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(44)

2016

Уральский государственный
горный университет

Известия Уральского государственного
горного университета
2016, вып. 4

Журнал выходит 4 раза в год

Учредитель – Уральский государственный
горный университет

620144, Россия, Екатеринбург,
ул. Куйбышева, 30

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

Ural State
Mining University

News of the Ural State
Mining University
2016, issue 4

Published 4 times a year

Founded by
Ural State Mining University

30, Kuibyshev str., 620144, Ekaterinburg,
Russia

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

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

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55055 от 14.08.2013

Редакционная коллегия

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

Ученый секретарь, редактор разделов «История университета» и «Юбилейные даты»
Ю. А. Поленов – д-р геол.-минерал. наук, профессор

Ответственные редакторы по разделам

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

Редакционный совет

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

Экспертный совет

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

Editorial staff

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

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

Section editors

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

Editorial council

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

Advisory council

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

СОДЕРЖАНИЕ

7 НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ОБ ОБРАЗОВАНИИ И СТАБИЛЬНОСТИ КОЛЛОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
П. П. фон Веймарн
[In German]

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

9 АКТУАЛИЗАЦИЯ СЕРИЙНЫХ ЛЕГЕНД КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ОБЩЕГЕОЛОГИЧЕСКОЙ И ПОИСКОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОСГЕОЛКАРТЫ-200/2
В. А. Душин

13 ГЛАВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТАЛЛОГЕНИИ АЗЕРБАЙДЖАНА В XXI ВЕКЕ
А. Д. Исмаил-заде

18 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ ПЛОЩАДИ МИШОВДАГ НИЖНЕКУРИНСКОЙ ВПАДИНЫ ПО НОВЫМ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ
Х. З. Мухтарова, Г. Д. Насибова

25 ФАКТОРЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КОРИДОРА ТРАССЫ ПОЛЯРНО-УРАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ (ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН УРАЛА)
О. Н. Грязнов, М. С. Мартыненко, И. Г. Петрова

31 ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД, ОБУСЛОВЛЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ОТРАБОТАННЫХ КАРЬЕРАХ
О. В. Елохина, В. А. Елохин

35 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ ВОД СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРА КРУПНОГО ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
А. В. Хохряков, А. Г. Студенок, Г. А. Студенок
[In Russian, in German]

41 СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ АУДИОМАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЭКСПРЕСС-ЗОНДИРОВАНИЙ
В. А. Давыдов

45 СЕЙСМИЧНОСТЬ УРАЛА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ
А. Н. Гуляев

50 ТЕОРИЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И ОСНОВАНИЙ. Устойчивость откосов в поле тектонических, сейсмических и гидростатических напряжений
А. В. Жабко

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

54 РАЗРАБОТКА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО КАРЬЕРНОГО КОМБАЙНА
А. Ю. Чебан, Н. П. Хрунина, С. А. Шемякин

57 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК ПО ОДИНОЧНОМУ АЭРОСНИМКУ И РАСТРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА
Н. Ф. Добрынин, Т. М. Пимшина

CONTENTS

7 EINIGE ALLGEMEINEN BEMERKUNGEN ÜBER DIE BILDUNG UND STABILITÄT KOLLOIDER LÖSUNGEN
P. P. von Weimarn
[In German]

EARTH SCIENCES

9 ACTUALIZATION OF SERIAL LEGENDS AS A TOOL TO INCREASE COMMON GEOLOGICAL AND SEARCH EFFICIENCY GOSGEOLMAP-200/2
V. A. Dushin

13 MAIN PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF METALLOGENY OF AZERBAIJAN IN XXI CENTURY
A. J. Ismail-zade

18 GEOLOGICAL STRUCTURE AND HYDROCARBON BEARING PROSPECTS OF DEEP HORIZONS OF MISHOVDAG LOWER KURINSKAYA BASIN BASED ON NEW GEOLOGY AND GEOPHYSICS DATA
Kh. Mukhtarova, G. D. Nasibova

25 FACTORS OF GEOLOGICAL ENGINEERING CONDITIONS OF POLAR-URAL RAILWAY ROUTE CORRIDOR (EASTERN SLOPE)
O. N. Gryaznov, M. S. Martynenko, I. G. Petrova

31 EVALUATION OF SURFACE WATER POLLUTION, CONDITIONED UPON THE PLACEMENT OF WASTE PLACEMENT IN DEPLETED PITS
O. V. Elokhina, V. A. Elokhin

35 INVESTIGATION OF FORMATION PROCESSES OF DRAINAGE WATERS CHEMICAL CONTAMINATION WITS NITROGEN COMPOUNDS ON THE EXAMPLE OF MAJOR MINING ENTERPRISE
A. V. Hohryakov, A. G. Studenok, G. A. Studenok
[In Russian, in German]

41 METHODS OF DEVELOPING AUDIO-MAGNETOTELLURIC EXPRESS SOUNDINGS
A. N. Davydov

45 SEISMICITY OF URAL AND ADJACENT TERRITORIES
A. N. Gulyaev

50 THEORY OF CALCULATION OF THE STABILITY OF SLOPES AND BASES. Slope stability in the field of tectonic, seismic and hydrostatic stresses
A. V. Zhabko

ENGINEERING SCIENCES

54 DEVELOPMENT OF COAL DEPOSITS WITH THE APPLICATION OF UPGRADED SURFACE MINER
A. Yu. Cheban, N. P. Khrunina, S. A. Shemyakin

57 DETERMINING OF POSITION DATA BASED ON SINGLE AERIAL VIEW AND BITMAP MODEL OF RELIEF
N. F. Dobrynin, T. M. Pimshina

60 К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ КОМПЛЕКСОВ ШАХТНОГО ПОДЪЕМА
С. А. Тимухин, А. М. Плотников, Д. С. Дмитриев

63 ПОИСК ПРЕДПОСЫЛОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ
П. Б. Герике

68 ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ЛИТЫХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ
А. Ю. Стовманенко, А. Н. Анушенков

72 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ИНВАРИАНТНОГО ПОГРУЖЕНИЯ В БЕЗДАТЧИКОВОЙ СИСТЕМЕ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ
Г. Т. Хафизов, Д. А. Курносов, С. Г. Воронин

76 ОБ АКТИВНЫХ МАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКАХ
И. Л. Щеклеина, А. В. Угольников, Д. С. Стожков

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

80 ДЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ: ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ
Я. Р. Хайрулина, А. В. Душин, Г. А. Ляпцев

84 ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ РАЗРАБОТКИ МЕТАНОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
П. Н. Пармузин

88 МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ И РАЗВИТИЮ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ
И. А. Кулькова, Н. А. Николаев

94 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ
Ю. Н. Зеленов, О. В. Косолапов

НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ

97 СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
К. С. Иванов

ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА НА УРАЛЕ

99 П. К. СОБОЛЕВСКИЙ – ОСНОВОПОЛОЖНИК УРАЛЬСКОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ
В. В. Филатов

ИСТОРИЯ УГГУ

103 «ЗДАНИЕ ОЧЕНЬ КРАСИВОГО И ВЕЛИЧЕСТВЕННОГО ВИДА С НАДПИСЬЮ «ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ» (взгляд на нас из XIX века)

105 ДВА ГОДА, О КОТОРЫХ МЫ ЗАБЫЛИ (Уральский горный институт В 1917–1919 гг.)
А. Г. Шорин

ПОТЕРИ НАУКИ

109 ПАМЯТИ ЮЛИЯ БОРИСОВИЧА ДАВЫДОВА

60 ON THE QUESTION OF SUBSTANTIATING THE MOVEMENT SPEEDS OF CONVEYANCES OF HOISTING COMPLEXES
S. A. Timukhin, A. M. Plotnikov, D. S. Dmitriev

63 SEACHING FOR PREREQUISITES IN ORDER TO CREATE A UNIFORM DIAGNOSTIC CRITERION TO EVALUATE THE MAXIMUM TECHNICAL STATE OF MOUNTAIN MACHINERY
P. B. Gericke

68 PERSPECTIVES OF USING PIPELINES FROM POLYMER MATERIALS DURING TRANSPORTATION OF CAST PACKING FILLED MIXTURES
A. Yu. Stovmanenko, A. N. Anushenkov

72 USAGE OF INVARIANT IMMERSION FILTERS IN SENSORLESS SYSTEM OF VECTOR CONTROL OF PMSM
G. T. Khaphizov, D. A. Kurnosov, S. G. Voronin

76 ABOUT ACTIVE MAGNETIC BEARINGS
I. L. Schekleina, A. V. Ugol'nikov, D. S. Stozhkov

ECONOMIC SCIENCES

80 DEINDUSTRIALIZATION OF RUSSIAN ECONOMY: PROBLEMS AND OPPORTUNITIES
Ya. R. Khairulina, A. V. Dushin, G. A. Lyaptsev

84 PARTICULARITIES OF DETERMINING THE ECONOMIC EFFECT FROM THE USAGE OF COAL BED METHANE WITH VARIOUS DEVELOPMENT METHODS OF COAL METHANE DEPOSITS
P. N. Parmuzin

88 METHODICAL GUIDELINES ON EVALUATION AND DEVELOPMENT OF FORMATION FACTORS OF PERSONNEL INVOLVEMENT IN THE COMPANY ACTIVITY
I. A. Kul'kova, N. A. Nikolaev

94 ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY OF ENTERPRISES AT THE EARTH USING
Yu. N. Zelenov, O. V. Kosolapov

SCIENTIFIC CONFERENCES

97 MODERN PROBLEMS OF GEOLOGY AND GEOPHYSICS
K. S. Ivanov

HISTORY OF MINING IN THE URALS

99 P. K. SOBOLEVSKY – THE INITIATOR OF THE URAL SHCOOL OF GEOPHYSICS
V. V. Filatov

HISTORY OF THE URAL STATE MINING UNIVERSITY

103 «ЗДАНИЕ ОЧЕНЬ КРАСИВОГО И ВЕЛИЧЕСТВЕННОГО ВИДА С НАДПИСЬЮ «ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ» (взгляд на нас из XIX века)

105 ДВА ГОДА, О КОТОРЫХ МЫ ЗАБЫЛИ (Уральский горный институт В 1917–1919 гг.)
А. Г. Шорин

OBITUARIES

109 IN COMMEMORATION OF YULIY BORISOVICH DAVYDOV

EINIGE ALLGEMEINEN BEMERKUNGEN ÜBER DIE BILDUNG UND STABILITÄT KOLLOIDER LÖSUNGEN[1]

P. P. von Weimarn

От редакции

В первом номере нашего журнала нынешнего года (выпуск 1(41), 2016) мы начали публиковать статьи на английском языке. Вначале в этой серии было напечатано исследование первого ректора Уральского горного института (ныне – УГГУ) П. П. фон Веймарна «Новый мир химических соединений» («A new world chemical compounds»), впервые опубликованное в выпуске №1 нашего журнала (1920 год). П. П. фон Веймарн также был первым редактором данного журнала. Таким образом, мы хотели подчеркнуть преемственность современного издания с тем, который редактировал фон Веймарн, – журнала, который соответствовал самым строгим международным стандартам того времени, превосходя по качеству большинство отечественных научных изданий. Начиная с этого номера (последнего в нынешнем году) мы начинаем принимать к публикации статьи еще и на немецком языке. Это тоже своего рода преемственность, так как журнал, редактором которого был П. П. фон Веймарн, издавался на трех языках (русском, английском, немецком). С целью отдать долг памяти этому ученому мы публикуем статью на немецком языке на излюбленную тему П. П. фон Веймарна – коллоидная химия.

In meinen früheren[2] Abhandlungen habe ich öfters-als Schlussfolgerung meiner zahlreichen Versuche über die Herstellung kolloider Lösungen-hervorgehoben, dass die Stabilitätstheorien, die sich *ausschliesslich* auf den Einfluss der sogen. *Ionen* gründen, nicht allgemeingültig sein können.

Zu solchen Theorien gehört z. B. die Theorie von *G. Malfitano*[3], welche sich bemüht die Bildung und die Stabilität kolloider Lösungen *ausschliesslich* durch die Einwirkung von *Ionen* auf die im Dispersionsmittel sich bildenden unlöslichen Substanzen zu erklären, welche Einwirkung sich in der Bildung komplexer *Mizell-Ionen* kundgibt.

Man kann sich nicht genügend wundern, wie einige Kolloidforscher nicht begreifen können, dass, wie das «*echte*» Lösen nicht hervorgerufen wird durch *Ionen* (wohl aber begleitet werden kann von Erscheinungen, die man als «*Ionisation*» oder «*elektrolytische Dissoziation*» bezeichnet), aber *ein Resultat der gegenseitigen Einwirkung des Lösungsmittels und der sich lösenden Substanz ist,* genau ebenso, auch das «*kolloide*» Lösen *von der gegenseitigen Einwirkung des Dispersionsmittels und der dispersen Phase abhängt,* welche Einwirkung im speziellen Falle von sogen. «*Ionenreaktionen*» begleitet werden kann.

Genau ebenso, wie man eine genügend konzentrierte «*echte*» Lösung einer Substanz im Lösungsmittel, welches diese Substanz «*praktisch*» nicht ionisiert, erhalten kann, so lässt sich auch herstellen eine *stabile* kolloide Lösung beliebiger Substanz in Lösungsmitteln die «*praktisch*» nicht ionisieren.

Wenn für die betreffende Substanz ein Dispersionsmittel gefunden ist, welches die Substanz *praktisch* «*echt*» nicht löst, so ist es völlig klar, dass man diese Substanz in dem betreffenden Dispersionsmittel nicht «*kolloid*» lösen kann, in mehr oder weniger beträchtlicher Quantität, solange das Dispersionsmittel *rein* bleibt, d. h. solange in dem Dispersionsmittel nicht neue Substanzen – die Dispergatoren – eingeführt sind, und solange die zu dispergierende Substanz nicht bis au solchem Dispersitätsgrade geführt ist, bei welchem eine gegenseitige Einwirkung dieser Substanz mit dem Dispergator bemerkbar wird.

In *reinem* Dispersionsmittel, welches tatsächlich *praktisch* indifferent ist zur betreffenden Substanz, können wir durch die Kondensationsmethode kolloide Lösungen nur von äusserst geringer Konzentration bereiten, und von je kleiner Stabilität, je indifferenter das Dispersionsmittel ist.

Der Grund der Bildung solcher dispersoider Lösungen birgt sich in der kinetisch-molekularen Natur des verlaufenden Kondensationsprozesses.

Denn die Moleküle der sich, in solchem *reinen* Dispersionsmittel, bildenden unlöslichen Substanz müssen eine *gewisse Zeit* haben um sich zu dispersen Teilchen zu vereinigen, und letztere müssen wiederum *Zeit* haben um sich zu Aggeregaten (Flocken) oder zu kompakten Bildungen (Kristallen, Tropfen), welche kolloide Dispersität übertreffen, zu vereinigen.

Der *Zeitraum*, der dazu nötig ist, ist die *Lebensdauer der kolloiden Lösung* und sie ist um so grösser, je geringer die Konzentration der reagierenden Lösungen ist.

Kolloide Lösungen von beträchtlicher Konzentration koagulieren sofort in solchen reinen indifferenten Dispersionsmiteln.

Eine Substanz, die praktisch «*echt*» unlöslich ist im betreffenden indifferenten Dispersionsmittel, lässt sich in letzterem „*kolloid*" lösen nur mit Hilfe des Parasitismus der zu dispergierenden Substanz auf Kosten des zum betreffenden Mittel *aktiven* Dispergators, d. h. mit Hilfe des Prozesses, welchen ich schon früher als „*divpersoiden Parasitismus*" bezeichnet habe.

Wenn z. B. $BaSO_4$ in einer Alkohol-Wasser-Mischung (50 %) praktisch „*echt*" nicht löslich ist, so lässt sich dasselbe $BaSO_4$ in diesem Mittel auch „*kolloid*" nicht *lösen,* in mehr oder weniger bemerkbaren Menge, solange man in das System keine Dispergatoren einführt.

Wenn man aber einen entsprechenden Dispergator findet, z. B. wenn die Bildungsreaktion des $BaSO_4$ im Alhokol-Wasser Mittel realisiert wird *bei Überschuss eines löslichen Baryumsalzes,* so lässt sich eine dispersoide Lösung von $BaSO_4$ bereiten, ohne besonderen Vorsichtsmassregeln: man kann, z. B. den Alkohol mit Wasser aus der Wasserleitung verdünnen, man kann verwenden einerseits eine Mischung der verschiedensten.

Sulfate und – andrerseits – eine Mischung der verschiedensten Barvumsalze und, *beim Überschusse der Baryumsalze,* lässt sich doch eine genügend stabile dispersoide $BaSO_4$ –Lösung erhalten, welche, allerdings, weniger stabil sein wird als bei Anwendung reiner Substanzen.

Die dispersoiden Lösungen, die auf solchem Wege zu erhalten sind, *nähern sich in vielen Hinsichten den «echten» Lösungen,* wobei es interessant ist hervorzuheben fur diejenigen, die «*Kolloide*» und «*Kristalle*» als *Antythesen* betrachten, dass z. B. eine *prächtige* grün-bläuliche opaliszierende dispersoide Lösung von AgJ (im durchgehenden Lichte orange) im Alkohol-Wasser Medium *prächtige,* diamatnglänzende Kristalle von AgJ an den Wandungen des Glases ausscheidet und somit sich in Berührung befindet eine «*prächtige*» kolloide Lösung mit «*prächtigen*» Kristallen. (Es sind ungef. 3 Mouate nötig um Kristalle au erhalten, die mit unbewaffnetem Auge wahrzunehmen sind).

