельных ресурсов (1,9 тыс. га) был нарушен в результате проведения изыскательских работ, а в Ханты-Мансийском автономном округе – вследствие утечки при транзите нефти, газа, продуктов переработки нефти (2,2 тыс. га). Вторую группу регионов с показателями нарушения земельных ресурсов выше среднего уровня, рассчитанного по всем субъектам РФ (13,2 тыс. га), формируют Тюменская, Томская, Амурская, Свердловская, Магаданская, Челябинская, Мурманская области, Республики Саха (Якутия) и Карелия, Красноярский, Забайкальский край и Ненецкий автономный округ, отмеченные на рис. 1 красным цветом (табл. 3).

В данных регионах сконцентрировано 29,3 % всех нарушенных земельных ресурсов. Как и в первой группе регионов, основной причиной нарушения их земельных ресурсов была разработка месторождений полезных ископаемых и строительство транспортных магистралей, инфраструктурных объектов. Однако объем нарушенных земель вследствие размещения промышленных и твердых бытовых отходов в этой группе регионов превысил в три раза значение аналогичного показателя первой группы регионов. Промышленными и бытовыми отходами была повреждена территория Свердловской, Челябинской областей и Республики Саха (Якутия). В процессе выполнения лесозаготовительных работ были существенно повреждены земельные ресурсы Республики Карелия (1,8 тыс. га) и Республики Саха (Якутия) – 1,0 тыс. га. Необходимо отметить, что объем нарушенных земель вследствие лесозаготовительных работ в первой группе регионов был в три раза ниже.

Таблица 3. Объем нарушенных земель в субъектах РФ в 2017 г., га [2].
Table 3. Volume of disturbed lands in the subjects of the Russian Federation in 2017, ha [2].

Регион	Объем нарушенных земель						Всего
	При разработке месторождений полезных ископаемых	При строительных работах	При лесозаготовительных работах	При изыскательских работах	При размещении промышленных и твердых бытовых отходов	При иных работах	
Республика Саха (Якутия)	32 340	8725	1005	0	1795	362	44 228
Тюменская область	35 972	963	0	6	0	188	37 129
Красноярский край	27 948	5957	348	10	497	1069	35 830
Томская область	8258	21 841	82	0	215	83	30 478
Забайкальский край	24 208	667	80	76	815	141	25 988
Амурская область	23 725	1982	0	103	17	0	25 827
Свердловская область	18 117	1176	27	43	5905	206	25 473
Магаданская область	18 156	2663	0	62	29	1213	22 123
Челябинская область	17 059	801	0	0	1601	118	19 578
Мурманская область	19 283	0	0	0	19	67	19 369
Ненецкий автономный округ	13 347	4704	0	0	8	0	18 060
Республика Карелия	8511	2399	1826	0	355	207	13 298
Всего	246 924	51 879	3368	299	11 257	3656	317 382

Уровень нарушения земельных ресурсов третьей группы регионов был существенно ниже среднего уровня. На 65 регионов приходилось всего 15,5 % общего объема нарушенных земель. И в качестве основных причин их нарушения выступали: разработка месторождений полезных ископаемых, проведение строительных работ и размещение промышленных и бытовых отходов (рис. 2). Объем нарушенных земель при разработке месторождений полезных ископаемых в данной группе регионов в 2017 г. был в 2,2 раза ниже, чем во второй группе регионов (112,6 тыс. га), при этом основными центрами такого нарушения земельных ресурсов были Сахалинская, Оренбургская, Архангельская, Белгородская, Новосибирская области, Хабаровский, Приморский и Камчатский края, Республики Хакасия, Бурятия, Чукотский автономный округ.

С другой стороны, в группе регионов с объемом нарушения земельных ресурсов ниже среднего уровня наблюдались повышенные объемы загрязнения земель промышленными и твердыми бытовыми отходами (площадь полигонов с отходами в данной группе регионов превышала в 2,1 раза территорию, занятую отходами в регионах второй группы и в 5,5 раза – в регионах первой группы). Наиболее высокие значения нарушенных земель вследствие размещения твердых бытовых и промышленных отходов были выявлены в таких регионах, как Республика Крым и г. Севастополь, Белгородская, Оренбургская, Вологодская, Архангельская, Омская, Ростовская области, Приморский край, Республика Башкортостан и во многих других центральных регионах РФ. Несмотря на существенные отличия причин загрязнения земельных ресурсов в различных группах региональных систем, двумя основными для всех исследуемых субъектов РФ являются разработка месторождений полезных ископаемых и проведение строительных работ.

Исследование пространственных особенностей размещения нарушенных земельных ресурсов в РФ показало, что наиболее поврежденные земли сконцентрированы в таких минерально-сырьевых центрах, как ХМАО, ЯНАО, республика Коми, Иркутская и Кемеровская области. Данные регионы окрашены темно красным цветом на рис. 1. Высокий уровень нарушенных земельных ресурсов (выше среднего уровня по РФ) также наблюдается в регионах активной добычи полезных ископаемых (в Тюменской, Томской, Амурской, Свердловской, Магаданской, Челябинской, Мурманской областях, Республиках Саха (Якутия) и Карелия, в Красноярском, Забайкальском краях и Ненецком автономном округе). Данные регионы отмечены на рис. 1 красным цветом. Земельные ресурсы регионов, входящих в состав Центрального, Северо-Западного, Южного, Северо-Кавказского и Приволжского федеральных округов, не являются сильно нарушенными, объем их нарушения существенно ниже среднего уровня по РФ. В то же время именно этим территориальным системам отдается приоритет при рекультивации земельных ресурсов.

Процесс рекультивации земель представляет собой комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества [7]. Для исследования пространственных диспропорций между процессами нарушения и рекультивации земельных ресурсов в регионах России был использован коэффициент восстановления земель [8]:

$$K_{в.з} = \frac{P_3}{H_3} \cdot 100 \%,$$

где $K_{в.з}$ – коэффициент восстановления земель, %; P_3 – объем рекультивированных земельных ресурсов в 2017 г., га; H_3 – объем нарушенных земельных ресурсов в 2017 г., га.

Расчеты данного показателя по 85 субъектам РФ за 2017 г. показали, что уровень восстановления нарушенных земельных ресурсов в регионах, входящих в состав Центрального, Северо-Западного, Южного, Северо-Кавказского и Приволжского федеральных округов, был существенно выше, чем в регионах Уральского, Сибирского и Дальневосточного округов, обладающих высоким уровнем деградации земельных ресурсов (рис. 3). Первую группу регионов с высокими объемами рекультивации земельных ресурсов (выше верхней границы стандартного отклонения от среднего значения, т. е. выше 26,6 %) формируют: Республика Татарстан (в 2017 г. в данном регионе было восстановлено 69,8 % нарушенных земель), г. Москва (56,2 %), Ивановская (54,1 %), Орловская (46,9 %), Самарская (43,6 %), Саратовская (42,7 %), Нижегородская (31,7 %), Волгоградская (30,9 %), Оренбургская (26,7 %) области, Республика Северная Осетия

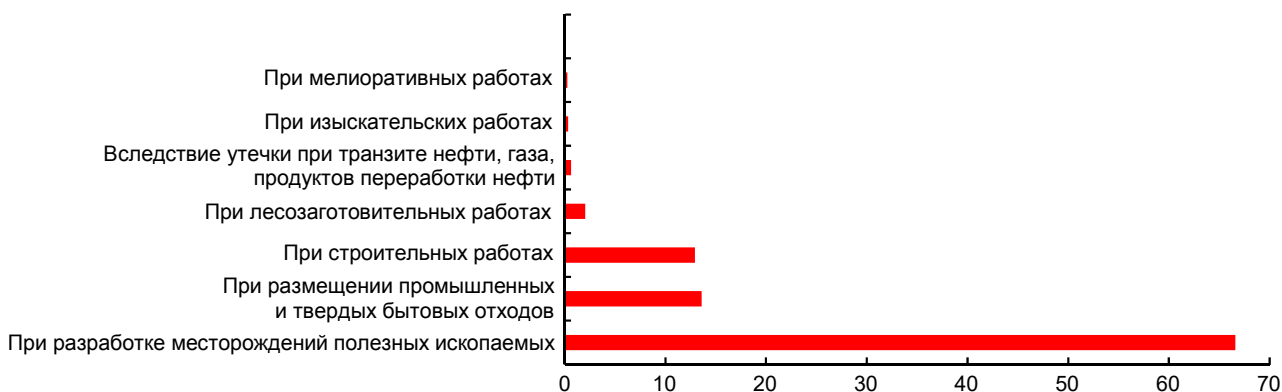


Рисунок 2. Структура причин нарушения земель в группе регионов с объемом их нарушения ниже среднего уровня по данным в 2017 г., %².

Figure 2. Structure of the causes of land disturbance in the group of regions with the volume of their violation below the average according to 2017, %

² Рассчитано автором на основании статистических данных об объемах нарушения земель в регионах РФ [2]



Рисунок 3. Уровень восстановления земельных ресурсов в субъектах РФ в 2017 г., %.
Figure 3. Level of land restoration in the constituent entities of the Russian Federation in 2017, %.

– Ала́ния (32,2 %), Республика Башкортостан (26,7 %) и Пермский край (29,2 %). Данные регионы, отмеченные на рис. 3 темным зеленым цветом, обладают незначительными объемами нарушенных, но при этом высокими объемами восстановленных земельных ресурсов.

Большинство регионов второй группы, окрашенных светло зеленым цветом на рис. 3, удельный вес восстановленных земельных ресурсов в которых превышает средний уровень по России (12,4 %), обладает высокими объемами нарушения земель. К таким регионам относятся: Республики Саха (Якутия), Коми, Тыва, Алтай, Марий Эл, Мордовия, Удмуртия, Калмыкия, Дагестан, Хабаровский, Алтайский, Краснодарский края, Магаданская, Пензенская, Чеченская, Астраханская, Ростовская и Вологодская области. Сопоставление рис. 1, сформированного по объему нарушенных земель, и рис. 3, характеризующего уровень их восстановления, показывает, что значительная часть регионов, входящих во вторую группу, совпадает. Объемы нарушенных и рекультивированных земель в данных регионах превышают среднее значение по РФ.

Уровень восстановления нарушенных земельных ресурсов в регионах, формирующих третью группу, существенно ниже среднего значения. Как видно из рис. 3, в данную группу регионов вошли территориальные системы с высоким объемом нарушенных земельных ресурсов, такие как ХМАО (рекультивировано всего 3,6 % нарушенных земель), ЯНАО (3,7 %), Кемеровская (0,9 %), Иркутская (5,1 %), Тюменская (8,9 %), Томская (6,4 %), Амурская (10,7 %), Свердловская (2,6 %), Челябинская (3 %), Мурманская (0,01 %) области, Забайкальский край (5,3 %), Ненецкий автономный округ (0,8 %) и Республика Карелия (1,6 %). Значительная доля нарушенных земельных ресурсов в данных регионах не восстанавливается.

Сопоставление восстановленных и рекультивированных земельных ресурсов в субъектах РФ позволило нам выявить пространственную диспропорцию в процессе их восстановления. Приоритет в рекультивации земельных ресурсов отдается регионам с невысокими объемами нарушенных земель, входящим в Центральный, Южный, Приволжский, Северо-Западный и Северо-Кавказский федеральные округа. Регионы, входящие в Сибирский и Дальневосточный федеральные округа, обладающие высокими объемами нарушенных земельных ресурсов, практически не восстанавливают их. Объем нарушенных земельных ресурсов в течение года в данных регионах в разы превышает объем их восстановления.

Выявленные пространственные диспропорции в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов наиболее наглядно прослеживаются при детальном исследовании причин нарушения земель. Использование инструментов ГИС моделирования (наложение слоями пространственных данных об объемах нарушенных и восстановленных земель) по нарушенным в ходе разработки месторождений полезных ископаемых землям позволило подтвердить сделанные выводы о наличии пространственных диспропорций (рис. 4). Из рис. 4 видно, что регионы, являющиеся ведущими минерально-сырьевыми центрами страны, обладающие значительным объемом нарушенных земельных ресурсов, практически не осуществляют их рекультивацию. К таким регионам относятся Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий и Ненецкий автономные округа, Республика Коми, Тюменская, Иркутская и Кемеровская области, отмеченные на рис. 4 красным цветом. Значительная часть территории РФ с высокими объемами добычи полезных ископаемых (Красноярский, Хабаровский и Забайкальский края, Республика Саха (Якутия), Магаданская, Амурская области) обладает высоким объемом нарушенных земельных ресурсов и средним уровнем их восстановления. Из рис. 4 видно, что земельные ресурсы восстанавливаются в основном в регионах, входящих в Центральный, Южный и Приволжский федеральные округа.

Данные регионы в 2017 г. не отличались высокими показателями нарушения земельных ресурсов. Объем нарушенных земельных ресурсов в Саратовской, Самарской, Воронежской областях, Камчатском крае, Чеченской Республике и



Рисунок 4. Пространственные диспропорции в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых в 2017 г.
Figure 4. Spatial disproportions in the processes of disturbance and reclamation of land resources in the development of mineral deposits in 2017

Республике Марий Эл был незначительным. Единственный регион в России, обладающий повышенным объемом нарушения земельных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых, отличался и повышенными объемами их рекультивации. Таким регионом в 2017 г. была Оренбургская область. Пространственные диспропорции были выявлены и в результате сопоставления нарушенных и рекультивированных земельных ресурсов в регионах РФ при проведении строительных работ (рис. 5).

Из рис. 5 видно, что земельные ресурсы значительной части территории РФ (Уральского, Северо-Западного и Дальневосточного федеральных округов) являются нарушенными и практически не восстанавливаются. Только в Красноярском крае, в котором в настоящее время осуществляется реализация комплекса инвестиционных проектов («Енисейская Сибирь»), направленных на строительство обрабатывающих производств и транспортно-логистических центров, проводится работа по восстановлению земельных ресурсов. Приоритет в процессах рекультивации земельных ресурсов при проведении строительных работ так же, как и при разработке месторождений полезных ископаемых, отдается регионам, входящим в Центральный, Приволжский и Северо-Кавказский федеральные округа. Проблема нарастания пространст-

Таблица 4. Структура нарушенных и восстановленных земель в 2017 г. по РФ в целом, га [2].
Table 4. Structure of disturbed and restored lands in 2017 for the Russian Federation as a whole, ha [2].

Нарушенные и рекультивированные земли	При разработке месторождений полезных ископаемых	При строительных работах	При лесозаготовительных работах	При размещении промышленных и бытовых отходов	Всего
Наличие нарушенных земель на 01.01.17 г.	821 672	197 089	7742	38 378	1 084 847
Нарушено земель за 2017 г.	178 266	56 509	6227	1201	256 242
Рекультивировано земель, всего	51 004	35088	2733	369	98673
в том числе под пашню	2650	5334	0	100	9321
другие сельскохозяйственные угодья	3423	5939	248	114	12 472
лесные насаждения	38 323	22680	2485	14	68393
водоемы и другие цели	6609	1134	0	141	8488
Наличие нарушенных земель на 01.01.18 г.	948 934	218 510	11 237	39 210	1 242 416



Рисунок 5. Пространственные диспропорции в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов при проведении строительных работ в 2017 г.
Figure 5. Spatial disproportions in the processes of disturbance and recultivation of land resources during construction work in 2017

венных диспропорций в процессах нарушения и рекультивации земельных ресурсов, как и в целом проблема недостаточного их восстановления, формировалась десятилетиями. Объем восстановления данных ресурсов отстает от темпов их ежегодного нарушения как минимум в два раза (табл. 4).

Согласно представленным в табл. 4 статистическим данным, в течение 2017 г. в России было нарушено 256,2 тыс. га земель (23,6 % от нарушенных земель на начало года) и восстановлено всего 98,7 тыс. га. Осуществляемая в России деятельность по рекультивации земельных ресурсов не способствует снижению объема нарушенных земель, а приводит только к их росту. За 2017 г. объем нарушенных земель в РФ увеличился на 157,6 тыс. га. В регионах с высоким объемом нарушенных земель наблюдалось наиболее сильное превышение нарушенных земельных ресурсов над восстановленными (табл. 5).

Так, в Кемеровской области объем восстановленных земельных ресурсов был ниже объема нарушенных в 5,1 раза, ХМАО – в 3,7 раза, ЯНАО – в 3,6 раза. В группе регионов с объемом нарушенных земельных ресурсов выше среднего по РФ уровня сильное превышение данного показателя было выявлено в Тюменской области и Республике Карелия. Несмотря на значительный объем сконцентрированных в данных регионах нарушенных земельных ресурсов, объем их рекультивации в течение 2017 г. был в 7 раз ниже объема нарушенных за этот период. В регионах третьей группы с низкими показателями нарушения земельных ресурсов отставание процессов рекультивации от их нарушения было не таким сильным. Данным регионам, как показало наше исследование, отдавался приоритет в восстановлении нарушенных земель. Деятельность по рекультивации земельных ресурсов осуществлялась, прежде всего, в регионах, входящих в Центральный, Южный, Приволжский, Северо-Кавказский федеральные округа, обладающих невысоким уровнем их нарушения. Территории же с высокой концентрацией нарушенных земель восстанавливались по остаточному принципу.

Заключение

Проблема нарушения земельных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых, строительных, лесозаготовительных, изыскательских работах, при размещении промышленных и твердых бытовых отходов, вследствие утечки при транзите нефти, газа, продуктов переработки нефти сегодня звучит как никогда остро. Работа по восстановлению нарушенных земельных ресурсов осуществляется не в полном объеме, к тому же приоритет в рекультивации данных ресурсов смещен в сторону более благополучных, центральных регионов. Принятая в феврале 2019 г. «Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года» ставит задачи разработки мероприятий, направленных на сохранение и развитие зеленого фонда городов и пригородных территорий, сохранение и повышение плодородия сельскохозяйственных земель, восстановление лесов и водных биологических ресурсов, развитие системы эффективного обращения с отходами производства и потребления, включая развитие индустрии обработки и утилизации отходов. Пространственные приоритеты восстановления земельных ресурсов данным документом не определены.

Исследование пространственных аспектов нарушения земельных ресурсов и их восстановления по регионам РФ позволило выявить наличие пространственных диспропорций в развитии данных процессов. Приоритет в рекультивации земельных ресурсов в настоящее время отдается регионам с невысокими объемами нарушенных земель, входящим в Цен-

Таблица 5. Сопоставление объема нарушенных и рекультивированных земельных ресурсов в течение 2017 года по трем группам регионов РФ, %³.**Table 5. Comparison of the volume of disturbed and recultivated land resources during 2017 for three groups of regions of the Russian Federation, %³.**

Первая группа регионов – с очень высоким объемом нарушенных земельных ресурсов		Вторая группа регионов – с объемом нарушенных земельных ресурсов выше среднего значения по РФ	
Кемеровская область	514,2	Тюменская область	725,8
ХМАО	369,5	Республика Карелия	712,6
ЯНАО	360,4	Томская область	296,4
Иркутская область	275,5	Забайкальский край	214,9
Республика Коми	231,1	Республика Саха (Якутия)	166,9
		Амурская область	166,5
		Магаданская область	157,8
		Свердловская область	156,8
		Челябинская область	80,7
Третья группа регионов – с объемом нарушенных земельных ресурсов ниже среднего значения по РФ			
Ивановская область	115,5	Камчатский край	90,3
Липецкая область	113,0	Орловская область	81,8
Республика Башкортостан	110,9	Республика Дагестан	80,3
Республика Татарстан	102,1	Курганская область	58,5
Самарская область	101,3	Саратовская область	47,0
Республика Марий Эл	97,1	Чеченская Республика	45,8
Пензенская область	96,3	Волгоградская область	45,5
Москва	94,4	Брянская область	41,6
Белгородская область	93,4	Ростовская область	41,5
Оренбургская область	90,4	Пермский край	37,8

тральный, Южный, Приволжский, Северо-Кавказский федеральные округа. Регионы, входящие в Уральский, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа, такие как ХМАО, ЯНАО, Республика Коми, Кемеровская, Иркутская, Тюменская, Свердловская, Челябинская, Томская, Амурская области, Забайкальский край, обладающие высокими объемами нарушенных земельных ресурсов, практически не восстанавливают их. Объем нарушенных земельных ресурсов в течение 2017 г. в данных регионах в разы превышал объем их восстановления.

Необходимость решения проблемы восстановления земельных ресурсов в регионах с каждым годом возрастает, поскольку темпы деградации данных ресурсов, несмотря на предпринимаемые шаги по их рекультивации, превышают в разы объемы их нарушения. Для повышения эффективности осуществляемой в России деятельности по восстановлению земельных ресурсов при разработке месторождений полезных ископаемых, проведении строительных работ считаем необходимым учитывать пространственные аспекты их нарушения. Смещение пространственных приоритетов в сторону первоочередного восстановления земельных ресурсов в регионах с высокой их концентрацией и осуществление жесткого экологического контроля над процессами их восстановления [9] поможет разрешить проблему ежегодного роста объема нарушенных земель в России и повышения экологической безопасности территорий.

Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР на 2019 год Лабораторией моделирования пространственного развития территорий по теме «Методология моделирования пространственного развития макрорегионов в контексте обеспечения их экономической безопасности».

ЛИТЕРАТУРА

1. Сведения о рекультивации земель, снятии и использовании плодородного слоя почвы. 2018 // Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: <http://72.rpn.gov.ru/opendata/7703381225-tprecultiv>
2. Антонинова Н. Ю., Шубина Л. А. Актуальные проблемы сохранения и восстановления земельных ресурсов Уральского федерального округа // Изв. СамНЦ РАН. 2012. Т. 14, № 1-8. С. 2032–2035.
3. Брыжко В. Г. Назначение восстановления нарушенных земель в современных экономических условиях // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 105–109.
4. Харитоносский А. А., Данилова М. Ю. Рекультивация нарушенных земель в угольной промышленности // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. № 3. С. 72–77.

³Рассчитано автором на основании статистических данных об объемах нарушения земель и площади земельных ресурсов в субъектах РФ [2]

5. Тарбаев В. А., Тараканов О. В. Управление земельными ресурсами в условиях их деградации на территории юго-востока Саратовской области // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. № 3. С. 88–93.
6. Чайкина Г. М., Антонинова Н. Ю. К вопросу о восстановлении нарушенных и деградированных земель с учетом зональных и эколого-технологических особенностей разработки месторождений // ГИАБ. 2012. № 8. С. 311–315.
7. Иванова Н. С., Шипилова Е. В., Макаров А. Б. Новый подход к рекультивации горнопромышленных ландшафтов // Изв. вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 102–107.
8. Фаткулина А. В. Экологическая безопасность при землепользовании // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2019. № 10 (177). С. 54–58.
9. Наумов И. В. Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах формирования инвестиционного потенциала территорий методами пространственного моделирования // Экономика региона. 2019. Т. 15, № 3. С. 720–735.
10. Данные о площади субъектов РФ. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Площадь_субъектов_Российской_Федерации (нет статьи с таким названием)
11. Наумов И. В. Проблемы прогнозирования валового выпуска в региональной территориальной системе // Журнал экономической теории. 2017. № 4. С. 68–83.
12. Баденко В. Л., Гарманов В. В., Терлеев В. В. Управление земельными ресурсами и кадастр недвижимости. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 115 с.
13. Об утверждении Основных положений о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы: приказ Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов от 22 декабря 1995 г. № 525/67.
14. Балашенко В. В., Савченков С. С. Причины ухудшения качества земли // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: труды VII Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 28–33.
15. Матвеева А. В., Мизина А. С., Яроцкая Е. В. Государственный земельный надзор как инструмент управления земельными ресурсами // Эпомен. 2019. № 25. С. 175–181.

Статья поступила в редакцию 01 ноября 2019 года

The study of spatial imbalances in the processes of disruption and land reclamation in Russia

Il'ya Viktorovich NAUMOV

Institute of Economics of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia
Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia
Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Relevance. The problem of disruption of land resources during the development of mineral deposits, construction, logging, surveying, placement of industrial and municipal solid waste due to leakage during the transit of oil, gas, and oil products is more acute today. Work on the restoration of disturbed land resources is not carried out in full, moreover, the priority in the restoration of these resources is shifted towards more prosperous central regions. Adopted in February 2019, The "Spatial Development Strategy of the Russian Federation for the Period until 2025" sets the task of developing measures aimed at preserving and developing the green fund of cities and suburban territories, preserving and improving the fertility of agricultural lands, restoring forests and aquatic biological resources, developing a system for the efficient management of production wastes and consumption, including the development of a waste and recycling industry. The spatial priorities for land restoration are not defined by this document.

Purpose of the study. The main goal of this work is to study spatial imbalances in the processes of disruption and land reclamation in Russia in order to find priorities for the implementation of the "Strategy for spatial development of the Russian Federation for the period until 2025" in terms of land reclamation.

Results of the study. Comparison of restored and reclaimed land resources in the subjects of the Russian Federation allowed us to identify the presence of spatial imbalances. Priority in the restoration of land resources is given to regions with low volumes of disturbed lands included in the Central, Southern, Volga, North Caucasian federal districts. Regions in the Ural, Siberian and Far Eastern federal districts with high volumes of disturbed land resources, such as the Khanty-Mansi Autonomous Okrug, the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, the Komi Republic, the Kemerovo and Irkutsk Regions, almost do not restore them. The volume of disturbed land resources in these regions during the year is several times greater than the volume of their restoration.

Conclusions. To increase the efficiency of land restoration activities carried out in Russia during the development of mineral deposits, carrying out construction work, we consider it necessary to take into account the spatial features of the distribution of disturbed lands. The shift of spatial priorities towards the priority restoration of land resources in regions with a high concentration of these resources and the implementation of strict environmental control over the processes of their restoration will help stop the problem of annual growth in the amount of disturbed land in Russia and increase the environmental safety of territories.

Keywords: spatial imbalances, disturbed and reclaimed lands, regional systems, spatial development strategy of the Russian Federation.

REFERENCES

1. 2018, *Svedeniya o rekul'tivatsii zemel', snyatii i ispol'zovanii plodorodnogo sloya pochvy* [Information on land reclamation, removal and use of the fertile soil layer], Federal Service for Supervision in the Sphere of Natural Resource Use. URL: <http://72.rpn.gov.ru/pendata/7703381225-tprecultiv>
2. Antoninova N. YU., Shubina L. A. 2012, Topical issues of conservation and restoration of land resources of the Ural Federal District. *Izvestia of RAS SamSC* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], vol. 14, No 1-8. P. 2032–2035 (In Russ.)
3. Bryzhko V. G. 2017, Role of restoration of disturbed lands in modern economic conditions. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Fundamental research], No 6. P. 105–109 (In Russ.)
4. Kharionovskiy A. A., Danilova M. Yu. 2017, Reclamation of disturbed lands in the coal industry. *Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti* [Bulletin of research center for safety in coal industry], No 3. P. 72–77 (In Russ.)
5. Tarbayev V. A., Tarakanov O. V. 2016, Land management in the conditions of their degradation in the south-east of the Saratov region. *Obrazovaniye i nauka v sovremennom mire. Innovatsii* [Education and science in the modern world. Innovation], No 3. P. 88–93. (In Russ.)
6. Chaykina G. M., Antoninova N. Yu. 2012, To the question of restoration of disturbed and degraded lands taking into account zonal and environmental-technological features of field development. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], No 8. P. 311–315 (In Russ.)
7. Ivanova N. S., Shipilova Ye. V., Makarov A. B. 2018, *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 8. P. 102–107 (In Russ.)
8. Fatkulina A.V. 2019, Ecological safety in land use. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'* [Land management, cadastre and land monitoring], No 10 (177). P. 54–58. (In Russ.)
9. Naumov I. V. 2019, Research of interregional relationships in the processes of formation of the investment potential of the territories by spatial modeling methods. *Ekonomika regiona* [Economy of the region], vol. 15, No 3. P. 720–735 (In Russ.)
10. Data on the area of subjects of the Russian Federation. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
11. Naumov I. V. 2017, Problems of forecasting gross output in the regional territorial system. *Zhurnal ekonomicheskoy teorii* [Russian Journal of the Economic Theory], No 4, P. 68–83 (In Russ.)
12. Badenko V. L., Garmanov V. V., Terleev V. V. 2013, *Upravleniye zemel'nymi resursami i kadastr nedvizhimosti* [Land management and real estate cadastre], St. Petersburg, 115 p.
13. On approval of the Basic Provisions on land restoration, removal, conservation and rational use of the fertile soil layer: Order of the Ministry of the Environment and Natural Resources of 22 December 1995 No. 525/67.
14. Balashenko V. V., Savchenkov S. S. 2019, *Prichiny ukhudsheniya kachestva zemli* [Causes of deterioration of land quality]. Ecological and technosphere safety of mining regions: proceedings of the VII International scientific conference. P. 28–33.
15. Matveeva A. V., Mizina A. S., Yarotskaya E. V. 2019, State Land supervision as a tool for land management. *Epomen* [Epomen], No 25, P. 175–181. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 01 ноября 2019 года

Основы экономики предотвращения экологических кризисов, зарождающихся в результате развития парникового эффекта в атмосфере Земли

Александр Викторович МЯСКОВ^{1*}
Сергей Михайлович ПОПОВ^{2**}

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия, Москва

²Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Россия, Москва

Актуальность. Развитие парникового эффекта в атмосфере Земли влечет за собой масштабные негативные последствия для жизнедеятельности цивилизации. Очевидная потребность в противодействии этому явлению сопряжена с необходимостью развития научно-технологического потенциала, поскольку современные технологии не позволяют предотвратить экологические кризисы. Поэтому необходима разработка антикризисных стратегий развития производственно-экологической деятельности, позволяющих избежать не только наступления экологических кризисов, связанных с развитием парникового эффекта, но и найти наиболее рациональные пути достижения этой цели.

Цель исследования: разработка основ методологии формирования и оценки вариантов антикризисных стратегий, экономико-математической модели оценки вариантов и создание механизма рыночного регулирования взаимоотношений между субъектами, участвующими в процессе управления движением парниковых газов Земли.

Результаты. Разработаны основы экономического обоснования предотвращения экологических кризисов, зарождающихся в результате развития парникового эффекта. В разработанных экономических основах рассмотрены вопросы, отражающие характер изменений, происходящих в атмосфере Земли, ведущих к изменению природной среды и зарождению экологических кризисов; экономическая природа формирования ущербов в результате развития парникового эффекта; основы экономического подхода к оценке состояния и перспектив развития экологически «чистого» производства; методологические основы формирования стратегий предотвращения экологических кризисов, зарождающихся в результате развития парникового эффекта в атмосфере Земли; формирование экономико-математической модели оценки вариантов стратегий по предотвращению экологических кризисов; эколого-экономический механизм обеспечения устойчивости стратегий по предотвращению экологических кризисов.

Выводы. Разработанный механизм эколого-экономического регулирования взаимоотношений между субъектами, участвующими в процессе управления движением парниковых газов Земли, может быть использован для обеспечения устойчивости реализации антикризисных стратегий.

Ключевые слова: парниковый эффект, экологический кризис, предотвращение экологических кризисов.

Введение

В настоящее время одним из наиболее масштабных негативных процессов происходящих в окружающей нас природной среде, является процесс изменения климата [1, 2]. Неуправляемый процесс в этой области может или, скорее, неминуемо может привести к формированию глобального экологического кризиса, влекущего за собой необходимость создания новой искусственной среды для жизнедеятельности человека [3]. Поэтому поиск решений по эколого-экономически обоснованному предотвращению экологического кризиса является одной из актуальнейших проблем современности. В соответствии с результатами многочисленных исследований в этой области знаний изменение климата планеты сопряжено с развитием так называемого «парникового эффекта» [4], вызванного повышением содержания CO₂ [5]. Современные знания в этой области свидетельствуют о наличии двух масштабных источников поступления CO₂ в атмосферу Земли: природных объектов (вулканы, болота и др.) и техногенных объектов (преимущественно от теплоэлектростанций) [6]. При этом в настоящее время последовательное увеличение объемов выброса CO₂ в атмосферу характерно только для техногенных объектов [7]. Границы насыщения атмосферы Земли выбросами CO₂, после которых произойдут необратимые изменения, теоретически существуют [8]. Однако в отношении конкретных оценок величины предельного насыщения атмосферы парниковыми газами в настоящее время мнения специалистов расходятся [9, 10]. В то же время не вызывает сомнения понимание того, что объективно существуют пределы насыщения атмосферы, после которых она утратит способность восстанавливаться [11]. Таким образом, под «экологическим кризисом» следует понимать некоторый рубеж (предел) изменений в атмосфере, являющихся следствием негативного воздействия парниковых газов, после которого ее восстановление станет невозможным в обозримом будущем или вообще никогда. В соответствии с теоретическими представлениями в окружающей нас природной среде возможны три вида экологических кризисов: глобальные, локальные и комплексные. Глобальные кризисы – это пределы нарушения состояния отдельных составляющих окружающей природной среды (ОПС) Земли, за которыми уже невозможно восстановление их природного функционала, т. е. дальнейшее существование биосферы будет вынуждено адаптироваться к иной ОПС. Или, иными словами, пределов, за которыми для продолжения функционирования цивилизации потребуются уже создавать искусственную воздушную среду обитания для человека. Локальные кризисы – это пределы нарушения состояния отдельных составляющих окружающей природной среды некоторых территорий (например, мегаполисов), за которыми уже невозможно восстановление их природного функционала, т. е. дальнейшее существование цивилизации в таких городах должно будет предпринимать действия по созданию искусственной атмосферы или иные действия, например, по деурбанизации своей производственно-хозяйственной деятельности. Комплексные кризисы (локально-глобальные кризисы) – это кризисы, возникающие в части атмосферы над некоторыми участками территорий (городов), которые достигают предельно допустимых уровней загрязнения в результате совместного проявления

✉ floranimal@rambler.ru

 <http://orcid.org/0000-0002-8520-3653>

** s.popov@inbox.ru

 <http://orcid.org/0000-0003-0689-3260>

**Источники формирования ущербов от последствий, связанных с развитием парникового эффекта в атмосфере Земли.
Sources of damage from the effects associated with the development of the greenhouse effect in the Earth's atmosphere.**

Характеристика нарастающих негативных экологических последствий, вызванных усилением парникового эффекта

Сферы окружающей среды обитания	Область происходящих изменений	Содержание изменений
Гидросфера	Изменение структуры гидросферы	Уменьшение твердых форм (лед) Увеличение объема вод Увеличение атмосферных вод (пары воды)
	Изменение динамики процессов водообмена	Рост зон понижения водообмена (опустынивание) Рост зон повышенного водообмена (низины, прибрежные зоны)
Земная поверхность	Изменение структуры земной поверхности	Рост количества и площади пустынь Уменьшение зон с/х назначения
	Изменение динамики изменения зон земной поверхности	Увеличение скорости роста пустынь
Земная кора	Колебания земной коры	Разрушение на земной поверхности
	Движение земной коры	Опускание земной поверхности (затопление) Подъем земной коры
Атмосфера	Изменение структуры атмосферы	Увеличение содержания CO ₂ , пыли и других веществ в атмосфере Земли Появление зон (уровней) с повышенной концентрацией веществ (CO ₂ , смог и т. п.)
	Изменение динамики движения атмосферных масс	Рост количества случаев повышенного движения (ураганы и т. п.) Рост количества, площади и времени временно образующихся зон застоя (смог и т. п.)

негативных процессов в атмосфере Земли и в локальных частях атмосферы мегаполисов. Дальнейшее существование цивилизации в таких городах также должно будет предпринимать действия по созданию искусственной атмосферы или иные действия, например, по деурбанизации своей производственно-хозяйственной деятельности.

В результате климатических изменений в периоды до экологических кризисов неизбежно формирование различных ущербов для жизнедеятельности человека, основные источники происхождения которых представлены в *таблице*.

Исследование многообразия ущербов, образующихся в результате развития парникового эффекта, с точки зрения их важности для жизнедеятельности человека, позволяет сделать заключение о том, что они могут быть типизированы по таким наиболее значимым для их формирования признакам, как область (источник) происхождения (формирования); продолжительность образования ущербов; вид значимости (область ценности) для жизнедеятельности цивилизации; наличие возможности возмещения нанесенного ущерба. В настоящее время, несмотря на достигнутые соглашения по ограничению выброса парниковых газов и директивные нормативы, определяющие ограничения по выбросам парниковых газов странам-участницам этих соглашений, рост объемов выбросов парниковых газов продолжается. Соответственно вероятность наступления экологического кризиса в результате развития парникового эффекта последовательно возрастает [12].

Среди основных источников образования парниковых газов (управляемых, слабоуправляемых и неуправляемых) доминирующую роль играет производство энергии. В настоящее время сложилась устойчивая структура способов (технологий) получения энергии. В соответствии с этой структурой значительная доля приходится на технологи, базирующиеся на сжигании углеводородного топлива (уголь, газ, нефть, биотопливо и т. п.) [13]. В соответствии с программами развития энергетики большинство стран Земли по-прежнему предусматривают использование углеводородов в качестве основного вида топлива для получения энергии. Поэтому процессы развития парникового эффекта в атмосфере Земли будут продолжаться [7]. В то же время последовательно развивается потенциал цивилизации, который может быть использован для противодействия развитию парникового эффекта [14]. В настоящее время следует выделить три качественно отличных друг от друга вида направлений деятельности, направленных на повышение экологичности жизнедеятельности. К первому из них можно отнести деятельность, направленную на снижение объемов производства парниковых газов. Ко второму – на недопущение поступления в атмосферу образующихся парниковых газов [15]. К третьему – на увеличение объемов извлечения (связывания) парниковых газов из атмосферы Земли. Исследование состояние и перспектив развития этих направлений деятельности позволяет сделать выводы о том, что их применение в настоящее время еще не отличается масштабностью и большой значимостью с точки зрения возможности предотвращения экологических кризисов в силу их высокой стоимости и потребности в повышении эффективных существующих технологий [16].

Результаты

Методологические основы формирования стратегий предотвращения экологических кризисов, зарождающихся в результате развития парникового эффекта в атмосфере Земли

Современный и будущий спектр социально-технологико-экономико-экологических взаимоотношений в сфере производства энергии базируется на двух объективно устойчивых тенденциях, оказывающих наибольшее влияние на развитие парникового эффекта в атмосфере Земли. Это устойчивый прирост потребности цивилизации в производстве и потреблении энергии [17]. Отсюда следует, что для удовлетворения растущих потребностей цивилизации ежегодно увеличиваются и затраты на производство энергии, величина которых соразмерна с существующей и планируемой

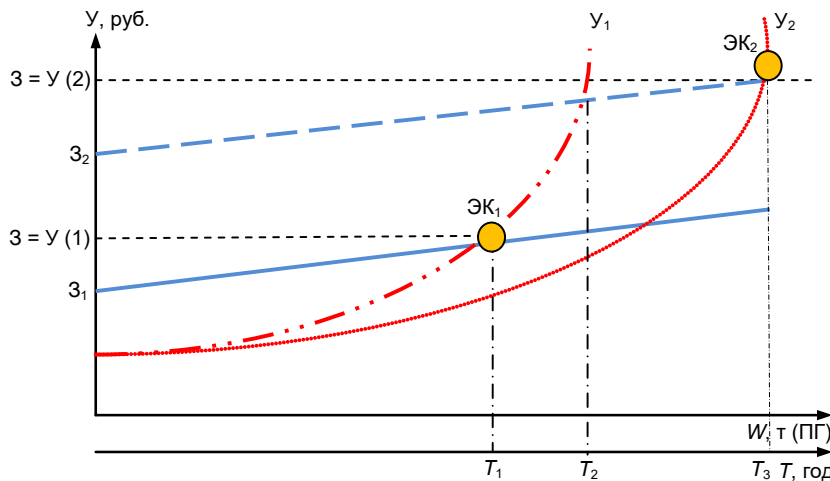


Рисунок 1. Характеристика тенденций и соотношения приростов суммарных затрат на производство энергии и поглощение CO₂ и ущербов от парникового эффекта.
Figure 1. Characterization of trends and the ratio of increments in total costs of energy production and CO₂ absorption and damage from the greenhouse effect.

структурой мощностей по производству энергии. Кроме того, в ежегодный прирост расходов, связанных с производством энергии, следует включить затраты на НИР, на некоторое увеличение доли экологически чистых технологий производства энергии, на расширение масштабов использования энергоэкономных материально-технических ресурсов и оборудования и т. д. В то же время рассмотренные тенденции сопряжены с негативной тенденцией роста ущербов, образующихся в результате развития парникового эффекта в атмосфере Земли [18]. Таким образом, в предстоящий период времени дальнейший рост затрат на производство энергии Z_1 и ущербов Y_1 приведет к их пересечению в точке ЭК₁, поскольку темпы роста ущербов значительно выше темпов прироста затрат (рис. 1).

Место пересечения тенденций роста затрат Z_1 и ущербов Y_1 представляет собой точку ЭК₁ или, скорее всего, некоторую область экологического кризиса, вызванного парниковым эффектом. С точки зрения экономики производство энергии после прохождения этой точки времени станет экономически невыгодным, что может стать объективной преградой для дальнейшего развития цивилизации (например, связанной с необходимостью создания зон в среде обитания с искусственной атмосферой; кардинальным изменением производственной и социальной инфраструктуры и т. п.). То есть в развитии цивилизации неизбежно должны будут произойти кардинальные изменения, связанные с резким сужением среды обитания. Кроме того, после прохождения точки ЭК₁ возврат к прежнему состоянию окружающей среды станет невозможным, поскольку в будущем цивилизации нет признаков создания научно-технического и экономического потенциала, который бы позволил изменить среду обитания.

Разработка стратегий предотвращения экологических кризисов неразрывно связана с необходимостью дополнительных затрат и усилий цивилизации. Поэтому деятельность, направленная на предотвращение экологического кризиса, позволяющая тем самым снизить размер образующихся ущербов Y_2 , неизбежно приведет к последовательному росту суммарных затрат Z_2 (рис. 1).

Реализация антикризисных стратегий, безусловно, позволит избежать экологического кризиса ЭК₁ в некоторый период времени T_1 , но в связи с тем, что она, скорее всего, также не будет предусматривать полного прекращения поступления парниковых газов в атмосферу, избежать высокой вероятности наступления экологического кризиса является невозможным. Таким образом, при новом, более высоком уровне затрат на производство энергии и сопряженными с этим другими видами деятельности (Z_2), возникновение экологического кризиса ЭК₂ может быть отсрочено на более отдаленный период времени T_2 [19].

Таким образом, при современном уровне развития науки и техники полностью избежать экологических кризисов в атмосфере в связи с ростом парникового эффекта не представляется возможным. Но возможна их отсрочка, в том числе на длительный период времени, за который в результате развития научно-технического прогресса технологические возможности цивилизации могут быть подняты на неизмеримо более высокий уровень.

Экономико-математическая модель оценки вариантов стратегий по предотвращению экологических кризисов

Разработка стратегий по производству энергии, позволяющих предотвратить возникновение экологического кризиса в результате развития парникового эффекта в атмосфере Земли, сопряжена с поиском рациональной соразмерности суммарных затрат на производство энергии и снижение негативного воздействия на атмосферу с величиной образующихся при этом ущербов. Поскольку стратегии бескризисного развития энергетики предполагает возможность ее реализации посредством формирования комплекса работ, различных как по сферам деятельности, так и по предполагаемым объемам и времени выполнения работ, то поиск рациональных вариантов целесообразно осуществлять на базе методов экономико-математического моделирования. С этой целью разработана экономико-математическая модель, позволяющая находить наиболее эффективные варианты стратегии бескризисного развития энергетики на любой наперед заданный период времени.

В качестве целевой функции модели принята максимизация разницы между суммарной величиной затрат на развитие мощностей по производству энергии, затрат на мероприятия по снижению уровня парниковых газов в атмосфере Земли и суммарной величиной всех видов ущербов на любой наперед заданный период времени [19].

В соответствии с изложенным целевая функция может быть представлена выражением:

$$0 < \sum_t^T \left\{ \sum_n^N Z_{tm} 1 / (1+e)^t + \sum_m^M Z_{tm} 1 / (1+e)^t - \sum_k^K Y_{tk} 1 / (1+e)^t \right\} \Rightarrow \min.$$

где i, n, m, k, t – индексы вариантов антикризисной стратегии, объектов по производству энергии ($n = 1 \dots N$), мероприятий по снижению уровня парниковых газов в атмосфере ($m = 1 \dots M$) соответственно; видов ущербов, образующихся в результате роста выбросов газов ($k = 1 \dots K$); года, в течение которого предполагается проведение соответствующих действий ($t = 1 \dots T$); e – ставка дисконтирования; Z_{tm} – затраты производителя, связанные с обеспечением прироста объемов производимой энергии, руб.; Z_{tm} – затраты субъектов, выполняющих мероприятия по снижению уровня парниковых газов в атмосфере Земли, руб.; Y_{tk} – размер отдельно взятого ущерба, образующегося при рассмотрении варианта антикризисной стратегии, руб.

Реализация предложенной целевой функции может быть осуществлена при условии выполнения следующих ограничений.

1. По условию обеспечения растущих потребностей цивилизации в необходимой величине прироста производства энергии.

$$Q_{i(t+1)} / Q_t \geq F_t,$$

где $Q_{i(t+1)}$ – объем предполагаемого варианта антикризисной стратегии производства энергии в предстоящем году, ГВт; Q_t – объем производства энергии в текущем году, ГВт; F – коэффициент прироста потребности в энергии в рассматриваемый период времени, доли ед.

2. По условию неперевышения фонда расходов рассматриваемого варианта антикризисной стратегии предполагаемых (прогнозируемых) инвестиций в этой сфере деятельности.

$$\sum_n \sum_m (Z_{in} + Z_{im}) \leq \sum_j I_{ij},$$

где j – источники финансирования различных видов деятельности по варианту рассматриваемой антикризисной стратегии; I – размер предполагаемого финансирования из рассматриваемых источников поступления средств, руб.

3. По соответствию затрат на производство энергии предполагаемому объему прироста производства энергии для различных видов технологий.

$$Z_{in} = f(\Delta Q_{in}).$$

4. По соответствию затрат на снижение уровня парниковых в атмосфере Земли, предполагаемого варианта антикризисной стратегии для различных видов технологий в этой сфере деятельности.

$$Z_{im} = f(\Delta W_{im}),$$

где ΔW_m – объем снижения уровня парниковых газов в атмосфере Земли по различным видам природоохранных технологий предусмотренными в антикризисной стратегии, усл. ед.

5. По соответствию размера различных видов ущербов параметрам рассматриваемого варианта антикризисной стратегии

$$Y_{tk} = f(\Delta Q_{in} [\Delta W_{in} - \Delta W_{im}]),$$

где ΔW_n – объем прироста парниковых газов, поступающих в атмосферу Земли по различным видам прироста производства энергии, усл. ед.

Приведенная экономико-математическая модель позволяет производить оценку и выбор эколого-экономически наиболее предпочтительного варианта антикризисной стратегии с точки зрения интересов цивилизации, а это, в свою очередь, делает возможным производить распределение и перераспределение функций по производству энергии и снижению уровня парниковых газов в атмосфере Земли между различными субъектами хозяйственной деятельности в соответствии с их текущими и фрагментарными интересами [20].

Эколого-экономический механизм обеспечения устойчивости реализации стратегий по предотвращению экологических кризисов

Для получения возможности регулирования процессов образования и поглощения парниковых газов предложен метод обеспечения баланса объемов образования и поглощения парниковых газов в производственно-хозяйственной деятельности с учетом ограничений, предусмотренных в рамках стратегий предотвращения экологических кризисов. Для обеспечения возможности контроля и учета движения газов предложено использовать в качестве единицы измерения объемов газа некоторую единицу измерения – «квота». В разработанном эколого-экономическом механизме для учета движения парниковых газов предусмотрено применение различных по функциональному предназначению «квот». В качестве одних из них приняты базовые квоты на выбросы парниковых газов, суммарный объем которых принимается в рамках принятых антикризисных стратегий. В качестве других – дополнительные квоты на выбросы парниковых газов, объем образования которых формируется в соответствии с коммерческими интересами участников хозяйственной деятельности, занятых созданием производств по потреблению (поглощению, устранению и т. п.) парниковых газов.

В соответствии с изложенным сделано предположение о том, что весь процесс контроля и регулирования движением парниковых газов между субъектами – его производителями и субъектами – его «потребителями» может быть построен с использованием двух рассмотренных видов квот. При этом в качестве исходного варианта распределения указанных ранее двух видов квот между всеми субъектами этой сферы хозяйственной деятельности может быть принят баланс в их соотношении, который имеет место в текущий период времени. Весь дальнейший процесс перераспределения квот между всеми субъектами хозяйственной деятельности сопряжен с новыми параметрами принимаемых стратегий по предотвращению экологических кризисов в атмосфере Земли. При этом, поскольку производственные, научно-технические и экономические потенциалы, а также экономические интересы участников этого процесса различны, то для поиска варианта сбалансированности всех этих параметров природоохранной и хозяйственной деятельности предложено использовать механизм рыночного регулирования, состоящего из комплекса рынков [13] (рис. 2).

В формируемый эколого-экономический механизм предложено включить такие рынки, как рынок базовых квот на выбросы парниковых газов (с ограниченным объемом квот в рамках принятых антикризисных стратегий); рынки технологий по производству энергии и потреблению (поглощению парниковых газов), спрос на которые сопряжен с требованиями принимаемых антикризисных стратегий; рынок дополнительных квот на выбросы парниковых газов, образующихся в результате научно-технической, предпринимательской деятельности по созданию и применению экологически «чистых» технологий. Включение в систему экономических отношений между субъектами процесса управления парниковыми газами предложенных рыночных инструментов позволит существенно облегчить решения задач по учету интересов всех субъектов – участников процесса управления движением парниковых газов Земли.

В соответствии с изложенным сформирован механизм эколого-экономического регулирования взаимоотношений между субъектами, участвующими в процессе управления движением парниковых газов Земли. Представленный механизм позволяет обеспечить устойчивость реализации антикризисных стратегий за счет комплекса отдельных механизмов рынка, позволяющих учитывать как производственно-экономические, так и коммерческие интересы всех участников этой сферы деятельности при соблюдении баланса в распределении и перераспределении квот на выбросы парниковых газов в соответствии с принятыми ограничениями.

Достоинством этого механизма является возможность учета параметров как принятых, так и будущих антикризисных стратегий при организации взаимодействия всех субъектов – участников этой сферы деятельности на основе предложенных рыночных инструментов, позволяющих учитывать динамичность их возможностей и интересов.

Выводы

В результате проведения системного анализа причинно-следственных связей образования и развития парникового эффекта в атмосфере Земли сформирована база знаний, позволяющая выполнять экономическую оценку затрат и

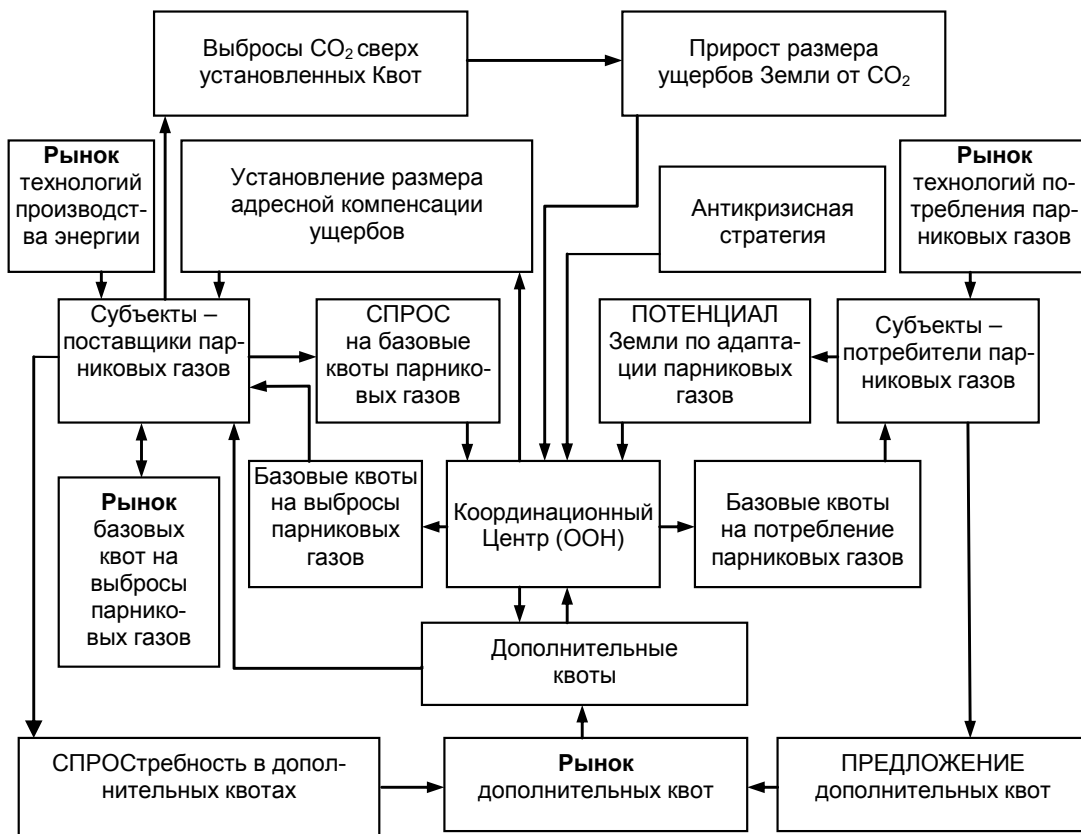


Рисунок 2. Эколого-экономический механизм рыночного регулирования взаимоотношений между субъектами, участвующими в процессе управления движением парниковых газов Земли.
 Figure 2. Ecological and economic mechanism of market regulation of the relationship between entities involved in the process of controlling the movement of greenhouse gases of the Earth.

ущербов для любых сценариев развития хозяйственной деятельности, влияющей на состояние атмосферы. Разработаны основы экономической методологии формирования и оценки вариантов антикризисных стратегий развития производственно-хозяйственной деятельности. Разработана экономико-математическая модель оценки вариантов антикризисных стратегий в развитии энергетической и природоохранной деятельности на любой заранее заданный период времени. Сформирован эколого-экономический механизм рыночного регулирования взаимоотношений между субъектами, участвующими в процессе управления движением парниковых газов Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов С. М. Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. Т. 2. С. 103–126.
2. Schwartz S. E. Resource Letter Gecc-2: The greenhouse Effect and Climate Change: The Intensified Greenhouse Effect // *American Journal of Physics*. 2018. Т. 86, № 9. С. 645–656. <https://doi.org/10.1119/1.5045577>
3. Октябрьский В. П. Новый взгляд на парниковый эффект // *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки*. 2016. № 2 (242). С. 82–86.
4. Tushinskaya L. A., Palkin M. M. Greenhouse effect and the climate change // *Пироговские чтения: материалы XXIV науч. конф. студентов и молодых исследователей*. 2018. С. 225–228.
5. Дьячкова Т. В., Берсенева И. А. Парниковый эффект: причины, последствия, прогнозы // *Глобальные проблемы экологии: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. 2016. С. 34–43.
6. Li J. W., Cao Y. C., Zhu Y. Q., Xu C., Wang L. X. System dynamic analysis of greenhouse effect based on carbon cycle and prediction of carbon emissions // *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019. Т. 17, № 2. С. 5067–5080.
7. Фисенко О. И., Миантела Ф. Н., Шкуропий О. И. Парниковый эффект: причины, последствия, меры противодействия // *Экологическая безопасность современной цивилизации: угрозы, факторы и пути обеспечения: материалы Междунар. науч.-практ. конф. КубГАУ*. 2018. С. 34–37.
8. Kodama T., Genda H., O'ishi R., Abe-Ouchi A., Abe Y. The threshold of the runaway greenhouse effect for earth-like planets // *Девятый Московский симпозиум по Солнечной системе: сб. тезисов*. 2018. С. 68.
9. Гобеджишвили Г. Т. Парниковый эффект и глобальное потепление климата // *Актуальные проблемы международно-правового регулирования охраны окружающей среды и природопользования: сб. науч. трудов. Ростов н/Д*, 2017. С. 39–44.
10. Кудряшов С. А., Трушкина И. А. Парниковый эффект и климат Земли // *Уральская горная школа – регионам: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф.* 2017. С. 992–993.
11. Cao Y., Liang S., Chen X., He T., Wang D., Cheng X. Enhanced wintertime greenhouse effect reinforcing Arctic amplification and initial sea-ice melting // *Scientific Reports*. 2017. Т. 7, № 1. 8462. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08545-2>
12. Ганненко В. И., Сидорова А. А., Анахаева И. А., Маликова К. Б., Филимонов А. А. Парниковый эффект в атмосфере Земли // *Актуальные проблемы обеспечения безопасности в техносфере и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: сб. науч. трудов по материалам Всерос. науч.-практ. конф.* 2017. С. 15–16.
13. Вишневская Ю. С. Как индустриализация влияет на природу // *Материалы междунар. науч. конф. науч.-пед. работников АГТУ*. 2016. С. 29–30.
14. Рышков В. И., Сидоркин О. А., Копин Д. С. Водородное топливо – один из путей решения энергетических проблем будущей мировой энергетики // *Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы Междунар. науч.-практ. конф.* 2017. С. 162–165.
15. Гордон Б. Парниковый эффект и возобновляемая энергетика // *Энергонабзор*. 2017. № 11/12. С. 16–18.
16. Преображенский Б. Г., Толстых Т. О., Шмелева Н. В. Обеспечение устойчивости в развитии региональных промышленных систем // *Регион: системы, экономика, управление*. 2019. № 2 (45). С. 12–17.
17. Ефимов В. И., Коробова О. С., Попов С. М., Ефимова Н. В. Методологический подход к моделированию процессов природопользования // *Изв. ТулГУ. Науки о Земле*. 2017. № 4. С. 18–27.
18. Донченко И. С., Василенко И. И. Парниковый эффект: сущность, прогнозы и последствия // *Материалы Междунар. студ. науч. конф. Белгород. гос. аграрного ун-та*. 2016. 129 с.
19. Мясков А. В., Попов С. М. Формирование эколого-экономического алгоритма предотвращения экологических кризисов, зарождающихся в результате изменения климата Земли // *Экономика и управление инновациями*. 2018. № 1. С. 16–25.
20. Толстых Т. О., Малкова Т. Б., Астафьев И. В. Системные конфликты мотивационных свойств продуктов энергетических компаний // *Вестник РГТЭУ*. 2011. № 5 (54). С. 141–149.