Indem sehr verdünnte dispersoide Lösungen in indifferenten Medien, *ohne Dispergatoren,* sehr empfindlich sind gegen verschiedene Koagulatoren (auch gegen Elektrolyte), sind dispersoide Lösungen in denselben Mitteln, *aber mit Dispergator,* äusserst wenig empfindlich gegen alle Koagulatoren, *die die Wirkung des Dispergators nicht zerstören.*

Obgleich es auch nützlich ist zu unterscheiden zwischen den «*instabilen*» kolloiden Lösungen, deren Existenz hervorgerufen wird nur durch die Langsamkeit des Kondensationsprozesses bei äussersten Verdünnungen, und den «*stabilen*» kolloiden Lösungen, die bei Anwesenheit der Bedingungen der Dispergation und des dispersoiden Parasitismus sich bilden, so muss man doch nicht vergessen, dass diese Arten der kolloiden Lösungen äusserste Glieder einer stetigen Erscheinungsreihe sind, denn man kann sowohl den Grad der Indifferenz des Despersionsmittels und den Grad der dispergierenden Wirkung des Dispergators mit grosser Allmählichkeit variieren.

Diese Allmählichkeit gestattet auch für eine und dieselbe Substanz, z. B. $BaSO_4$, AgJ, Au, Ag, $Fe(OH)_3$, $Si(OR)_4$ u. a. (z. B. im Alkohol-Wasser Medium) kolloide Lösungen von *verschiedensten Stalilitätsgrade* zu erhalten.

Z. B. in einem Dispersionsmittel-Mischung (Alkohol + Wasser) bei einer und derselben Konzentration von AgJ und bei beständigem Überschüsse von KJ geht die Stabilitätsgad-Kurve der dispersoiden Lösung durch ein Maximum, wenn man allmählich von *reinem* Wasser zu *reinem* Alkohol übergeht, denn die Löslichkeit des Dispergators und der homochemischen Verbindung verringert sich wenn man sich dem reinen Alkohol nähert, wobei hiermit sich auch der Gang der «*dynamischen*» Prozesse, welche die Bildung und die Existenz der dispersoiden Lösungen hervorrufen, verändert.

Ich muss hier bemerken, dass die sogen. «*Lyophilie*» und desgleichen auch die «*Emulsoidilät*» öfters als koagulierende Faktoren auftreten.

[1] Aus dem russischen übersetzt von A. Janek.
[2] P. P. von Weimarn. Koll.-Zeitsch. (1907–1914). Kolloidchem. Beihefte. (1909–1914). Journ. Russ. Chem. Gesel. (1905–1916).
[3] G. Malfitano. Kollchem. Beihefte. II. 142. (1910).

In der Stabilität kolloider Lösungen spielt eine grosse Rolle die «*dynamische*» Seite[4] der gegenseitigen Einwirkung der dispersen Phase und des Dispersiousmittels, und nicht die «*statischen*» «*Liophile*» und «*Liopholie*» diese «*dynamische*» Seite ist von grösser Bedeutung auch für das «*echte*» Lösen, wie das von mir schon in meiner «*dispersoidologischen Theorie der echten Lösunger*» gezeigt wurde[5].

Wladiwostok

[4] P. P. von Weimarn. Zoitschr. fur physik. Chemie LXXVI. 2. 224-225. (1911).
[5] P. P. von Weimarn. Kolloidehem. Beihefte. IV 175-195. (1913), Koll.-Zetsechr XII. 298-308. (1913).

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.553.495(571.12) DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-9-12

АКТУАЛИЗАЦИЯ СЕРИЙНЫХ ЛЕГЕНД КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ОБЩЕГЕОЛОГИЧЕСКОЙ И ПОИСКОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОСГЕОЛКАРТЫ-200/2

В. А. Душин

Actualization of serial legends as a tool to increase common geological and search efficiency Gosgeolmap-200/2

V. A. Dushin

Information on the important of updating the serial legends during creation of modern Gosgeolmap- 200/2 is given in the article. Based on the experience of carrying out medium scale geological-surveying works on specific examples (ASE-200 sheets P-40-XII, P-40-VI) a necessity of carrying out this procedure that influences geological-metallogenic and search aspects of geologist-surveyors activity is shown. Thus, updating of serial legend of North-Uralsk series of sheets, based on our opinion should be based on the results of up-to-date works, especially in the part of specifying the location in the cut-section of Pre-Cambrian volcanogenic and intrusive rocks, that are indicators of geodynamical environments. An important element in this regard are both presence of volcanics (up to 10 %) in the cut-section of Khobeinskaya formation as well as breakdown of polyformation salnero-manhambovskiy granite-leuco granite complex of Vendian Cambrian on mid-late Riphean Manhambovskiy granite complex and Vendian- mid cambrian Salenrian granite-leiko granite complex. Geological and isotopic-geochronological proofs of similar differentiation are carried out. No less important matter that was raised in the article is the metallogenic aspect that directs researchers to search a complex uran-thorium – rare metal mineralization due to the unconformability in framing granitoids of Manhambovskiy massif and especially the uranium mineralization of hypogene-hypergene unconventional type in its endocontact. The presented information is an example of improving the serial legend as a tool to receive new geological information that directly influences the increase of common geological and prospecting efficiency when making Gosgeolmap-200/2 of new generation, that is directing geologists on uncovering new oftentimes unknown mineralization types in the region. New ideas that are implemented in actualized serial legends allow to considerably increase the common geological and prospecting efficiency of regional works.

Keywords: legend; regional works; prospecting efficiency; granites; complexes; isotopy.

Приводится информация о важности совершенствования серийных легенд при создании современной Госгеолкарты-200/2. Согласно опыту проведения среднемасштабных геолого-съемочных работ на конкретных примерах (ГДП-200 листов P-40-XII, P-40-VI), показана необходимость проведения данной процедуры, влияющей на геолого-металлогенические и поисковые аспекты деятельности геологов-съемщиков. Так, обновление серийной легенды Северо-Уральской серии листов, по мнению автора, должно базироваться на результатах современных работ, особенно в части уточнения положения в разрезах докембрия вулканогенных и интрузивных пород, являющихся индикаторами геодинамических обстановок. Важным элементом в этом отношении являются как наличие вулканитов (до 10 %) в разрезе хобеинской свиты, так и расчленение полиформационного сальнеро-маньхамбовского гранит-лейкогранитового комплекса венда–кембрия на средне-позднерифейский маньхамбовский гранитный комплекс и вендско-среднекембрийский сальнерский гранит-лейкогранитовый комплекс. В работе приводятся геологические и изотопно-геохронологические доказательства подобного расчленения. Не менее важным вопросом, поднятым в статье, является металлогенический аспект ориентирующий исследователей на поиски комплексного уран-торий-редкометалльного оруденения в связи с несогласием в обрамлении гранитоидов Маньхамбовского массива и особенно уранового оруденения гипогенно-гипергенного нетрадиционного типа в его эндоконтакте. Изложенная информация – пример совершенствования серийной легенды как инструмента получения новой геологической информации, напрямую влияющей на повышение общегеологической и поисковой эффективности при создании Госгеолкарты-200/2 нового поколения, нацеливающей геологов на выявление новых, зачастую неизвестных в регионе типов оруденения. Новые идеи, реализованные в актуализированных серийных легендах, позволяют значительно повысить общегеологическую и поисковую эффективность региональных работ.

Ключевые слова: легенда; региональные работы; поисковая эффективность; граниты; комплексы; изотопия.

Изучение недр и создание минерально-сырьевой базы – важнейшие задачи геологической службы России, реализация которых во многом опирается на проведение опережающих региональных работ, прогнозирование, поиски и оценку ведущих для страны видов полезных ископаемых. Региональные исследования всегда задавали и задают идеологию формирования базовой геологической информации, определяя во многом и металлогенический облик конкретных территорий. Особенно это актуально при постановке и проведении работ по созданию Госгеолкарты-200/2.

Как хорошо известно, создание геологической основы опирается на формулу *принципы–легенда–карта*. Принципы, как правило, заложены в используемой современной геологической парадигме и реализуются в разрабатываемой легенде. Последняя представляет собой «…выражение в графическом виде системы картографируемых геологических подразделений и их структурных, вещественных и других характеристик и отношений эквивалентности (сходство–различие) и порядка (последовательность возникновения и возраст) между подразделениями» [1]. Серийная легенда как важнейший элемент Госгеолкарты, выступая в качестве основы рациональной стандартизации (унификации) картируемых и коррелируемых подразделений общей и местной стратиграфической шкалы в пределах близких по геологическому строению районов, по мере поступления новой информации и обеспечения «сборки» листов нуждается в постоянном обновлении (актуализации) элементов своего внутреннего строения. Последние, как правило, включают геологические, в том числе структурно-тектонические и формационные подразделения, условные знаки вещественного состава пород, элементы взаимоотношения геологических подразделений и прочие атрибуты необходимой геологической нагрузки.

Создание современного поколения Госгеолкарты-200/2 предполагает наряду с приростом геолого-геофизической изученности и получения новых знаний в науках о Земле выявление реальных перспектив изучаемой территории с выделением участков недр для целей постановки поисковых работ и оценкой прогнозных ресурсов по категории P_3, а иногда и P_2.

Элементами повышения эффективности при региональных работах выступают:

– применение новых технологий и техники при геологическом изучении недр;

– внедрение новых закономерностей при прогнозировании МПИ и современной инструментальной базы количественного прогнозирования;

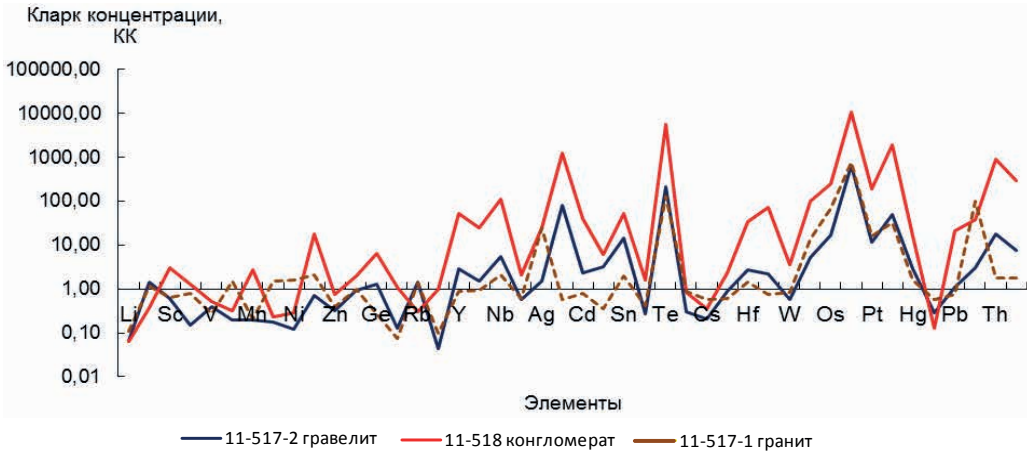


Рисунок 1. Кларки концентраций микроэлементов в породах участка «Южный».

– новые идеи, реализуемые в актуализируемых серийных легендах [2, 3].

Обновление легенды Северо-Уральской серии листов ГК-200, утвержденной НРС в 1998 г. и актуализированной в 2009 г. (Водолазская, 2009) параллельно с легендой Уральской серии листов Госгеолкарты-1000/3 (Жданов, 2009), необходимо осуществить в ближайшей перспективе, основываясь на результатах последних работ (ГДП-200), в том числе по листам P-40-XII, P-40-VI и др., в части стратифицированных и нестратифицируемых подразделений. Так, обострилась проблема наличия вулканогенных образований в мороинской и хобеинской свитах позднего рифея, исчезнувших в серийной легенде, поскольку весь эффузивный магматизм был переведен и сконцентрирован в саблегорской свите позднего рифея–венда. Данная ситуация не выдерживает критики по нескольким причинам. Во-первых, современные аналитические возможности (ICP MS) количественной геохимии и петрохимии свидетельствуют о формационном и геодинамическом различии вулканитов, обнажающихся в полях развития собственно саблегорской, хобеинской и мороинской свит. Если в первом случае это орогенные составы, то во втором – типичные рифтовые внутриплитные образования. Во-вторых, исторически все перечисленные подразделения в разных объемах содержали вулканогенные образования. Они преобладали в саблегорской свите, а в мороинской и хобеинской присутствовали только в виде отдельных покровно-потоковых элементов, не превышая 10–20 % объема разрезов [4]. Подобное строение перечисленных стратонов находим в работах В. Н. Малашевского [5]. В третьих, корректно геодинамическая природа отложений среднего-позднего рифея без участия эффузивного магматизма в принципе нерешаема.

Следующим важным вопросом, во многом определяющим металлогенические перспективы, особенно в части локализации ресурсного потенциала, является проблема расчленения сальнеро-маньхамбовского гранитного (объединяет все граниты Ляпинского антиклинория) комплекса, выделенного М. В. Фишманом в 1960 г. и отвечающего, судя по легенде Уральской серии листов [4], за все возможное оруденение – «вольфрамовое, молибденовое, редкометалльное, редкоземельное и золотое». Этот вопрос поднимался в том числе и автором еще в 1984 г. при обсуждении корреляционных схем магматизма Урала на совещании в г. Сыктывкаре.

Имеющаяся в настоящее время информация, в том числе и по результатам ГДП-200 Маньхамбовской площади, позволяет достаточно корректно расчленить данный комплекс, выделив самостоятельный средне-позднерифейский маньхамбовский гранитный и венд-кембрийский сальнерский гранит-лейкогранитовый комплексы. Возраст и самостоятельность первого обосновывается следующими данными:

– интрудирование (с образованием роговиков) среднерифейских отложений маньхобеинской и щокурьинской свит, не расчлененных в районе истоков рек Правый Укъю, Правый и Левый Маньняйс, и перекрытие их грубозернистой пачкой хобеинской свиты верхнего рифея с конгломератами в основании, содержащими гальку гранитов в районе выс. 850,1 (т.н. 13-222-2), г. Мань-Хапхартуйтумп (650,0) и др.;

– состав кварцитопесчаников хобеинской свиты позднего рифея (RF_3hb) и их геохимический облик практически полностью соответствуют составу перекрываемых ими гранитов (рис. 1).

– внутренняя текстурно-структурная и минералого-геохимическая дискордантность гранитов внешним контурам массива;

– гранитоиды рифея претерпели региональный метаморфизм эпидот-амфиболитовой ступени в отличие от зеленосланцевой фации пород сальнерского комплекса;

– данные изотопно-геохронологических исследований С. С. Щербина U–Pb-методом по уранониту показали значения в 1,1 млрд лет из цемента конгломератов хобеинской свиты. Следует заметить, что источником уранониту являются только ранние пегматиты либо альбитит-грейзеновые формации из маньхамбовских гранитоидов и мигматит-гранитовых протоманьхамбовских (?) ассоциаций. На это указывают также значения, полученные в ВИМСе Л. В. Суминым с датировками 1,5–2,5–3,0 млрд лет. Наши определения по магматическим цирконам U–Pb-методом [6] из пробы крупнозернистых гранитов показали значения 1,32 млрд лет, в том числе из этой же пробы модельный возраст Sm–Nd-методом также дал близкую величину – 1,42 млрд лет (таблица). Довендский возраст гранитов маньхамбовского комплекса подтверждается и изотопными U–Pb-датировками цирконов (608 ± 20 млн лет и 618 ± 18 млн лет) из умереннощелочных габброидов, интрудирующих массив (т.н. M-07-8-4). Малые тела и дайки этих пород установлены как внутри массива, так и по его эндоконтакту. Кроме того, в настоящее время получено большое количество U–Pb-значений возраста по аналогичным гранитам из массивов: Ровный (611–630 млн лет; 1,8 млрд лет); Хартесский (630 млн лет); Кулемшорский (631 млн лет) [7], что убедительно свидетельствует о древнем средне-позднерифейском возрасте маньхамбовских гранитов.

Самостоятельность сальнерского гранит-лейкогранитового комплекса кроме геологической и территориальной обособленности (включая небольшие самостоятельные тела внутри Маньхамбовского массива) определяется значительными петро-геохимическими отличиями, выраженными в более высоком содержании кремнезема, извести и низкой концентрации оксидов железа и магния, а также относительно первых пониженными концентрациями редкоземельных элементов и хрома.

Их возрастное положение определяется интрудированием рифейско-вендских отложений саблегорской свиты при параметрах по изотопии цирконов (U–Pb SHRIMP) 501 ± 3 Ma, 509 ± 5 Ma, 513 ± 5 Ma, 523 ± 4,7 Ma [7], 513 Ma, 522 Ma [8], что отвечает позднему венду–среднему кембрию.

Представляется, что в части выделения нескольких фаз в плутонических образованиях следует осторожно подходить к отнесению субвулканических аналогов (дайки трахитов) к заключительным фазам комплексов (малиновский комплекс) вследствие отсутствия строгих доказательств их комагматичности.

Результаты Sm–Nd-изотопного анализа гранита Маньхамбовского комплекса [6].

Sample	Sm, ppm	Nd, ppm	$^{147}Sm/^{144}Nd$	±2σ abs	$^{143}Nd/^{144}Nd$	±2σ abs	T_{DM}, млн лет
M07-17	9,11	43,3	0,1271	0,0006	0,512229	0,000011	1420

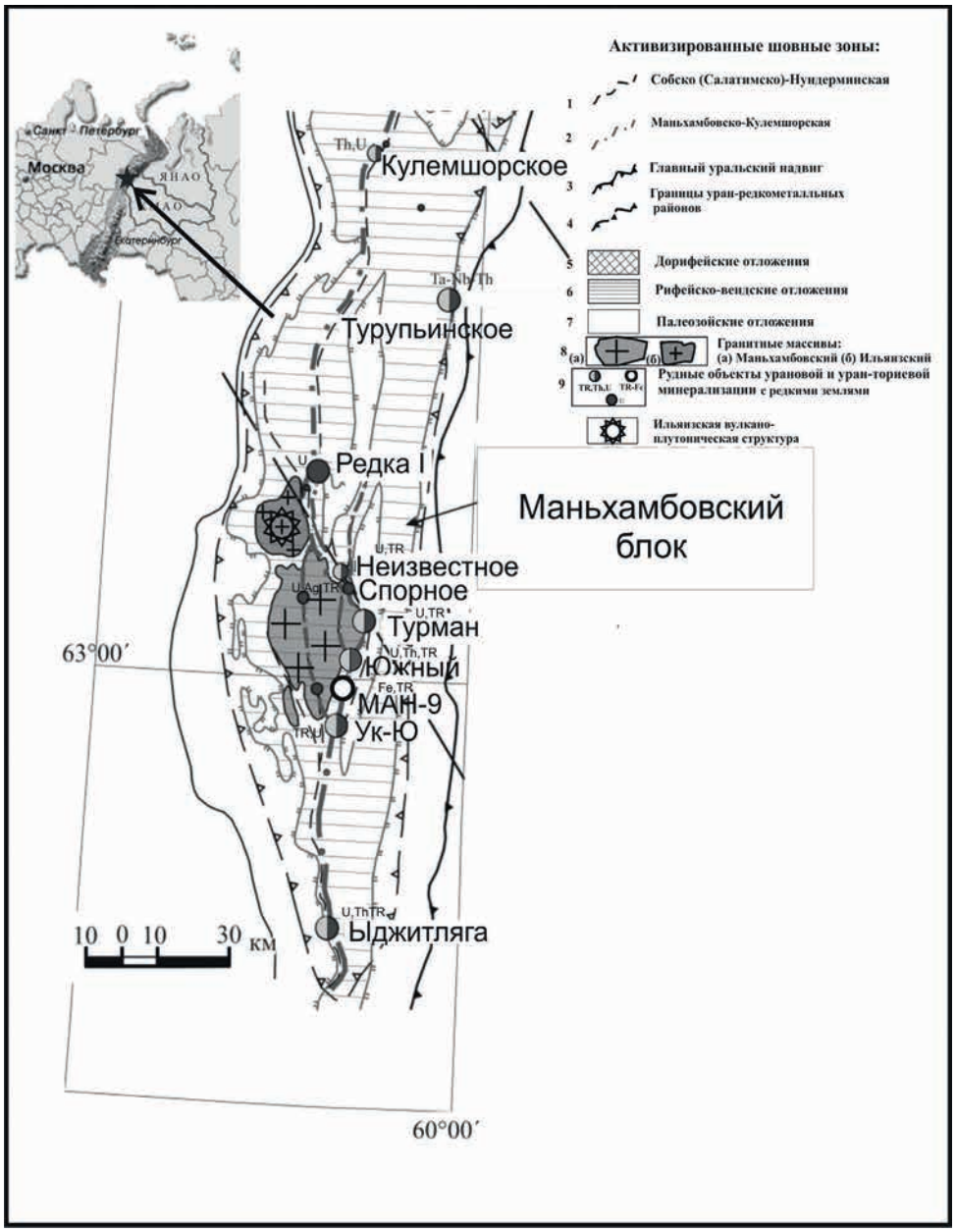


Рисунок 2. Схема размещения уран-редкометалльно-редкоземельных рудных объектов в пределах Маньхамбовского блока.

Следует также серьезно обсудить вопрос совмещения в едином комплексе (конкретной магматической формации), например, пород различных петрохимических серий (диориты–монцониты в парнукском диорит-габбровом комплексе), а также иметь в виду возможную полиформационность крупных массивов, о чем неоднократно высказывались многие исследователи, в том числе подобные факты установлены и нашими наблюдениями.

Перечисленные шаги по совершенствованию легенды Северо-Уральской серии листов будут способствовать углублению знаний о геологии и геодинамической эволюции региона, кроме того, это позволит целенаправленно увязывать и прогнозировать полигенное и полихронное оруденение конкрентно с тем или иным комплексом, либо с их фазами, что в конечном итоге приведет к повышению геологической и поисковой эффективности работ. Так, изученные в разные годы гранитоидные массивы Ляпинской зоны, локализованные в пределах Малопатокского выступа, Сальнерского палеорифта и Маньхамбовского блока, характеризуются повышенной щелочностью ($K_2O + Na_2O > 8–9$ %), но обладают при этом различной геохимической специализацией. Например, гранитоиды Кулемшорского массива характеризуются надкларковыми концентрациями Nb, Y; Потемьюского – Be, Sr, La; Большепатокского – Be, Y; Ильяизского – Be, Co, Nb, Ag, Sn, Bi; Сысьинского – Cu, Co, Ni, Ag, Nb, Sn; Маньхамбовского – Sc, Cr, Ni, Nb, Ag, Bi, TR. Хорошо известно, что геохимическая специализация во многом определяет и металлогеническую, что, в свою очередь, естественно сказывается на прогнозировании и реальных перспективах территорий. Последние наряду с флюидно-магматическими и тектоническими факторами реализуются через конкретные поисковые критерии и признаки, локализуя и переводя ресурсы в более высокие категории.

Металлогеническую специализацию Маньхамбовского блока в основном определяют радиоактивные и редкие металлы, многочисленные проявления которых выявлены в разные годы геологами-съемщиками в обрамлении одноименного массива. Они контролируются, как это сейчас представляется, не только позднерифейским несогласием, но и активизированной Кулемшорско-Маньхамбовской шовной зоной (рис. 2).

Здесь была установлена, в том числе и в рамках ГДП-200 (лист P-40-XII) [4] серия рудоносных зон стратиформного типа с локальными участками рудного обогащения полезными компонентами (U, Th, REE, TR, Au, ЭПГ, Ag), напоминающих иногда проявления рудных столбов вблизи контакта с гранитоидами. При этом максимальные концентрации полезных компонентов (U, Th, REE, TR, Fe) далеко не всегда совпадают с наиболее грубозернистой частью разреза, а накладываются и на гравелитовую и кварцитовую части, характеризующиеся высокой дислоцированностью. К ним относятся следующие объекты (с севера на юг): Неизвестный (U, Th, REE, TR, Au, ЭПГ), Турман (U, Th, REE, Au, ЭПГ),

Южный (U, Th, REE, TR, Au, ЭПГ), МАН-9 (Fe, REE) и др. Очень важными, и мы заостряем на этом внимание, с точки зрения промышленной значимости, являются урановые проявления нетрадиционного гипогенно-гипергенного типа в современных торфяниках, близкие к казахстанским объектам [9, 10], относимые согласно классификации МАГАТЭ к поверхностному геолого-промышленному типу (Моховое I, II, Малдизское и др.). Проба озоленного торфа, взятая из шурфа, показала первые проценты урана (при очень низком тории), около 0,3 % ΣREE и 0,15 % иттрия [11]. Анализ геолого-структурной позиции ураноносных торфяников свидетельствует об их пространственной приуроченности к отрицательным формам рельефа в эндоконтактовой части гранитоидного массива вблизи, либо внутри эндогенных рудоносных зон, локализуясь, как правило, в узлах пересечения крупных северо-западных и субширотных нарушений. Естественно, что эта информация об ураноносности кайнозойской металлогенической эпохи должна быть отражена в легенде.

Таким образом, изложенная информация определяет актуализацию серийной легенды как инструмент получения новой геологической информации, напрямую влияющий на повышение общегеологической и поисковой эффективности при создании Госгеолкарты-200 нового поколения, нацеливающей геологов на выявление новых, зачастую неизвестных в регионе типов оруденения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдэ А. И., Антипов В. С., Бергерия В. И. Камеральная обработка материалов геолого-съемочных работ масштаба 1 : 200 000: метод. рекомендации. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. Вып. 2. 384 с.
2. Легенда Северо-Уральской серии листов Госгеолкарты-200/2 (актуализированная электронная версия) / В. П. Водолазская [и др.]. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009.
3. Душин В. А. Общегеологическая эффективность региональных работ – залог их поисковой результативности (на примере Уральского Севера) // Региональная геология и металлогения. 2013. № 56. С. 5–11.
4. Жданов А. В. Легенда Уральской серии листов Госгеолкарты-1000/3 (актуализированная электронная версия). СПб.: ВСЕГЕИ, 2009.
5. Малашевский В. Н. Стратиграфия доордовикских метаморфических образований Приполярного Урала // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1967. Т. 144. С. 5–35.
6. Душин В. А., Ронкин Ю. Л., Лепихина О. П. Возраст и геодинамическая позиция гранитоидов Маньхамбовского блока (Северный Урал): U–Pb и Sm–Nd изотопная систематика и геохимические ограничения // Изотопные системы и время геологических процессов: IV Российск. конф. по изотопной геохронологии. СПб., 2009. Т. 1. С. 125–127.
7. Отчет по объекту «Прогнозная оценка ресурсного потенциала Северного, Приполярного и Полярного Урала на основе использования современных геолого-геофизических, минерагенических, геохимических и изотопных методов исследования» / А. Н. Мельгунов [и др.]. Екатеринбург: ТФГИ по УрФО, 2009. 702 с.
8. Удоратина О. В., Соболева А. А., Кузенков Н. А. и др. Возраст гранитоидов Маньхамбовского и Ильяизского массивов (Северный Урал): U–Pb-данные // Докл. РАН. 2006. Т. 406, № 6. С. 810–815.
9. Burkitbayev M., Uralbekov B., Nazarkulova Sh. Uranium series radionuclides in surface waters from the Shu river (Kasakhstan) // Envirom Moint. 2012. Vol. 14. P. 1190–1195.
10. Комитет геологии и недропользования. URL: http://geology.gov.kz/ru
11. Душин В. А. Перспективы открытия месторождений урана поверхностного типа в Маньхамбовском блоке (Северный Урал) // Региональная геология и металлогения. 2015. № 63. С. 77–84.

REFERENCES

1. Burde A. I., Antipov V. S., Bergeriya V. I. 1999, *Kameralnaya obrabotka materialov geologo-syemochnykh rabot mashtaba 1:200000. Metodicheskiye rekomendatsii* [Office analysis of geological surveying works of a 1:200000 scale. Methodological recommendations]. Issue 2. 384 p.
2. Vodolazskaya V. P. et al. 2009, *Legenda Severo-Uralskoi serii listov Gosgeolkarty-200/2* [Legend of North-Ural series of sheets of Gosgeolmap-200/2 (current version)]. Saint-Petersburg.
3. Dushin V. A. 2013, *Obshegeologicheskaya effektivnost' regionalnykh rabot – zalog ikh poiskovoi rezultativnosti (na primere Uralskogo Severa)* [Common geological efficiency of regional works]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya* [Regional geology and metallogeny]. No. 56. pp. 5–11.
4. Zhdanov A. V. 2009, Legend of Ural series of sheets of Gosgeolmap-1000/3 (current version). Saint-Petersburg.
5. Malashevskiy V. N. 1967, *Stratigraphiya doordovikskikh metamorphicheskikh obrazovaniy Pripolyarnogo Urala* [Stratigraphy of Pre-Ordovician metamorphic formations of Sub Polar Ural]. *Trudy VSEGEI* [Trudy VSEGEI: novaia seriia]. Vol. 144. Leningrad, pp. 5–35.
6. Dushin V. A., Ronkin Y. L., Lepehina O. P. 2009, *Vozrast i geodinamicheskaya pozitsiya granitoidov Mankhambovskogo bloka: U-pb I Sm-Nd izotopnaya sistematika i geokhemicheskiye ogranicheniya (Severniy Ural)* [Age and geodynamic position of granitoids of Manhambovskiy block (North Ural): U-Pb and Sm-Nd Isotope systematics and geochemical limitations]. *IV Rossiyskaya konferentsiya po izotopnoi geokhronologii* [IV Russian Conference on isotope geochronology. Isotope systems and time of geological processes]. Saint-Petersburg, pp. 125–127.
7. Melgunov A. N. et al., 2009, *Otchet po obyektu "Prognoznaya otsenka resursnogo potentsiala Severnogo, Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala na osnove ispolzovaniya sovremennikh geologo-geophizicheskikh, mineragenicheskikh, geokhemicheskikh i izotopnikh methodov issledovaniya"* [Report on the facility «Forecase evaluation of resource potential of North, Subpolar and Polar Ural based on the usage of modern geological-geophysical, mineragenic, geochemical and isotope methods of research»]. Ekaterinburg.
8. Udoratina O. V., Soboleva A. A., Kuzenkov N. A., 2006. *Vozrast granitoidov Manhambovskogo I Ilyaizskogo massivov (Severniy Ural): U–Pb data* [Age of granitoids of Manhambovskiy and Ilyaizkiy massifs (North Ural): U–Pb data]. Doklady Akademii Nauk, vol. 406. No. 6, pp. 810–815.
9. Burkitbayev M., Uralbekov B., Nazarkulova Sh., Matveyeva I., Leon Vintro L. 2012, Uranium series radionuclides in surface waters from the Shu river (Kasakhstan) // Journal of Environmental Monitoring. Vol. 14, pp.1190–1195.
10. *Kamyshanovskoye mestorozhdeniye* [Kamyshanovskoe deposit]. URL: http://geology.gov.kz
11. Dushin V. A. 2015, *Perspektivy otkrytiya mestorozhdeniy urana poverkhostnogo tipa v Man'hambovskom bloke (Severnyy Ural)* [Perspective of deposit discovery of surface type uranium in Manhambovskiy block (North Ural)]. *Regional'naya geologiya I metallogeniya* [Regional geology and metallogeny]. Issue 63. pp. 77–84.

Владимир Александрович Душин,
Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Vladimir Aleksandrovich Dushin,
Vladimir.Dushin@m.ursmu.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 001.57.622.34 (924.76) DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-13-17

ГЛАВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТАЛЛОГЕНИИ АЗЕРБАЙДЖАНА В XXI ВЕКЕ

А. Д. Исмаил-заде

Main problems and perspectives of metallogeny of Azerbaijan in XXI century

A. J. Ismail-zade

Based on the aggregation of available material on geology of metalliferous deposits of Azerbaijan on the principles of new geodynamical concept - «plate tectonics» metallogenic specialization of compositional complexes of structural areas of various geodynamic modes was identified and perspective pathways of researches for discovery of new large metalliferous deposits were established. Identification of indicator factors in the formation processes of structural-compositional complexes of various geodynamic modes facilitates establishment of combination of complex oceanic collages, island-arc active and passive outskirts of blocks and microcontinents, that are divided by continental and oceanic rifts. Metalliferous deposits that match specific metallogenic areas that are on a step-by-step basis are shown along the structural areas of Caucasus are located in close spatial-temporal association with the magmatism. In spacial distribution of mineralization establishing of zoning that supports the complexity of polygene-polychronous genesis of deposits is quite important. Genetic heterogeneousness is conditioned by the stage based manifestation of mineralization within the limits of metallogenic areas of various levels of activation of structural areas. Island arc system of Caucasus Minor in the aspect of magmatism and ore-bearing characterizes its one more possible prospects for gold. Review and generalization of similar problems of geology-tectonic examination of fields will serve as the main predicting assessment of the region for the possible detection of new types of metalliferous deposits.

Keywords: metallogenic areas; geodynamics; metalliferous deposits; mineral associations; predictive recommendations.

На основе обобщения имеющегося материала по геологии рудных месторождений Азербайджана на принципах новой геодинамической концепции «тектоники плит» выявлена металлогеническая специализация вещественных комплексов структурных зон различных геодинамических режимов и установлены перспективные направления исследований для выявления новых крупных рудных месторождений. Определение индикаторных факторов в процессах формирования структурно-вещественных комплексов различных геодинамических режимов способствует установлению сочетаний сложных коллажей океанических, островодужных активных и пассивных окраин блоков и микроконтинентов, разделенных континентальными и океаническими рифтами. В тесной пространственно-временной ассоциации с магматизмом находятся рудные месторождения, соответствующие определенным металлогеническим зонам, поэтапно проявленным в пределах Кавказа. В пространственном распределении оруденения весьма существенно установление также зональности, подтверждающее сложность полиген-полихронного генезиса месторождений. Генетическая их разнородность обусловлена стадийным проявлением оруденения в пределах металлогенических зон различной степени активизации структурных областей. Островодужная система Малого Кавказа в аспекте магматизма и рудоносности предполагает ее возможную перспективность на золото. Обзор и обобщение подобных проблем геолого-тектонического изучения месторождений послужат основой прогнозной оценки региона на возможное обнаружение новых типов рудных месторождений.