Статья поступила в редакцию 01 ноября 2019 года

Fundamentals of economics to prevent environmental crises arising from the development of the greenhouse effect in the Earth's atmosphere

Aleksandr Viktorovich MYASKOV^{1*}
Sergey Mikhailovich POPOV^{2**}

¹National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

²Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

Relevance. The development of the greenhouse effect in the Earth's atmosphere entails large-scale negative consequences for the life of civilization. The obvious need to counter this phenomenon is associated with the need to develop scientific and technological potential, since modern technology does not allow to prevent environmental crises. Therefore, it is necessary to develop anti-crisis strategies for the development of production and environmental activities that will help to avoid not only the onset of environmental crises associated with the development of the greenhouse effect, but to find the most rational ways to achieve this goal as well.

Purpose of the study: development of foundations of a methodology for the formation and evaluation of options for anti-crisis strategies, an economic and mathematical model for evaluating options and the creation of a mechanism for market regulation of relationships between entities involved in the process of controlling the movement of greenhouse gases.

Results. The foundations of a business justification for the prevention of environmental crises arising as a result of the development of the greenhouse effect have been developed. The developed economic foundations address issues reflecting the nature of changes occurring in the Earth's atmosphere, leading to changes in the natural environment and the emergence of environmental crises; the economic nature of the damage resulting from the development of the greenhouse effect; the fundamentals of an economic approach to assessing the state and prospects for the development of environmentally friendly production; the methodological basis for the formation of strategies to prevent environmental crises arising as a result of the development of the greenhouse effect in the Earth's atmosphere; the formation of an economic and mathematical model for evaluating options for strategies to prevent environmental crises; ecological and economic mechanism for ensuring the sustainability of strategies to prevent environmental crises.

Conclusions. The developed mechanism of environmental and economic regulation of relations between entities involved in the process of controlling the movement of greenhouse gases of the Earth can be used to ensure the sustainability of the implementation of anti-crisis strategies.

Keywords: greenhouse effect, ecological crisis, prevention of ecological crises.

REFERENCES

1. Semenov S. M. 2015, Greenhouse effect: discovery, concept development, role in the formation of the global climate and its anthropogenic changes, *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya* [Fundamental and applied climatology], vol.2, P. 103–126. (In Russ.)
2. Schwartz S. E. 2018, Resource Letter Gecc-2: The greenhouse Effect and Climate Change: The Intensified Greenhouse Effect. *American Journal of Physics*. Vol. 86, No. P. 645–656. <https://doi.org/10.1119/1.5045577>
3. Oktyabrskiy V. P. 2016, A new look at the greenhouse effect. *Nauchno-tehnicheskiye vedomosti SPbGPU* [St. Petersburg Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology], Physics and Mathematics Sciences. No 2 (242). P. 82–86. (In Russ.)
4. Tushinskaya L. A., Palkin M. M. 2018, *Greenhouse effect and the climate change*. Pirogov readings: proceedings of the XXIV scientific conference for students and young researchers. P. 225–228.
5. Dyachkova T. V., Berseneva I. A. *Parnikovyy effekt: prichiny, posledstviya, prognozy. Global'nyye problemy ekologii* [The greenhouse effect: causes, consequences, forecasts. Global environmental problems], proceedings of the All-Russian Scientific conference with international participation. P. 34–43
6. Li J. W., Cao Y. C., Zhu Y. Q., Xu C., Wang L. X. 2019, *System dynamic analysis of greenhouse effect based on carbon cycle and prediction of carbon emissions // Applied Ecology and Environmental Research*. Vol. 17, No. P. 5067–5080.
7. Fisenko O. I., Miantela F. N., Shkurupiy O. I. 2018, *Parnikovyy effekt: prichiny, posledstviya, mery protivodeystviya. Ekologicheskaya bezopasnost' sovremennoy tsivilizatsii: ugrozy, faktory i puti obespecheniya* [The greenhouse effect: causes, consequences, countermeasures. Ecological safety of modern civilization: threats, factors and ways to ensure], P. 34–37.
8. Kodama T., Genda H., O'ishi R., Abe-Ouchi A., Abe Y. 2018, *The threshold of the runaway greenhouse effect for earth-like planets*. Ninth Moscow Solar System Symposium: Abstracts. P. 68.
9. Gobejshvili G. T. 2017, *Parnikovyy effekt i global'naya potepeniye klimata. Aktual'nyye problemy mezhdunarodno-pravovogo regulirovaniya okhrany okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniya* [The greenhouse effect and global warming. Actual problems of international legal regulation of environmental protection and nature management], book of reports. Rostov on-Don, P. 39–44.
10. Kudryashov S. A., Trushkina I. A. 2017, *Parnikovyy effekt i klimat Zemli. Ural'skaya gornaya shkola – regionam* [The greenhouse effect and the Earth's climate. Ural Mining School – to regions], book of reports, International scientific conference. P. 992–993.
11. Cao Y., Liang S., Chen X., He T., Wang D., Cheng X. 2017, *Enhanced wintertime greenhouse effect reinforcing Arctic amplification and initial sea-ice melting*. *Scientific Reports*. Vol. 7, No. 8462. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08545-2>
12. Gannenko V. I., Sidorova A. A., Anahaeva I. A., Malikova K. B., Filimonov A. A. 2017, *Parnikovyy effekt v atmosfere Zemli. Aktual'nyye problemy obespecheniya bezopasnosti v tekhnosfere i zashchity naseleniya i territoriy v chrezvychaynykh situatsiyakh* [The greenhouse effect in the Earth's atmosphere. Actual problems of ensuring safety in the technosphere and protecting the population and territories in emergency situations], book of reports according to the proceedings of the All-Russian scientific conference. P. 15–16.
13. Vishnevskaya Yu. S. 2016, *Kak industrializatsiya vliyayet na prirodu* [The way industrialization affects nature], proceedings of international scientific conferences of educators], P. 29–30.
14. Ryshkov V. I., Sidorkin O. A., Kopin D. S. 2017, *Vodorodnoye toplivo – odin iz putey resheniya energeticheskikh problem budushchey mirovoy energetiki. Kompleksnyye problemy tekhnosfernoy bezopasnosti* [Hydrogen fuel is one of the ways of solving energy problems of future world energy. Complex problems of technosphere safety], proceedings of International scientific conference. P. 162–165.
15. Gordon B. 2017, *Greenhouse effect and renewable energy. Energonadzor* [Energy audit], No 11/12. P. 16–18. (In Russ.)

✉ floranimal@rambler.ru

<http://orcid.org/0000-0002-8520-3653>

** s.popov@inbox.ru

<http://orcid.org/0000-0003-0689-3260>

16. Preobrazhensky B. G., Tolstykh T. O., Shmeleva N. V. 2019, Sustainability in the development of regional industrial systems. Region: sistemy, ekonomika, upravleniye [Region: systems, economics, management], No 2 (45). P. 12–17. (In Russ.)
17. Efimov V. I., Korobova O. S., Popov S. M., Efimova N. V. 2017, Methodological approach to modeling environmental management processes. Izvestiya Tula State University [Proceedings of the TSU], Earth Sciences. No 4. P. 18–27. (In Russ.)
18. Donchenko I. S., Vasilenko I. I. 2016, *Parnikovyj effekt: sushchnost', prognozy i posledstviya* [Greenhouse effect: essence, forecasts and consequences], proceedings of the International Student scientific conference, 129 p.
19. Myaskov A. V., Popov S. M. 2018, Formation of ecological and economic algorithm of prevention of ecological crises arising as a result of change of the climate of the Earth. *Ekonomika i upravleniye innovatsiyami* [Economics and Innovation Management], No 1. Pp. 16–25. (In Russ.)
20. Tolstykh T. O., Malkova T. B., Astafiev I. V. 2011, Systemic conflicts of the motivational properties of products of energy companies. *Vestnik RGTEU* [Vestnik of the Russian State University of Trade and Economy], No 5 (54). P. 141–149. (In Russ.)

The article was received on November 01, 2019

Трансформация взглядов на содержание и методы экономической оценки ресурсов природного происхождения

Оксана Александровна ЛОГВИНЕНКО*

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность. Совершенствование существующей методологии экономической оценки природных ресурсов, отражающей различные аспекты их денежного измерения, приобретает особую актуальность в условиях перехода от ресурсоемкой экономики к устойчивому развитию, критериями успешного осуществления которого, помимо показателей экономической эффективности, выступают социально-экологические индикаторы.

Цель исследования. Уточнение понятия экономической оценки ресурсов природного происхождения с учетом исторической трансформации взглядов на ее содержание и классификации методических подходов по ее выполнению.

Результаты исследования. Рассмотрены различные подходы к содержанию экономической оценки ресурсов природного происхождения, выявлены значительные расхождения во взглядах на нее как с позиции их исторической трансформации, так и с точки зрения дифференциации задач, решаемых на основе стоимостной оценки ресурсов природы. Изучено влияние доминирующих в различные исторические периоды стоимостных концепций на формирование результата оценки природных благ: от классической и трудовой теории стоимости и теории предельной полезности до неоклассического синтеза и неонституциональной концепции. Уточнены понятия «стоимости», «цены» и «ценности» как результата экономической оценки в отношении ресурсов природного происхождения. Проанализированы этапы развития методов денежной оценки природных ресурсов и экосистемных услуг в отечественной науке и практике. Предложена уточненная классификация существующих и наиболее перспективных методов экономической оценки ресурсов природы на основе доминирующего критерия общественной значимости их использования: экономического, социально-экономического или многокритериального (социо-эколого-экономического), наиболее гармонично сочетающего в себе все функции экосистем в целях устойчивого развития национальной экономики.

Выводы. Основной доминантой в меняющихся взглядах на стоимостную оценку ресурсов природы являются преобладающие в экономической науке в различные исторические периоды точки зрения на процесс формирования стоимости блага, трансформирующие взгляды общества на понятие его ценности и оказывающие прямое влияние на изменение методологии экономической оценки природных ресурсов. Другим важнейшим критерием меняющихся подходов к оценке природных благ является все более расширяющийся перечень экосистемных услуг, включаемых в экономические отношения, нуждающихся в совершенствовании традиционных и развитии новых подходов к процедуре и результатам стоимостной оценки природных ресурсов и общественно значимых природных благ.

Ключевые слова: природные ресурсы, устойчивое развитие, теория стоимости, ценность природных ресурсов, методы экономической оценки природных ресурсов и экосистемных услуг.

Введение
Историческое развитие роли природного компонента в экономических отношениях представляет собой поступательное движение от понимания природы как «дара», а значит, бесплатного, неограниченного источника, до «капитала», т. е. имеющего ценность, обладающего определенным лимитом потребления и нуждающимся в комплексной экономической оценке [1]. Природный капитал в авторском понимании представляет собой совокупность природных ресурсов и экосистемных услуг, имеющих общественную ценность, задействованных в экономических отношениях и способных приносить экономические выгоды. Осознание необходимости полноценного стоимостного учета и оценки природных ресурсов и экосистемных услуг требует дальнейшего совершенствования и расширения методологических и методических подходов к их экономической оценке. Сложность выбора в пользу того или иного подхода при разработке методики стоимостной оценки отдельных элементов природных ресурсов и экосистем в целом заключается в необходимости гармоничного сочетания национальных интересов, интересов предпринимателей и собственников ресурсов, а также прав населения, проживающего на оцениваемой территории или имеющего непосредственное отношение к ней. Применение наиболее оптимальных из них, с точки зрения многообразия интересов заинтересованных лиц, наряду с объективной сложностью понятий «ценность», «цена» и «стоимость» по отношению к отдельным элементам природной среды, при разработке методических и методологических подходов к их стоимостной оценке составляют одну из проблем экономики природопользования в настоящее время. Учет экологической и социальной составляющей в числе традиционных экономических категорий экономики обуславливает необходимость дальнейшего развития методов экономической оценки ресурсов природного происхождения исходя не только из сырьевой направленности их использования, но и с учетом всего комплекса экосистемных функций и услуг, которые они генерируют.

Результаты исследования

Проблема стоимостной оценки ресурсов природного происхождения в нашей стране приобрела особую актуальность в 1960–1970-е гг. в связи с разработкой оптимизационных методов природопользования и началом работ по учету природной составляющей в составе национального богатства. На сегодняшний день стоимостная составляющая экономической оценки ресурсов природного происхождения является общепризнанной. Экономической наукой накоплен определенный опыт как теоретического обоснования, так и практического применения подобного рода оценок. Однако степень и глубина проработки данной проблемы остаются недостаточными для эффективного использования механизма экономического регулирования природопользования, нацеленного на переход национальной экономики от ресурсоемкой к обеспечивающей устойчивое развитие. Кроме того, вовлечение в экономический оборот экосистемных услуг как одной из составляющих природного капитала вызывает необходимость переосмысления подходов к традиционным методам стоимостных оценок.

Совершенствование методического инструментария экономической оценки природных ресурсов в нынешних условиях требует уточнения понятия «экономическая оценка» с позиции исторической трансформации взглядов на ее содержание; определения сферы ее применения и характера решаемых задач; изучения и переосмысления существующих

✉ IEF.EM@ursmu.ru

🌐 <http://orcid.org/0000-0001-6898-4286>

щих методов стоимостной оценки ресурсов природного происхождения. Необходимо отметить, что на сегодняшний день отсутствуют единые, научно обоснованные подходы к такой оценке как с позиции теоретического обоснования, так и с точки зрения возможности их практического применения, что затрудняет оценку достоверности полученных результатов, их сравнение, а значит, снижается научная и практическая ценность подобных оценок [2]. Во многом такое положение вещей объясняется несовершенством экономической теории в данной области общественных отношений.

Под «экономической оценкой природных ресурсов» в настоящее время большинство специалистов понимает денежное воплощение их ценности. В работе [3] Н. Н. Лукьянчиков дает следующее определение: «Экономическая оценка природных ресурсов представляет собой определение их ценности в денежном выражении в фиксированных социально-экономических условиях производства при заданных режимах природопользования и экологических ограничениях». Похожее определение находим в [4] с дополнением, что ценность обусловлена природными особенностями оцениваемых ресурсов. Говоря об экономической оценке минерально-сырьевых ресурсов в [5], авторы отмечают, «что экономическая оценка МСР представляет собой денежное выражение экономического результата (эффекта) от их использования в фиксированных экономических условиях производства...» и далее [5] «Экономическая оценка МСР как национального богатства может выступать в качестве цены за право пользования этими ресурсами».

Анализ научной литературы по данной проблеме позволяет отметить существование определенных расхождений в толковании термина, когда допускается отождествление таких категорий, как «экономическая оценка», «стоимость», «цена», «ценность», «экономическая эффективность» и «платность ресурсов природы». Кроме того, некоторыми специалистами допускается взаимозаменяемость понятий «стоимостной учет» и «денежная оценка», не разграничивается экономическая оценка как процедура измерения и как результат, получаемый в денежном выражении. Большинство авторов признает необходимость денежного измерения оценки. Возможность использования натуральных и балльных показателей как альтернативы или дополнения к стоимостным оценкам встречается в ряде работ [6, 7], не находит понимания у большинства специалистов. Так, авторы [8] считают, что только показатели в денежном выражении позволяют сравнивать ценность различных природных ресурсов и ранжировать их по степени вовлечения в экономический оборот. Современную экономическую оценку они определяют как стоимостную категорию, выражающую степень полезности блага. Одним из наиболее удачных можно считать следующее определение: «Экономическая оценка природного ресурса – это денежное выражение полезности, измерение того экономического эффекта, который может быть получен при наиболее приемлемом его использовании как в отношении экономического, так и экологического аспектов» [9].

Оценивая глубину и степень проработки в научной литературе понятия и содержания экономической оценки природных ресурсов, необходимо еще раз уточнить смысл и значение таких категорий, как «ценность», «стоимость» и «цена» в экономической науке. Понятие оценки в экономике тесно связано с философской категорией «ценность». «Ценность» как самостоятельная категория сформировалась в философии достаточно поздно, на рубеже XIX–XX вв., ознаменовавшись формированием отдельного философского направления – аксиологии. В экономической теории «ценность» как степень полезности благ прочно закрепилась с середины второй половины XIX в. под влиянием ранних маржиналистов, прежде всего представителей австрийской школы политической экономии (К. Менгера, Ф. Визера, Е. Бен-Бевека и др.), а позднее кембриджской школы в лице А. Маршалла, А. Пигуи др. Именно на понятии «ценности» как ключевой доминанте строилась маржиналистская концепция стоимости.

Безусловно, ценность как экономическая категория рассматривалась учеными и ранее. А. Смит и Д. Рикардо понимали ценность как свойство, объективно присущее любому товару. Разделяя стоимость на потребительную и меновую, именно первую они ассоциировали с понятием «ценности» или «полезности» для потребителя. Меновая же стоимость служила аналогом современного понятия «цена», т. е. меры стоимости при продаже товара или услуги на рынке. К. Маркс, являясь в экономическом плане последователем теории стоимости А. Рикардо, развил Трудовую теорию стоимости, сосредоточившись, главным образом, на сути меновой стоимости, которую считал единственно возможной характеристикой товара при обмене. Стоимость как у классиков, так и у К. Маркса создавалась на стадии производства, отражая затраты общественного труда, и представляла собой скорее «цену предложения» в современном понимании.

Маржиналисты, напротив, ассоциировали стоимость любого блага исключительно с позиции его полезности для покупателя, т. е. рассматривали стоимость как потребительскую характеристику, придавая ей в отличие от классиков не объективный, а субъективный характер. Формирование стоимости (цены) на товар они перенесли из сферы производства в сферу потребления, противопоставив таким образом свою концепцию классической. Основу их учения составляли предельные категории («marginal» с англ. – предельный, конечный). Ценность как предельная полезность рассматривалась в стоимостной концепции представителями всех направлений маржинализма. Маржинисты утверждали, что полезность и редкость блага, находящие отражение в ценности, формируют стоимость. Именно это положение заставляет с особым интересом вновь взглянуть на концепцию предельной полезности в условиях формирования цен на природные ресурсы и экосистемные услуги в настоящее время.

Неоклассики в первой половине XX в. осуществили синтез классической теории, основанной во многом на затратном подходе к формированию стоимости, свойственном производителям, и маржинальной теории, рассматривавшей стоимость как отражение субъективной оценки полезности блага для потребителя. Похожие идеи высказывались русскими экономистами В. К. Дмитриевым, П. Б. Струве, М. И. Туган-Барановским еще более ста лет назад. В их работах предлагались компромиссные варианты двух теорий. М. И. Туган-Барановский в «Основах политической экономии» писал: «Теории предельной полезности и трудовой стоимости, несомненно, противоположны, но отнюдь не противоречивы» и далее «... Теория Д. Рикардо подчеркивала объективные факторы ценности, теория К. Менгера – субъективные моменты, оценки» [10].

Воцарившееся в тридцатые годы господство марксистской идеологии в советской экономике сделало дальнейшее развитие подобных учений невозможным. Однако в 1970–1980-х гг. дискуссии возобновились. Конец XX и начало XXI в. ознаменовались пришествием экономического мейнстрима в отечественную науку. «Экономикс», своего рода конституция

неоклассицизма, на какое-то время прочно овладел умами отечественных теоретиков. Происходит сближение понятий «цена», «ценность» и «стоимость». Диктат потребителя экономическая наука провозгласила основой стоимостных отношений. При этом, пока большинство отечественных специалистов сначала отчаянно отстаивали учение К. Маркса как единственно верное, а затем с такой же страстью внедряли в процесс обучения «Экономикс», западная передовая экономическая мысль, переварив ранний институционализм Т. Веблена, перешагнув неоклассицизм, не до конца приняв, но заразившись Дж. К. Гэлбрейтом, выступавшим с критикой теории полезности, считая, что нагнетание потребительского психоза имеет своим следствием разбазаривание природных ресурсов, полагая при этом, что «потребности хотя бы частично создаются теми, кто производит товары», а «покупатель является хотя бы частично игрушкой в руках производителя» [11], переживала пришествие неонституционализма (от Д. Норта до Э. Остром). «Институционализм возник как интеллектуальная оппозиция неоклассической экономике», как бунт против экономического мейнстрима, по мнению И. П. Глазыриной [12]. Автор этой работы считает, что цены не всегда адекватно отражают ценности природы для человечества. Признание этого заложено в основу методологических подходов экологической экономики».

Таким образом, характер изменений общепринятых взглядов на денежную оценку природных ресурсов отражает эволюцию концепций стоимости в экономической теории. Современные подходы к понятию экономической оценки природных ресурсов и их соответствие решаемым задачам следует, на наш взгляд, рассматривать именно с этих позиций. Использование категорий «ценность», «стоимость» и «цена» в отношении ресурсов природного происхождения должны не противоречить друг другу, а составлять содержание методического инструментария экономической оценки, позволяя оценивать природное благо с разных сторон.

Результат экономической оценки, на взгляд автора, будет представлять собой стоимость, цену или общую ценность в зависимости от решаемых задач природопользования (рис. 1).

Таким образом, под экономической оценкой природных ресурсов стоит понимать процедуру денежного измерения стоимости, цены или ценности природных ресурсов и экосистемных услуг, результат которого рассматривается как один из инструментов экономического механизма, используемый в соответствии с решаемыми задачами природопользования.

Исходя из поставленной цели, остановимся подробнее на характеристике существующих подходов к экономической оценке природных ресурсов и экосистемных услуг. В настоящее время в научной литературе, посвященной данной теме, можно встретить различные классификации методов: от агрегированных [13] до более детализированных, как в [14]. С. Бобылев, О. Медведева и др. в [15] среди подходов, позволяющих получить конкретную оценку, выделяют базирующиеся на следующих показателях: затратах, ренте, нормативах, рыночных и косвенных оценках, альтернативной стоимости; общей экономической ценности (стоимости). А Гусев и Е. Алныкина все разнообразие методов экономической оценки природно-ресурсного потенциала делят на экономические и социологические, понимая под экономическими традиционные, основанные на затратном или доходном подходе, а под социологическими – субъективные методы оценки потребителей природных ресурсов, больше используемых в настоящее время для оценки экологических благ [16].

Интересной представляется классификация на основе рекомендаций ООН: методы экономической оценки делятся на следующие группы: заявленных предпочтений, методы выявленных предпочтений, методы переноса выгод. Методы оценки, традиционно применяемые для природных ресурсов, включаются в первую группу вместе с методами косвен-



Рисунок 1. Результаты экономической оценки природных ресурсов.
Figure 1. Results of economic assessment of natural resources.

ной оценки (транспортно-путевых затрат и гедонистического ценообразования). Вторая группа основана на субъективных оценках ценности, в основе которых лежат инструменты социологических опросов на тему «готовности платить», третья группа представлена методами переноса стоимости при оценке объектов на неразвитых рынках, к которым относится большинство экосистемных услуг. Отметим, что метод переноса стоимости достаточно активно используется в последние годы в работах по экономической оценке специалистов Ярославского института НПЦ «Кадастр» [17].

Обобщая сказанное, можно отметить, что современные подходы к экономической оценке, сложившиеся в отечественной науке к настоящему времени весьма многообразны и достаточно сложно поддаются типизации, особенно подходы к оценке экосистемных услуг. Выделим концепции и группы методов, на взгляд автора, наиболее часто встречаемые и перспективные с точки зрения их дальнейшего использования, предложив их группировку, в основе которой следующие критерии оценочных процедур: 1) экономические; 2) социально-экономические; 3) социо-эколого-экономические. Результатом оценочных процедур при этом могут выступать стоимость, цена или ценность природных благ (рис. 2).

Каждый из отмеченных методов достаточно изучен и используется в отечественной практике экономической оценки в большей (затратный, рентный, доходный и смешанные подходы) или меньшей (методы предпочтений и общей экономической ценности) степени. Отметим, что по существу, с точки зрения наличия критериев и разработанности экономического инструментария, к собственно методам можно отнести только затратный и рентный подходы. Остальные являются или специфическими процедурами оценки (некоторые из группы смешанных подходов и субъективных оценок) или представляют собой принципиально новую концепцию оценки, базирующуюся частично на инструментарии затратного и рентного подходов и их комбинированных вариантов, частично на условных и субъективных потребительских оценках ценности природных ресурсов и экосистемных услуг, а частично на вновь разрабатываемых, специфических подходах и процедурах экономической оценки общественных благ (метод общей экономической ценности).

Отметим также, что появление, становление и развитие данных методов в отечественной экономической науке и перспективы использования их в практике стоимостной оценки, безусловно, носит исторический характер и во многом зависит от степени экономического и институционального развития общества, преобладающей концепции формирования стоимости (как отмечалось нами ранее) и конкретные задачи, решаемых на основе экономической оценки природных ресурсов для разных целей природопользования.

Коротко охарактеризуем выделенные группы с позиции истории их появления в отечественной науке, достоинств и недостатков, присущих каждому из них, и перспектив дальнейшего использования в практике экономической оценки.

Затратные методы

Эти методы исторически связаны с трудовой концепцией стоимости и, как следствие, наибольшее развитие и распространение в нашей стране получили в социалистической экономике. Они появились в 1950–1960-х гг., в период становления стоимостных отношений в практике экономической оценки природных ресурсов. Как было отмечено ранее,

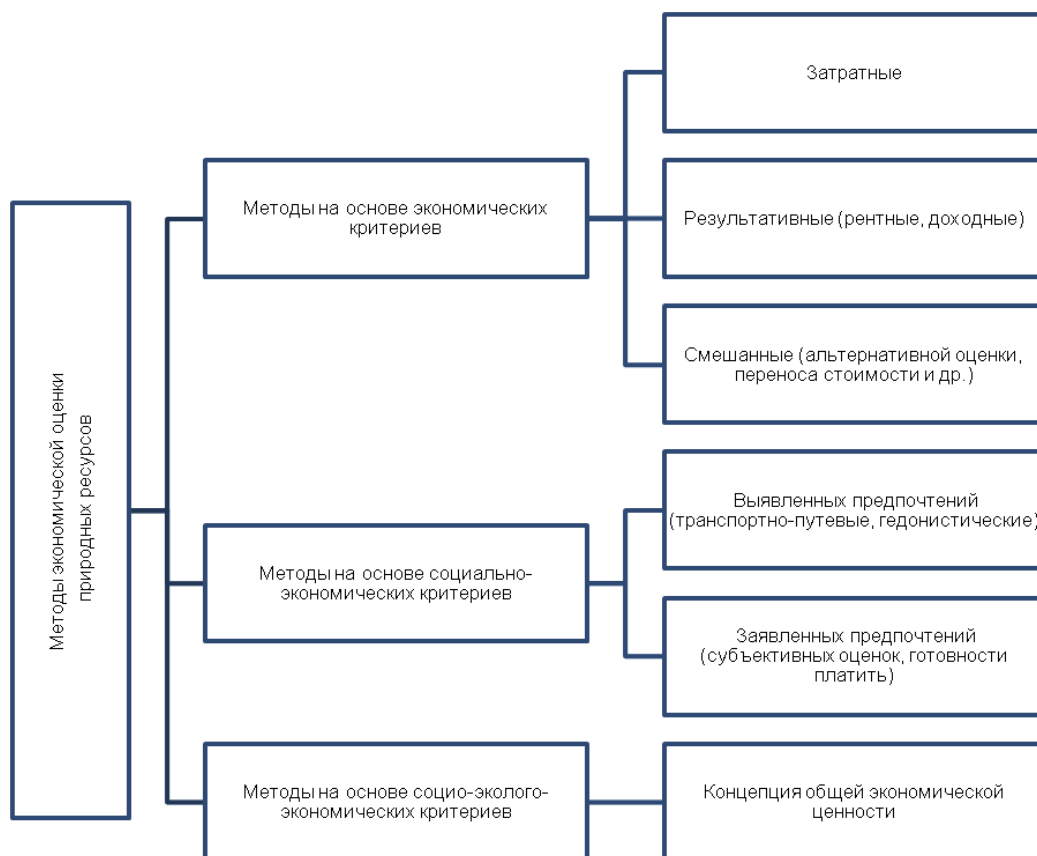


Рисунок 2. Методы экономической оценки природных ресурсов.
Figure 2. Methods of economic valuation of natural resources.

затратные методы связываются с именем С. Г. Струмилина, основаны на оценке ресурсов с позиции затраченного труда на их освоение (воспроизводство или замещение) и вовлечение в хозяйственный оборот.

Основным недостатком признается не учитываемая при оценке объективная (природная, территориальная, потребительская) ценность и, как следствие, получение заниженных оценок, когда, например, плодородная земля или богатое месторождение получают низкую стоимостную оценку из-за минимальных трудовых и иных затрат на их освоение. Однако в защиту основоположников данного подхода следует отметить, что применение территориальных (сравнительных) индексов в некоторых модификациях основных расчетных формул С. Г. Струмилина несколько нивелировали этот недостаток. Основное применение в постсоветский период методы получили при оценке воспроизводства лесных ресурсов, при оценке некоторых видов ущерба и др. Дальнейшие перспективы использования затратных подходов связаны с решением отдельных локальных задач природопользования в условиях невозможности применения рыночных оценок и использования их в комбинированных (смешанных) методиках ЭО.

Результативные (рентные и доходные методы)

Они основаны на оценивании ресурсов в зависимости от получаемого дохода от их использования или величины исчисляемой ренты. Слово «рента» происходит от позднелатинского *rendita*, означающего «отданная назад, возвращенная». В разных языках это слово имеет различное значение. Однако общим для всех значений является получение дохода, не связанного непосредственно с трудом. Словом «рента» обычно обозначается регулярно получаемый доход, не требующий предпринимательской деятельности. В нашем случае это избыточный доход, получаемый за счет эксплуатации природных ресурсов. Рентные методы исторически связаны со становлением стоимостных концепций оценки природных ресурсов в советской экономике. Появились несколько позже затратных в 1960–1970-е гг. и связаны с именами К. Гофмана, Н. Федоренко (модификации на основе замыкающих затрат, сочетающих затратную теорию стоимости и теорию предельной полезности), Т. Хачатурова (доходные модификации метода) и др. Однако в постперестроечные годы претерпели некоторые методологические изменения и условно могут делиться на рентные подходы (в рамках трудовой теории стоимости) в ранний советский период и подходы в условиях рыночных отношений (в рамках осуществленного неоклассического синтеза затратной и маржиналистской теорий). С позиции последней вычленять ренту надо из предельной прибыли, получаемой в результате хозяйственного использования природного ресурса с наилучшими возможными условиями его эксплуатации.

Достоинством рентных подходов является получение более высокой стоимостной оценки различных природных ресурсов (по сравнению с затратными подходами). Среди недостатков отмечают некорректность использования замыкающих затрат в рыночной экономике и сложность выделения и расчета различных видов ренты в природопользовании. В мировой практике инструментарий оценки и изъятия ренты входит в налоговую систему, разумно сочетая фискальные и стимулирующие принципы. Несмотря на указанные недостатки, он признается многими специалистами наиболее перспективным подходом в современной экономической оценке.

Смешанные подходы

Считается, что к появлению смешанных подходов привела дискуссия между сторонниками затратного и рентного методов оценки. Данная группа методов была призвана устранить недостатки, присущие обоим подходам. Они исторически появились в 1970–1980-е гг. и легли в основу методик по исчислению убытков, причиняемых негативным воздействием на природные ресурсы и окружающую среду. Известны работы в этой области Е. С. Карнауховой, В. Н. Герасимовича и др. Кроме подходов, относящихся к советской экономической школе, к этой группе, на наш взгляд, следует отнести большое разнообразие смешанных методов, появившихся в российской экономике с развитием рыночных отношений и представляющих собой скорее не методы и не подходы в чистом виде, а скорее процедуры оценки, такие как:

- метод альтернативной стоимости, предполагающий экономическую оценку ресурса согласно упущенной выгоде (упущенные доходы и выгоды, которые можно было бы получить при использовании ресурса в других целях);
- метод сравнений (перенос стоимости аналогичного по характеристикам природного объекта на оцениваемый в случае невозможности прямой экономической оценки) и др.
- подходы на основе рыночных цен.

Последние основаны на ценообразовании, в основе которого лежит сочетание механизма спроса и предложения (с позиции неоклассической теории синтеза). Появились в отечественной практике в конце 1990-х гг. В мировой практике достаточно распространены. В частности, рыночные (текущие) цены используются при учете нематериальных активов при исчислении национального богатства в «Системе национальных счетов» (СНС). Применимы только при наличии развитых рынков и рыночных цен на природные ресурсы. Могут использоваться в сравнительных подходах, в оценках для продажи, основанных на сравнении с аналогами. С позиции учетной функции оценки разрабатываются и используются в методиках Росстата, в работах, связанных с включением природных ресурсов в состав национального богатства.

Методы выявленных и заявленных предпочтений

Эти методы появились в западной практике в 1960–1970-е гг., в отечественную науку и практику пришли значительно позднее, на рубеже двухтысячных. Относятся к категории наименее разработанных и используемых в отечественной экономике, но получивших достаточное развитие в мировой практике – методы денежной оценки общественных благ. К первой группе (выявленных предпочтений) относят методы, связанные либо с транспортными расходами потребителей, посещающих какой-либо уникальный объект природопользования (национальный парк, заповедник и т. п.), – транспортно-путевые методы, либо с затратами на недвижимость, имеющую более привлекательную экологическую составляющую, – гедонистические методы оценки природных благ. Вторая группа (заявленных предпочтений) построена на механизме социологических опросов, поэтому иногда их называют социологическими, или методами субъективных (в некоторых переводах условных) оценок, основанных на концепции «готовности платить». Данные подходы по существу представляют собой специфические процедуры оценки, используемые чаще всего для неразвитых рынков. Признаются перспективными для оценки экосистемных услуг [18–21].

Общая экономическая ценность (стоимость)

Как уже отмечалось нами, экономическая оценка природных ресурсов на основе концепции общей экономической ценности представляет собой новую постиндустриальную концепцию оценки природных благ с позиции экономико-социолого-экологического подхода, отличающуюся от традиционной ресурсо-затратной модели необходимостью помимо оценки прямого использования ресурсных функций природы принимать к сведению косвенную ценность (например, ассимиляционный потенциал и другие регулирующие услуги экосистем), а также стоимость неиспользования (существования природы самой по себе) и наследования как право будущих поколений пользоваться тем же по количеству и качеству объемом природных ресурсов. Концепция появилась достаточно недавно и в мировой, и в отечественной практике. Исторически связана с провозглашением ООН перехода к экономике устойчивого развития. Признается и в мире, и отечественными специалистами наиболее перспективной с позиции определения истинной ценности природы для общественного развития [21–23]. Проблема практического применения концепции в практике экономической оценки связана со сложностью разработки необходимого методического обеспечения, особенно в части оценки ценности неиспользования природных ресурсов. При оценке же прямой и косвенной стоимости использования базируется на традиционных (затратных, рыночных и т. п. методах оценки).

Подводя итог проведенному анализу, можно констатировать некоторую историческую обусловленность появления тех или иных подходов к оценке в отечественной науке, их связь с эволюцией теории стоимости и перспективы дальнейшего развития и использования на практике (таблица).

Перспективы и возможности применения тех или иных методов, процедур и концепций оценки напрямую связаны с характером решаемых задач [24] на разных уровнях государственного регулирования процессов природопользования, включая как денежную оценку отдельно взятого ресурса или комплексную экономическую оценку природно-территориального объекта на местном и региональном уровнях, так и масштабный учет природных ресурсов и экосистемных услуг на основе оценки элементов природного капитала в составе национального богатства страны.

Заключение

Отсутствие у отечественных специалистов единых взглядов на содержание экономической оценки природных ресурсов является следствием меняющихся подходов к оценочным критериям, вызванным переходом от ресурсоемкой экономики к устойчивому развитию, а также нарушением исторической преемственности методологии подобного рода оценок в нашей стране. Традиционные для советской экономики методы, дополненные в конце XX в. века рыночными подходами, сегодня тесно переплетаются с неинституциональными взглядами на экономическую оценку. Все это

Историческое развитие методов экономической оценки природных ресурсов в отечественной экономической науке и практике. Historical development of methods of economic assessment of natural resources in domestic economic science and practice.

Методы оценки	Теория стоимости	Современное использование и перспективы развития
<i>Затратные методы</i> (1950–1960-е гг.)	Трудовая теория стоимости К. Маркса	Используются при оценке воспроизводства ресурсов, некоторых видов ущерба и др. Дальнейшие перспективы использования связаны с решением отдельных локальных задач природопользования в условиях невозможности применения рыночных оценок и использования их в комбинированных (смешанных) методиках ЭО
<i>Рентные и доходные методы</i> (1960–1970-е гг.)	Трудовая теория стоимости К. Маркса и концепция предельной полезности	Наиболее перспективные методы оценки природных ресурсов, по мнению экономистов. Могут быть использованы для кадастровых оценок, развития механизмов налогообложения в природопользовании и др.
<i>Затратно-рентные</i> (1970–1980-е гг.)	Трудовая теория стоимости К. Маркса и концепция предельной полезности	Используются для устранения недостатков предыдущих методов при решении комплексных задач природопользования
<i>Альтернативной оценки, переноса стоимости и др.</i> (1990-е гг.)	Концепция неоклассической теории синтеза (на основе спроса и предложения)	Применяются для сравнения альтернативных вариантов использования природных ресурсов в планах развития территорий; в случае невозможности прямой оценки объекта
<i>Рыночных цен</i> (1990-е гг.)	Концепция неоклассической теории синтеза (на основе спроса и предложения)	Применимы только при наличии развитых рынков и рыночных цен на природные ресурсы. Могут использоваться в сравнительных подходах, в оценках для продажи, основанных на сравнении с аналогами, в работах, связанных с включением природных ресурсов в состав национального богатства
<i>Методы выявленных и заявленных предпочтений</i> (1960–1970-е гг. – за рубежом; 2000-е гг. – в РФ)	Неоклассический синтез и Концепция предельной полезности	Представляют собой специфические для отечественной практики процедуры оценки, используемые чаще всего для неразвитых рынков. Признаются перспективными для оценки экосистемных услуг
<i>Общая экономическая ценность (стоимость)</i> (начало XXI в.)	Синтез неоклассической и институциональной теорий стоимости	Для решения задач социо-эколого-экономической оценки всех элементов природного капитала. Признается наиболее перспективной с позиции определения истинной ценности природы для человека

заставляет пристальнее взглянуть на опыт тех стран, которые первыми начали использовать оценки, направленные на максимально более полное отражение ценности природных благ для нынешнего и будущего поколения. Применение в отечественной практике зарубежного опыта должно, на наш взгляд, исходить из того, что институционализация и социализация рынка явились закономерным результатом экономической идеологии постиндустриального развитого общества, потратившего значительное количество ресурсов, в том числе природных, столкнувшегося с социальными и экономическими последствиями потребительской идеологии и провозгласившего в начале XXI в. социально ориентированное и экологизированное развитие как новую парадигму существования. Осмысление места и роли России в этом новом мире «экологической и социальной гармонии» должно базироваться на развитии максимально справедливого, с точки зрения распределения доходов и ответственности за деградацию окружающей среды гражданского общества, оптимального сочетания национальных интересов и «глобального» мировоззрения в области устойчивого развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логвиненко О. А., Стровский В. Е. Природные ресурсы с позиции учета в составе национального богатства // Изв. УГГУ. 2019. № 2 (54). С. 126–133. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-2-126-133>
2. Костылев А. О. Совершенствование методов экономической оценки нефтегазовых ресурсов с учетом факторов неопределенности: дис. ... канд. экон. наук. Новосибирск, 2016. 142 с.
3. Лукьянчиков Н. Н. Экономическая оценка природных ресурсов // Вопросы оценки. 1997. № 4. С. 41–48
4. Шимова О. С., Соколовский Н. К. Основы экологии и экономика природопользования. Минск: БГЭУ, 2002. 367 с.
5. Пахомов В. П., Полянская И. Г. Методические рекомендации социально-экономической оценке ресурсов недр как элемента национального богатства региона. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2007. 74 с.
6. Экология и экономика природопользования / под ред. Э. В. Чирусова. М.: Юнити-Дана, 2007. 591 с.
7. Костылев А. А. Подходы к оценке природно-ресурсного потенциала и показатели эффективности его использования в регионе // Социально-экономические явления и процессы. 2010. № 3. С. 110–118.
8. Балашенко В. В., Варпаева О. А., Масилевич В. Г. Природно-ресурсный потенциал северных районов: методические особенности комплексной оценки // Экономика региона. 2015. № 4. С. 84–94.
9. Развитие системности в освоении природного потенциала северных малоизученных территорий / под общ. ред. акад. РАН А. И. Татаркина. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2015. 317 с.
10. Бартенев С. А. Экономические теории и школы. М., 1996. 338 с.
11. Гэлбрейт Дж. К. Жизнь в наше время. М.: 1986. 408 с.
12. Глазырина И. П. Институциональный контекст экологической экономики // Институциональная трансформация экономики: пространство и время: сб. докл. V Междунар. науч. конф. 2017. С. 128–132.
13. Неверов А. В., Варпаева О. А., Масилевич Н. А. Экономическая оценка природно-ресурсного потенциала региона: теория и практика применения // Труды БГТУ. 2013. С. 101–105.
14. Иванов А. Н., Логвиненко О. А., Игнатъева М. Н. Экономическая оценка экологических последствий при недропользовании // Изв. вузов. Горный журнал. 2019. № 6. С. 98–107. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-6-98-107>
15. Бобылева С. Н., Медведева О. Е., Сидоренко В. Н., Соловьева С. В., Стеценко А. В., Жушев А. В. Экономическая оценка биоразнообразия / под ред. С. Н. Бобылева, А. А. Тишкова. М., 1999. 112 с.
16. Гусев А. А., Алныкина Е. М. Развитие методов экономической оценки природных ресурсов в управлении инвестиционными проектами // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании. 2016. С. 153–158.
17. Фоменко Г. А., Фоменко М. А., Лошадкин К. А., Горе Э. А. Экосистемный подход в территориальном управлении природопользованием и охраной окружающей среды // Проблемы региональной экологии. 2018. № 1. С. 50–66.
18. Zanchi G., Brady M. V. Evaluating the contribution of forest ecosystem services to societal welfare through linking dynamic ecosystem modeling with economic valuation // Ecosystem Services. 2019. Vol. 39. 101011. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101011>
19. Fratini S. M. Neoclassical theories of stationary relative prices and the supply of capital // Metroeconomica. 2019. Vol. 70, issue 4. P. 723–737. <https://doi.org/10.1111/meca.12250>
20. Lipinska H., Klopotoska A., Wlosek D. The Contingent Valuation Method in the Study of Ecosystem Services on the Example of the Urban Natural System of Lubartów // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 603. 052064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052064> (предупреждение системы безопасности)
21. Komatowska B., Sienkiewicz J. Forest ecosystem services – assessment methods // Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry. 2018. Vol. 60 (4). P. 248–260. <https://doi.org/10.2478/ffp-2018-0026>
22. Юрак В. В., Душин А. В. Эволюция концепции общей экономической ценности // Журнал экономической теории. 2016. № 4. С. 204–214.
23. Groot R. de, Hein L. Concept and valuation of landscape functions at different scales / Ü. Mander, H. Wiggering, K. Helming (eds) // Multifunctional Land Use. Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. P. 15–36. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36763-5_2
24. Silva S. S., Reis R. P., Ferreira P. A. Nature value: The evolution of this concept // Ciência e Agrotecnologia. 2012. Vol. 36, № 1. P. 9–15. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000100001>

Статья поступила в редакцию 05 ноября 2019 года

Transformation of views on the content and methods of economic assessment of natural resources

Oksana Aleksandrovna LOGVINENKO*

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Relevance. Improving the existing methodology for the economic valuation of natural resources, reflecting various aspects of their monetary measurement, is particularly relevant in the context of the transition from a resource-intensive economy to sustainable development, the criteria for the successful implementation of which, in addition to economic efficiency indicators, are social and environmental indicators.

Purpose of the study. Clarification of the concept of economic assessment of resources of natural origin, taking into account the historical transformation of views on its content and classification of methodological approaches to its implementation.

Results of the study. Various approaches to the content of the economic assessment of resources of natural origin are considered, significant differences in views are determined both from the point of view of their historical transformation, and from the point of view of differentiating tasks solved on the basis of the valuation of nature's resources. The influence of value concepts dominating in different historical periods on the formation of the result of the assessment of natural goods was studied: from the classical and labor theory of value and the theory of marginal utility to the neoclassical synthesis and neoinstitutional concept. The concepts of "value", "price" and "value" as a result of economic evaluation in relation to resources of natural origin are clarified. The stages of development of methods for the monetary valuation of natural resources and ecosystem services in domestic science and practice are analyzed. An updated classification of the existing and most promising methods for the economic assessment of natural resources based on the dominant criterion of social significance of their use is proposed: economic, socio-economic or multi-criteria (socio-ecological-economic), which most harmoniously combines all the functions of ecosystems in order to sustainable development of the national economy.

Conclusions. The main dominant in changing views on the valuation of natural resources is the prevailing point of view on the process of value formation in economic science in various historical periods, transforming the views of society on the concept of its value and having a direct impact on changing the methodology of economic evaluation of natural resources. Another important criterion for changing approaches to the assessment of natural goods is an ever-expanding list of ecosystem services included in economic relations that need to improve traditional and develop new approaches to the procedure and the results of the valuation of natural resources and socially significant natural goods.

Keywords: natural resources, sustainable development, theory of value, value of natural resources, methods of economic valuation of natural resources and ecosystem services.

REFERENCES

- Logvinenko O. A., Strovsky V. E. 2019, Natural resources from a position of accounting as part of national wealth. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], No 2 (54). P. 126–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-2-126-133>
- Kostylev A. O. 2016, *Sovershenstvovaniye metodov ekonomicheskoi otsenki neftegazovykh resursov s uchetom faktorov neopredelennosti* [Improving the methods of economic assessment of oil and gas resources, taking into account uncertainties], PhD thesis, Novosibirsk, 142 p.
- Lukyanchikov N. N. 1997, Economic assessment of natural resources. *Voprosi Ocenki* [The Appraisal Issues], No 4. P. 41–48 (In Russ.)
- Shimova O. S., Sokolovsky N. K. 2002, *Osnovy ekologii i ekonomika prirodopol'zovaniya* [Basics of ecology and environmental economics], Minsk, 367 p.
- Pakhomov V. P., Polyanskaya I. G. 2007, *Metodicheskiye rekomendatsii sotsial'no-ekonomicheskoy otsenke resursov nedr kak elementa natsional'nogo bogatstva regiona* [Guidelines for socio-economic assessment of the resources of the subsoil as an element of the national wealth of the region], Ekaterinburg, 74 p.
- 2007, *Ekologiya i ekonomika prirodopol'zovaniya* [Ecology and economics of nature management], ed. by E. V. Chirusov. Moscow, 591 p.
- Kostylev A. A. 2010, Approaches to assessing the natural resource potential and indicators of the effectiveness of its use in the region. *Sotsial'no-ekonomicheskkiye yavleniya i protsessy* [Social and Economic Phenomena and Processes], No 3, P. 110–118. (In Russ.)
- Balashenko V. V., Ignatieva M. N., Loginov V. G. 2015, Natural resource potential of the northern regions: methodological features of a comprehensive assessment, *Ekonomika regiona* [Economy of the region], No 4, P. 84–94. (In Russ.)
- 2015, *Razvitiye sistemnosti v osvoyenii prirodnogo potentsiala severnykh maloizuchennykh territoriy* [Development of systemicity in acquisition of natural potential of the northern little-studied territories], ed. by I. Tatarin. Ekaterinburg, 317 p.
- Bartenev S. A. 1996, *Ekonomicheskkiye teorii i shkoly* [Economic theories and schools], Moscow, 338 p.
- Galbraith J. K. 1986, *Zhizn' v nashe vremya* [Life in our time]. Moscow, 408 p.
- Glazyrina I. P. 2017, *Institutsional'nyy kontekst ekologicheskoy ekonomiki. Institutsional'naya transformatsiya ekonomiki* [The institutional context of environmental economics. Institutional transformation of the economy: space and time] book of reports, V International scientific conference. P. 128–132.
- Neverov A. V., Varapaeva O. A., Masilevich N. A. 2013, Economic assessment of the natural resource potential of the region: theory and practice of application. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], P. 101–105. (In Russ.)
- Ivanov A. N., Logvinenko O. A., Ignatieva M. N. 2019, Economic assessment of environmental consequences in subsoil use. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 6, P. 98–107. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-6-98-107>
- Bobylev S. N., Medvedeva O. E., Sidorenko V. N., Solovyova S. V., Stetsenko A. V., Zhushev A. V. 1999, *Ekonomicheskaya otsenka bioraznoobraziya* [Economic assessment of biodiversity], ed. by C. N. Bobylev, A. A. Tishkov. Moscow, 112 p.
- Gusev A. A., Alnykina E. M. 2016, *Razvitiye metodov ekonomicheskoy otsenki prirodnnykh resursov v upravlenii investitsionnymi proyektami. Sovremennyye problemy upravleniya proyektami v investitsionno-stroitel'noy sfere i prirodopol'zovani* [Development of methods for the economic assessment of natural resources in the management of investment projects. Modern problems of project management in the investment and construction industry and nature management], P. 153–158.
- Fomenko G. A., Fomenko M. A., Loshadkin K. A., Goge E. A. 2018, Ecosystem approach in the territorial management of natural resources and environmental protection. *Problemy regional'noy ekologii* [Regional Environmental Issues], No 1, P. 50–66. (In Russ.)
- Zanchi G., Brady M. V. 2019, Evaluating the contribution of forest ecosystem services to societal welfare through linking dynamic ecosystem modelling with economic valuation. *Ecosystem Services*. Vol. 39. 101011. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101011>
- Fratini S. M. 2019, Neoclassical theories of stationary relative prices and the supply of capital. *Metroeconomica*. Vol. 70, issue 4. P. 723–737. <https://doi.org/10.1111/meca.12250>

✉ IEF.EM@ursmu.ru

 <http://orcid.org/0000-0001-6898-4286>

20. Lipinska H., Kłopotowska A., Włosek D. 2019, The Contingent Valuation Method in the Study of Ecosystem Services on the Example of the Urban Natural System of Lubartów. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 603. 052064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052064>
21. Kornatowska B., Sienkiewicz J. 2018, Forest ecosystem services – assessment methods. Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry. Vol. 60 (4). P. 248–260. <https://doi.org/10.2478/ffp-2018-0026>
22. Yurak V. V., Dushin A. V. 2016, The evolution of the concept of total economic value. Zhurnal ekonomicheskoy teorii [Russian Journal of the Economic Theory], No 4, P. 204–214. (In Russ.)
23. Groot R. de, Hein L. 2007, Concept and valuation of landscape functions at different scales / Ü. Mander, H. Wiggering, K. Helming (eds). Multifunctional Land Use. Berlin, Heidelberg: Springer. P. 15–36. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36763-5_2
24. Silva S. S., Reis R. P., Ferreira P. A. 2012, Nature value: The evolution of this concept. Ciência e Agrotecnologia. Vol. 36, No 1. P. 9–15. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542012000100001>

The article was received on November 05, 2019

История горного дела

The history of the creation and development of the Ural state mining university in the in the interpretation of Soviet and Russian historiography

Евгений Иванович КИСЕЛЕВ*
joan-black@yandex.ru

Evgeniy Ivanovich KISELEV*
joan-black@yandex.ru

Уральский государственный горный университет,
Екатеринбург, Россия

Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

История создания и развития Уральского государственного горного университета в интерпретации советской и российской историографии

История Уральского государственного горного университета в Екатеринбурге поистине славна и трагична. Этот университет стал первым высшим учебным заведением, основанным на Урале. Это послевузовское учебное заведение было основано в 1914 г. по закону, обнародованному императором Николаем II: "Учредить Горный институт в городе Екатеринбурге и определить этот институт как высшее учебное заведение". Однако он смог начать занятия только в октябре 1917 г. Среди причин такой задержки были трагические события в истории России, а именно Первая мировая война (1914–1918), Февральская революция, произошедшая 27 февраля – 1 марта 1917 г. (12 марта 1917 г. – 14 марта 1917 г. по новому стилю), свергнувшая абсолютную монархию, Октябрьская революция 25–26 октября (7–8 ноября (по новому стилю) 1917 г.), арест, ссылка и расстрел царской семьи 17 июля 1918 г. и, наконец, Гражданская война 1917–1922 г. Эти события значительно подорвали экономику и политическую стабильность страны в целом. Система образования, конечно, не могла избежать этого подавляющего экономического кризиса, который имел место в начале XX в. Литература по истории Уральского государственного горного университета обширна. Под "историографией проблемы" понимается совокупность монографий и научных статей, охватывающих ту или иную тему. Книга или статья по истории может считаться историографией, если она написана чисто научным языком. Она также должна иметь список ссылок. Работа по историографии также предполагает предоставление кратких сведений об авторах рассматриваемых исторических произведений. Разница между конкретно-историческим исследованием и историографическим исследованием состоит в том, что первое анализирует исторические события, судьбы исторических личностей и т. д. Историографическое исследование предполагает анализ работ, написанных историками на определенную тему. Например, когда мы говорим "советская историография Второй мировой войны", мы имеем в виду все научные монографии или статьи, написанные советскими историками о Второй мировой войне. Когда мы говорим "американская историография Русско-Японской войны", мы имеем в виду все научные труды, написанные американскими историками о Русско-Японской войне. При проведении конкретно-исторических исследований предполагается использование историком архивных документов, вещественных источников и т. д. Историографы не пользуются архивами. Они используют труды историков в качестве первоисточников своих монографий и статей. Настоящее исследование содержит анализ двадцати сугубо научных работ (пятнадцать статей и пять монографий), написанных исследователями как с Урала, так и из других регионов России и посвященных истории Уральского государственного горного университета. Причина, по которой эти работы были отобраны из всего количества книг и статей по истории Уральского государственного горного университета, заключается в том, что эти статьи и монографии можно считать чисто научными. Базу источников нашего исследования составляют труды историков советского и постсоветского периода. Актуальность нашей проблемы обусловлена тем, что интерес к Уральскому государственному горному университету в настоящее время растет. Все больше и больше студентов из разных стран мира приезжают сюда учиться или повышать свои навыки. В связи с этим история университета также актуальна. Целью нашей статьи является изложение информации о научных трудах советских и постсоветских исследователей по истории университета.

Ключевые слова: Уральский государственный горный университет, Петр фон Веймарн, революция, Гражданская война, эвакуация, белоэмигранты, историография, анализ, переименование, история.

The history of the Ural State Mining University in Ekaterinburg is indeed glorious as well as tragic. This university was made to become the very first higher educational institution founded in the Urals. This postsecondary institution of higher education was founded in 1914 by the law promulgated by Emperor Nicholas II: "Establish a mining institute in the city of Ekaterinburg and define this institute as a higher educational institution". However, it was only able to start classes in October 1917. Among the reasons of such a delay were the tragic events in the history of Russia, namely the World War I (1914–1918), the February Revolution which took place on February 23rd – March 3rd 1917 (March 8th, 1917 – March 16th, 1917 New Style), which overthrew absolute monarchy, the October Revolution of October 25th – October 26th (November 7th – November 8th (New Style) 1917), the arrest, exile and execution of the tsar family on July 17th, 1918 and the Civil War of 1917–1922. These events considerably undermined the economy and political stability of the whole country. The system of education of course could not have escaped this overwhelming economic dislocation, which took place in the beginning of the twentieth century. The literature on the history of the Ural State Mining University is voluminous. "Historiography of the problem" connotes the body of the monographs and scientific articles which cover a particular subject. A book or an article on history can be considered a piece of historiography if it is written in a purely scientific language. It also must have a list of references. A work of historiography must also provide concise pieces of information about the authors of historical works considered. The difference between a concrete historical research and a historiographical research is that the first analyzes the historical events, lives of historical figures, etc. A research in historiography deals with analyzing the works written by historians on a particular subject. While conducting a concrete historical research, a historian is supposed to use archival documents, real historical sources, etc. Historiographers do not use archives. Rather, they use the works of the historians as primary sources of their monographs and articles. The present study contains the analysis of the twenty purely scientific works (fifteen articles and five monographs) written by researchers from the Urals, as well as from other parts of Russia which are dedicated to the history of the Ural State Mining University. The reason that these works were selected from the whole quantity of books and articles on the history of the Ural State Mining University is because these articles and monographs can be considered purely scientific. The works of the historians of the Soviet and post-Soviet period comprise the source base of our research. This matter is topical because of increasing interest in the University. More and more students from different countries of the world come here to study or to advance their skills. In this connection, the history of the University is also relevant. The purpose of our article is to expound the information about the scientific works of the Soviet and post-Soviet researchers on the history of the University.