Ключевые слова: металлогенические зоны; геодинамика; рудные месторождения; минеральные ассоциации; прогнозные рекомендации.

Последние десятилетия XX в. ознаменовались существенными достижениями в области разработки теоретических проблем в науках о Земле. Среди них наиболее важной была геодинамическая концепция эволюции литосферы Земли, или «тектоника плит», основанная, как известно, на преобладающей роли горизонтальных напряжений в динамике литосферных плит [1].

Переход на новую парадигму сопровождался разработкой новых подходов к вопросу о научном обосновании поисков рудных объектов в сложных геологических обстановках континентов и складчатых зон. Новая геодинамическая концепция оказалась весьма своевременной, так как к концу XX в. фонд выявленных и разрабатываемых рудных объектов повсеместно оказывался на стадии истощения, а для его пополнения требовались новые модели, существенно по-новому интерпретирующие процессы магматизма и рудообразования и, возможно, способствующие более обоснованному прогнозированию новых рудных объектов.

В этом аспекте регион Кавказа – объект многолетних исследований большой плеядой геологов, изучивших условия образования и закономерности размещения рудных областей в структурных зонах, результаты которых отражены на многопрофильных геолого-геофизических картах и в многочисленных публикациях.

Однако с конца XX в. во всем мире возрос интерес к проблеме крупных месторождений, или месторождений-гигантов, связанной не только с их размерами, но в большей степени с установлением времени формирования, нелинейностью металлогении, гетерогенностью источников рудного вещества, связи с фундаментом или мантией, приуроченностью к скоплению сравнительно небольших мелких рудных полей [2].

Территория Азербайджана занимает восточную часть Кавказа, в геологическом отношении характеризующуюся проявлением главных структурных зон Большого и Малого Кавказа, погружающихся на юго-восток в сторону Каспийской впадины, в которых отражены все структурно-вещественные комплексы и связанные с ними рудные, нерудные и нефтегазовые месторождения, а с позиции «тектоники плит» – главные геодинамические режимы, наблюдаемые при палеогеодинамических реконструкциях истории тектонического развития Восточного Кавказа [3].

На территории республики имеются крупные месторождения руд: колчеданно-полиметалические (Белоканы, Закаталы), медноколчеданное с золотом (Кедабек), железорудно-кобальтовое (Дашкесан), полиметаллические (Мехмана, Агдара), медно-молибденовое (Парагачай), ртутное (Агятаг), золоторудные (Човдар, Гызыл-Булаг, Вежнали), а также крупные нерудные месторождения – алунитовое (Заглик), бентонитовое (Дашсалахлы), цеолитовое (Айдаг) и месторождения-гиганты нефти (Азери, Чыраг, Гюнашли) и газоконденсата (Шах-Дениз) (рис. 1) [4, 5].

Изложенное позволяет считать азербайджанский сегмент Кавказа естественной моделью для решения сложных проблем петрологии и рудообразования.

Ориентация научных исследований и обоснованный выбор направлений исследовательских работ проведены на основе выделения структурно-вещественных комплексов различных геодинамических режимов и установления типов их металлогенической специализации – стандартной и нестандартной. В последнем случае возможен элемент нелинейной металлогении. Этот принцип был положен в основу составленной в 2006 г. геологической карты Азербайджана на геодинамической основе в масштабе 1:1000 000 (авторы: М. И. Рустамов, А. Д. Исмаил-заде), согласно которой выделены структурно-вещественные комплексы различных геодинамических режимов:

– континентального рифтогенеза и окраинного моря, Большой Кавказ;

– островодужной активной континентальной окраины, Малый Кавказ, Закавказье;

– островодужной пассивной континентальной окраины, Малый Кавказ, Нахичевань.

Кавказскую складчатую систему, как и Уральскую, по мнению автора статьи, можно назвать бивергентным орогеном (рис. 2). Собственно Кавказ – центральная часть орогена между Евразийским и Иранским континентами. По генезису, возрасту, вещественному составу слагающих его комплексов и металлогении он резко асимметричен. Последнее обусловлено миграцией магматической активности в мезо-кайнозое на юг и осложнением в мезозойском периоде океана Тетис развитием на Кавказе океанического залива Мезотетиса с ныне выраженной Зангезурской шовной зоной-сутурой. Все это способствовало сочетанию сложного коллажа океанических, островодужных активных и пассивных окраин

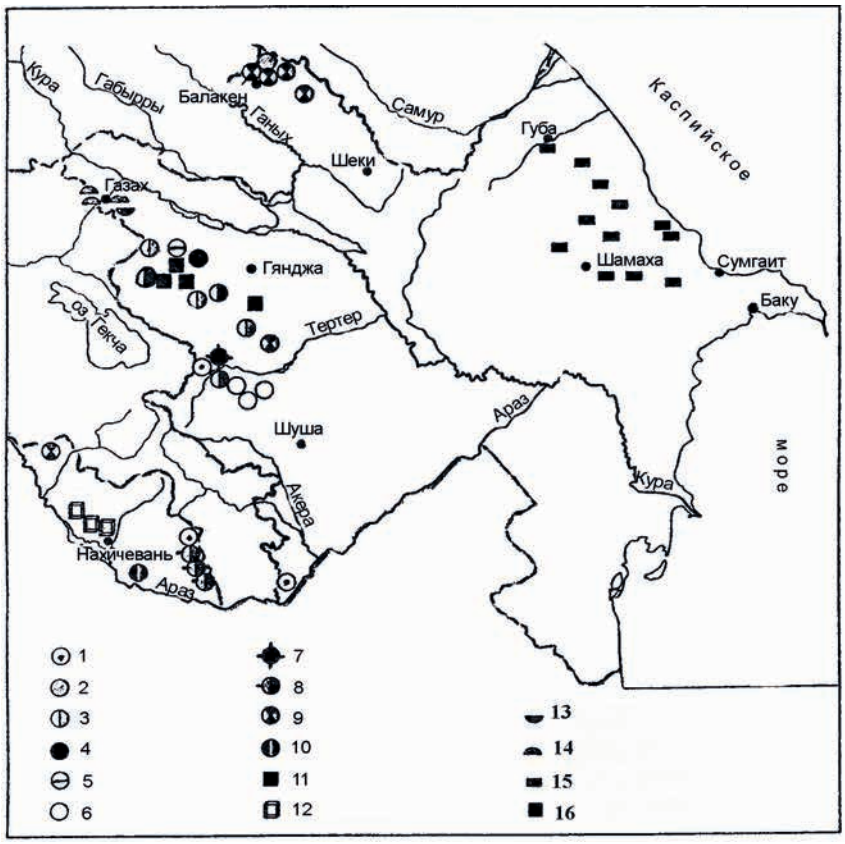


Рисунок 1. Схема размещения месторождений полезных ископаемых Азербайджана. 1 – золото; 2 – медь; 3 – медь–золото; 4 – кобальт; 5 – алунит; 6 – ртуть; 7 – хромит; 8 – мель–молибден; 9 – свинец–цинк; 10 – мышьяк; 11 – железо; 12 – каменная соль; 13 – цеолит; 14 – бентонит; 15 – горючие сланцы; 16 – каменный уголь.

блоков и микроконтинентов, разделенных континентальными и океаническими рифтами [6].

При рассмотрении проблем рудообразования в аспекте новой геодинамической концепции необходимо учесть полученные за последние годы новые данные по геологии Кавказа, позволяющие пересмотреть проблемные вопросы по геодинамике и соответственно по магматизму и металлогении:

– возможное наличие погребенной под мезозойским вулканогенным комплексом палеозойской аллохтонной офиолитовой пластины [7];

– установление единых фаз для одновозрастных интрузивных комплексов Лок-Гарабахской зоны, позволяющих рассматривать их в едином процессе магмогенерации;

– соответствие Куринской межгорной впадины грабен-рифтогенному прогибу [8].

Континентальные рифтогенные и окраинные комплексы. К континентальным рифтогенным зонам можно отнести прихребтовую часть Большого Кавказа, а к активно-окраинным – Гагра-Джавскую зону. На территории Азербайджана к первым относятся силлы и дайки долеритов и габбро-долеритов, отмеченные на севере в шельфовой зоне Скифской плиты в пределах северной полосы Туфанской зоны Большого Кавказа, а на юге – толеитовые базальты, а также силлы долеритов и габбро-долеритов ранней юры в шельфовой зоне Нахичеванской плиты.

В тесной пространственно-временной ассоциации с толеитовым вулканизмом Южного склона Большого Кавказа в Белокан-Закатальском районе Азербайджана находятся стратиформные медно-пирротиновые и колчеданно-полиметалические месторождения Филизчайского рудного поля, представляющие большое промышленное значение. Подобные, но сравнительно мелкие проявления установлены в Кахетии (Грузия) и в Дагестане (Россия) [9].

В пространственном распределении оруденения отмечается зональность: с северо-запада на юго-восток происходит смена медно-пирротиновых руд (Жихихское месторождение) колчеданно-полиметалическими (Филизчайское, Катехское, Кацдагское месторождения), что является подтверждением сложного полигенно-полихронного генезиса месторождений этой зоны [10].

Открытие новых значительных по масштабам месторождений при современной изученности региона в структурах Большого Кавказа вряд ли возможно.

По южному склону Большого Кавказа наибольший интерес могут представлять комплексы вдоль активной окраины т. е. по юго-восточному продолжению Гагра-Джавской зоны, более полно представленные на территории Грузии, однако погруженные в процессе формирования Куринской впадины по северному ее обрамлению. На территории Азербайджана они представлены среднеюрскими и меловыми комплексами Кахетино-Вандамской зоны, рудопроявление в которых представлено редкометалльной минерализацией с пиритом, халькопиритом и реже сульфидами свинца и цинка. Подобный вулканогенный комплекс частично сохранен и на юго-восточном продолжении в районе с. Вандам. Пространственно-временная сопряженность проявления магматизма и тектоники позволяет прогнозировать возможность обнаружения здесь рудопроявления, характерного для Гагра-Джавской зоны.

Комплексы островодужной активной континентальной окраины, обусловившие формирование мезозойского вулкано-плутонического пояса в пределах Лок-Гарабагской зоны, характерны для структурных зон Малого Кавказа. Именно эта зона, длительное время являвшаяся основной минерально-сырьевой базой для республик Кавказа, считалась перспективной и приемлемой в отношении эндогенного оруденения на рудные и нерудные ископаемые. Известные крупные, представляющие промышленный интерес месторождения медноколчеданных (Гедабек) [11], медно-порфировых (Хар-хар, Мехмана), колчеданно-полиметаллических (Мехмана) [12], железорудно-кобальтовых (Дашкесан) [13] и золотоносных (Човдар, Гызыл-Булаг, Вежнали) руд уже исследованы. При этом если перспективы железорудной минерализации (Дашкесан) еще существенны, то выявление новых колчеданных месторождений проблематично и возможно только при проведении поисковых работ на глубокие горизонты. Научное обоснование этих работ требует постановки детального формационного и фациального анализа и проведения комплекса геофизических исследований. Иными словами, в данной островодужной зоне, характеризующейся масштабным проявлением мезозойского кислого магматизма с широким набором рудных комплексов колчеданного типа, необходимы изучение и разведка глубоких горизонтов. Не менее важно установление тектонических условий проявления магматизма и рудогенеза и закономерностей их проявления на основе новых данных по петрологии, геохимии и геодинамике. Правда, по всем этим вопросам есть немало публикаций, освещающих результаты многолетних исследований по Кавказу. Однако на сегодняшний день они не однозначны в своей трактовке истории геотектонического развития региона и формирования месторождений твердых полезных ископаемых [14].

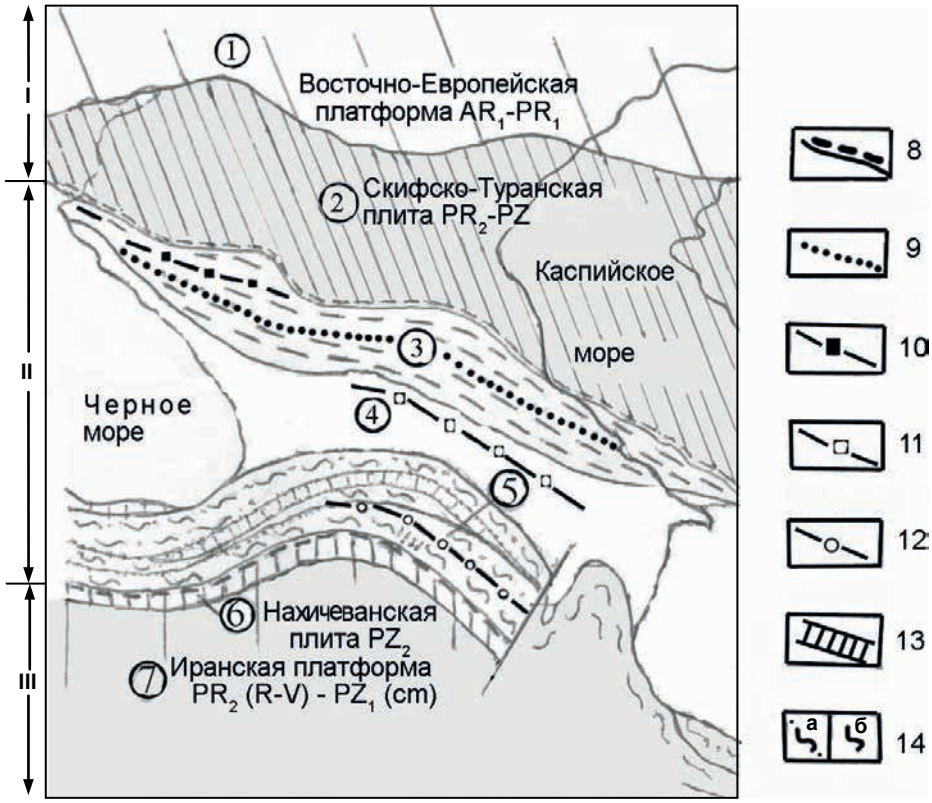


Рисунок 2. Бивергентная структурная позиция Кавказа в Альпийско-Гималайском складчатом поясе. I – 1 – Восточно-Европейская платформа; 2 – Скифско-Туранская плита; **II** – 3 – Большой Кавказ; 4 – Куринская впадина; 5 – Малый Кавказ; 6 – Нахичеванская плита; **III** – 7 – Иранская платформа; 8 – границы Кавказской мегаструктуры; 9 – граница Главного Кавказского хребта; 10 – сутура малого палеозойского океанического бассейна ПТ (северный склон Большого Кавказа); 11 – сутура (предполагаемая) большого палеозойского океанического бассейна; 12 – сутура Малокавказского мезозойского океанического бассейна ММТ; 13 – мезозойский офиолитовый пояс Малого Кавказа; 14 – мезо- (а) и кайнозойские (б) комплексы Малого Кавказа.

Изучение последних с учетом данных по глубинным горизонтам может пролить дополнительный свет на проблему поиска на Кавказе рудных месторождений колчеданного типа.

Не полемизируя ни с теми и с другими, считаем возможным остановиться на ряде вопросов.

1. Необходимо выявление роли доальпийского субстрата в проявлении магматизма и рудогенеза, так как в Лок-Гарабахской зоне (в Локской части) имеются многочисленные крупные гранитоидные интрузивы и месторождения различного типа, а в Гарабахской нет крупных интрузивов и рудных месторождений. В чем причина?

2. В Локской части на Шамкирском и Агдамском поднятиях развиты различные месторождения – медноколчеданные, медно-порфировые, колчеданно-полиметалические с золотом, а в разделяющем их Дашкесанском прогибе – лишь железорудно-кобальтовое. Не это ли нелинейный характер проявления металлогении и чем он обусловлен?

3. При преобладающих фациях средне-кислых пород в вулканогенных и интрузивных образованиях (90 %) и минимальных – основных пород (до 10 %) в геохимических составах кислых пород устанавливаются не характерные для них повышенные содержания сидерофильных и низкие щелочных элементов, а также в целом – мафический профиль металлогенической специализации, что позволяет исследователям сделать вывод о базальтоидном составе исходной магмы, хотя последняя не может явиться основой образования такого объема кислых пород без превосходящего объема основных пород [15]. В чем причина?

Необходимо остановиться еще на одной проблеме, возникшей за последние годы – обнаружение при шлиховом анализе аллювиальных отложений в истоках р. Кюракчай минералов платиновой группы. Единичные находки не дают оснований для выявления коренных источников. Однако в ряде работ по Уралу в островодужных комплексах отмечается высокий потенциал колчеданных типов месторождений на минералы платиновой группы и в первую очередь на палладий. Автором в связи с обнаружением в шлихах минералов платины не исключается возможность их увязки с дайками габбро-долеритов в хребтовой части региона. Здесь же необходимо отметить, что для Дашкесанского рудного поля при анализе факторов структурного и вещественного контроля проявления железорудно-кобальтового оруденения высказывается предположение о благоприятных условиях формирования сульфидно-никелевых руд и золотого оруденения с учетом наличия в погребенном субстрате палеозойской офиолитовой пластины. К последним могут иметь прямое отношение и упомянутые габбро-долеритовые дайки с возможной платиновой минерализацией, как гибридные производные, возникшие при воздействии кислой гранитоидной магмы на холодную палеозойскую аллохтонную гипербазитовую пластину [16].

Для установления практической значимости этой проблемы необходимы комплексные исследовательские работы, проводимые на базе современной аналитической лаборатории.

С колчеданным рудогенезом островодужного комплекса Малого Кавказа связаны и золоторудные месторождения. Их генетическая разнородность обусловлена приуроченностью к стадийному проявлению колчеданного оруденения: собственно колчеданные – Тоганалы, Чирагдере, Гоша; медноколчеданные и колчеданно-полиметалические – Гедабек, Мехмана; барит-полиметаллические – Човдар, Тулалар. Полигенность и полихронность месторождений способствует увеличению их промышленной значимости на золото – Кедабекское и Мехманинское (Гызыл-Булаг).

Перспективы обнаружения новых золоторудных месторождений в данной зоне, кроме известных Гедабекского, Гызылбулагского и Вежналинского, из которых первое уже интенсивно разрабатывается, а два последующих еще нет, проблематичны. Обнаруженные недавно новые месторождения Човдар и Тулалар во вторичных кварцитах перспективны, но еще находятся на стадии разведки. В данной зоне представляет интерес Даг-Кесаманское золоторудное проявление, находящееся на тектоническом стыке с Куринской впадиной, перспективы которой до сих пор не выявлены, хотя результаты начального этапа исследований были довольно обнадеживающими [17].

Есть определенная перспектива обнаружения в Гекча-Акеринской зоне, кроме Зодского, еще одного золоторудного месторождения. По результатам исследований последних лет Зодское золото-теллуридное месторождение – это офиолитовый тип генерации. Смысл нового генетического типа заключается в том, что приуроченность золотого оруденения к мезозойским комплексам офиолитовой ассоциации – серпентинитам, лиственитам, габброидам, широко распространенным в Гейча-Аскеринской зоне, происходит по расположенным в них гидротермально измененным зонам. По мнению автора, в мезозойский период выплавления палингенной гранитоидной магмы произошло взаимодействие ее с аллохтонно залегающей на доальпийском фундаменте палеозойской офиолитовой пластиной и именно с гидротермальной фазой вновь сформировавшейся гибридной магмы может быть связано золоторудное

оруденение Зодского региона. Наличие погребенной под мезозойским комплексом палеозойской офиолитовой пластины устанавливается по результатам изучения этапов геодинамического развития региона, петрологии, фемическому профилю металлогении и геофизики.

Каков же прогноз возможного обнаружения в упомянутой зоне нового золоторудного оруденения?

Гейча-Акеринская зона с мезозойским офиолитовым комплексом при общем юго-восточном простирании испытывает воздымание на ЮВ с соответствующим погружением на СЗ, и границы зоны крупной золоторудной минерализации зависят от глубины эрозионного среза. Так, на ЮВ – Ипяк, Лысогорский перевал, этот участок подвержен размыву, в центре – вскрытый Зодский золоторудный участок находится в разработке, а на СЗ – Шахдагский район, предполагаемая минерализация не выходит на дневную поверхность. Именно здесь, на Шахдагском поднятии, можно предположить возможное наличие золоторудного оруденения.

С островодужным комплексом связаны также марганцевые, точнее, железо-марганцевые оруденения – Молладжалилское, Эльворское, Дашсалахлинское. Подобного типа рудопроявления известны и на Большого Кавказе – Даличайское, Мюджичайское, Апшерон-Гобустанское, а также в Нахичеванской зоне – Аляги, Биченаг. Они различны по генезису, но вряд ли могут создать надежную основу для минерально-сырьевой базы республики в будущем.

Касаясь вопроса перспективности обнаружения новых месторождений в Лок-Карабахской островодужной системе, можно отметить, что она представляет собой северо-восточный борт Малого Кавказа, сопрягающийся с южным бортом Куринской впадины. В данной зоне, как и в случае с Большим Кавказом, приграничные комплексы Малого Кавказа погружены в структуры Куринской впадины, и обнаружение в них рудных объектов возможно лишь на основе проведения поисково-разведочных работ с применением комплекса современных методов геофизических исследований.

Рассматривая островодужную систему Малого Кавказа в аспекте магматизма и рудоносности, необходимо охарактеризовать еще одну возможную перспективность структурной зоны. Металлогения этой зоны определяется хромитовым оруденением аллохтонной пластины, к сожалению, не достигающим промышленной значимости, а также слабым проявлением колчеданного оруденения и наложенным на офиолитовый комплекс региона вышеупомянутым золоторудным оруденением (Зод, Соютлу). Наличие в данной структуре гидротермально измененных зон с колчеданной и медноколчеданной минерализацией и соответствие данной зоны центральной части единой Лок-Кафанской зоны с богатой медноколчеданной минерализацией не исключает возможного присутствия в глубинном мезозойском фундаменте аналогичного оруденения.

Комплексы пассивной континентальной окраины. Перспективы рудоносности пассивной континентальной окраины, охватывающей кайнозойские образования Нахичеванской плиты, определяются несколькими генетическими типами медного и медно-молибденового оруденения. Это медно-порфировые руды месторождений Мисдаг, Диахчай, Гей-гель, Гекгюндур (Ордубадский район); медистые песчаники стратиформных медных руд (Асадкяфская группа); колчеданно-полиметаллические руды (Агдара); медно-молибденовые (Парагачай, Капуджих), а также полиметаллические и молибденовые проявления северной Карабахской зоны по южному обрамлению Кельбаджарской наложенной мульды (Далидаг).

Среди этих месторождений и проявлений медно-молибденового оруденения потенциально перспективным на более глубокие горизонты может считаться уже разработанное Парагачайское медно-молибденовое месторождение Мегри-Ордубадского батолита. Находящееся по северному борту батолита более крупное Каджаранское месторождение (Армения) в настоящее время находится в разработке [18].

Что касается медных и медноколчеданных объектов этого региона, то их перспективы ограниченны, так как кайнозойский вулканизм, по сравнению с мезозойским, распространен менее масштабно.

С учетом преимущественно кислого гранитоидного состава довольно крупных на Кавказе Мегри-Ордубадского и Далидагского батолитов определенный интерес с возможной переоценкой накопленного фактического материала может представлять вольфрамовое оруденение, приуроченное к приконтактовой полосе этих плутонов.

Проведенные автором обзор и обобщение имеющегося геолого-тектонического материала по изучению рудных месторождений Азербайджанской части Восточного Кавказа предопределен рядом обстоятельств:

1. Появлением нового поколения геологических карт и схем, основанных на интерпретации геодинамических режимов с присущими им рудно-магматическими системами и сопутствующими структурно-вещественными и рудными комплексами, позволяющими выявить типоморфные различия между генотипами и сопряженными с ними рудными объектами;

2. Накопившимися за последнее время новыми данными по структурной позиции аллохтонных мезозойской и предполагаемой палеозойской офиолитовых пластин, по структурно-геологическим позициям рудных полей и составляющих их комплексов, позволившим переосмыслить процессы рудогенеза в формировании рудно-магматических систем;

3. Возникшей необходимостью определения дальнейших направлений исследований, связанных с расширением минерально-сырьевой базы Республики Азербайджан и в связи с этим потребностью в активизации поисков крупных рудных объектов, которые могут быть рентабельно разработаны в условиях рыночных отношений в XXI в.

Среди всех геодинамических режимов формирования рудных комплексов островодужная обстановка Малого Кавказа является наиболее продуктивной, т. е. масштабной и разнообразной по типу оруденения. Во всем мезозойском периоде (юра–мел) развития региона в этом режиме известны медноколчеданные, колчеданно-полиметаллические с золотом, барит-золото-полиметаллические, медно-порфировые, железорудно-кобальтовое, гематитовые, марганцевые и ряд нерудных – алунитовое, цеолитовое, бентонитовое месторождения. При этом установлена генетическая связь перечисленных месторождений с вещественными комплексами определенных геодинамических режимов.

При последующих металлогенических исследованиях особое внимание, по мнению автора, должно быть обращено на выявление типоморфных особенностей комплексов конкретных обстановок, как более ранних, так и более поздних, возникших в процессах трансформаций – тектонических и метаморфических. Трансформации особенно характерны для коллизионных комплексов, возникающих на окраинах континентальных плит, где металлогении свойственен нелинейный характер проявления.

Высокая перспективность структурных зон Кавказа, включая территорию Азербайджана, по целому ряду полезных ископаемых – медь, хром, железо, полиметаллы, золото и нерудное полезное сырье – подтверждена результатами многолетних исследований. Несмотря на длительный период их разработки, а также исчерпанность некоторых из них, дальнейшие детальные исследования могут позволить прогнозировать перспективы более глубоких горизонтов что, конечно, не исключает возможности увеличения сроков их эксплуатации. Не исчерпан и ресурс региона по золоту. Обнаружение ряда мелких месторождений, а также золота в речных аллювиях (россыпное золото с платиной) вместе с возможным обнаружением золоторудного месторождения, находящегося в погребенном состоянии в Шахдагской части Гейча-Акеринской зоны, дает основание положительно оценивать перспективы региона на этот благородный металл.

Однако дальнейшее развитие промышленной индустрии, по-видимому, будет связано с эксплуатацией месторождений-гигантов. Для Республики Азербайджан с известными, разведанными, эксплуатируемыми и частично истощенными месторождениями в пределах Большого и Малого Кавказа не представляется реальным обнаружение подобного типа месторождений-гигантов твердых полезных ископаемых.

Перспективным в этом отношении может служить лишь Куринская межгорная впадина, представляющая собой грабен-рифтогенную зону, северная часть которой – опущенный южный борт Большого Кавказа, южная часть – опущенный северный борт Малого Кавказа, а центральная часть – погребенная сутурная зона коллизии. Ранее упомянутые борта Большого и Малого Кавказа характеризуются крупными промышленно значимыми месторождениями колчеданных руд в полосе поперечной Шамкир-Белоканской зоны поднятия. Несомненно, перекрывающий кайнозойский осадочный чехол Куринской впадины значительной мощности и с пологими надвигами, нарушившими инфраструктуру бассейна осадконакопления, осложняет возможность их эксплуатации в ближайшем будущем.

По мнению автора, небесперспективны также исследования глубоких горизонтов Дашкесанского рудного поля на возможность обнаружения сульфидно-никелевых, платиновых и даже золотоносных руд, а также глубоких мезозойских уровней Гейча-Акеринской зоны на медноколчеданное оруденение.

Главная задача состоит в том, чтобы на основе полученных новых данных по геологии и геодинамике региона, а также современных методов исследований, в первую очередь геофизических, произвести «теоретический поиск» и практически выделить оруденение, представляющее промышленную значимость, а может быть даже установить новый промышленно-генетический тип рудного поля. Все это должно проводиться при наличии современной аналитической базы, позволяющей диагностировать исследуемый объект, и современных технологий, позволяющих с минимальным ущербом для природы извлечь их с больших глубин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боронин В. П. О парадигмах в геологии и нелинейной геодинамике // Георесурсы. 2002. Вып. 1(9). С. 2–7.
2. Пущаровский Ю. М. Новые веяния в тектонике // Геотектоника. 1997. № 4. С. 62–68.

3. Шихалибейли Э. Ш. Геологическое строение и история тектонического развития восточной части Малого Кавказа. Баку: Изд-во АН АзССР, 1966. Т. 1; 1967. Т. III.
4. Абдуллаев Р. Н., Азизбеков Ш. А. и др. Металлогения Азербайджана. Баку: Изд-во АН АзССР, 1962. 110 с.
5. Баба-заде В. М., Махмудов А. И., Рамазанов В. Г. Медно- и молибден-порфировые месторождения Азербайджана. Баку: АзГосиздат, 1990. 376 с.
6. Твалчрелидзе Г. А. О типах колчеданных месторождений и провинций // Изв. АН ССР. Сер. геол. 1972. № 10. С. 15–28.
7. Исмаил-заде А. Д. Новый взгляд на формирование железорудных месторождений в Дашкесанском прогибе Малого Кавказа // Изв. НАНА. 2012. № 4. С. 33–43.
8. Исмаил-Заде А. Д. Петрологическая интерпретация процесса гибридизма в мезозойских гранитоидных интрузивах Малого Кавказа // Изв. НАНА. Сер. наук о Земле. 2006. № 2. С. 9–19.
9. Дзоценидзе Г. С., Твалчрелидзе Г. А. О типах рудных месторождений, связанных с вулканизмом геосинклинальных зон (на примере Кавказа) // Рудоносность вулканогенных формаций. 1965.
10. Мустафаев Г. В. Основные черты металлогении Азербайджана. Баку. 2002, 231 с.
11. Керимов А. Д. Петрография и рудоносность Мехманинского гранитоидного интрузива. Баку: Изд-во АН АзССР. 1965. 126 с.
12. Керимов Г. И. Петрология и рудоносность Кедабекского рудного узла. Баку: Изд-во АН АзССР. 1963. 219 с.
13. Кашкай М. А. Петрология и металлогения Дашкесана. М.: Недра, 1965.
14. Курбанов Н. К., Кулаков В. В., Зарянов Ю. П. и др. Юрско-меловые магматические формации СВ части Малого Кавказа // Сов. геология. 1978. № 5. С. 99–113.
15. Мустафаев Г. В. О гибридизме магм мезозойских интрузивов Малого Кавказа и фемическом профиле эндогенного оруденения // Магматизм формации кристаллических пород и глубины земли. М.: Наука, 1972. Ч. II. С. 25–27.
16. Исмаил-заде А. Д., Абдуллаев Ф. Ф. Россыпи золота, платины и предполагаемые их коренные источники в бассейне р. Кюракчай (Малый Кавказ). Баку: Nafta-Press, 2010. 28 с.
17. Сулейманов Э. С. Золоторудные формации Малого Кавказа. Баку: Элм, 1982. 279 с.
18. Рустамов М. И. Палеотектоника и геодинамика Палеотетиса Каспийско-Кавказского региона // Труды Ин-та геологии. 2001. № 29. С. 136–147.

REFERENCES

1. Boronin V. P. *O paradigmakh v geologii i nelineinoy geodinamike* [About paradigms in geology and non-linear geodynamics]. *Georesursy* [Georesources]. No. 1 (9). 2002. pp. 2–7.
2. Pusharovskiy Y. M. 1997, *Novye veyaniya v tektonike* [New trends in tectonics]. *Geotektonika* [Geotectonics]. No. 4. pp. 62–68.
3. Shilhalibeili E. S., 1966, 1967, *Geologicheskoe stroenie I istoriya tektonicheskogo razvitiya vostochnoi chasti Malogo Kavkaza* [Geological structure and history of tectonic development of eastern part of Minor Caucasus]. Vol. 1, 3. Baku, Academy of Sciences of Azerbaidjan SSR.
4. Abdullaev R. N., Azizbekov S. A. et al. 1962, *Metallogeniya Azerbayjana* [Metallogeny of Azerbaijan]. Baku.
5. Baba-Zade V. M., Mahmudov A. I., Ramazanov V. G., 1990, *Medno- i molibden-porfirovye mestorozhdeniya Azerbaidjana* [Copper and molybdenum porphyritic deposits of Azerbaidjan]. Baku, 376 p.
6. Tvalchrelidze G. A. 1972, *O tipakh kolchedannykh mestorozhdeniy i provintsiy* [About the types of pyrites ore bodies and provinces]. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR, seriya geologicheskaya* [Proceedings of Academy of Sciences of SSR, geological series]. No. 10, pp. 15–28.
7. Ismail-Zade A. D., 2012, *Novyi vzglyad na formirovaniye zhelezorudnykh mestorozhdeniy v Dashkesanskom progibe Malogo Kavkaza* [New outlook on formation of iron-ore deposits in Dashkesanskiy depression of Minor Caucasus]. *Izvestiya NANA, seriya "Nauki o Zemle"* [Proceedings of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Earth Sciences]. No. 4. pp. 33–43.
8. Ismail-Zade A. D. 2006, *Petrologicheskaya interpretatsiya protcessa gibridizma v mezozoyskikh granitoidnykh intruzivakh Malogo Kavkaza* [Petrological interpretation of hybridism process in Mesozoic granitoidal intrusives of Small Caucasus]. *Izvestiya NANA, seriya "Nauki o Zemle"* [Proceedings of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Earth Sciences]. No. 2. pp. 9–19.
9. Dzotsenidze G. S., Tvalchrelidze G. A. 1965, *O tipakh rudnykh mestorozhdeniy, svyazannykh s vulkanizmom geosinklinal'nykh zon (na primere Kavkaza)* [About the types of metalliferous deposits that are related to volcanicity of geosynclinal area (on an example of Caucasus)]. *Rudonosnost' vulkanogennykh formatsiy* [Ore bearing of volcanic formations], Moscow.
10. Mustafayev G. V. 2002, *Osnovnye cherty metallogenii Azerbaidjana* [Main features of metallogeny of Azerbaijan] Baku, 231 p.
11. Kerimov A. D. 1965, *Petrografiya i rudonosnost' Mekhmaninskogo granitoidnogo intruziva* [Petrography and ore-bearing of Mekhmaninskiy granitoid intrusive]. Baku, Academy of Sciences of Azerbaidjan SSR. 126 p.
12. Kerimov G. I., 1963, *Petrologiya I rudonosnost Kedabekskogo rudnogo uzla* [Petrology and ore-bearing of Kedabekskiy ore cluster]. Baku: Academy of Sciences of Azerbaidjan SSR. 219 p.
13. Kashkai M. A., 1965, *Petrologiya i metallogeniya Dashkesana* [Petrology and metallogeny of Dashkesan], Moscow.
14. Kurbanov N. K., Kulakov V. V., Zaryanov Yu. P., Antonov V. A., 1978, *Yursko-melovye magmaticheskiye formatsii severo-vostochnoi chasti Malogo Kavkaza* [Jurassic-Cretaceous magmatic formations of north-eastern part of Minor Caucasus]. *Sovetskaya geologiya* [Soviet geology]. No. 5. pp. 99–113.
15. Mustafaev G. V. 1972, *O gibridizme magm mezozoiskikh intruzivov Malogo Kavkaza I femicheskom profile endogennogo orudeneniya* [About the hybridism of magmas of Mesozoic intrusives of Minor Caucasus and femic profile of endogenous mineralization]. *Magmatizm formatsii kristallicheskikh porod i glubiny zemli* [Magmatism of formation of crystalline rocks and earth depth]. Moscow, pp. 25–27.
16. Ismail-Zade A. D., Abdullayev F. F. 2010, *Rossypi zolota, platiny i predpolagayemye ikh korennye istochniki v basseine reki Kyurakchai (Malyi Kavkaz)* [Deposits of gold, platinum and proposed mother lodes in the basin of river Kyurakchai (Minor Caucasus)]. Baku, 28 p.
17. Suleymanov E. S. 1982, *Zolotorudnye formatsii Malogo Kavkaza* [Gold ore formations of Minor Caucasus]. Baku, 279 p.
18. Rustamov M. I., 2001, *Paleotektonika i geodinamika Paleotetisa Kaspiysko-Kavkazskogo regiona* [Paleotectonics and geodynamics of Paleothetis of Caspian-Caucasus Region]. *Trudy Instituta Geologii* [Proceedings of Institute of Geology]. No. 29, pp. 136–147.