Keywords: The Ural State Mining University, Petr von Weimarn, revolution, Civil War, evacuation, White-Guard émigrés, historiography, analysis, renaming, history.

The present study is dedicated to the detailed analysis of the works written by professional and amateur historians about the Ural State Mining University during the period of 1919–2019. We will consider the scientific works of the Soviet as well as post-Soviet researchers. We adduce a list of the University's names and statuses it obtained in the course of its history.

The literature on the history of the Ural State Mining University is voluminous. Unfortunately, many of the works were written in a not strictly scientific style, many books and articles about the University are simply popular science or they sometimes have a stylistic propensity for fiction. Nevertheless, the present work contains a considerable amount of purely scientific

Основные вехи развития Уральского государственного горного университета

July 3rd, 1914 (July 16th, 1914 New Style) – *The Mining Institute in Ekaterinburg* was formed by the Law of the Council of State and the State Duma. This Law was ratified by the Emperor Nicholas II (The collection of legalizations and orders of the Government no. 180 of July 18th, 1914, article 2019).

January 27th, 1917 – was renamed as *The Ural Mining Institute of the Emperor Nicholas II* (Collection of Laws and Regulations of the Government, issued under the Governing Senate no. 28).

October 19th, 1920 – became a *Mining Institute*, later a *Department* of the Ural State University (Vladimir Lenin issued a Decree no. 455 “On the establishment of the Ural State University”).

May 9th, 1925 – The Ural State University was reorganized as The Ural Polytechnic Institute, *The Mining Department* became part of The Ural Polytechnic Institute (The resolution of the Council of people’s Commissars).

September 1930 – restored as *The Ural Mining Institute of Coal Fossils and Rock Products*.

June 5th, 1932 – *The Ural Mining Institute of Coal Fossils and Rock Products* was united with *The Ural Geological Survey Institute*.

December 16th, 1934 – was renamed as *The Sverdlovsk Mining Institute* (Order of the Main Depart-

ment of educational institutions of the People’s Commissariat of heavy industry of the USSR no. 26/644).

January 13th, 1947 – *The Sverdlovsk Mining Institute* was named after V. V. Vakhrushev (Resolution of the Council of Ministers of the USSR no. 52).

May 12th, 1969 – was renamed as *The Sverdlovsk Mining Institute called in the Name of the Order of the Red Banner of Labor and named after V. V. Vakhrushev* (Decree of the Presidium of the Supreme Soviet of the USSR).

July 10th, 1991 – was renamed as *The Ural Mining Institute called in the Name of the Order of the Red Banner of Labor named after V. V. Vakhrushev* (Order of the Council of Ministers of the RSFSR no. 736-R).

July 22nd, 1991 – was renamed as *The Ural Mining Institute called in the Name of the Order of the Red Banner of Labor named after V. V. Vakhrushev* (Order of the USSR State Committee for public education no. 346).

1992 – was renamed as *The Ural Mining Institute*.

October 28th, 1993 – was renamed as *The Ural State Academy of Mining and Geology* (Order of the State Committee of the Russian Federation on higher education no. 298).

October 5th, 2004 – got its modern name of *The Ural State Mining University* (Order of the Federal Agency for education no. 156).

works written by researchers from the Urals as well as from other parts of modern Russia.

The Mining Institute in Ekaterinburg was founded at the beginning of the 20th century, right before the period of great changes in the history of Russia. The earliest work available was an article called “The Description of the Scientific Work of P. P. Weimarn” written by Associate Professor Alexander Janek and published in May 1919 in “*Molodaya Rus’*. A collection of literary, journalistic and scientific works”.

The sole reason why we have listed these quotations from the article by A. Janek and provided some commentaries on them, is because we have a strong belief that this information will present the scientific achievements of the man, who headed The Mining Institute during the hard times of the history. Regardless of the problems of the wartime, evacuation, etc., which the rector had faced, the brainchild of the Professor Petr von Weimarn has survived many upheavals during more than one hundred years and is still successfully developing.

Aleksandr Janek rates the scientific activity of Petr von Weimarn very high. Janek wrote: “It only happens in rare instances, when the birth of some scientific discipline is marked by the appearance of one pivotal figure on the horizon of the human thought evolution. This pivotal figure seizes scientific information, which is deprived of the seeming scientific connections. This information of the earlier generations of scholars forms the newlyoriginated theoretical base. The presence of this base is the necessary condition for the existence of this discipline as a single whole along with all its multiple branches” [1]. Aleksandr Janek calls Petr von Weimarn “a pivotal figure” of the new scientific discipline of dispersoidology, he emphasizes the fact, that this is a rare phenomenon. Later in his article, the author briefly described the main problems of colloid chemistry, which were the primary concern of the Mining Institute’s in Ekaterinburg first rector. In the final part of his work, Janek wrote: “There is no opportunity to touch upon the essence and meaning these works (the works by Peter von Wei-

marn – author’s note) somehow exhaustively” [2]. The footnote to this statement says: “A famous Austrian specialist in mineralogy Feliks Kornu, emphasized the meaning of the mineralogical works by Petr Petrovich Weimarn (origin of minerals) and called one of the recently found colloidal minerals “Weimarnite” in his honor” [2].

An article named “The Mining Department of the Ural State University” was written by Aleksandr Smirnov. This article was published in the № 2 of the “The Mining Journal”, published by the Mining Department of the Supreme Soviet of the National Economy of the USSR in February 1924.

Aleksandr Smirnov “was born in the family of a clergyman. He is an expert in the field of the underground mining of coal deposits and ore deposits. Doctor of Technical Sciences (1944), Professor (1927). The topic of his Doctoral thesis was “The Productivity of the coal mines in the areas with limited reserves of fossil (1944)” [3].

This work is divided into several paragraphs. The very first paragraph of this article is devoted to the history of the Mining Department of the Ural State University. Such was the status of the Ural State Mining University at that time. The author emphasized the negative effect on the educational process caused by the frequent changes of power in the Urals during the Civil War in Russia. According to the author, “Although the academic year had started smoothly, but it was totally out of the question to carry out any regular and systematic classes under tense social and political conditions, which had existed then. In relation to studying, this first year of the Institute’s functioning could hardly have been considered fruitful. The twice repeated change of power in the Urals happened afterwards and caused the twice repeated evacuation (partly voluntary and partly coercive). These events had upset the Institute, which had not yet gotten firmly established.

In the summer 1918 Ekaterinburg was occupied by the Siberian Temporary Government. Although the fall term had been declared for classes, the latter were in difficult straits.

The Institute always terribly lacked money. In the spring of 1919 the mobilization of students was declared. As a result, the Institute was deprived of more than a half of its students” [4].

It was already in 1967 when the book called “50 years of The Sverdlovsk Mining Institute named after V. V. Vakhru-shev, the Ural’s First Higher Technical Education Institution (1917–1967)” was published in Moscow. The authors of this book included famous scientists, who had been working at the Institute during that period of time, for example Professors G. N. Vertushkov, D. N. Ogloblin, A. Ye. Trop, A. Ya. Yarosh, G. P. Sakovtsev and others.

The book starts with an introductory message called “50 years of The Sverdlovsk Mining Institute”. This introduction gives a concise digression to the history of the mining engineering in the Urals. In particular, it concisely describes the very beginning of the process. “The mining operations in the Urals has been developing since the times of Peter I, when the development of deposits of many ores and gems was started” [5].

When the authors describe how the Civil War had influenced the Institute, they write, “The units of the Red Army came closer to Ekaterinburg, and it was on July 14th, 1919 that Weimarn, the rector of the Institute, and his supporters with the retreating White forces evacuated to the East, having seized a portion of the Mining Institute’s property” [6].

“On July 15th, 1919 Ekaterinburg was freed by the Red Army units. The regional Soviet and the Communist Party organizations had shown special concern about the Mining Institute since the early days after the liberation of the city. They also helped the Institute a lot” [7].

Later on, the authors are considering the development of the Institute during the period after the Civil War. Special emphasis is given to the personalities of the professors who took key positions in the Ural Mining Institute. Several paragraphs are dedicated to the period of the Great Patriotic War (1941–1945). The names of some students and scientific workers of the Sverdlovsk Mining Institute who participated in this war, are listed. Those, who stayed at the Institute, were working in the rear organizations. “During the sharp frosts of the Ural winter of 1941/42 the students and members of the staff of the institute together with the builders were constructing the biggest workshop of the factory. They did not pay attention to the time nor to the difficulties. Others were selflessly taking the crops in the kolkhozes and sovkhoses of the oblast from dawn to dusk” [8].

One of the events of the post-war period was the organization of Higher engineering courses. “In order to provide the coal-mining industry with engineers and technicians and in order to improve the quality of teaching, the Higher engineering courses were launched” [9]. The book is supplied with photographs, which includes pictures of the buildings of the Sverdlovsk Mining Institute. It also contains black and white pictures of the Institute professors individually and all together.

Valentina Maslennikova, was one of the most famous historians who was interested in the history of the Sverdlovsk Mining Institute. She was born on December 20th, 1915. In 1940 she graduated from The Sverdlovsk Communist Institute of Journalism and was a staff member of “Primorskiy komsomolets”, a newspaper published in Vladivostok. She was a head of the school department in the editorial board of this newspaper. In 1942 Valentina Maslennikova was drafted for military service and was serving in the political department of a division. Having been demobilized in 1944, she became an instructor of the propaganda Department in the District house of officers of the Ural Military District. When she had completed her postgraduate studies under the sub-department of Marxism-Leninism



Рисунок 1. Горный факультет Уральского политехнического института

at the Ural State University, she began to work as an assistant lecturer in the Agricultural Institute. In May 1950 Valentina Maslennikova began to work in the Sverdlovsk Mining Institute, she had worked there until 1989. Her positions included assistant lecturer at the Sub-department of history of the CPSU, head of the Institute museum, and editor of “Gornyak”, a newspaper of the Institute.

We will now consider her article called “Addressing the History of the Sverdlovsk Mining Institute” (Part 1. 1914–1930). This article contains quotations from archive documents of the State Archive of the Sverdlovsk Region, the Communist Party Archive (now called Documentation center of public organizations of the Sverdlovsk Oblast), newspapers, such as “Ural’skiy rabochiy” and “Student-rabochiy”, works by Vladimir Lenin, resolutions of congresses, conferences and plenary sessions of the CPSU, memoirs, etc.

The author begins considering this issue as early as the 18th century. “The birth and development of the Ural’s mining industry relates to the first quarter of the 18th century. The problem of the availability of experts arose at that time” [10]. The researcher briefly presents the history of the early days of the Mining Institute in Ekaterinburg: “The law provided for the organization of the Institute worth 2 million 942 thousand rubles. The teaching staff consisted of 19 professors in ordinary and professors extraordinary, 15 teachers on the staff, 6 lecturers, 19 laboratory assistants etc. The Building Commission was created, the architect Bernadazzi became its member. Thus the first institution of higher technical education was launched in the Urals” [11].

When Valentina Maslennikova considers the history of the Ural Mining Institute during the times of the Civil War, the author refers to a Bolshevik newspaper, which accused the governing body of the Institute: “Izvestia” of workers’ and soldiers’ delegates published an article, where the Institute council was accused of counterrevolution. However, there was no unity inside the council. During one of its meetings they put a question of confidence in Weimarn. However, most of the members of the council supported the confidence, and he remained in his office of a rector” [12].

Later in her article, Valentina Maslennikova pays attention to the creation of the Communist Party cells in the Institute. For instance, “In July 1919, when the supporters of Kolchak were driven out of the city, some of the members of the old circle returned. When the Communist Party cell was created, they joined it and were confirmed as members of the Russian

Communist Party (Bolsheviks). When the cell was created, this was the beginning of the struggle for the proletarianization of the Soviet higher school and for the ideological reconstruction of the Institute's functioning" [13].

When the author speaks about a geological exploration department, she mentions, "Teaching social sciences has also been stabilized. The number of disciplines decreased, and more attention was paid on studying Marxist-Leninist theory. A course of Leninism was introduced. In 1926, the cycle of social sciences included Political Economy, Historical Materialism, Leninism and Economic Policy" [14].

The final part of "Addressing the History of the Sverdlovsk Mining Institute" (Part 1. 1914–1930) is dedicated to the scientific activity at the Mining Institute. The main idea was to connect the theoretical scientific research with the production process, because "in the old school, the science existed on its own, and was not connected with the manufacturing process" [15]. The author tells about the Institute professors, such as Petr Sobolevskiy, Konstantin Matveev, Alexey Shubnikov, Aleksandr Gapeev, Pavel Preobrazhenskiy and many others. According to Valentina Maslennikova, these professors had made a rich contribution to science as well as to production.

Petr Sobolevskiy "...was into surveying research, magnetometry and survey" [16]. He "...generously shared his knowledge not only with his students, but also with production workers. On his initiative, the qualification courses for production workers were held on a regular basis" [17]. Under the guidance of professor Aleksandr Gapeev the map of the minerals of the Urals was charted. Boris Romanov, the professor of the Mining Institute, had charted the first geological map of the Urals. "It became an important and valuable manual for the development of the prospecting work" [18]. Pavel Preobrazhenskiy was also one of the key figures in the scientific process of that time. "In 1925 P. I. Preobrazhenskiy first discovered oil on the Chusovaya River" [19]. Using many previously unpublished archive documents as well as periodical press is a very important characteristic of this concrete historical work.

At the end of the 20th century the views on history have changed drastically. For example, the historical science underwent dramatic changes in methodology, the Communist ideology no longer prevailed in articles and monographs, the pluralism of opinions was introduced. The topics which were earlier concealed from the readers, became available to the scientific community as well as to the readership. The previously unavailable archive documents as well as works written by historians, political scientists, economists, philosophers and sociologists from other countries, books and articles by the pre-revolutionary scientists became the property of researchers. They also became the common property of the wide readership in general. The content of the documents was also explained from the new viewpoints. For example, such topics as the history of the White movement, in particular, the Cossacks, and their role in the Civil War in Russia, the historical destinies of the Russian White-Guard émigrés became open for scientific discussions. The history of the church, religions, religious traditions, spirituality, faith and piety etc. has acquired a totally new interpretation. The ideology of the scientific atheism was no more prevailing. The works of the church historians from among the clergymen of different faiths were also openly published. Even the Great October Socialist revolution, its historical prerequisites, reasons and its role in history were reappraised from totally new points of view.

On this new ideological background, the history of the Ural State Mining University has also been reappraised. The previously forgotten first rector of the Mining Institute in Ekaterinburg Petr von Weimarn, who was a White-Guard émigré began to be talked about.

erzburg Petr von Weimarn, who was a White-Guard émigré began to be talked about.

We must say, that the process of "rebuilding" the historical science was spontaneous, however, it took some time too. During the first stage of "the perestroika" the historians and other experts in social sciences had a tendency to stay loyal to the ideology of Marxism-Leninism in their research works. Namely, they continued to quote the classics of Marxism-Leninism. The formative point of view was still prevailing.

So, we will now analyze the works by the Russian historians. Among those who dedicated their thoughts and time to the history of the Ural State Mining University were the geophysicist Vladimir Filatov, historians Natal'ya Khisamutdinova and Lyudmila Dashkevich, alumnus of the Department of Philosophy, editor and publisher Aleksandr Shorin and some others of whom we will talk later.

Vladimir Victorovich Filatov "was born on September 10th, 1947 in the Surskoye settlement of the Ulyanovsk Oblast' into a family of a white-collar worker. He is an expert in the field of the exploration geophysics ... Graduated from The Sverdlovsk Mining Institute called in the Name of the Order of the Red Banner of Labor and named after V. V. Vakhrushev in 1977. His specialization was called "Geophysical methods of prospecting and exploration of mineral deposits". His works are dedicated primarily to the development of the theory of interpreting magnetic fields of strong-magnetic objects and methods of high-accuracy aerial magnetometer survey..." [3].

Since 2011 Vladimir Filatov has been working as a professor and Head of the sub-department of strength of materials in the Vladimir State University named after Aleksandr and Nikolay Stoletovs. He has trained 7 Candidates of Sciences and published 275 works: 11 monographs on different problems of geophysics and 15 monographs on the history of mining in the Urals. Two of the monographs were rewarded with the Onisim Cler Prize, the two other monographs got the First degree diplomas of the International competition called Intercllover (2015, 2018). Also, Vladimir Filatov has written many articles on the history of the Ural State Mining University, which we will consider later in this article.

One of the fundamental works written by Vladimir Filatov is the biographical reference book called "Professors of The Ural State Academy of Mining and Geology" and later "Professors of The Ural State Mining University" published in 1997, 2002, 2004 and in 2009. Each of these books gives biographical information about the people which had already acquired the professorship by the time when the edition was published. The book contains information about the professors who have ever worked at The Ural State Mining University, many of them had already passed away by the time the book was published. It also informs about topics of the Ph.D. thesis as well as doctoral thesis of almost every professor. In addition to this, it briefly describes the field of research of every single scientist, tells about the awards they received, etc.

Another book called "The Temple of the Miners. Saint Nicholas Church of the Ural State Mining University" edited by V. I. Karpovich and Professor V. V. Filatov was published in Ekaterinburg in 2010. The text of the book is preceded by "A Word from an Archpastor" by Vincent, who was an Archbishop of Ekaterinburg and Verkhotur'ye at that time. "A Word from the Rector" comes next. This is the message from Professor N. P. Kosarev, a rector of the Ural State Mining University in 2010.

This book briefly tells about the orphanage of the merchant Nurov. Vladimir Filatov quotes a document from the State Archive of the Sverdlovsk region: "This orphanage was opened

on April 27th, 1857 in a semi-stone house, which stood on the northeast corner of the Siberian Avenue and Tikhvinskaya Street. Originally, it was small, there were no bedrooms there, and children, there were 30 of them, could visit it in the afternoon only. In 1865 the Ekaterinburg municipal society desired to keep 20 guests in the orphanage, named after the Emperor, on its own expense. It also pledged itself to allocate 400 rubles a year from the city budget for this” [20]. Professor Filatov again quotes the same archive document and writes that ten years later “the house Church in the name of St. Nicholas of Myra was built “by the support” of M. A. Nurov. The church service began on February 3rd, 1877” [21]. Later on the author describes the history of this temple along with the history of the orphanage in detail. The book ends with the year 1920, already after the October revolution, when “it was called “The House of Freedom”. Thus ended its history” [22].

Vladimir Filatov is also an author of the articles dedicated to the history of the Ural State Mining University. One of them is called “About “The News of the Ural Mining Institute”. In this scientific release the Professor talks mainly about the succession between the first issue of “The News of the Ural Mining Institute” which came out in 1918 and “The News of the Ural State Academy of Mining and Geology” (such was obviously the name of the Journal at the time the author is reasoning about). Vladimir Filatov described in detail the situation around the supposed succession between the two scientific journals. He reminds his contemporaries about the fact, that the Ekaterinburg version of this journal was published in 1920. “The members of the Ural Mining Institute staff, who remained in Ekaterinburg, also decided to publish “The News of the Ural Mining Institute”. However, they did not possess a very high-level editorial and publishing culture as well as the experience of Weimarn” [23]. Among the sources the author while writing this article were the archival collections of the State Archive of the Sverdlovsk region, memoirs, and other sources as well.

Another article of Professor Vladimir Filatov is called “From the Sub-department of Geophysics to the Department of Geophysics”. It was published in the issue 3 (51) of the “News of the Ural State Mining University” in 2018. In this work, Vladimir Filatov briefly tells about the life of a separate department, in the beginning he especially emphasizes the role of Petr Sobolevskiy, the founder of the new research and educational geophysical school. The author values highly the work of Petr Sobolevskiy and of the scientists he had raised. However, “among the followers of Petr Konstantinovich (Sobolevskiy – E. K.) there have never been any pronounced theorists and thinkers. Like their teacher, they were superb methodologists, but their world outlook was not notable for his breadth and profundity” [24]. Later in his article, Vladimir Filatov briefly tells about the times of the Great Patriotic War, when the scientific and research work was especially difficult and tense. After the war “the Department of Geophysics was formed in the Sverdlovsk Mining Institute” [25]. On September 9th, 1951 “the two new departments, the Department of Geophysics and the Department of Oil Industry” have been allocated from “the Department of Geological Survey and the Mining and Mechanical Department” [26].

One more article of Vladimir Filatov called “The Sub-department of Geophysics and its Variations”, was published in № 1 (53) of the News of the Ural State Mining University, Ekaterinburg, 2019. The author briefly tells about the scientific destinies of the professors who had worked at this department. For instance, Vladimir Filatov describes the period of 1953–1955 in the history of the Department through telling about the staff members. Later on, the author of the article tells about

the subsequent activities of the professors as well as general historical destiny of the sub-department. Some information is given about Gleb Sakovtsev, who “headed the Ore Geophysics Sub-department from 1957 to 1985” [27]. Vladimir Filatov briefly tells about his childhood, early days, his parents and ancestors. A brief biography of Anatoly Kozyrin, a professor of the aforementioned sub-department, is also given in this article. The author calls Anatoliy Kozyrin a “legendary” person. Kozyrin graduated from school with high honors. Having entered the Ural State University, he was a successful student, however, when he was a sophomore, he took a great interest in flying. He recalled that while being a sophomore, he “had graduated from the courses of observer pilots, having gotten a “good” grade in theory and flying. Moreover, I obtained a second rank of a paratrooper” [28]. When the Great Patriotic War began, Anatoliy Kozyrin was drafted to the army in September 1941. He briefly told about his military service in his autobiography, which is also quoted by Vladimir Filatov in his article. When Anatoliy Kozyrin was fifty, he obtained a Doctor’s degree. He has founded “a new scientific concept in exploration geophysics, which Anatoliy Konstantinovich (Kozyrin – E. K.) called *borehole geophysics*” [29].

In the end of his article, the author briefly summarizes the work of this sub-department. He states that many experts from different countries had acquired their qualifications there. He also says that many honored workers, laureates of different government awards of the USSR had been students of the Department of Geophysics. Some of the alumni of this Department founded their own sub-departments and research schools.

A Professor of History from Vladivostok State University of Economics and Service Natal’ya Khisamutdinova is also one of the scientists highly interested in the history of the first post-secondary educational institution founded in the Urals.

Natal’ya Vladimirovna Khisamutdinova was born in 1950 in Bogorodskoye-on-Amur, which is in Khabarovsk Krai. She graduated from the Far Eastern State University in 1972, her specialization was in Philology and ESL Teaching. She dedicated twenty-five years to working in journalism. She was a staff member of the Committee on television and radio in Primorski Krai. Now Natal’ya Khisamutdinova is a Professor of the Sub-department of Intercultural Communication and Translation Studies of Vladivostok State University of Economics and Service. Doctor of Historical Sciences (2011, the Herzen State Pedagogical University of Russia). Her scientific interests include history of higher education and science primarily in the Russian Far East. Thanks to the immigrants from among scientists, teachers and engineers the scientific knowledge was highly developed in the Asian-Pacific region. The latter circumstance contributed to the field of interests in intercultural relations of the Far East of Russia and countries of the Asian-Pacific region.

One of the books by Natal’ya Khisamutdinova is called “Far Eastern Professors: The Four Portraits on the Background of the Era. P. P. von Weimarn, A. P. Georgievskiy, M. K. Eliashevich and B. P. Pentegov”. This book was published in Vladivostok in 2011.

“A Mission of a Chemist in Vladivostok and Japan” tells about Petr von Weimarn. The researcher provided some of the grades from the Petr von Weimarn’s high school diploma from the Alexander military school: “Almost all disciplines have high grades: Geography – 10, Physics – 10, History – 10, Natural history – 10, Jurisprudence – 11, Literature – 12, Religion – 12. It is a bit surprising, that a young man with German roots got only 7 grades in German, as well as in French. He did not like Mathematics either. He had 7 grades in Algebra, 8 grades in Analytical geometry and 9 grades in Arithmetic” [30].

A paragraph called "Founding the Ural Mining Institute" briefly tells about the activity of Peter von Weimarn as a rector of the aforementioned Institute. "In the spring of 1915, P. P. Weimarn received an offer from the Ministry of Trade and Industry to become a rector of the Mining Institute, which was supposed to be built in Ekaterinburg" [31].

Professor Natal'ya Khisamutdinova briefly but comprehensively narrates about the evacuation of the part of the Mining Institute to Vladivostok. The researcher lists the names of the professors who decided to leave.

When Petr von Weimarn reasoned about publishing scientific articles in foreign languages, he thought it was a good idea to publish articles in English or in German. Thus the achievements of researchers from Russia would become known to many scholars from around the world, he believed. When Petr von Weimarn talked about English and German in particular, he referred to the experience of Japanese scientific journals which published articles in the aforementioned European languages.

Peter von Weimarn was the editor of "The News of the Ural Mining Institute" published in Vladivostok. Both the rector of the Institute and his colleagues experienced great difficulties caused by the wartime. "Nevertheless, regardless of all problems, the scrutiny of the editing and high polygraphic quality definitely make themselves conspicuous. The title page and contents are written in four languages: Russian, English, German and French. Some of the articles were either published with their translation into English or German or contained a short synopsis in a foreign language. It was noted, that this became possible due to the help of the Ural Mining Institute professors and teachers of the Higher Vladivostok Polytechnic school, for instance R. G. Bernstein, A. A. Wegner, M. O. Cler, N. I. Morozov, A. R. Redlich, Ye. P. Sysoeva and A. M. Janek. Nadezhda Nikolaevna Weimarn was a proofreader" [32].

"The Essays on Energy of Culture" was a philosophic work by Peter von Weimarn. The author briefly tells about Peter von Weimarn being carried away by the ideas of a German scientist Wilhelm Friedrich Ostwald (1853–1932). Weimarn wrote about creative energy and efficiency being dependent on the age of the person. Natal'ya Khisamutdinova tells about Weimarn's notions such as "the wise bound of knowledge", and others. Petr von Weimarn criticized the modern studying for "breaking the laws of energy".

In the end of her work, Natal'ya Khisamutdinova tells about the emigration of Peter von Weimarn and his wife to Japan. He lived and worked in Kobe. When he suddenly got ill, he went to Shanghai, China, to get some treatment, but Peter von Weimarn died there on June 2nd, 1934. "Nadezhda Nikolaevna Weimarn outlived her husband for almost thirty years: she passed away on January 21st, 1964. Their graves are situated next to each other" [33].

The research work of Petr von Weimarn became a precursor of many problems in modern Chemistry. The author gives a reference to a source from the Chemistry Department at Moscow State University saying: "According to modern chemists, the methods of production of disperse systems, and the theoretical concepts developed by Weimarn, may be effectively used today in nanochemistry and nanotechnology" [34].

The researcher Maksim Konradovich Eliashevich was an alumnus of The Mining Institute in Petrograd. Later he studied geology in the Far East. Before that, "having received a diploma from the Mining Institute, Eliashevich headed for the Urals together with his wife. He saw a wide field of activity in that region. He got married in the spring of 1915, still being a student" [35]. Natalia Khisamutdinova supposes that Maksim Eliashev-

ich had been invited by the rector of the Ural Mining Institute Professor Peter von Weimarn to work in the Urals, because he knew Eliashevich as a talented student of the Mining Institute. Maksim Eliashevich was working in Ekaterinburg with enthusiasm. Natal'ya Khisamutdinova gives a reference to the document from the Russian state historical archive of the Far East, saying "he was even chosen to be an acting Professor on the sub-department of crystallography" [36]. Eliashevich also worked as a practicing geologist in the Verkh-Isetsk factories. However, the period of his work in the Urals was not long. "... in September 1919, after the decision of the A. V. Kolchak's government to evacuate the Ural Mining Institute to the Far East, he found himself in Vladivostok together with a group of professors and students" [37]. Later, Maksim Eliashevich worked in the Far East, after that he emigrated and settled in the USA.

Yet another famous chemist, Boris Petrovich Pentegov, was born in the Perm guberniya in 1887. He studied in a parish school, in a district school and in a municipal school and was a success in his studies. In 1904 he entered the Ural mining school. However, during his studies he was engrossed in politics; he participated in demonstrations of workers, etc. and was arrested several times. When he entered higher courses in biological, pedagogical and social Sciences run by Professor P. F. Lesgaft, he gradually forgot about his political work.