Ариф Джафар-оглы Исмаил-заде,
arisfismail@excite.com
Институт геологии и геофизики Национальной академии наук Азербайджана
Азербайджан, Баку, просп. Г. Джавида, 119

Arif Jafar-ogly Ismail-zade,
arisfismail@excite.com
Institute of Physics Azerbaijan National Academy of Sciences
Baku, Azerbaijan

УДК 553.98 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-18-24

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ГОРИЗОНТОВ ПЛОЩАДИ МИШОВДАГ НИЖНЕКУРИНСКОЙ ВПАДИНЫ ПО НОВЫМ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Х. З. Мухтарова, Г. Д. Насибова

Geological structure and hydrocarbon bearing prospects of deep horizons of Mishovdag Lower Kurinskaya basin based on new geology and geophysics data

Kh. Mukhtarova, G. D. Nasibova

In order to determine the perspective based on new geological and geophysics data geological development was analyzed, reservoir characteristics of rocks were studied and correlation of cut-sections of Mishovdag structure of Lower Kurinskaya basin were done based on well data. As a consequence of the carried out paleo-analysis it was identified that the Mishovdag structure was developing simultaneously with deposition of sediments which proves its consedimentation. The carried out petrophysical studies showed that the lithofacies of rocks, that form layers change based on the sizes of flakes, meaning that coarse grained litofacies changes to fine-grained from legs to the crest. The characteristic of variability of penetrability of rocks along the horizons is that it occurs at long intervals. Based on the correlation of the well cut-sections widespread development of the effective capacities of PT deep horizons on the eastern arch and crestal parts of the Mishovdag anticline can be assumed. It should be mentioned that the drilled wells to the present day comprise wing and periclinal parts of the plications, upstructure portion of the Mishovdag deposit where main reserves of hydrocarbons along the PT-I horizon are concentrated was not encompassed by the deep exploratory drilling (since main wells in this part were drilled up to PT-I-PT-II). Based on the carried out explorations we can safely assume that the eastern crest portion where deep drilling on deep PT horizons weren't made, new deposits of hydrocarbons will be detected.

Keywords: fold; structure; swell; lithofacies; perspective; oil; area; field.

Для определения перспектив нефтегазоносности на основе новых геолого-геофизических данных проанализировано геологическое развитие, по скважинным данным изучены коллекторские свойства пород и была проведена корреляция разрезов Мишовдагской структуры Нижнекуринской впадины. По результатам проведенного палеоанализа выявлено, что Мишовдагская структура развивалась одновременно с осадконакоплением, что доказывает ее конседиментационность. Проведенные петрофизические исследования показали, что литофации пород, образующие пласты, меняются по размерам зерен, т. е. грубозернистая литофация меняется на мелкозернистую от крыльев к сводовой части. Особенность изменчивости пористости и проницаемости пород по горизонтам заключается в том, что она происходит на больших интервалах. По корреляции разрезов скважин можно предположить широкое развитие эффективных мощностей глубоких горизонтов продуктивной толщи на восточной сводовой и присводовых частях антиклинали Мишовдаг. Следует отметить, что пробуренные скважины до настоящего времени охватывают крыльевые и периклинальные части складки, а сводовая часть месторождения Мишовдаг, где сосредоточены основные запасы УВ по горизонту ПТ-I, не была охвачена глубоким разведочным бурением, так так как основные скважины в этой части пробурены до ПТ-I–ПТ-II. Согласно проведенным исследованиям, можно с уверенностью полагать, что в восточной сводовой части, где не было проведено глубокое бурение на глубокие горизонты продуктивной толщи, будут обнаружены новые залежи УВ.

Ключевые слова: складка; структура; свод; литофация, перспективность, нефть, площадь, месторождение.

Нижнекуринская впадина, в которой располагается Мишовдагская структура, ограничивается на западе-юго-западе Западно-Каспийским, на востоке-северо-востоке Ленгебиз-Алятскими глубинными разломами, а на востоке меридионально направленным Алят-Гызылагаджским разломом от Бакинского архипелага и с юго-запада Предталышским глубинным разломом от Талышских гор. Общая мощность мезокайнозойских осадков, которые наполняют впадину, увеличивается по направлению к Каспийскому морю от 16 до 20 км. Из-за того, что половину мощности этих осадков составляют плиоцен-антропогеновые отложения, изучить строение палеоген-миоценовых и мезозойских отложений не представлялось возможным. Надо отметить, что брахиантиклинальные структуры плиоцен-антропогена составляют сложные Пирсаат-Хамамдагские (А–А), Келамеддин-Мишовдаг-Бяндован (Б–Б) и Кюровдаг-Нефтчалинские (В–В) антиклинальные зоны (рис. 1, 2). Мишовдагская площадь расположена примерно в центральной части антиклинального пояса Каламадын-Бяндован, между поднятиями Малый Харами на северо-западе и Галмас на юго-востоке [1–4, 5].

Мишовдагская структура приурочена к локальному поднятию того же наименования. На рельефе местности эта структура отражена в виде нескольких поднятий, из которых самые крупные – Беюк Мишовдаг, Кичик Мишовдаг и Гыздаг, которые буквально отражают плиоценовую складчатость на поверхности земли. Абсолютные высоты поднятий на поверхности земли, имея 297,4; 281,7 и 294,4 м высоты, характеризуются

Рисунок 1. Обзорная карта Нижнекуринской впадины нефтегазоносного района. 1 – месторождения; 2 – изогипсы; 3 – разломы; 4 – антиклинальные зоны: Пирсаат-Хамамдаг (А–А), Келамеддин-Мишовдаг-Бяндован (Б–Б) и Кюровдаг-Нефтчала (В–В).

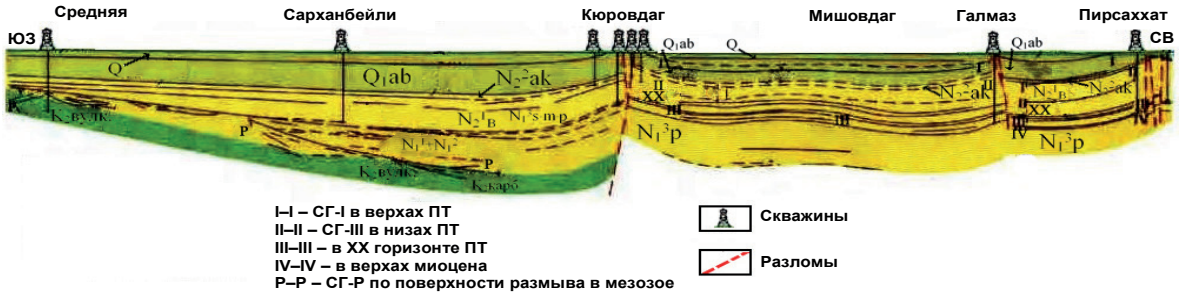


Рисунок 2. Нижнекуринский нефтегазоносный район. Региональный геолого-геофизический профиль [5].

Стратиграфический возраст	
Q – четвертичные отложения;	N_1^3p – понтический ярус (верхний миоцен)
Q_{1ap} – апшеронский ярус (четвертичная система)	N_1^3m – меотис (верхний миоцен)
N_2^2ak – акчагыльский ярус (верхний плиоцен)	N_1^3s – сармат (верхний миоцен)
$N_{2\,B}^1$ – продуктивная толща (ПТ) (нижний плиоцен)	N_1^2 – средний миоцен
$N_{2\,B}^{1\,1}$ – нижний отдел ПТ	N_1^1 – нижний миоцен
$N_{2\,B}^{1\,2}$ – верхний отдел ПТ	K_2 вулк. – верхний мел, вулканические образования
	K_2карб. – верхний мел, карбонатные образования

тем, что их склоны подрывают глубокие овраги, которые частично заполнены брекчиями грязевых вулканов. Само месторождение простирается с севера-запада на юго-восток [6].

Первая разведочная скважина на месторождении глубиной 850 м была пробурена в 1913 г. и вскрыла породы продуктивной толщи (ПТ). В последующие годы были проведены структурно-поисковые работы, картировочное бурение до глубин 300 м, а в 1955 г. была пробурена запланированная разведочная скважина, которая открыла это месторождение.

Геологический разрез Мишовдага представлен голоценовыми (ново-хазарскими) и плейстоценовыми (древне-хазарскими, бакинскими, апшеронскими) породами четвертичной системы, агджагильскими осадками и разрезом ПТ, которые перекрыты вулканическими брекчиями. В некоторых скважинах были вскрыты породы понта (миоцен) [7].

Понтийский ярус (миоцен), который представлен в основном глинами, был вскрыт несколькими скважинами.

Породы ПТ представлены чередованием разноцветных песков, песчаников и глин. Песчаные горизонты, количество которых достигает 20, отделены друг от друга глинистыми пластами. Верхняя часть разреза отличается большей (50–55 %) песчанистостью. Полная мощность ПТ, которая достигает 3105 м, была вскрыта в скважине 59.

Агджагильские породы представлены в основном глинами, но в нижней части разреза встречаются также и пропластки карбонатных песков. Мощность яруса колеблется от 60 до 190 м.

Четвертичные породы представлены чередованием песков и глин, а в верхней части – чередованием супесей и суглинков. Мощность варьирует между 20–230 м. Породы апшеронского яруса представлены всеми тремя подъярусами, которые литологически характеризуются чередованием песков, песчаников, глин, а иногда (в верхнем апшероне) известняков и коверновых известняков. Средний апшерон характеризуется большей песчанистостью. Общая мощность 1700 м.

Мишовдаг – асимметричная брахиантиклинальная структура размерами (20 × 25) × (4 × 6) км (рис. 2, 3), расположена почти в поперечном направлении с крутым (25–45°) южным и более пологим (7–25°) северным крыльями. Особенно отчетливо эта асимметрия видна в западной части структуры.

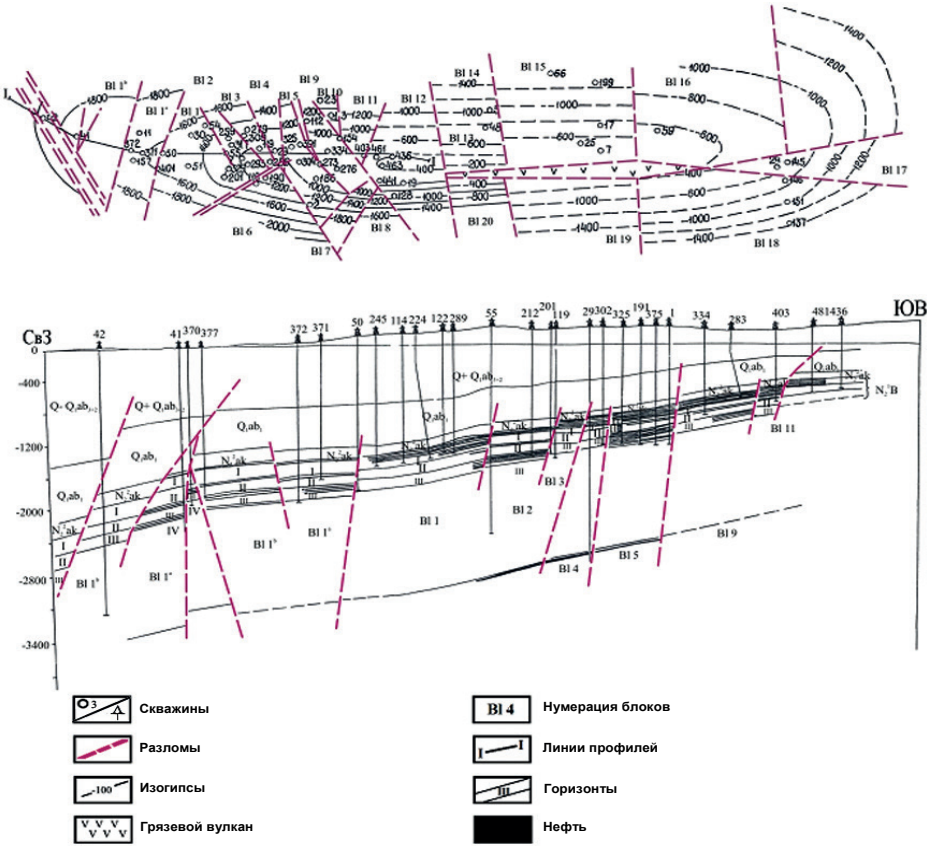


Рисунок 3. Площадь Мишовдаг. Структурная карта по подошве агджагиль и геологический профиль.

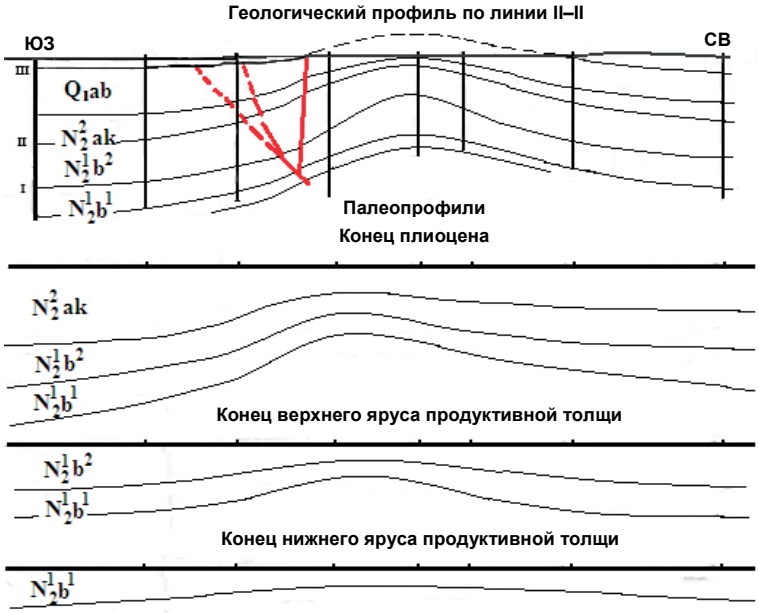


Рисунок 4. Месторождение Мишовдаг. Палеопрофили, показывающие развитие структуры (условные обозначения см. на рис. 2).

Сводовая часть складки осложняется большим продольным разломом регионального характера, и северо-восточное крыло относительно юго-западного приподнялось на 100–200 м. Этот продольный разлом, не доходя до северо-западной периклинали складки, затухает, соприкасаясь с расположившимся в восточной стороне от скв.19 и 436 поперечным разломом (рис. 3).

На площади было обнаружено около 20 малоамплитудных (50–250 м) поперечных разломов. Разломы сбросового и сдвигового типа создали более 25 блоков. Наблюдаемые грязевые вулканы и грифоны, сальзы, количество которых более 15, связаны с этими разломами.

В первых пробуренных поисковых и разведочных скважинах наблюдались нефтегазовые проявления, а нефтяное месторождение промышленного значения было открыто в 1956 г. Апробация скважин показала, что основными нефтяными пластами ПТ являются I, II и III, а в малом количестве нефть имеется в IV и XII горизонтах. Максимальная нефтенасыщенность связана с I и III горизонтами. По всем горизонтам нефтегазоносность связана в основном с северо-западным крылом структуры.

Нефтенасыщенность разных горизонтов и блоков имеет разный характер. I горизонт ПТ нефтенасыщен в 1, 1а, 1б, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11 и 12; II - в 1, 1а, 1б+с, 2, 5, 6, 9; IV - в 1б+с, 5; XII – в 1, 2, 3, 4 и 5 блоках [8–10].

Воды коллекторов ПТ имеют подошвенный и контурный характер. Никакой закономерности в отношении нефтенасыщенности или же водонасыщенности не наблюдается.

Нефти Мишовдагского месторождения высокосмолистые и высокопарафинистые. Плотность нефтей I горизонта колеблется от 0,861 до 0,918 г/см^3; II горизонта 0,876–0,907 г/см^3; III горизонта 0,866–0,913 г/см^3; IV горизонта 0,875–0,893 г/см^3.

Месторождение Мишовдаг вступило в эксплуатацию в 1956 г. [11].

Перспективы дальнейших поисков залежей нефти и газа связаны с отложениями нижней, еще не вскрытой бурением части ПТ мощностью около 1500 м. Учитывая, что большое количество глубоких разведочных скважин в сводовой и юго-восточной частях складки до глубины 2000–2200 м не обнаружило промышленных залежей нефти и газа, целесообразно первые разведочные скважины на низы толщи пробурить в той части складки, где такие залежи уже установлены.

Основная цель проведения исследований – определить нефтегазоносность погруженных горизонтов на основе проведенных геолого-геофизических работ и по материалам бурения.

На площади Мишовдаг были проведены следующие исследования: палеоанализ структуры и истории геологического развития по геолого-геофизическим данным, корреляция разрезов скважин, изучены петрофизические особенности пород.

На основе сейсмогеологического профиля составлены палеопрофили, которые в дальнейшем были детально проанализированы (рис. 4).

Анализ составленных палеопрофелей дает возможность проследить развитие локального поднятия и отметить особенности развития различных стратиграфических времен. Далее предоставляется результат анализа развития складки [12].

Как видно из палеопрофилей нижней и верхней продуктивной толщи и верхнего плиоцена по Мишовдагскому поднятию, развитие

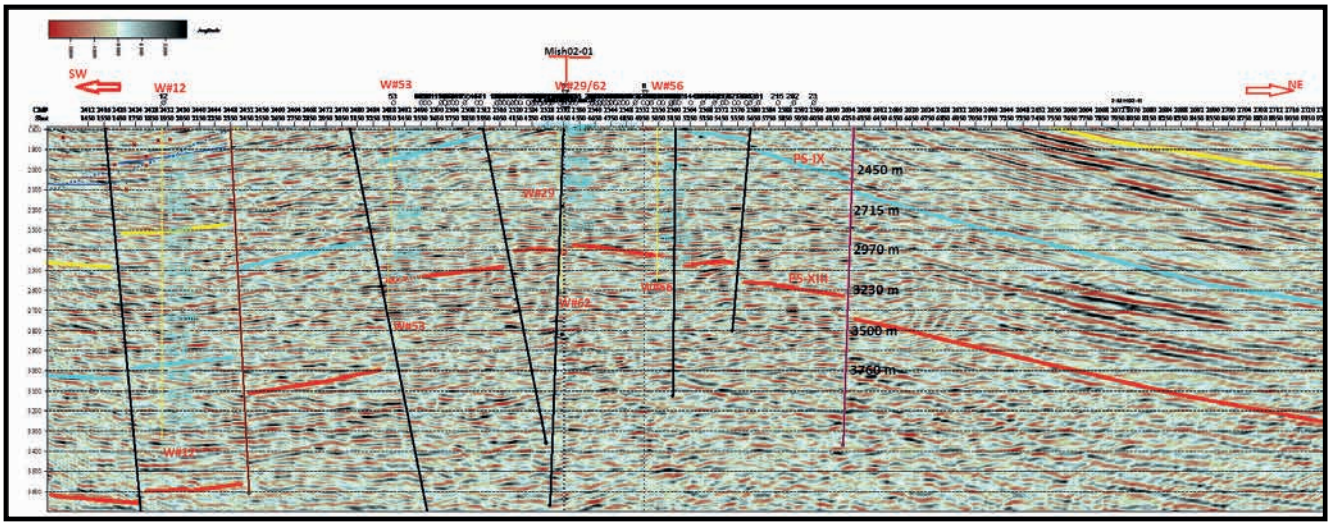


Рис. 5. Поперечный сейсмический профиль.

Изменение гранулометрического состава и коллекторских свойств кайнозойских отложений Мишовдагской структуры по глубине.

Скважина	Горизонт	Интервал, м	Описание образца	Размер зерен, мм				Пористость	Карбонатность	Проницаемость
				> 0,25	0,25–0,1	0,1–0,01	< 0,01			
46	4	1682–1692	Глинисто-песчаный алеврит	0,4	32,5	43,7	23,4	19,3	12,8	20
58	4	1740–1745	Глинисто-песчаный алеврит	0,1	10,9	64,9	24,1	23,1	13,4	137
58	4	1830–1835	Глинисто-песчаный алеврит	0,3	18,7	47,9	33,1	20,6	14,2	6
64	4	2200–2210	Алевритовая глина	1,0	8,5	36,6	53,9	16,7	10,2	12
53	4	1700–1710	Глинистый алеврит	1,0	6,1	64,4	28,5	17,5	13,5	4
53	4	1795–1805	Глинисто-песчаный алеврит	0,2	46,8	32,8	20,2	26,3	11	148
58	4	1570–1575	Глинисто-алевритовый песок	1,6	42,4	13,6	30,5	14,6	18,3	8
58	5	2000–2010	Песчано-глинистый алеврит		27,4	25,5	28,9	24,0	10	123
58	7	2225–2231	Глинистый алеврит	0,1	2,8	43,7	23,0	25,5	14,1	26
58	9	2422–2427	Глинисто-алевритовый песок	4,6	46,5	74,1	19,2	20,5	11,7	230
67	10	3060–3065	Глинисто-алевритовый песок	4,6	40,5	25,4	29,5	19,7	6,8	11
62	12	2905–2910	Песчано-алевритовый песок	0,4	23,4	48,0	28,2	27,5	27,4	317

структуры началось не позднее позднего миоцена и продолжалось в более позднее время, в течение которого юго-западное крыло складки развивалось более интенсивно по сравнению с северо-восточным. В результате, залегание пластов на юго-западном крыле достигало 50°, а на

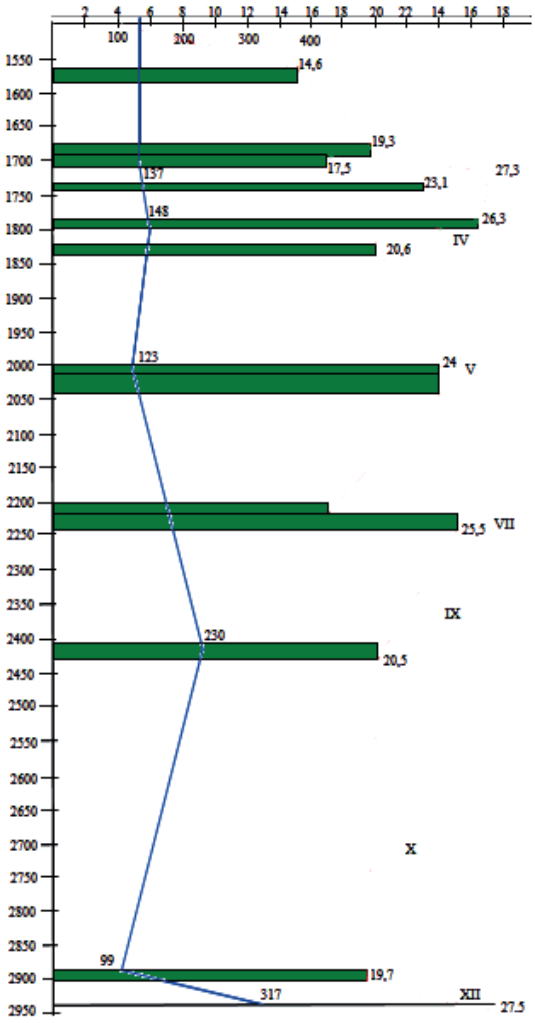


Рисунок 6. Изменение пористости и проницаемости по горизонтам.

северо-восточном составляло 15–20°. Наиболее интенсивное развитие складки приходится на четвертичный период. Вследствие превышения скоростью развития складки скорости осадконакопления в четвертичном периоде апшеронские породы в сводовой части структуры подверглись размыванию. Из-за уменьшения мощности ПТ к сводовой части структуры Мишовдаг конседиментационного типа, а также огрубления фаций от крыльев к своду можно говорить об улучшении коллекторских свойств в указанном направлении.

Как видно из рис. 4, геолого-геотектоническое развитие складки носит конседиментационный характер и, в данном случае скорость развития складки в сводовой части была больше скорости осадконакопления. По этой причине за счет большей мощности осадков в периклиналях (особенно в западной) существовали более благоприятные условия для накопления, сохранения и преобразования ОВ. Увеличение эффективной мощности служит еще одним доказательством в пользу этого. Так, распределение эффективных нефтенасыщенных мощностей горизонтов ПТ: равномерное по IV, V, VI; слабое по VII, VIII, IX, X; относительно равномерное по XI, XII, XIII.

Учитывая историю развития, на основе геолого-геофизических (сейсмические временные разрезы) материалов можно предположить широкое развитие эффективных мощностей глубоких горизонтов ПТ на восточных сводовых и присводовых частях антиклинали Мишовдаг (рис. 5).

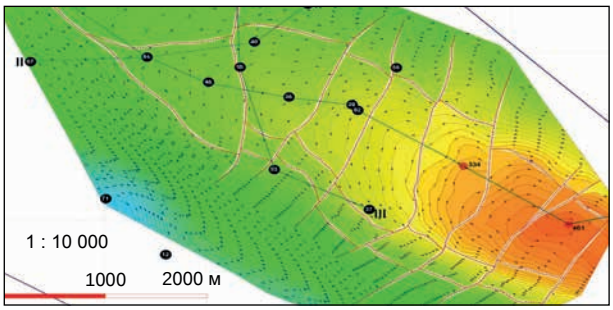
По данным скважин, пробуренных на западной периклинали Мишовдагской структуры, был составлен график изменения пористости и проницаемости по горизонтам. Как видно из этого графика, изменение пористости и проницаемости IV–XIV горизонтов продуктивной толщи характеризуется большим интервалом. Максимальное значение пористости и проницаемости на указанном интервале фиксируется в IX и XII горизонтах (таблица, рис. 6).

Корреляция скважин, пробуренных на западной периклинали Мишовдагской структуры по IV–VII и XI–XIV горизонтам ПТ, показана на рис. 7, *а*, *б*, *в*.

Таким образом, объектами основных исследований являются средние горизонты ПТ (гор. IV–VII), вскрытые в западной и центральной части структуры Мишовдаг и давшие промышленные притоки нефти в скважинах № 29, 36, 37, 62, и нижние подошвенные горизонты ПТ (гор. X–XIV), вскрытые в западной и центральной частях структуры Мишовдаг и давшие промышленные притоки нефти в скважинах № 29, 36, 40, 56, 62.

Распределение эффективных нефтенасыщенных мощностей горизонтов ПТ: равномерное по IV, V, VI; слабое по VII, VIII, IX, X; относительно равномерное по XI, XII, XIII.

До этого все пробуренные разведочные-глубокие скважины были заложены только в периклинальных и крыльевых частях антиклинали. Глубина залегания отложений XIII горизонта в сводовой части выше на 600 м, чем на крыльевых частях структуры Мишовдаг, что позволит вскрыть весь комплекс глубоких горизонтов от ПТ-I–ПТ-XIII скважин с максимальной глубиной 2800–3000 м.



а

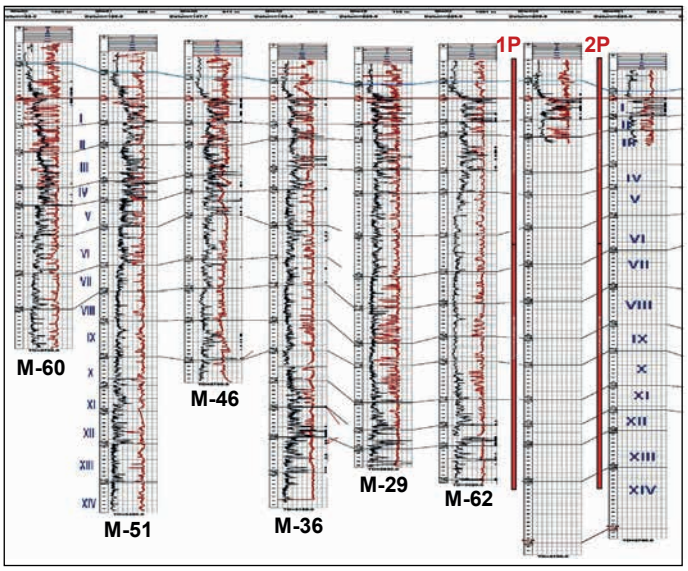
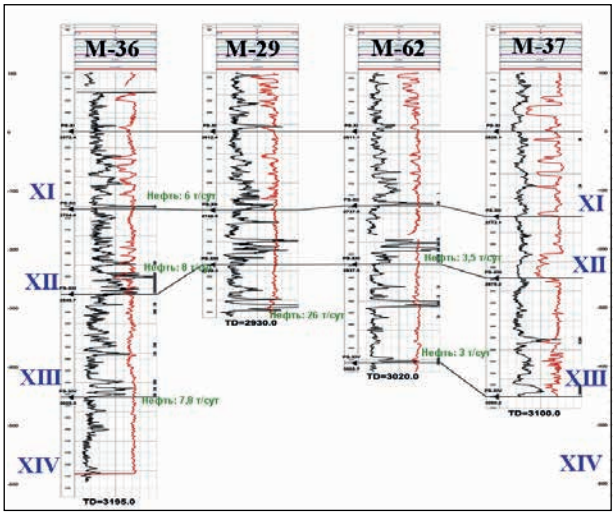
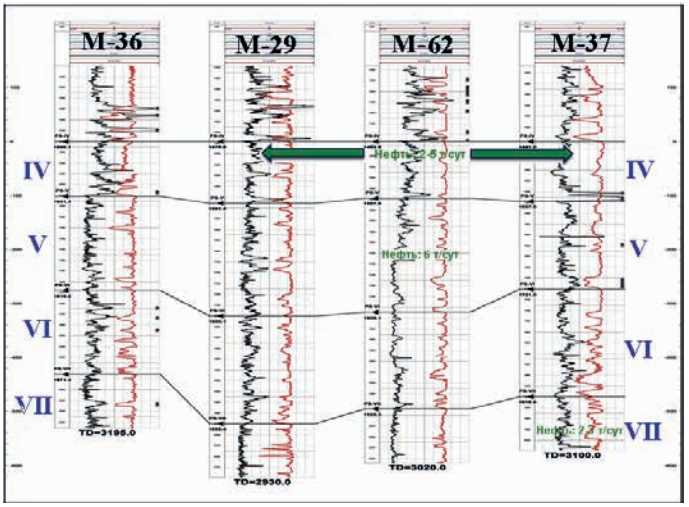


Рис. 7. Площадь Мишовдаг. Корреляционная схема по линиям. *а* – I–I; *б* – II–II; *в* – III–III.

б



в



Из пробуренных глубоких скважин на площади Кюровдаг получены фонтаны нефти из разных горизонтов (ПТ-III–ПТ-XII) ПТ; как видно из корреляционной схемы, горизонты ПТ залегают здесь ниже на 800–1000 м относительно скважин месторождения Мишовдаг М40, 36, 29, а южные скважины К3003, 3004, а также KN9, KN10 (Карабаглы), также давшие промышленный приток нефти из ПТ-III-ПТ-X, еще ниже на 350–400 м. Таким образом, проектные разведочные скважины, заложенные на месторождении Мишовдаг, вскроют горизонты ПТ (ПТ-III–ПТ-XIII) на 600 м выше, чем М40, 36, 29, на 1600 м выше, чем скв. Кюровдага, и почти на 2000 м выше, чем К3003, 3004, а также KN9, KN10 (Карабаглы), рис. 8.

Выводы и рекомендации

1. Палеотектонический анализ доказывает, что структура Мишовдаг является конседиментационной складкой, в которой осадконакопление происходило одновременно с складкообразованием;

2. Исследованные горизонты IV, V, VII, IX, X, XII обладают высокими коллекторскими свойствами

3. Все пробуренные на данный момент глубокие разведочные скважины были заложены только в периклинальных и крыльевых частях антиклинали. Учитывая историю развития на основе геолого-геофизических (сейсмические временные разрезы) материалов, можно предположить широкое развитие эффективных мощностей глубоких горизонтов PS на восточных сводовых и присводовых частях антиклинали Мишовдаг. Глубина залегания отложений XIII горизонта в сводовой части выше на 600 м, чем на крыльевых частей структуры Мишовдаг, что позволит вскрыть весь комплекс глубоких горизонтов ПТ-I–ПТ-XIV в скважине с максимальной глубиной 2800–3000 м (рис. 9).