Pentegov began his career in Saint Petersburg, but later he moved to the Kyshtym mining and chemical factories in the Urals. After the October revolution he got the position of a steward of the Kyshtym chemical and metallurgical factories. "In 1919 Pentegov received an invitation from the Ural Mining Institute in Ekaterinburg to hold the position of a professor at the sub-department of physical chemistry and deliver lectures. However, he did not have to work in the Urals for a long time: in the summer the government of Kolchak made a decision to evacuate the Institute to Vladivostok" [38]. When Boris Pentegov came to Vladivostok with his family, he continued with his research work as well as teaching at the sub-department of physical chemistry of the Mining Department. "He simultaneously taught inorganic chemistry in the Teachers Training Institute, which was opened in Vladivostok in 1917 (Since 1921 it has been called The Far Eastern State Pedagogical Institute named after K. D. Ushinskiy)" [39]. In 1921 both Boris Petrovich Pentegov and Peter Petrovich von Weimarn went to Japan to do some research in the University of Tokyo. "However, in the fall of 1922 Weimarn emigrated to Japan, and Pentegov had a chance to have his say in the science of Chemistry" [40].

One of the most famous books by Natal'ya Khisamutdinova is called "Petr Weimarn's "Energy of Culture". It was published in 2013 in Vladivostok. This book describes a philosophic treatise by Petr von Weimarn called "Essays on Energy of Culture". Apart from this, one part of her book is called "Peter Petrovich von Weimarn (A Biographical Essay)". The book contains the two obituaries by Wilhelm Ostwald and another one by N. Amurskiy. Furthermore, the book contains a reprint edition of "Essays..." by Petr von Weimarn.

Among the more recent works written by Natal'ya Khisamutdinova we can point out an article called "The Professors of the Urals and their Contribution to the Science of the Far East", published in the Bulletin of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences called "Science, Society, Man" in 2009.

"The memorial to von Weimarn on the Foreign cemetery in the Japanese city of Kobe does not stand conspicuously among others. His name is hardly known here. However, the residents of the Far East can infer a lot from it. The professor Petr Petrovich Weimarn is by rights considered among the founders of the

higher education in the Far East” [41]. Thus begins the article. Natal'ya Khisamutdinova calls Peter von Weimarn a founder “of the higher education in the Far East”. Later, the author briefly tells about the basic events of the history of the Ural Mining Institute. Her interpretations of the events remain the same as in the previous works considered in this article.

An article “The Ural Chemist Boris Pentegov and His Contribution to the Science of the Far East” was published in “News of the Ural State Mining University” in the № 1(45), 2017. This work communicates about the life of the Professor Pentegov, his early days, studies, and work experience, including working in the Ural Mining Institute at the Physical Chemistry Sub-department.

By and large, the books and articles by Natal'ya Khisamutdinova abound in quotations from archive materials as well as other works by modern historians and experts in other sciences. She also uses electronic resources of many higher educational institutions. As a historian, Natal'ya Khisamutdinova shows great sympathy towards Petr von Weimarn and like-minded people including professors from the Ural Mining Institute. They experienced the gravity of the war and evacuation together with their rector, who was, no doubt, a very charismatic person. In addition to this, Petr von Weimarn possessed fortitude; the most important thing was that regardless of all endurances, he did not lose his face, he remained to be a personality.

Unlike in the Soviet times, Natal'ya Khisamutdinova, of course does not quote the works by Vladimir Lenin. Rather, the researcher uses a lot of previously unpublished archive documents primarily from the Far Eastern archives situated in Vladivostok where the author resides at the moment. She gives the impression of a very scrupulous researcher, who carefully selects the sources for her books and articles.

Aleksandr Shorin is also one of the most productive researchers who wrote about the history of the Ural State Mining University. Aleksandr Georgievich Shorin was born in the settlement of Arti, which is in the Sverdlovsk Oblast', in 1973. He received a Bachelor's Degree in Geology from the Ural State Academy of Mining and Geology (now the Ural State Mining University) in 1998. In 2000 Aleksandr Shorin got a Master's degree in geology from the same higher school. In 2010 he got a higher education diploma in Philosophy Teaching from the Ural State University named after Maksim Gor'kiy (now part of the Ural Federal University named after Boris El'tsin). A. G. Shorin is an author of many scientific articles on Geology, the history of the mining and of course on history of the Ural State Mining University. He has worked as an editor of “Gornyyak”, a newspaper of the Ural State Mining University from 1997 to 2000, and as a journalist of the “Oblastnaya gazeta” from 2004 to 2015. In 2015 he was an editor of “The News of the Ural State Mining University”, in 2016 Aleksandr Shorin got a position of an executive secretary of the aforementioned journal. Since 2018 Aleksandr Shorin has been a deputy editor-in-chief of “The News of the Ural State Mining University”.

First of all, we will consider the article called “The History of the Journal “News of the Ural State Mining University” published in 1(41) of the aforementioned Journal in 2016. In this article the author discusses the following issues. Which of the numbers should be considered the first one? Here Aleksandr Shorin provides a brief account of the very first days of The Mining Institute in Ekaterinburg as well as The Ural Mining Institute of the Emperor Nicholas II. “35 days later, Nicholas II abdicated as an Emperor and became “Mister Romanov” ...” [42]. Therefore, the Institute no more bore the name of the abdicated ruler of Russia. Aleksandr Shorin quotes the works of Vladimir Filatov

and provides a brief account of his reasoning about which issue of the “News...” should be considered first. The article is provided with some photographs of the title pages of the three issues of the “News...”, published in 2001, 1993 and 1918/1919 academic year. Aleksandr Shorin provided references to the articles and books by Vladimir Filatov as well as to the News of the Geological Committee published in Petrograd in 1920.

In his “Article for the Russian Version of Wikipedia” published in issue 2(42) of “The News of the Ural State Mining University” in 2016 and dedicated to Petr von Weimarn, Aleksandr Shorin provides a list of main milestones in the Professor's life. Following that, the author briefly tells about the studies of Petr von Weimarn, his work at The Ural Mining Institute, his scientific research. Aleksandr Shorin used many electronic resources, including encyclopedias. He also gives references to the works by Vladimir Filatov, Natal'ya Khisamutdinova, etc.

“The Two Years We Forgot About (the Ural Mining Institute in 1917–1919)” is yet another article by Aleksandr Shorin. It was published in issue 4(44) of “The News of the Ural State Mining University” in 2016 too.

The narrative in this article begins with “A Backstory” where the author gives exhaustive answers to the three “whys” about building the Ural Mining Institute. They are as follows: “Why in the Urals?”, “Why it was precisely the Mining Institute?” and “Why in Ekaterinburg?” Aleksandr Shorin also writes about the historical events, that took place at that time, their influence upon the educational process in the Institute, etc. The author emphasizes the role of Petr von Weimarn who had his own outlook on pedagogy. He wanted to apply his ideas in the Ural Mining Institute. In the end of the article, Aleksandr Shorin gives a quotation from the letter to Petr von Weimarn sent to him by his students.

A very profound article called “Buildings of the Mining University” was published in the three consequent issues of “The News of the Ural State Mining University”, namely, in issues 1 (45), 2017, 2 (46), 2017 and 3 (47), 2017. The first part of this article starts with a concise historical review about the Mining Institute. After this, the author tells about “the dream of Peter von Weimarn, that did not come true”. The first rector of the Ural Mining Institute had a desire to build a campus especially for the Mining Institute. “The ceremonial laying of a building for the Mining Institute (it was in the forest on a cleared area which was decorated with flags) took place on July 17th, 1916” [43]. The power in Ekaterinburg changed several times during the Civil War, so it was impossible to finish building a campus for the Ural Mining Institute. Therefore, there was a necessity to hold classes in different buildings. This article tells about those buildings in detail.

Since 1919 the Mining Institute had functioned in Vladivostok. Here, in the Far East of Russia, the Mining Institute used the barracks of Alexey Schefner, the building of the Commercial school, the building of the Dal'zavod (a shipyard founded in 1887), the building of the Eastern Institute. After that the author talks about Ekaterinburg of 1919–1920 academic year. The following buildings were used here: The Balandins' house, American hotel, and Pshenichnikov house. Later on, the author supposes, which of the buildings the Institute could have received in 1920.

The next issue contains the second part of the article called “Buildings of the Mining University”. Alexander Shorin gives a short note about the modern buildings of the Ural State Mining University. Here are the names of these buildings: The Second female gymnasium, the Medical Department of the Ural University, which is now one of the campuses of the Ural State

Pedagogical University. The author mentions the Saint Nicholas Church of the Ural State Mining University and the orphanage of the merchant Nurov which were built or restored after *the perestroika*. Alexander Shorin also mentions the geological museum and a house of Modest Onisimovich Cler, whose nickname was “grandfather Mo”.

In the next issue of “The News of the Ural State Mining University” the concluding clauses of the article by Alexander Shorin are published. “When we tell about the buildings of the Mining University, we should note, that the training rooms are just a part of the whole infrastructure of the postsecondary educational institution. Therefore, in our last chapter we will tell about dormitories, sports facilities and places of internship for students of the URSMU” [44]. The author tells about the Novo-Tikhvinsky convent, which is situated near the University, the sports stadium called “Yunost” (English: “Youth”), the dormitories and about the students’ hostels. Alexander Shorin briefly tells about the internship places for the students, one of such places is situated in the Sukholozhsky district, on the bank of the Pyshma River.

It is a noteworthy fact, that since the issue 1 (49), 2018 the editorial board of “The News of the Ural State Mining University” has launched a new series of articles about the professors of the university and the minerals called after them. The issue 1 (49), 2018 tells about Professor Alexey Shubnikov (1887–1970), an expert in crystallography, Academician of the Russian Academy of Sciences and founder of the Institute of Crystallography of the Russian Academy of Sciences. Alexey Shubnikov taught at the Ural Mining University from 1920 to 1925. A mineral “shubnikovite” was called after him.

The issue 2 (50), 2018 contains an article about Vadim Shuiskiy (1935–2000). A concise biographical note is given at the end of the article. A mineral, “shuiskite”, got the name of this professor.

The issue 3 (51), 2018 has an article and an article about Yuriy Kobayashv (1935–2009), a famous mineralogist, who did not have a higher education. A story about Yuriy Kobayashv, that goes along with the article called “Gorshchik” (from Russian “gora” – “a mountain”). This term is still used in the Urals to mean “a prospector”. A mineral, “kobayashvite”, was given a name of this legendary scientist.

The issue 4 (52), 2018 presents an article about Anatoliy Bushmakina (1947–1999), a famous mineralogist, who had discovered more than ten new minerals. A mineral, “bushmakinite”, bears his name.

The issue 1 (53), 2019 contains an article about Svyatoslav Ivanov (1911–2003). He “was a famous Ural geologist and expert in the field of mining geology, petrology, tectonics and abyssal structure of the Earth crust” [45]. A mineral, “svyatoslavite”, was called in the honor of Svetoslav Ivanov.

The issue 3 (55), 2019 presents an article by Alexander Shorin and Yuriy Erokhin. This article is called “Dmitry Sergeevich Steinberg (1910–1992) and dmisteinbergite”. The article begins with a statement, that most of the biographies of Dmitry Steinberg are “...too much focused on his scientific achievements” [46]. Following this maxim, the authors give a very detailed biography of the scholar. They especially emphasize his life in the course of history of the country, in particular, military service and teaching cartography in an infantry school during the World War II. There is also information about his two sons Alexander and Dmitry. The first one was “a geological engineer and Honorable subsurface prospector (1994)” [47]. The second one was “a geologist, writer and also a philosopher” [48]. This biography also includes the account of Steinberg’s

scientific research work as well as the aforementioned facts from his biography.

A detailed description of dmisteinbergite is presented along with schemes and photographs of this mineral. Its properties and texture are described as well.

An article called “The Pedagogical Experiment of the Ural Mining Institute’s First Rector, P. P. von Weimarn as an Attempt to Reorganize Higher School in 1917–1920” by Niyaz Valiev in association with Alexander Shorin was published in “The Notes of the Mining Institute” in 2017. Niyaz Gadym ogly Valiev “was born on February 17th, 1961 in Kizyldash, a settlement in the Armenian Soviet Socialist Republic in a family of workers. He is an expert in the field of gravel deposits exploitation, Doctor of Technical Sciences (2003), Professor (2004)” [3].

The aforementioned article has an introductory note about Petr von Weimarn, his life is briefly described in the beginning of the article. Later on, the authors provide a description of the works by Petr von Weimarn concerning Philosophy and Pedagogy. A journal called “Molodaya Rus” is also mentioned there as the one which had published the works by Petr von Weimarn. A concise note is dedicated to the “Essays on Energy of Culture” by Petr von Weimarn, later in the article the original work is quoted.

The next paragraph is dedicated to the reform of science. “Having arrived at a theoretical conclusion, that the cultural level of Russia directly depended on the salaries of the scientists, von Weimarn offered his own option of the equitable disposition of funds. He had worked out and applied this option in the Ural Mining Institute by means of voting of the members of the Institute Council” [49]. According to the opinion of the authors, these principles can be topical nowadays, in a modern higher school. When Petr von Weimarn emigrated, he did not publish any philosophic works, some of them are lost or still unpublished, the authors suppose. The Soviet power of course did not accept his ideas, Petr von Weimarn was “a persona non grata” as a White-Guard émigré.

The authors of the article use the works of Petr von Weimarn, Wilhelm Ostwald, Natal’ya Khisamutdinova and other authors as sources for this article.

An article called “The Ural Mining Institute and the Moscow Mining Academy: the interaction of the two postsecondary educational institutions” was written by a group of authors, namely by Doctor of Economic Sciences Alexey Dushin, the present-day rector of the Ural State Mining University, the first provost Professor Niyaz Valiev, Professor Yuliya Lagunova and Aleksandr Shorin, executive secretary of “The News of the Ural State Mining University”. The article discusses the main aspects of the interaction of the two higher schools. Namely, it tells about the co-operation of the miners of the Urals with those in Moscow during the Soviet times. Special emphasis is given to the activity of academicians and professors, such as A. V. Shubnikov or P. K. Sobolevskiy. The final part of this article is dedicated to the present-day co-operation of the two institutions. The authors used the works of Natal’ya Khisamutdinova, Vladimir Filatov, Aleksandr Shorin and other researchers as a source base of their article.

Professor Eduard Emlin “was born on February 4th, 1940 in Sverdlovsk, in a family of a mining electrical engineer. He is an expert in the fields of mineralogy and geochemistry, Doctor of geological and mineralogical Sciences (1989), Professor (1989)” [3]. We will consider a book called “The Essays on the History of the Sub-department of Mineralogy of Ural Mining Institute” by Eduard Emlin. This is a very profound historical research work. The narration starts with a detailed review of

the primitive history of mankind in the context of stone dressing. Special emphasis is given to the Stone Age, and the following periods in the Urals. The book tells about the famous personalities such as Onisim Cler, Vasilij Tatishchev, Aleksandr Kalugin, Aleksandr Fersman, Konstantin Matveev and others. Eduard Emlin describes their work, he pays special attention to the activity of those, who worked at the Sub-department of Mineralogy. According to Eduard Emlin, “the mining industry was thething the progress was driven by in the Urals. Therefore, mineralogy was an applied science which solved practical tasks. Accordingly, the coming of mineralogy into being was defined by the development of the mining practice” [50]. The author quotes the excerpts from the memoirs of the scholars about each other. The memoirs of the scientists’ disciples and relatives are also presented in the book by Eduard Emlin. His work also contains the texts of the speeches of Konstantin Matveev, Grigoriy Vertushkov and other professors, who had worked at this sub-department in different times. The final part of the book contains short pieces of information about the men of science, who were in one way or another connected with the Sub-department of Mineralogy of the Ural Mining Institute or who had made significant contributions to the development of the science of mineralogy in earlier times.

Lyudmila Aleksandrovna Dashkevich was born in 1954 in the Kuvashi settlement, Zlatoustovsky District of the Chelyabinsk Oblast’ in the USSR. In 1978 she graduated from the Department of History of the Ural State University (now part of the Ural Federal University). Completed her postgraduate studies and obtained a Ph.D. degree in 1978. Lyudmila Dashkevich obtained a Doctoral degree in History in 2007.

Let us analyze an article by Lyudmila Dashkevich called “The First Rector Speaks about the Creation of the Ural Mining Institute: Plans and Reality”. This work contains a concise digression to the historical events concerning the opposition of Perm and Ekaterinburg as the two cities which had been equally worthy of having the first higher educational institution founded in the Urals. These disputes are concisely described in the work. “The problem was finally solved during the meeting of the inter-departmental conference which took place in May 1911 and was headed by L. A. Kasso, the public education minister” [51].

This publication contains the two documents, namely “The Speech of Professor P. P. von Weimarn at the solemn laying of a foundation of the Ural mining Institute. Ekaterinburg, July 17th, 1916” and “A Letter of P. P. von Weimarn to the Educational Department Manager at the Ministry of Trade and Industry A. Ye. Lagorio. Ekaterinburg, November 15th, 1915”. The researcher used previously unpublished archive materials from the Russian State Historical Archive as well as works by other historians.

We can conclude, that the whole body of the historical works written about the Ural State Mining University by the Russian-speaking authors in the Soviet Union and in post-Soviet Russia is unique and worthy of consideration. While considering these works we have found that the historians of the Soviet times showed their contemptible attitude towards Petr von Weimarn and other White-Guard émigrés. However, it must be noted, that the Soviet historiography was not at all aggressive towards them, the historians did not demonstrate outspoken hatred. Rather, the Soviet researchers emphasized the involvement of the Mining Institute students into the social and political processes which took place in the USSR.

During the period after the collapse of the Soviet Union many names which had been forgotten during the Soviet times, such as Petr von Weimarn, began to be discussed. It must be not-

ed that however, the history of the Ural State Mining University is rather long and rich, the personality of Petr von Weimarn takes one of the key positions in the works of both professional historians and amateurs. The new project of “The News of the Ural State Mining University” is a series of articles about other famous scientists, doctors and professors, whose names were assigned to minerals. The professional researcher Natal’ya Khisamutdinova from Vladivostok has written many books and articles about such famous scientists as Boris Pentegov, Maksim Eliashevich and others. Again, the personality of Petr von Weimarn is one of the most important in her articles and monographs.

By and large it can be said that the Russian Post-Soviet historiography is an heir of the Soviet historical science. The modern historiography of Russia has inherited some traditions from its precursor, it has also created its own potential, which will no doubt be profitable for the future generations of researchers.

The historical works we have considered, are no doubt, purely scientific in terms of their external characteristics as well as in terms of their attachment to chronological and factual data. All of the works considered are written in a purely academic style. Many of the authors of the books and articles considered are professional historians, such as Valentina Maslennikova, Natal’ya Khisamutdinova or Lyudmila Dashkevich. Others do not have a formal qualification in Social Sciences, such as Vladimir Filatov. He is a Professor of geophysics, who is highly interested in the problems of history of the Ural State Mining University. Aleksandr Shorin holds many different qualifications, one of them is in Philosophy. This fact might have aroused his fascination for the historical studies.

Indeed, the diversity of the viewpoints and comparing them can be useful, because as we know, cognition comes through comparison. Historiography has always been and remains to be strong on the basis of comparison. This is maybe the strongest weapon of this scientific discipline.

Consequently, it can be stated that each of the historical works considered reflects the opinion of the author. It is also true that the historical era when each one of them was written is echoed in the viewpoints the authors were trying to convey. The authors who were contemporaries of Petr von Weimarn, the first rector of the Ural State Mining University, highly valued his scientific merits. Aleksandr Janek wrote: “... The great contribution made by P. P. Weimarn was the creation of the theory of the crystallization process” [1].

The researchers of the later times such as Aleksandr Smirnov tell about the period of Civil War, evacuation to Vladivostok and other events in more detail. The researcher narrates about the times when the law on establishing the mining institute in Ekaterinburg approved by the State Council and State Duma was issued. “On July 3rd, 1914, the law which established the Ural Mining Institute in Ekaterinburg. Since the fall 1915, when professor P. P. von Weimarn became the head of the Institute, the practical work on putting this law into practice has begun” [4]. Later on, Aleksandr Smirnov briefly tells about the life of the Institute during and after the Civil War. The next paragraphs contain information about the curricula of the Department, training and support institutions and the faculty of the Institute.

The book called “50 years of The Sverdlovsk Mining Institute named after V. V. Vakhrushev, the Ural’s First Higher Technical Education Institution (1917–1967)” emphasizes the life of the Sverdlovsk Mining Institute during the Great Patriotic War, the post-war period is also very well covered. To the contrary the authors interpret the pre-revolutionary period of the history

of the Ural Mining Institute with great antipathy towards Peter von Weimarn, in particular. This can be easily understood: Petr von Weimarn did not support the Bolsheviks. Yet he became a White-Guard émigré at the end of the Civil War in Russia and thus he became a persona non grata in the Soviet Union.

Valentina Maslennikova uses references to the works by Vladimir Lenin, which was quite natural for the researchers of the Soviet times. The work called "Addressing the History of the Sverdlovsk Mining Institute (Part 1. 1914–1930)" was written during the Soviet Era, however it was published in 2013 only. The published version contains only one reference to a work by Vladimir Lenin, however, the typewritten article has three of them. This can be explained: it was only the abridged version of the article by Valentina Maslennikova that was published in "News of the Ural State Mining University". The author pays much attention to the Communist ideology, the work of the CPSU, etc. Valentina Maslennikova used Bolshevik newspapers as well as unpublished archive documents as sources for her work.

The historical works of the perestroika and post-perestroika periods were notable for the pluralistic approach to history. The works by classics of Marxism-Leninism were no more quoted as an obligatory condition for the publication of scientific works. The scientific books and articles by professor Vladimir Filatov are noteworthy for their lively language with a great portion of imagery. Nonetheless, the works remain to be scientific and they can certainly be regarded as historiography. Aleksandr Shorin holds many different qualifications, one of them is in Philosophy. This fact might have aroused his fascination for the historical studies. He has used a considerable amount of previously unpublished archive documents, which comprised the primary source of his works along with articles and monographs previously written by other historians. "The Pedagogical Experiment of the Ural Mining Institute's First Rector, P. P. von Weimarn as an Attempt to Reorganize Higher School in 1917–1920" is yet another article written in collaboration with Niyaz Valiev, a professor from the Ural State Mining University. The authors describe the activity of Petr von Weimarn in detail. In particular, they pay attention to his reasoning about culture of Russia of that time and to the philosophic ideas and thoughts of Petr von Weimarn.

Natal'ya Khisamutdinova, a researcher from Vladivostok, has made a rich contribution to studying the history of the Ural State Mining University. According to her own words, she was particularly interested in the history of education in the Far East. She has considered the biography and scientific pathway of Petr von Weimarn. She has also paid much attention to his managerial abilities of the professor as well as his philosophic heritage in her works called "Far Eastern Professors: The Four Portraits on the Background of the Era. P. P. von Weimarn, A. P. Georgievskiy, M. K. Eliashevich and B. P. Pentegov", "The Professors of the Urals and their Contribution to the Science of the Far East" and "Petr Weimarn's Energy of Culture". Natal'ya Khisamutdinova used many previously unpublished archival documents from the Russian State Historical Archive of the Far East, the State Archive of the Khabarovsk Krai and the Russian State Archive of Economics. The researcher also used quotations from different reports and scientific works written by the professors she wrote about.

Eduard Emlin's "The Essays on the History of the Sub-department of Mineralogy of Ural Mining Institute" indeed deserves much attention. The author has collected colossal pieces of information about the prehistory of mineralogy, which dates back to the Neolithic times. The book contains the texts written by the professors of the University, the shorthand transcripts of

the speeches of the scientists who worked at the University. The book is also rich in illustrations, such as maps or photographs and portraits of mining engineers, chemists, etc., who participated in the development of the mining industry.

A Doctor of Historical Sciences from Ekaterinburg Lyudmila Dashkevich has dedicated one of her articles to the history of the Ural State Mining University. Her work is called "The First Rector Speaks about the Creation of the Ural Mining Institute: Plans and Reality". In this article, the author briefly describes the situation around the creation of the first Institute in Ekaterinburg. She even quotes a poem written shortly after the decision had been made about the founding of the Ural Mining Institute. Lyudmila Dashkevich published the two previously unpublished documents from the Russian State Historical Archive. These documents represent the speech of Professor Petr von Weimarn at the laying of the Ural Mining Institute and a letter of Petr von Weimarn to A. Ye. Lagorio.

The history of the Ural State Mining University is very rich and diverse. This university was the only higher educational institution in the Urals, which had gone through the three historical epochs. Founded during the times of the absolute monarchy in Russia, it continued its work during the Soviet era and still exists in the modern post-Soviet times. Many historians, both professionals and amateurs, have dedicated their works to the history of the Ural State Mining University since the early Soviet times. Their estimations and viewpoints have always been different from each other. This was predetermined by many factors: the historical context of the appearance of this or that work, the personal viewpoints and estimations of the authors and so forth. The leading role of Marxism-Leninism in the works of the Soviet historians predetermined the estimations of the authors of "50 years of The Sverdlovsk Mining Institute named after V. V. Vakhrushev, the Ural's First Higher Technical Education Institution (1917–1967)". Valentina Maslennikova also followed this point of view in her article called "Addressing the History of the Sverdlovsk Mining Institute".

To the contrary, the Russian researchers of the post-Soviet times demonstrated a pluralism of opinions. Yet the figure of Petr Petrovich von Weimarn, the first rector of the Ural Mining Institute, who was a White-Guard émigré, was no more shown in a negative. Natal'ya Khisamutdinova from Vladivostok and Lyudmila Dashkevich from Ekaterinburg treat Professor von Weimarn with unconcealed likening. Vladimir Filatov, who is an author of biographical manuals "Professors of The Ural State Academy of Mining and Geology" and "Professors of the Ural State Mining University", has conducted a very serious work on collecting the biographical data of each scholar who has ever worked in the Ural State Mining University and held a professorship.

The history of the Ural State Mining University no doubt deserves attention of the historians, at the moment, many new articles and monographs are being written and published. In particular, Vladimir Filatov, a professor and Head of the sub-department of strength of materials in the Vladimir State University named after Aleksandr and Nikolay Stoletovs, is at the moment conducting historical research on the history of the Ural State Mining University. The results of his studies are published in the News of the Ural State Mining University. Also, the Editorial Board of the aforementioned journal has launched a long-term project on writing a sequence of articles about the professors of the University, in whose honor the new minerals were called. Some of these articles have been analyzed in the present study. Therefore, in the future, there will certainly be work to be done on studying the historiography of the Ural State Mining University.

BIBLIOGRAPHY

1. Filatov V. V. 2014, "Byt' posemu!": ocherki istorii Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta (1914–2014) ["So be it!": the essays on history of the Ural State Mining University (1914–2014)]. Ekaterinburg, 684 p.
2. Filatov V. V. 1997, *Etyudy ob Urale* [Essays about the Urals]. Ekaterinburg, 115 p.
3. Filatov V. V., Avdonin A. I., Sokolova A. I., Polenov Yu. A. 2003, *Istoriya sozdaniya i stanovleniya Ural'skogo geologicheskogo muzeya* [The history of creation and development of the Ural geological museum]. Ekaterinburg, 276 p.
4. Arhipova N. P., Filatov V. V. 2001, *Issledovateli prirody Urala. XX vek* [The researchers of the nature of the Urals. 20th century]. Ekaterinburg, 272 p.
5. 2010, *Khram gornyakov. Svyato-Nikolayevskiy khram Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta: ocherki istorii. Pod redaktsiyey V. I. Karpovich i professora V. V. Filatova* [The Temple of the Miners. Saint Nicholas Church of the Ural State Mining University. Edited by V. I. Karpovich and Professor V. V. Filatov]. Ekaterinburg, 60 p.
6. Kolosova E. N., Filatov V. V. 2007, *K istorii sozdaniya Ural'skogo filiala AN SSSR (1932–1939). Neyubilejnye zametki* [Addressing the history of the Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR. Non-anniversary notes]. *Ural'skiy geologicheskij zhurnal* [The Ural geological journal], no. 4(58), pp. 1–123.
7. Sokolova A. I., Filatov V. V. *Letopis' voyennyh let. 1941–1945 (Sverdlovskiy gornyy institut v gody Velikoj Otechestvennoj vojny)* [The chronicle of the wartime. 1941–1945 (The Sverdlovsk mining institute during the Great Patriotic war)]. Ekaterinburg, 2010, 227 p.
8. Filatov V. V. 1992, "Otechestva pol'zy dlya ..." (75 let Ural'skomu gornomu institutu. 1917–1992) [For the benefit of the Fatherland... The 75th anniversary of the Ural Mining Institute]. Ekaterinburg, 408 p.
9. Filatov V. V. 2002, *Professora Ural'skoy gosudarstvennoy gorno-geologicheskoy akademii. Biograficheskiy spravochnik* [Professors of The Ural State Academy of Mining and Geology. A Biographical manual]. Ekaterinburg, 380 p.
10. 2007, *Puteshestvie v mir kamnya: Muzej istorii kamnerезного i yuvelirnogo iskusstva* [A journey to the world of gems: The museum of the art of stone-cutting and jeweler's art]. Sost., nauch. red. prof. V. V. Filatova [Compiled and edited by Professor V. V. Filatov]. Ekaterinburg, 320 p.
11. Filatov V. V. 2016, *P. K. Sobolevskiy – osnovopolozhnik Ural'skoy geofizicheskoy shkoly* [P. K. Sobolevski, the founder of the Ural geophysical school]. *Izvestia Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (44), pp. 99–102.
12. Filatov V. V. 2002, *Strela vremeni: ocherki istorii gornogo dela Urala* [The arrow of time: the essays of the history of the mining in the Urals]. Ekaterinburg, 308 p.
13. Filatov V. V. 2000, *Tayny "gornogo vedomstva"* [Secrets of "the mining department"]. Ekaterinburg, 144 p.
14. Filatov V. V. 2008, *Tayny Kamennogo poyasa: ocherki istorii gornogo dela na Urale* [The mysteries of the stone belt: the essays on the mining in the Urals]. Ekaterinburg, 267 p.
15. Rapoport M. S., Komarskiy V. Ya., Filatov V. V. 2000, *Tvortsy ural'skoy geologii* [The Creators of the geology in the Urals]. Ekaterinburg, 224 p.
16. 2011, *Ural'skaya geofizicheskaya shkola (60 let geofizicheskomu fakul'tetu Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. 1951–2011 gg.): biograficheskiy spravochnik* [The Ural geophysical school (the 60th anniversary of the Department of geophysics of the Ural State Mining University. 1951–2011): a biographical manual]. Ekaterinburg, 461 p.
17. Filatov V. V. 2017, *Vydayushchiesya ucheniki P. K. Sobolevskogo* [Famous followers of P. K. Sobolevskiy]. *Izvestia Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (48), pp. 123–129.
18. Ivanov O. K. 2018, *V. P. Shuyskiy (1935–2000) i shuyskit* [V. P. Shuyskiy (1935–2000) and "shuyskite"]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 2 (50), pp. 157–161.
19. Kleimenov D. A., Kainov V. I. 2018, *Anatoliy Filippovich Bushmakini (1947–1999) i bushmakinit* [Anatoliy Filippovich Bushmakini (1947–1999) and "bushmakinite"]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (52), pp. 152–157.
20. Kleimenov D. A., Polenov Yu. A., Grigor'ev V. V., Kainov V. I., Pozdnyakova L. I. 2017, *Ural'skiy geologicheskij muzey Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. K 80-letiyu* [The Ural geological museum of the Ural State Mining University. The eightieth anniversary] *Izvestia Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 2 (46), pp. 120–123.
21. Shorin A. G., Erokhin Yu. V., Kleimenov D. A. 2018, *A. V. Shubnikov (1887–1970) i shubnikovit* [A. V. Shubnikov (1887–1970) and "shubnikovite"]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 1 (49), pp. 140–146.
22. Shorin A. G. 2017, *Simvolika Ural'skogo gornogo* [Symbols of the Mining University]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4(48), pp. 136–141.
23. Spravtseva Ye. A. 2017, *K stoletiyu nauchnoy biblioteki Ural'skogo gornogo* [For the centenary of the library of the Mining University]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4(48), pp. 130–135.
24. Erokhin Yu. V., Shorin A. G. 2018, *Yu. S. Kobayashv (1935–2009) i kobayashvit* [Yu.S. Kobayashv (1935–2009) and "kobayashvite"]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 3 (51), pp. 165–175.

REFERENCES

1. Janek A. 1919, *Kharakteristika nauchnoy deyatel'nosti P. P. Veymarna* [The characteristic of P. P. Weimarn's scientific activity]. *Molodaya Rus'. Sbornik literaturniy, publitshesticheskij i nauchnyy* [Young Russia. A literary, journalistic and scientific collection]. Ekaterinburg, p. 30.
2. Ibid., p. 32.
3. Filatov V. V. 2009, *Professora Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. Biograficheskiy spravochnik* [Professors of the Ural State Mining University. A Biographical Manual]. Ekaterinburg, p. 380, 415, 85, 151.
4. Smirnov A. 1924, *Gorniy fakul'tet Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta* [The Mining Department of the Ural State University] *Gorny zhurnal* [A mining journal no. 2], p. 209.
5. 1967, *50 let Sverdlovskomu Gornomu Institutu im. V. V. Vakhrusheva, pervomu tekhnicheskomu vuzu na Urale (1917–1967)* [50 years of The Sverdlovsk Mining Institute named after V. V. Vakhrushchev, the Ural's First Higher Technical Education Institution (1917–1967)]. Moscow, p. 5.
6. Ibid., p. 9.
7. Ibid., p. 10.
8. Ibid., p. 16.
9. Ibid., p. 16.
10. Maslennikova V. M. 2013, *K istorii Sverdlovskogo gornogo institute. Ch. 1. 1914–1930 gg.* [Addressing the History of the Sverdlovsk Mining Institute. Part 1. 1914–1930]. *Izvestia Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (32), p. 101.
11. Ibid., p. 102.
12. Ibid., p. 103.
13. Maslennikova V. M. 2014, *K istorii Sverdlovskogo gornogo institute. Ch. 1. 1914–1930 gg.* [Addressing the History of the Sverdlovsk Mining Institute. Part 1. 1914–1930]. *Izvestia Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 2 (34), p. 85.
14. Maslennikova V. M. 2014, Addressing the History of the Sverdlovsk Mining Institute. Part 1. 1914–1930. News of the Ural State Mining University, no. 4 (36), p. 76.
15. Maslennikova V. M. 2015, Addressing the History of the Sverdlovsk Mining Institute. Part 1. 1914–1930. News of the Ural State Mining University, no. 2 (38), p. 47.
16. Ibid., p. 48.
17. Ibid., p. 48.
18. Ibid., p. 49.

19. Ibid., p. 49.
20. 2010, *Khram gornyakov. Svyato-Nikolayevskiy khram Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta: ocherki istorii. Pod redaktsiyey V. I. Karpovich i professora V. V. Filatova* [The Temple of the Miners. Saint Nicholas Church of the Ural State Mining University. Edited by V. I. Karpovich and Professor V. V. Filatov]. Ekaterinburg, p. 30.
21. Ibid., p. 31.
22. Ibid., p. 51.
23. Filatov V. V. 2004, *O zhurnale "Izvestia Ural'skogo gornogo instituta"* [On the journal called "News of the Ural Mining Institute"]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 19, p. 215.
24. Filatov V. V. 2018, *Ot kafedry geofiziki do geofizicheskogo fakul'teta* [From the Sub-department of Geophysics to the Department of Geophysics]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], Issue 3 (51), p. 176.
25. Ibid., p. 179.
26. Ibid., p. 179.
27. Filatov V. V. 2019, *Geofizicheskii fakul'tet i yego variatsii* [The Department of geophysics and its variations]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 1 (53), p. 180.
28. Ibid., p. 182.
29. Ibid., p. 184.
30. Khisamutdinova N. V. 2011, *Dal'nevostochniye professora. Chetyre portreta na fone epokhi. P. P. von Weimarn, A. P. Georgiyevskiy, M. K. Eliashevich, B. P. Pentegov* [Far Eastern Professors: The Four Portraits on the Background of the Era. P. P. von Weimarn, A. P. Georgievskiy, M. K. Eliashevich and B. P. Pentegov]. Vladivostok, p. 12.
31. Ibid., p. 24.
32. Ibid., p. 47.
33. Ibid., p. 60.
34. Ibid., p. 60.
35. Ibid., p. 110.
36. Ibid., p. 111.
37. Ibid., p. 111.
38. Ibid., pp. 148–149.
39. Ibid., p. 149.
40. Ibid., p. 149.
41. Khisamutdinova N. V. 2009, *Ural'skiye professor i ikh vklad v dal'nevostochnuyu nauku* [The Professors of the Urals and their Contribution to the Science of the Far East]. *Vestnik ural'skogo otdeleniya RAN. Nauka, obshchestvo, chelovek* [Bulletin of the Ural Branch of RAS called "Science, Society, Man"], no. 4(30), p. 98.
42. Shorin A. G. 2016, *Istoriya zhurnala "Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta"* ["The History of the Journal "News of the Ural State Mining University""]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 1(41), p. 152.
43. Shorin A. G. 2017, *Zdaniya Ural'skogo gornogo* [Buildings of the Mining University]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 1 (45), p. 111.
44. Shorin A. G. 2017, *Zdaniya Ural'skogo gornogo* [Buildings of the Ural Mining University]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 3 (47), p. 122.
45. Erokhin Yu. V., Ivanov K. S. 2019, *Svyatoslav Nestorovich Ivanov (1911–2003) i svyatoslavii* [Svyatoslav Nestorovich Ivanov (1911–2003 and "svyatoslavite"]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 1 (53), p. 171.
46. Shorin A. G., Erokhin Yu. V. 2019, *Dmitry Sergeyevich Steinberg (1910–1922) i dmisteinbergit* [Dmitry Sergeyevich Steinberg (1910–1922) and "dmisteinbergite"]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University], issue 3(55), p. 178.
47. Ibid., p. 179.
48. Ibid., p. 179.
49. Valiev N. G., Shorin A. G. 2017, *Pedagogicheskiy experiment pervogo rectora Ural'skogo gornogo instituta P. P. von Veymarna kak popytka reformirovaniya vysshey shkoly v 1917–1920 godakh* [The pedagogical experiment of the Ural Mining Institute's first rector, P. P. von Weimarn as an attempt to reorganize higher school in 1917–1920]. *Zapiski Gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute], vol. 228, p. 621.
50. Emlin E. F. 2008, *Ocherki istorii kafedry mineralogii Ural'skogo gornogo instituta* [The Essays on the History of the Sub-department of Mineralogy of Ural Mining Institute]. Ekaterinburg, p. 32.
51. Dashkevich L. A. 2013, *Perviy rector o sozdanii Ural'skogo gornogo instituta: plany i realii* [The First Rector Speaks about the Creation of the Ural Mining Institute: Plans and Reality]. *Vestnik Ural'skogo otdeleniya RAN. Nauka, obshchestvo, chelovek* [Bulletin of the Ural Branch of the RAS called "Science, Society, Man"], p. 166.
52. *Odobrenniy Gosudarstvennym Sovetom i Gosudarstvennoy Dumoyu Zakon ob uchrezhdenii gornogo instituta v gorode Ekaterinburge* [The law on establishing the mining institute in Ekaterinburg approved by the State Council and State Duma]. *Osnovnoy fond Muzeya istorii UGGU, delo № 860* [the main fund of the Museum of the History of the URSMU, file no. 860], p. 85.

The article was received on July 24, 2019

Борис Валентинович Чесноков (1928-2005) и чесноковит

Сергей Геннадьевич СУСТАВОВ^{1*}
Сергей Сергеевич ПОТАПОВ^{2**}

Sergey Gennad'evich SUSTAVOV^{1*},
Sergey Sergeevich POTAPOV^{2**}

¹Уральский государственный горный университет,
Екатеринбург, Россия

¹Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

²Институт минералогии Южно-Уральского федерального
научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Миасс, Челябинская обл., Россия

² Institute of Mineralogy of the South Urals Federal Research
Centre of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of
RAS, Miass, Russia

*Sustavov.s@ursmu.ru
**s_almazov@74.ru

*Sustavov.s@ursmu.ru
**s_almazov@74.ru

Boris Valentinovich Chesnokov (1928-2005) and chesnokovit

Boris Valentinovich Chesnokov is an outstanding Ural mineralogist, doctor of geological and mineralogical Sciences, winner of the Demidov prize. He made a huge contribution to the theory of Mineralogy, ontogeny of minerals, Mineralogy of alkaline pegmatites, metamorphites, ore deposits, and recently actively developed Mineralogy of technogenic formations, he discovered 54 new mineral species.

Keywords: mineral, alkaline pegmatites, chesnokovite, technogenesis, Ural, B. V. Chesnokov.

Борис Валентинович Чесноков – выдающийся уральский минералог, доктор геолого-минералогических наук, лауреат Демидовской премии. Внес огромный вклад в теорию минералогии, онтогению минералов, минералогии щелочных пегматитов, метаморфитов, рудных месторождений, а в последнее время активно развивавший минералогии техногенных образований, им открыто 54 новых минеральных вида.

Ключевые слова: минерал, щелочные пегматиты, чесноковит, техногенез, Урал, Б. В. Чесноков.

О Борисе Валентиновиче написано много [1–3]. Мы отметим основные достижения по изучению минералогии вообще и минералогии Урала в частности.

Родился Борис Валентинович 11 июня 1928 г. в г. Ставрополе, воспитывался матерью Софьей Евтропьевной, учительницей, и бабушкой Ольгой Евстигнеевной. Род Чесноковых происходит из крепостных крестьян Кологривского уезда Костромской губернии. В год рождения Бориса Валентиновича отец был репрессирован. Вслед за ним последовал дед Евтропий Васильевич, а 1933 году его выслали на Урал. Там след его и пропал – последняя весточка пришла от него из Свердловска. Начальное образование Борис Валентинович получил в неполной средней школе № 7 в д. Заводское Межевского района Костромской области. Продолжил обучение в средней школе № 1 в с. Георгиевское того же района.

По воспоминаниям Бориса Валентиновича, тяга к камням проявилась у него с малых лет. «Первый камень запал в душу крепко. Я на чьих-то руках. Крутом огромные и шумные люди. Кто-то вложил в мою руку огромный и тяжелый кусок. У него острые углы. По тёмной поверхности перебегают красноватые отблески. Незнакомый предмет отняли, но вызванное им чувство восторга и тревоги сохранилось.

Остальные камни я уже находил сам. Даже в нашем равнинном крае они попадались на берегах рек и речек, в промоинах у дороги и просто в поле. Большие ребята идут под хутор Губаниху за «чёртовым пальцем» и обещали взять меня с собой. В тёмно-серой глине внизу большого обрыва у Губанихи находим окаменелые раковины, круглые чёрные желваки, какие-то сверкающие скорлупки,



Фото 1. Борис Валентинович Чесноков после окончания Свердловского горного института.

¹Продолжение серии статей проекта «Минералогия в лицах». См.: А. В. Шубников (1887–1970) и шубниковит (Изв. УГГУ, № 1(49), 2018. С. 140–146); В. П. Шуйский (1935–2000) и шуйскит (Изв. УГГУ, № 2(50), 2018. С. 157–161); Ю. С. Кобяшев (1935–2009) и кобяшевит (Изв. УГГУ, № 3(51), 2018. С. 165–175); Анатолий Филиппович Бушмакин (1947–1999) и бушмакинит (Изв. УГГУ, № 4(52), 2018. С. 152–157); Святослав Несторович Иванов (1911–2003) и святославит (Изв. УГГУ, № 1(53), 2019. С. 171–177), Владимир Николаевич Авдонин (1925–2017) и авдонинит (Изв. УГГУ, № 2(54), 2019, С. 166–172), Дмитрий Сергеевич Штейнберг (1910–1992) и дмиштейнбергит (Изв. УГГУ, № 3(55), 2019.

Основные даты жизни и деятельности Б. В. Чеснокова

1928 – родился 11 июня в г. Ставрополе
1935–1947 – получение среднего образования
1947–1952 – обучение в Свердловском горном институте
1952–1953 – геолог Вишневогорской партии
1953–1957 – ассистент кафедры минералогии и кристаллографии СГИ
1957–1959 – аспирант кафедры минералогии и кристаллографии СГИ
1960–1962 – ассистент кафедры минералогии и кристаллографии СГИ
1961 – защита кандидатской диссертации «Минералогия рутиловых эклогитов Шубинского месторождения на Южном Урале»
1962–1978 – доцент кафедры минералогии и кристаллографии СГИ. На кафедре организовал рентгеновскую лабораторию и оптический кабинет, получил первые оптические спектры поглощения некоторых минералов

с разными хромофорами, начал эксперименты по кристаллизации минералов
1978 – старший научный сотрудник лаборатории минералогии, петрологии и геохимии Института минералогии УрО РАН, Ильменский заповедник, г. Миасс
1981 – защита в Ленинградском горном институте докторской диссертации «Минералогическое картирование рудного района с гидротермальной минерализацией (на примере Березовского рудного района на Урале)»
1983 – награждение медалью «За трудовое отличие»
1985–1998 – заведующий лабораторией техногенеза Института минералогии УрО РАН
1993 – лауреат Демидовской премии за выдающиеся достижения в области наук о Земле
1998 – главный научный сотрудник лаборатории техногенеза
2005 – умер 25 октября в возрасте 77 лет

без колебаний принимаемые нами за чистое золото. «Чёртовы пальцы» валяются на берегу во множестве. Некоторые с руку толщиной. Правильная их форма нас поражала, вызывала какие-то фантастические образы. Затем пришли книги о камнях, первые представления о работе геолога, учёба в горном институте» [4].

Во время обучения в Свердловском горном институте Борис Валентинович продолжал развивать наблюдательность и совершенствовался в методах диагностики минералов. Среди ледниковых отложений Костромской области им найден валун нефелиновых сиенитов (хибинитов или луавритов) с эвдиалитом, лопаритом, и лампрофилилом. Обнаружена редкометаллическая минерализация в пегматитах Джэбик-Карагайского гранитного массива.

Работа геологом Вишневогорской партии после окончания института позволила детально познакомиться с Вишневогорским щелочным комплексом. Изучение минералогии этого объекта было положено в основу его первых научных работ на кафедре минералогии и петрографии, стало его научным направлением и оставалось его привязанностью на долгие годы. Здесь им были получены первые существенные достижения. Разработан метод вычисления объема минерала при метамиктном распаде для бетафита. На примере пирохлора установлено явление раскристаллизации метамиктных минералов в природе и выявлена люминесценция пирохлора в ультрафиолетовых лучах после прокалывания (1960). Для Вишневогорского щелочного комплекса за все время изучения с 1956 по 1983 год им индивидуально или с соавторами описаны тридцать два минерала. Впервые для щелочных массивов Южного Урала Б. В. Чесноковым с соавторами (1982) описан сульфатный тип «солевой» минерализации.

Результаты квалификационной диссертационной работы по изучению минералогии рутиловых эклогитов Шубинского месторождения на Южном Урале (1961) оставили гораздо менее заметный след в его литературном наследии. Тем не менее и тут им получены интересные наблюдения и важные результаты. Впервые выполнено минералогическое исследование эклогитов СССР. Зафиксировано изменение состава кристаллов граната при метаморфизме вмещающей их горной породы. Установлена связь между морфологией кристаллов амфиболов и химическим составом. Усложнение последнего вызывает образование кристаллов изометричного облика. Эта закономерность была использована при разработке методов синтеза амфиболов.

При изучении эклогитов совместно с В. А. Поповым обнаружены параморфозы кварца по коэситу. Позднее это явление наблюдалось в эклогитах Европы, где в зернах кварца встречены реликты коэсита.

К окончанию аспирантуры Борис Валентинович сформировался как талантливый исследователь. Одновременно он ведет изучение разноплановых объектов: минералогии Вишневогорского щелочного комплекса и минералогии эклогитов Южного Урала. Активно публикует результаты исследований в центральных журналах. Им получен ряд наблюдений по онтогении минералов. В этот период им изучается явление деформации пластичного стержня при механической деформации кристалла кальцита. Предложен метод регенерации шаров для определения кристаллографической ориентировки индивидов в агрегатах. Совместно с Г. Н. Вертушковым установлено искажение облика метакристаллов в зависимости от их ориентировки в сланце. С увеличением

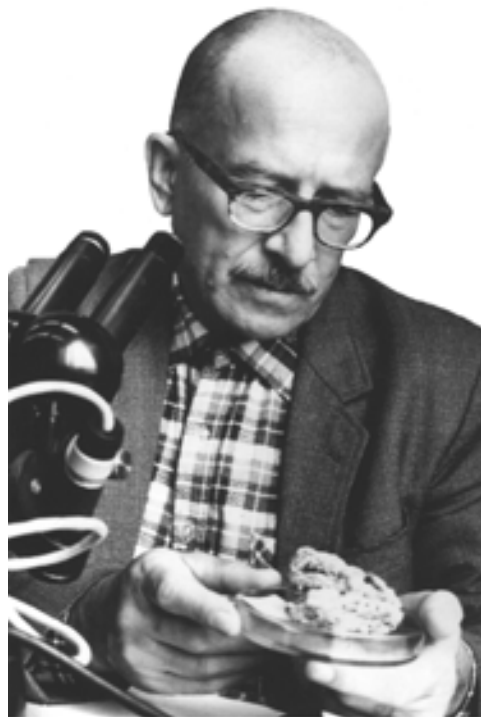


Фото 3. Борис Валентинович Чесноков за работой в каб. 313 Института минералогии, август 1984 г. Фото А. А. Грахова.

размера кристалла происходит более сильное искажение его облика. Впоследствии эта формулировка была расширена: чем крупнее объект, тем сильнее искажена его форма (в ряду родственных объектов). При совместном росте соприкасающихся кристаллов всегда образуются индукционные поверхности, независимо от кристаллохимической природы веществ и среды кристаллизации. Разработана система морфологических признаков возрастных взаимоотношений минеральных индивидов и агрегатов: морфологический метод определения относительного возраста минералов. Установлено явление «гравитационного» расслоения кристаллического осадка двух веществ, находящегося длительное время в общем насыщенном растворе. Совместно с В. И. Якшиным исследованы теньевые псевдоморфозы минералов и даны их признаки. Доказано изменение химического состава метакристаллов в зависимости от химической неоднородности замещающей ими горной породы. Выявлена связь морфологии индукционных поверхностей и качества кристаллосырья. Установлено отсутствие текстурирования поверхностного материала зеркала скольжения на рудах и горных породах. Представлена модель роста двойников и незакономерных сростков кристаллов. Все полученные наблюдения над минералами и горными породами с анализом публикаций других исследований обобщены в монографии «Относительный возраст индивидов и агрегатов» [5], которая существенно обогатила онтогению минералов.

В период с 1967 по 1975 год Борис Валентинович по договору с комбинатом «Уралзолото» проводил работы по минералогическому картированию Березовского золото-

рудного месторождения и сопредельных территорий [6]. Результаты этих исследований были положены в основу его докторской диссертации «Минералогическое картирование рудного района с гидротермальной минерализацией (на примере Березовского рудного района на Урале)», которую он успешно защитил в 1981 году в Ленинградском горном институте. Минералогическое картирование является универсальным методом изучения и выявления закономерностей формирования всех минеральных месторождений.

В 1978 году Борис Валентинович переезжает в г. Миасс, где работает старшим научным сотрудником лаборатории минералогии, петрологии и геохимии Ильменского государственного заповедника им. В. И. Ленина. Пытливый ум и умение видеть необычное в обычном и тут не оставляют Бориса Валентиновича без находок и открытий. В пегматитах Ильменских гор им выявлена вторичная минерализация по триплиту, минералы которой представлены водными железо-марганцевыми фосфатами, бераунитом, калугинитом, митридатитом, матвеевитом, ушковитом, среди которых были новые ранее неизвестные минералы. Статус нового минерала среди них получил лишь ушковит. Матвеевит был описан чуть ранее и получил название бенякарит, а калугинит не был утвержден. В зоне гипергенеза Ильменских и Вишневых гор впервые для щелочных массивов описана сульфатная и гидрокарбонатная минерализация. Первая представлена безводными и водными сульфатами натрия, кальция, магния и железа – тенардитом, мирабилитом, глауберитом, блёдитом, астраханитом, мелантеритом, натроярозитом, фиброферритом, копиапитом. Среди



Фото 2. Борис Валентинович Чесноков среди сотрудников кафедры минералогии и петрографии (справа в нижнем ряду). 1960-е годы.

Доктор геолого-минералогических наук В. А. Попов так писал о Б. В. Чеснокове:

«Первым минералогом-техногенщиком» был лауреат Демидовской премии доктор геолого-минералогических наук Борис Валентинович Чесноков, который создал научное направление под названием «минералогия техногенеза». По его представлениям, минералогия техногенеза – одна из главных составных частей современной минералогии. А современная минералогия им определена как наука о естественном кристаллическом веществе Вселенной. Можно и нужно пойти дальше: весь телесный мир представлен минералами, возникшими в процессе кристаллизации. Кристаллизация – это явление выстраивания атомов и молекул в структуры с дальним порядком. Явление кристаллизации всегда естественное, хотя кри-

сталлизационные системы могут быть естественными и искусственными (экспериментальными, техногенными). Все кристаллические (твердые) тела являются минералами – природные (органические и неорганические), химические соединения у химиков, металлы у металлургов, полимеры у физиков, «большие молекулы» у микробиологов и т. д. Все минералы, связанные с деятельностью человека, так или иначе связаны с применением техники, и могут быть отнесены к объектам «минералогии техногенеза». Конечно, деление объектов минералогии на естественные, искусственные, техногенные, биологические, экспериментальные и другие является условным, но иногда полезным. Минералогия – фундаментальная наука для всего естествознания, и ее использование делает другие науки более эвристичными.

представителей второго вида минерализации развиты, главным образом, водные карбонаты и бикарбонаты натрия – трона, термонарит, натрон (сода) и двойные карбонаты натрия и кальция гейлюссит, шортит.

В 1982 году среди объектов изучения Бориса Валентиновича появились горелые отвалы Челябинского бурого угольного бассейна – лаборатория минералогии природы под открытым небом, созданная при участии человека. Термин «техногенез» был предложен А. Е. Ферсманом для обозначения геохимических явлений вызванных технической деятельностью человека. Техногенез как природное явление был известен на Урале и ранее. В разное время им занимались Г. Н. Вертушков, В. Н. Авдонин, Э. Ф. Емлин, В. А. Перепелицын, Н. П. Юшкин и другие исследователи, но они касались лишь описания отдельных минералов или явлений (колчеданные пожары), не вдаваясь в саму проблему или подходя к ней с других позиций. Борис Валентинович создает новое научное направление *минералогия техногенеза*, определяет цели и задачи системного изучения объекта. Под его руководством была создана группа минералогии техногенеза, с 1985 года – отдельная лаборатория.

Горелые отвалы Челябинского угольного бассейна занимают большие площади, по-мимо этого, они продуцируют вредные явления: повышается запыленность, в процессе горения выделяются различные газы, все это ухудшает экологическую обстановку. Нейтрализация этих

последствий возможна только при минералогических исследованиях. Борис Валентинович и его сотрудники полностью погружаются в изучение процессов, протекающих в угольных терриконах, и тех минеральных продуктов, которые при этом образуются. В процессе исследования многочисленных терриконов, находящихся на разных стадиях окисления (горения), Борис Валентинович со своими коллегами открыл более пятидесяти минералов. Только восемь из них утвердила Комиссия по новым минералам Международной минералогической ассоциации (КНМ ММА): баженовит, годовиковит, дмиштейнбергит, ефремовит, рорисит, святославит, сребродольскит, флюорэллстадит. Затем было принято решение не рассматривать техногенные минералы, несмотря на то, что окисление является природным процессом, и человек его только активизировал в угольных терриконах. Подобные процессы могут протекать и без участия человека – при горении угольных пластов, вскрытых тектоническими подвижками, или в процессе вулканической деятельности. Среди открытых минералов им установлены переходные между отдельными классами, например, силикаты-ферриты, силикаты-оксиды, сульфиды-оксиды-карбонаты. Это позволило ему по-новому осмыслить иерархию в царстве минералов. Им предложена новая классификация минералов, разделение их на бескислородные соединения (самородные элементы, интерметаллиды, карбиды, сульфиды и т. д.) и кислородные (простые оксиды, сложные



Рисунок 1. Чесноковит. Кедыкверпах, Ловозеро, Кольский п-ов, Россия.
Образец: ФМ (№ 91966. Эталон исследований. Дар: Пеков И. В., Левецкий В. В., 2006).
Фото: © А. А. Евсеев.
(в двух ракурсах)

Воспоминания о Борисе Валентиновиче Чеснокове

Прошло 5 лет с момента окончания института [8]. По традиции встреча выпускников происходит в День геолога. И вот в День геолога в апреле 1987 г. собрались группой РМ-77-3 на 5-летие окончания. Встреча стала судьбоносной; С. В. Ефремов, работавший в Ильменском заповеднике в лаборатории минералогии техногенеза и недавно перешедший на другую работу, посоветовал поехать в Ильмены. Он рассказал про работу в заповеднике, про научные темы, про недавно созданную и возглавленную Б. В. Чесноковым лабораторию минералогии техногенеза. И не раздумывая долго, сразу после встречи мы с С. В. Ефремовым поехали в Миасс. Все сложилось как-то легко, просто и непринужденно. По приезду в Миасс пришли в лабораторный корпус, в кабинет 311, где С. В. Ефремов представил меня заведующему лабораторией минералогии техногенеза Б. В. Чеснокову. Последний предстал сидящим в кабинете за рабочим столом с биноклярным микроскопом, с папками документов, с камнями, канцелярскими принадлежностями и незатейливым, большей частью самодельным, инструментарием для отбора монофракций минералов и их исследования. Ничего лишнего. И все в абсолютно полном порядке, все на своих местах. На тот момент Б. В. Чеснокову не было и 59 лет (почти как мне сейчас), но он выглядел стариком (не хочется никого обидеть, но это так), жилистый, сухощавого, но крепкого телосложения, среднего роста зрелый мужчина в «черепаховых» очках, с короткой седой бородкой, в черном (как у художников) берете и черном рабочем сатиновом халате на пуговицах.

Чтобы решить все вопросы по устройству на работу, пришлось, ровно на сутки задержаться в Миассе. На эти сутки Борис Валентинович предоставил и стол, и кров. Часть первого дня пребывания в стенах лабораторного корпуса была посвящена ознакомлению с работой сотрудников лаборатории. Б. В. Чесноков сообщил, что

сотрудники работают по двум темам – по минералогии горелых угольных отвалов Челябинского угольного бассейна и по минералогии солевых отложений в нефтепромысловом оборудовании. В рамках генеральных тем есть подтемы: в Челябинском бассейне по минералогии разных частей отвалов – по горельникам, по «черным блокам», по фумаролам и т. д., а по солям в скважинах – по территориальному принципу – работы на месторождениях Предуралья и по Западной Сибири. Чувствовалось, что Б. В. Чесноков хотел, чтобы я работал по горелым отвалам. У меня сложилось четкое мнение, что работать нужно не в составе группы, а отдельно. Взять в виде темы «крупный кусок пирога» в виде солевых отложений в нефтепромысловом оборудовании месторождений Западной Сибири, чтобы «не отнимать ни у кого хлеб» и не погрязнуть в мелкотемье и не «толкаться локтями», так как по горелым отвалам работало много сотрудников.

После разговоров Б. В. Чесноков начал работать с минералами, а мне дал очередной свежий минералогический сборник, да не один, и предложил почитать статьи сотрудников лаборатории и минералогов заповедника. С чего начиналась работа Б. В. Чеснокова – с подготовки рабочего места. На столе чистый лист бумаги с очерченными по линейке полями с левой стороны листа шириной 5 см. Дело начинается с написания даты проведения работы, с визуального описания изучаемого образца и его осмотра под бинокляром, с нехитрых манипуляций с ним, с проведения микрохимических реакций и фиксирования результатов на листке бумаги. Все делается неспешно. Я поражаюсь, как при такой неспешности появляются результаты в виде опубликованных статей. А все дело в системности, в каждодневном кропотливом труде по изучению минералогических сборов и систематизации полученных результатов. Для каждого изучаемого минерала открывается папка, куда складываются все записи, документы, рентгенограммы, спектры, результаты химических анализов. Папка подписывается.

оксиды, включающие силикаты, алюминаты ферриты и т. д.). Работа над классификацией позволила прийти к фундаментальному выводу, что основным минералогическим и геохимическим последствием технической деятельности человека является оксидизация Земли. Признанием его заслуг в изучении минералогии и геохимии техногенеза стала Демидовская премия, присужденная ему в 1993 году.

В последние годы жизни Борис Валентинович занимался симметрией кристаллических веществ различного происхождения: земных, космических, органических и синтетических. Всю совокупность он разделил на гидриты – вещества, содержащие воду в том или ином виде и ангидриты. Закономерности симметрии их кристаллов оказались разными. Гидриты представлены в основном кристаллами ромбической и моноклинной симметрии (земной тип распределения). У ангидритов основная масса представителей соответствуют кубической, ромбической и моноклинной симметрии (космический тип распределения). Симметрия ангидритов отвечает кристаллохимическому закону Грота-Федорова – усложнение состава приводит к понижению их симметрии. Для гидритов закономерность обратная. Он показал, что эволюция симметрии минерального мира, выявленная Н. П. Юшкиным, отражает на вещественном уровне замещение первичных («космических») ангидритных ассоциаций гидритными («земными»). В ходе развития земной коры происходит гидритная агрессия.



Фото 4. Борис Валентинович Чесноков делает доклад на совещании «Минералогия Урала-2003».

Если визуально минерал определен, пишется название минерала. Если это предполагаемый новый минерал, по данным микрохимических реакций пишется предполагаемый состав: «Новый минерал силикат-сульфат кальция», например. Или, например, по форме кристаллов нового минерала – «Ацикулит», или по внешнему виду «Рорисит»...

После работы пешком идем из заповедника вдоль кромки города и лесного массива в город, в район «Рассвета», где и живет Борис Валентинович в доме 110 по улице 8 Марта – заповедном, где живут многие сотрудники заповедника. Ужин и раннее укладывание спать на раскладушке в проходном коридоре между комнатами с библиотекой научной – геологической, минералогической и справочной литературой на деревянных самодельных стеллажах. Перед сном еще можно полистать книги.

Подъем ранний – в 5 часов утра. Завтрак и пешком на работу. Опять чтение научной литературы, пока в администрации заповедника никого нет. Затем идем с Б. В. Чесноковым к недавно назначенному директору Ильменского государственного заповедника и директору-организатору Института минералогии Всеволоду Николаевичу Анфилогову. Разговор короткий и деловой. Есть желающий работать в лаборатории по такой-то теме человек взамен ушедшего сотрудника. Хорошо – пишете заявление о приеме на работу. В кабинете Б. В. Чеснокова пишу заявление, передаю на подпись по инстанции.

Всего лишь сутки, проведенные в лаборатории за ознакомлением с направлениями исследований и чтением научной литературы, были для меня настолько насыщенными, что свердловские друзья, с которыми делился впечатлениями от этой встречи, были удивлены, что за такое короткое время можно почерпнуть столько информации. Это было полное, с головой, погружение в науку.

И вот через неделю, успев съездить в Йошкар-Олу, собрав нехитрые пожитки и геологическую литературу, я уже работаю инженером лаборатории минералогии тех-

ногенеза Ильменского государственного заповедника.

Первые впечатления от человека, от тесного общения с ним – самые верные. Каким представился мне Б. В. Чесноков? Системным, организованным, деловым, размеренным и неспешным, но цельным, волевым, порой может быть жестким. Он был требовательным к себе и поэтому требовательным к сотрудникам. Он считал, что даже лаборант в лаборатории должен изучать минералогию. И если порой не было работы, должен доставать учебник минералогии и штудировать его. Было время, когда сотрудники работали с Б. В. Чесноковым в одном кабинете и сидели за рабочими столами напротив «шефа», как порой за глаза его называли. Отвлекаться от дела было нельзя и, со слов коллег, они смотрели на Б. В. Чеснокова, как кролики на удава. И боялись сделать лишние движения, шевельнуться. Да, ходили легенды еще со времени работы Б. В. Чеснокова в горном институте, что он жесткий человек. Но в заповеднике (может, это возрастное или это мудрость) Б. В. Чесноков как-то «отмяк», стал добродушнее и даже заботливее. И всегда был рад приходящим к нему коллегам. Мы работали в соседнем, через стенку, 310 кабинете. И было слышно, что каждому входящему Б. В. Чесноков говорил: «Входите и говорите!» И говорил он это с растяжкой, театрально-актерски. И с интересом слушал о результатах работы, о впечатлениях, привезенных из командировок или с научных конференций. И всегда живо интересовался результатами исследований своих подчиненных.

А самое главное, Борис Валентинович был бесконечно предан своему делу – науке минералогии. В молодости на кафедре минералогии он работал до одури, как он сам нам говорил «до чернильных пятен в глазах», когда на-смотришься в спектрограф, а потом выходишь из института на яркий солнечный свет, отражающийся от мартовского снега, и действительно, буквально слепнешь от яркого света и видишь только «чернильные пятна».

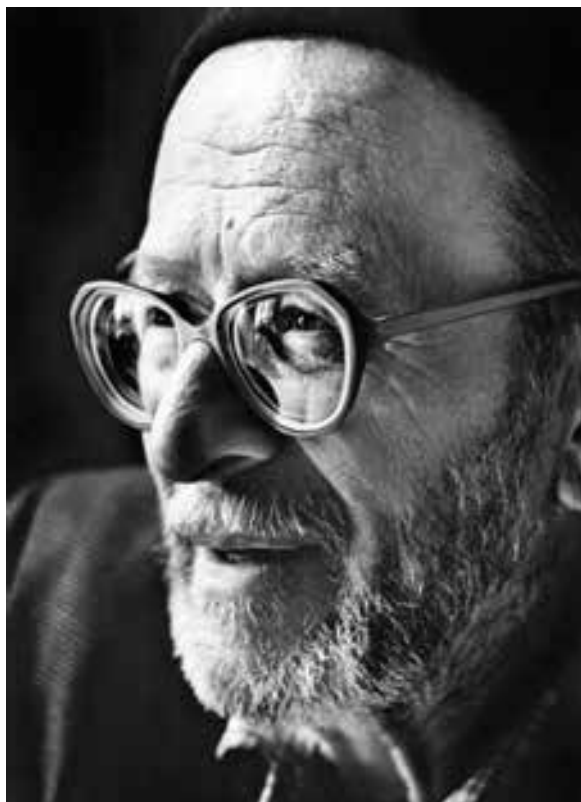
С. С. Потапов

Борис Валентинович был действительным и очень деятельным членом Всесоюзного (в настоящее время – Российского) минералогического общества, был Председателем Уральского (1976–1977) и Ильменского отделений ВМО (1985–1987), с 1999 г. – Почетный член РМО. Умер Борис Валентинович 25 октября 2005 года на 77 году жизни.

Борис Валентинович прожил яркую, полную находок и свершений жизнь, целиком отданную развитию минералогии. На жизненном пути были взлеты и падения, но помощь коллег и учеников позволила преодолеть все препятствия. Борис Валентинович отличался огромной работоспособностью. Им опубликовано более трехсот научных и научно-популярных работ, последние из них были адресованы юным геологам. Он всегда размышлял о минералогии, которой посвятил всю жизнь. В честь Б. В. Чеснокова в 2007 году коллеги назвали новый минерал – чесноковит.

Чесноковит – первый природный ортосиликат натрия, найденный в гидротермалитах Ловозерского массива. Образцы с чесноковитом были отобраны в сентябре 2005 года из свежескрытой части жилы Кедыкверпахк-22 в одной из подземных выработок на горе Кедыкверпахк (участок Кедыкверпахк рудника Карнасурт) [7].

Жила Кедыкверпахк-22 имеет мощность 6–8 см, а по простиранию прослежена более чем на 500 м. В ней чередуются натролитовые и существенно усингитовые (с подчиненным натролитом) участки протяженностью по



несколько метров. Чесноковит обнаружен в одном из усингитовых участков жилы. К многочисленным линзовидным полостям, развитым в осевой зоне жилы, приурочен комплекс более поздних минералов, среди которых преобладают «солевые». В составе этой «солевой» минерализации можно выделить продукты двух подстадий, кристаллизовавшиеся в разное время и явно при разных температурах. В позднегидротермальную подстадию возникла ассоциация «солевых» минералов, сильно обогащенных водой: ревдит (частичные и полные псевдоморфозы по натросилиту, реже – самостоятельные обособления), чесноковит $\text{Na}_2[\text{SiO}_2(\text{OH})_2] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и натрофосфат $\text{Na}_7(\text{PO}_4)_2\text{F} \cdot 19\text{H}_2\text{O}$.

Чесноковит образует гнезда до $4 \times 6 \times 10$ см, нацело заполняющие полости. Некоторые из них практически мономинеральные, в других наблюдаются включения натрофосфата. Скопления чесноковита сложены хаотическими агрегатами его плохо образованных пластинчатых кристаллов, уплощенных по [010] и обычно в той или иной мере расщепленных. Их главная форма – пинакоид {010}, боковые грани не выражены. Двойникования не наблюдалось. Размер индивидов нового минерала варьирует от нескольких микрон до $0.05 \times 1 \times 2$ см.

Кристаллы чесноковита бесцветные прозрачные, а агрегаты белые или светло-коричневато-желтоватые полу-

прозрачные. Черта белая, блеск тусклый стеклянный. Чесноковит хрупкий, имеет спайность: совершенную по {010} и среднюю по {100} и {001}. Излом раковистый. Твердость по шкале Мооса 2,5. Плотность измеренная составляет 1,68 (2), рассчитанная – 1,64 г/см³. Чесноковит оптически двуосный, положительный, $N_p = 1,449$ (2), $N_m = 1,453$ (2), $N_g = 1,458$ (3), $2V_{\text{изм}} = 80$ (5), $2V_{\text{выч}} = 84^\circ$. Химический состав чесноковита следующий (мас. %): Na_2O 21,49, K_2O 0,38, Li_2O 0,003, SiO_2 21,42, H_2O 54,86, сумма 98,153. Он отвечает идеализированной формуле $\text{Na}_2[\text{SiO}_2(\text{OH})_2] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Рентгенограмма минерала соответствует ромбической сингонии, пространственная группа *Ibca*; параметры элементарной ячейки следующие: $a = 11,7119(6)$, $b = 16,973(1)$, $c = 11,5652(6)$; $V = 2299.0(2)$ Å³; $Z = 8$ [7].

Чесноковит – очень неустойчивый в поверхностных условиях минерал. При обычных атмосферных влажности и содержании CO_2 необратимые изменения происходят по всему объему его кусочков размером 0,5–1 см в течение 2–3 дней, а в порошке – уже за первые часы. Эти изменения выражаются в дегидратации и карбонатизации: чесноковит переходит в рыхлый агрегат термонатрита и опала, вероятно, по следующей схеме: $\text{Na}_2[\text{SiO}_2(\text{OH})_2] \cdot 8\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} + (8-n)\text{H}_2\text{O} \uparrow$. Для сохранности минерала в коллекции требуется надежная герметизация его образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чесноков Борис Валентинович: библиография ученого / сост. Л. А. Буторина, С. С. Потапов; авт. вступ. статья В. А. Попов. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 1998. 52 с.
2. Борис Валентинович Чесноков (11.06.1928–25.10.2005) // Записки Рос. минерал. о-ва. 2006. Ч. 135. Вып. 2. С. 128–129.
3. Емлин Э. Ф. Очерки истории кафедры минералогии Уральского горного института. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2008. 257 с.
4. Чесноков Б. В. Вместе с камнем. Челябинск: ЮУКИ, 1985. 56 с.
5. Чесноков Б. В. Относительный возраст индивидов и агрегатов. М.: Недра, 1974. 105 с.
6. Чесноков Б. В. Минералогическое картирование как метод оценки перспективности рудных районов (на примере Березовского рудного района на Среднем Урале) // Труды СГИ. 1975. Вып. 106. С. 27–37.
7. Пеков И. В., Чуканов Н. В., Задов А. Е., Зубкова Н. В., Пушаровский Д. Ю. Чесноковит $\text{Na}_2[\text{SiO}_2(\text{OH})_2] \times 8\text{H}_2\text{O}$, первый природный ортосиликат натрия – новый минерал из Ловозерского щелочного массива (Кольский полуостров, Россия) и его кристаллическая структура // Записки РМО. 2007. Т.136, № 2. С. 25–32.
8. Потапов С. С. Тернистый путь в науку: библиография ученого. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2006. С. 18–24.
9. Все о геологии. сайт: geo.web.ru

Статья поступила в редакцию 22 октября 2019 г.

Уважаемые авторы!

Журнал «Известия УГГУ» публикует результаты научных исследований российских и зарубежных авторов на русском или английском языках.

К рассмотрению принимаются рукописи, снабженные следующими необходимыми компонентами.

1. Текст статьи на русском или английском языке (либо двуязычный) в электронном виде. Статьи принимаются на электронную почту редакции: iuggu-journal@yandex.ru либо при помощи электронной редакции на сайте iuggu.ru. Не допускается направление в редакцию статей, уже публиковавшихся или посланных на публикацию в другие журналы. Необходимо указывать номер УДК.

2. Аннотация и ключевые слова. Объем аннотации должен составлять 200–250 слов, ключевых слов должно быть не менее 5. По аннотации читатель должен определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации. Стоит воздержаться от второстепенной информации и выражать мысль возможно более лаконично.

В аннотации должны быть четко прописаны: актуальность, цель работы, метод или методология проведения работы, результаты работы и область их применения; выводы (при необходимости).

Текст статьи должен быть структурирован в соответствии с аннотацией и содержать конкретные разделы: введение, результаты и их применение, выводы (при необходимости), заключение.

Перевод аннотации, ключевых слов и списка литературы на английский язык осуществляется авторами, только если они уверены в качестве перевода, если же нет – перевод осуществляется редакцией. Перевод с помощью электронных переводчиков не принимается.

3. Список литературы на русском и английском языках. Ссылки на источники должны идти в тексте по порядку – 1, 2, 3. В тексте ссылки заключаются в квадратные скобки. Количество ссылок в тексте должно соответствовать количеству источников литературы в списке. Упоминания ГОСТ, СНиП, правил безопасности, нормативных, законодательных и других документов, отчетов о НИР, а также ссылок на неофициальные источники в Интернет необходимо приводить в тексте статьи или в сносках, не вынося в список литературы. Обязательно отражение в статье мирового опыта по рассматриваемому вопросу, список литературы должен содержать современные зарубежные статьи (не ранее 2013 года издания). Список литературы должен содержать не менее 15 источников, из которых должно быть не более 2 собственных работ автора. Наличие в списке литературы учебников, учебных и методических пособий, указаний по курсовому и дипломному проектированию, конспектов лекций для студентов не допускается.

При оформлении списка литературы у ВСЕХ публикаций, имеющих DOI (особенно это касается иностранных публикаций), эти DOI должны быть указаны (в виде гиперссылок). **Пример оформления:** 10. Henry D.J., Novák M., Hawthorne F.C., Ertl A., Dutrow B.L., Uher P., Pezzotta F. Nomenclature of the tourmaline-supergrain minerals // *American Mineralogist*, 2011. Vol. 96. P. 895-913. <https://doi.org/10.2138/am.2011.3636>. Ссылки должны быть работающие!

4. Сведения об авторах. Необходимо указать для каждого автора на русском и английском языках ФИО, должность, ученую степень и звание, место работы (учебы) с указанием полного почтового адреса, контактный e-mail, контактный телефон, номер ORCID ID (аккаунт ORCID обязательно должен содержать информацию о месте работы автора и актуализированный перечень публикаций).

5. Экспертное заключение о возможности опубликования. В сканированном или распечатанном виде.

6. Согласие на обработку персональных данных. Можно как прислать в сканированном виде, так и принести в редакцию. Бланк можно взять в редакции.

Плата за публикацию с авторов научно-технических статей, включая аспирантов, в порядке общей очереди не взимается.

Оформление статей

1. Редактор Microsoft Word, гарнитура Minion Pro. Поля документа: левое 2 см, остальные – 1,5 см. Кегль 10, одинарный интервал. Абзацный отступ 0,63. Страницы нумеруются. Не допускаются пробелы между абзацами.

2. В тексте допускаются только общепринятые сокращения слов. Все сокращения в тексте, рисунках, таблицах должны быть расшифрованы.

3. Формулы должны быть набраны в редакторе Microsoft Equation и пронумерованы, если в тексте имеются ссылки на них. При наборе формул и текста латинские буквы выделяют курсивом, а русские, греческие и цифры – прямым шрифтом. Кегль шрифта в формулах должен совпадать с кеглем шрифта основного текста. Тригонометрические знаки (sin, cos, tg, arcsin и т. д.), знаки гиперболических функций (sh, ch, th, ctg и т. д.), обозначения химических элементов (Al, Cu, Na и т. д.), некоторые математические термины (lim, ln, arg, grad, const и т. д.), числа или критерии (Re – Рейнольдса и т. д.), названия температурных шкал (°C – градусы Цельсия и т. д.) набираются прямым шрифтом.

4. Физические единицы приводятся в системе СИ.

Графический материал

Рисунки, карты, чертежи предоставляются в электронном и бумажном виде, в цветном и/или черно-белом исполнении. Изображения должны быть четкими, контрастными. Таблицы и схемы должны быть пригодными для правки. Таблицы и схемы, сканированные как изображения, не принимаются.

На картах обязательно указывается масштаб. На чертежах, разрезах, картах должно быть отражено минимальное количество буквенных и цифровых обозначений, а их объяснение – в подрисунковых подписях. Ксерокопии и сканированные ксерокопии фотографий не принимаются. Рисунки с нечитаемыми или плохо читаемыми надписями, с подписями «от руки», слишком тонкими линиями не принимаются.

Подрисунковая подпись должна быть набрана 8 кеглем, основной текст в таблице – 8 кеглем, шапка таблицы – 8 кеглем. Гарнитура текста в рисунках и таблицах – Arial, кегль 8.

Все статьи подлежат двойному слепому рецензированию, мнение рецензента всегда доводится до сведения автора.

Примеры оформления списка литературы

Монографии

Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. 280 с.

Статьи в периодических изданиях

Абатурова И. В., Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия месторождений Урала в скальных массивах // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 6. С. 160–168.

Авторефераты, диссертации

Овечкина О. Н. Оценка и прогноз изменения состояния геологической среды при техногенном воздействии зданий высотной конструкции в пределах города Екатеринбурга: автореф. ... дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2013. 24 с.

Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем: дис. ... канд. техн. наук. М.: МИФИ, 2007. 170 с.

Зарубежные исследования

Hudson J. A. The Scattering of Elastic Waves by Granular Media. *Quart Journal Mech. and Applies Math.* 1968. Vol. XXI. Pt. 4. pp. 487–502.

Сетевые источники

Биржевой навигатор. URL: <http://stock-list.ru/natural-gas.html>

Памятка для авторов

Научный журнал не может (и не должен) развиваться только силами редакции. Поэтому, предъявляя новые требования к себе, мы предъявляем их и к авторам, которые хотят публиковаться в нашем журнале.

Требования к оформлению высланных рукописей мы публикуем на нашем сайте, а также на последней странице каждого нового выпуска. Здесь мы не будем повторять все это, лишь расскажем о нововведениях, которые нам представляются наиболее важными.

Аннотация. Как на русском, так и на английском языках аннотации сейчас принимаются только расширенные – не менее 200 слов. Делается это для того, чтобы читатель (в том числе иностранный) мог в считанные минуты понять, о чем данная статья и представляет ли она для него интерес.

Список литературы. К сожалению, публикации в советских журналах традиционно отличались от иностранных меньшим числом источников. Кроме того, отечественные ученые зачастую не утруждают себя изучением иностранных публикаций на интересующую тему. Также часты использования в качестве источников различных учебников, методичек и пр. Все это значительно снижает уровень публикаций. Поэтому мы взяли за правило рекомендовать авторам расширять список литературы до 10–15 источников с обязательным использованием современных зарубежных публикаций. Исключения возможны, но они должны быть обоснованными.

DOI. Помимо ставшего уже привычным для авторов присваиваемого каждой статье номера УДК, начиная со второго номера 2016 года каждой статье в обязательном порядке присваивается номер DOI.

DOI (*англ.* Digital object identifier) – классификатор цифрового объекта для создания постоянных гиперссылок, которые позволяют сохранять информацию о конкретной статье в сети Интернет, даже если изменилась структура сайта, где эта статья изначально была сохранена.

Проще говоря, номер DOI позволяет научной статье гарантированно открываться и быть доступной для поиска в сети, что совершенно необходимо для того, чтобы статья могла цитироваться с помощью Интернета, не затрудняя авторов поисками ее в библиотеках и архивах – своего рода дань современным IT-технологиям.

Редакцией «Известий УГГУ» заключен договор с Некоммерческим партнерством «Национальный Электронно-Информационный консорциум» (НП НЭИКОН), которое предоставляет в России посреднические услуги по присвоению DOI от регистрационного агентства (DOI Registration Agency) CrossRef. Это самый современный центр регистрации Международной организации документации, основной задачей которого является организация доступа пользователей к первичным публикациям, содержащим научный контент, и содействие коллективной работе издателей по всему миру. Эту кооперативную справочную систему сейчас используют большинство научных журналов в мире.

DOI обязательно указывается при цитировании статьи. В журнале «Известия УГГУ» DOI сейчас присваивается каждой вновь вышедшей статье. Также номер DOI может быть присвоен любой из статей, которые ранее публиковались в нашем журнале – но уже не в обязательном порядке, а по желанию авторов. Для желающих достаточно сделать заявку в редакцию.

Качество перевода. Нас не устраивает перевод аннотаций (и уж тем более – статей) с помощью электронных переводчиков. Если вы не уверены в своем переводе, лучше обратитесь за помощью в редакцию. Лучше не предоставить никакого перевода, чем перевод низкого качества.

Качество рисунков. Рисунок должен оставаться качественным при увеличении. Не забывайте о том, что статья будет опубликована не только в бумажной, но и в электронной версии.

Качество текстов. При рассмотрении рукописи авторитет и заслуги автора статьи во внимание не принимаются – только качество присланного текста. Для этого введено двойное слепое рецензирование.

Слепое рецензирование. Два рецензента оценивают качество статьи, не зная, кто ее автор. В случае, если рецензент узнает автора, то рукопись автоматически передается другому рецензенту – из числа экспертов, сотрудничающих с журналом. Делается это для того, чтобы личные отношения не влияли на качество рецензии. Автор также не знает своего рецензента.

Помимо этого, правила публикации текстов предполагают их разнообразие. Поэтому **недопустима публикация двух статей одного автора в одном номере журнала.** То же правило распространяется и на соседние номера. Так мы поддерживаем разнообразие тем и авторов, исключая превращение журнала в издание, где постоянно публикуется десяток одних и тех же авторов. Исключения 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 очереди, однако редакция оставляет за собой право печатать вне очереди те из них, которые считает наиболее значимыми.

Автор должен также подписать согласие на использование редакцией журнала "Известия УГГУ" его персональных данных.

На обложке: фото чесноковита – минерал (IMA2006-007), первый природный ортосиликат натрия.
On the cover: the photo of chesnokovit - mineral, (IMA2006-007), the first natural sodium orthosilicate.

Редакция выражает благодарность за помощь в работе журнала

Баранникову Александру Григорьевичу – д-ру геол.-минерал. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);
Боярских Геннадия Алексеевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);
Карстен Луизе – Dr. rer. nat. (Ганновер, Германия);
Кожушко Герману Георгиевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);
Козину Владимиру Зиновьевичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);
Корнилкову Сергею Викторовичу – д-ру техн. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);
Сурневу Виктору Борисовичу – д-ру физ.-мат. наук, профессору (Екатеринбург, Россия);
Филиппову Сергею – Dr. rer. nat. (Ганновер, Германия);
Хальфину Марату Нурмухамедовичу – д-ру техн. наук, профессору (Новочеркасск, Россия)

Редакция

Главный редактор Косарев Н. П.
Заместитель главного редактора Шорин А. Г.
Ответственный секретарь Георгиева Н. В.
Редактор Васфилова И. С.
Переводчик Алферова А. М.

Верстка Шориной Э. В., Георгиевой Н. В.
Корректурa, оформление рисунков Пихтовниковой О. Г.
Идея обложки Васфиловой И. С.

Подписано в печать 13.12.2019. Дата выхода в свет – 20.12.2019.
Формат 60 × 84/8. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 21,27. Тираж 120 экз. Заказ № 21
Цена свободная

Почтовый адрес издателя и учредителя: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,
ФГБОУ ВО "Уральский государственный горный университет"
Редакция: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, к. 3142
Тел.: (343)283-05-60
E-mail: iuggu-journal@yandex.ru
<https://iuggu.ru>

Отпечатано в типографии "Для Вас":
620073, г. Екатеринбург, ул. Розы Люксембург, д. 52а, оф. 3

**При подготовке этого номера, 28 октября 2019 года,
скончался заместитель главного редактора журнала
«Известия Уральского государственного горного университета»
ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ ГРЯЗНОВ.**



Грязнов Олег Николаевич, который умер на 87-м году жизни, был больше известен как крупный ученый, доктор геолого-минералогических наук и профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, который до самого последнего времени читал лекции студентам и вел активную научную работу. За свои заслуги он был удостоен многих почестей, в том числе званий: заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования, а также академик МАНЭБ и МАМР, член-корреспондент РАЕН и других почетных регалий.

Для нас же всегда был в первую очередь человеком, который в 1993 году возобновил выпуск нашего журнала, продолжив тем самым дело первого ректора Горного института П.П. фон Веймарна по изданию научных трудов. И до последнего дня своей жизни он оставался активным участником и вдохновителем наших начинаний и главным куратором всей редакционной жизни.

СВЕТЛАЯ ПАМЯТЬ, ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ...

Коллектив редакции