4. Определены нефтегазоносность и перспективность нижних горизонтов ПТ (до XIV горизонта включительно) в разрезе ранее не разведанной присводовой и сводовой частей структуры Мишовдаг, а также изучены петрофизические свойства, которые определяют коллекторские характеристики разреза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология нефтяных и газовых месторождений Азербайджана / А. А. Ализаде [и др.] М.: Недра, 1966. 392 с.
2. Алиев А. И., Багирзаде Ф. М., Буниатзаде З. А. и др. Месторождения нефти и газа – перспективные структуры Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1985. 298 с.
3. Карта месторождений нефти и газа и перспективных структур Азербайджанской ССР. М.: ГУГК, 1985.
4. Карта нефтегеологического районирования Азербайджанской ССР. М.: ГУГК, 1984.
5. Юсифов Х., Сулейманов А. Геологические основы поисков нефти и газа в мезозойских отложениях в Азербайджане. Баку, 2015. 307 с.
6. Гусейнов А. Н., Ширинов Ф. А. Нефтегеологическое районирование территории Азербайджана // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1977. № 8. С. 8–11.
7. Сулейманов А. М. Литолого-стратиграфические предпосылки поисков неантиклинальных залежей нефти в мезозойских отложениях Куринского межгорного прогиба // Геолог Азербайджана. 2000. № 4. С. 8–15.
8. Сулейманов А. М., Зейналов Р. Л., Магеррамов Б. И. Перспективы поисков новых нефтегазовых залежей в северо-восточной прибортовой части Нижнекуринской впадины // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1997. № 4. С. 9–16.
9. Юсифов М. Г., Ахундов Ш. Х. Прогнозирование тектонически-экранированных залежей углеводородов в Среднекуринской депрессии // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2013. № 4. С. 7–12.
10. Гаджизаде Ф. М. Геологическое строение и нефтегазоносность Среднекуринской впадины Азербайджана. Баку: Adiloğlu, 2003. 377 с.

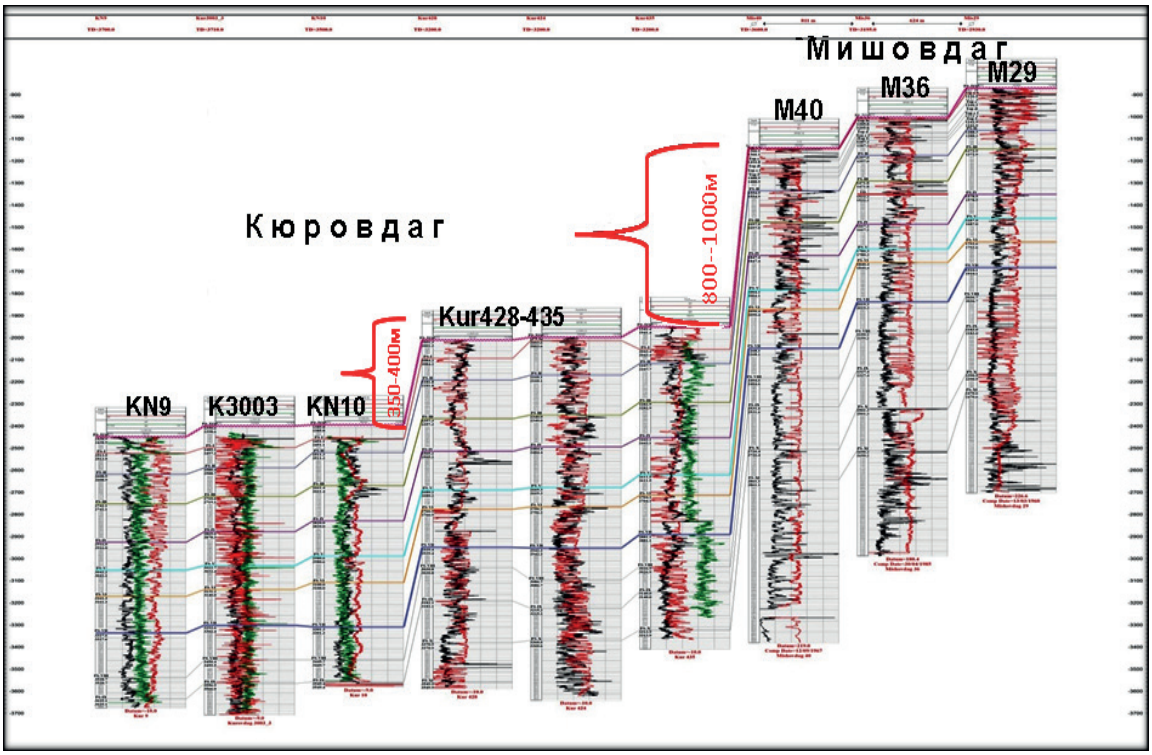


Рисунок 8. Корреляционная схема по линии скважин месторождений Кюровдаг–Мишовдаг.

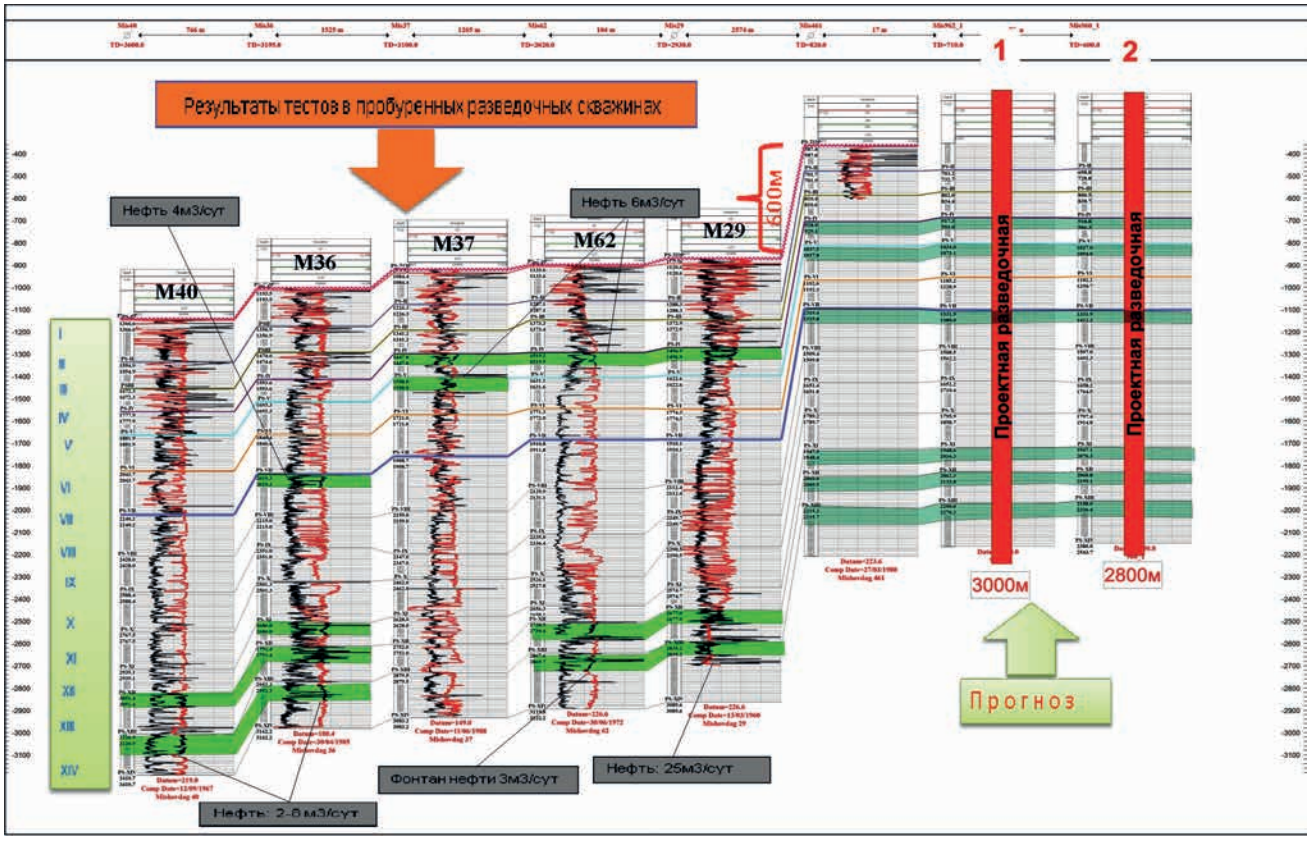


Рисунок 9. Предлагаемые проектные-разведочные скважины на основе корреляции скважин 40, 36, 37, 62, 29, вскрывших средние и нижние горизонты ПТ месторождения Мишовдаг.

11. Салаев С. Г., Керимов И. А. и др. Оценка перспектив нефтегазоносности мезозойских отложений Среднекуринской впадины и Апшероно-Гобустанской области. Баку: Элм, 1983. 184 с.
12. Salmanov A. M., Suleymanov A. M., Maharramov B. I. Paleogeology of oil and gas bearing regions in Azerbaijan. Baku: Mars Print, 2015. 472 p.

REFERENCES

1. Alizade A. A. et al. 1966, *Geologiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy Azerbaidjana* [Geology of oil and gas fields of Azerbaijan]. Moscow, 392 p.
2. Aliev A. I., Bagirzade F. M., Buniatzade Z. A. et al. 1985, *Mestorozhdeniya nefti*

i gaza – perspektivniye struktury Azerbaidzhanskoi SSR [Oil and gas fields – perspective structures of Azerbaijan SSR]. Baku, 298 p.
3. 1985, *Karta mestorozhdeniy nefti i gaza i perspektivnykh struktur Azerbaidjanskoi SSR* [Map of oil and gas fields and perspective features of Azerbaijan SSR], Moscow.
4. 1984, *Karta neftegeologicheskogo rayonirovaniya Azerbaidjanskoi SSR* [Map of geological zoning of oil fields of Azerbaijan SSR], Moscow.
5. Yusifov H., Suleimanov A. M. 2015, *Geologicheskie osnovy poiskov nefti I gaza v mezozoyskikh otlozheniyah v Azerbaijane* [Geological principles of searching for oil and gas in Mezozoic deposits in Azerbaidjan]. Baku, 307 p.
6. Guseinov A. N., Shirinov F. A. 1977, *Neftegeologicheskoye raionirovaniye territorii Azerbaijana* [Geological zoning of oil fields of Azerbaidjan]. *Azerbaidjanskoye neftyanoye hozyaistvo* [Azerbaijan oil industry]. No. 8, pp. 8–11.
7. Suleymanov A. M. 2000, *Litologo-stratigraficheskiye predposylki poiskov ne-antiklinalnykh zalezhei nefti v mezozoiskih otlozheniyakh Kurinskogo mezhgornogo progiba* [Lithologic-and-stratigraphic basis of searching for non-anticlinal deposits of Kurinskiy intermountain trough]. *Geolog Azerbaijana* [Geologist of Azerbaijan]. No. 4, pp. 8–15.
8. Suleymanov A. M., Zeinalov R. L., Magerramov B. I., 1997, *Perspektivy poiskov novykh neftegazovykh zalezhei v severo-vostochnoi pribortovoi chasti Nizhnekurinskoi vpadiny* [The outlook for the search for new oil reserves in north-eastern cutoff part of Lower Kurinskaya basin]. *Azerbaidzhanskoye neftyanoe khozyaistvo* [Azerbaidjan oil industry]. No. 4. pp. 9–16.
9. Yusifov M. G., Akhundov S. H. 2013, [Forecasting tectonically screened deposits of hydrocarbons in Srednekurinskaya depression]. *Azerbaidzhanskoye neftyanoe khozyaistvo* [Azerbaidjan oil industry]. No. 4. pp. 7–12.
10. Gadzhizade F. M. 2003, *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost Srednekurinskoi vpadiny Azerbaijana* [Geological structure and oil and gas content in Srednekurinskaya depression of Azerbaijan]. Baku, 377 p.
11. Salaev S. G., Kerimov I. A. et al. 1983, *Otsenka perspektiv neftegazonosnosti mezozoiskikh otlozheniy Srednekurinskoi vpadiny i Apsherono-Gobustanskoi oblasti* [Evaluation of perspectives of oil and gas content in Mesozoic deposits of Srednekurinskaya depression and Apsherono-Gobustanskaya region]. Baku, 184 p.
12. Salmanov A. M., Suleymanov A. M., Maharramov B. I. 2015, Paleogeology of oil and gas bearing regions in Azerbaijan. Baku, 472 p.

Хураман Зиядхан гызы Мухтарова,
mukhtarova.khuraman@mail.ru
Гюльтер Джумшуд гызы Насибова,
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
Азербайджан, Баку, просп. Азадлыг, 20

Khuraman Ziyadkhan gyzy Mukhtarova,
mukhtarova.khuraman@mail.ru
Gyulter Djumshud gyzy Nasibova,
Azerbaijan State University of Oil and Industry
Baku, Azerbaijan

УДК 624.131.1 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-25-30

ФАКТОРЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КОРИДОРА ТРАССЫ ПОЛЯРНО-УРАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ (ВОСТОЧНЫЙ СКЛОН УРАЛА)

О. Н. Грязнов, М. С. Мартыненко, И. Г. Петрова

Factors of geological engineering conditions of Polar-Ural railway route corridor (eastern slope)

O. N. Gryaznov, M. S. Martynenko, I. G. Petrova

Physical-geographical factors of engineering-geological conditions were examined (orographical, hydrological, climatic conditions of the territory). Regional geological factors are described: geological structure of the area, rock formation of various composition and origin, hazardous geological processes and related phenomenas: weathering (physical, frost weathering), cryogenic (frost polygonal cracking, frost-heaving, spotting, ice build-up, snow patches, thermokarst); gravitation processes (slides, landslides, solifluction); erosion processes (river, gully erosion, alluvial cones, sills); fluvial processes (water logging). Technogenic factors related to mining, transport and residential complexes were characterized. Typification of geotechnical conditions of Polar-Ural railway route corridor was carried out: the are of Sob river valley with subareas of valley complex of the river and its inflows with engineering-geological regions and subregions, subarea of modern water-dividing areas with engineering-geological regions and subregions is conducted investigations give evidence of the complex construction environment and operation of railway within the environmental conditions of Polar Ural. Organization of complex engineering-geological monitoring with the development of environmental measures is recommended.

Keywords: Polar Ural; railway; engineering-geological conditions.

Рассмотрены физико-географические факторы инженерно-геологических условий (орографические, гидрографические, климатические условия территории). Описаны региональные геологические факторы: геологическое строение площади, горные породы различного состава и происхождения; опасные геологические процессы и связанные с ними явления: выветривание (физическое, морозное); криогенные (морозное полигональное растрескивание, морозное пучение, пятнообразование, наледи, снежники, термокарст); гравитационные процессы (осыпи, обвалы, оползни, солифлюкция); эрозионные процессы (речная, овражная эрозия, конусы выноса, сели); флювиальные процессы (заболачивание). Охарактеризованы техногенные факторы, связанные с горнодобывающим, транспортным и селитебным комплексами. Проведена типизация инженерно-геологических условий коридора трассы Полярно-Уральской железной дороги: выделена область долины реки Собь с подобластями долинного комплекса реки и ее притоков с инженерно-геологическими районами и подрайонами, подобласть современных водораздельных пространств с инженерно-геологическими районами и подрайонами. Проведенные исследования свидетельствуют о сложной обстановке строительства и эксплуатации железной дороги в природных условиях Полярного Урала. Рекомендована организация комплексного инженерно-геологического мониторинга с разработкой природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: Полярный Урал; железная дорога; инженерно-геологические условия.

Полярно-Уральская железная дорога Сейда–Лабытнанги имеет большое хозяйственное значение в части транспортировки грузов с севера Ямало-Ненецкого автономного округа (нефть, сжиженный газ) и Полярного Урала (твердые полезные ископаемые – уголь, руды черных, цветных, редких металлов и золота) в центральные районы Российской Федерации и на Урал. При сегодняшней схеме транспортных сообщений перевоз грузов возможен по направлениям: Лабытнанги–Москва, Лабытнанги–Санкт-Петербург, Лабытнанги–Киров–Пермь–Екатеринбург. По трансуральской магистрали на север: Екатеринбург–Приобье, на юг: Екатеринбург–Челябинск–Орск–Оренбург. При необходимости есть возможность использовать горнозаводскую трассу Пермь–Нижний Тагил. В связи с изложенным очевидна актуальность изучения инженерно-геологических условий Полярно-Уральской железной дороги (восточный склон). Формирование инженерно-геологических условий коридора трассы определяется взаимодействием физико-географических, региональных геологических и техногенных факторов [1, 2].

Физико-географические факторы включают орографические, гидрографические и климатические условия территории [3] .

Рассмотренная территория в *орографическом отношении* находится в центральной части Полярного Урала, на стыке различных по сложности орографического строения областей – Уральской и Зауральской структурно-фациальных зон. В их пределах выделяются три геоморфологические зоны: кряжа, педимента и Зауральской аккумулятивной равнины.

В *зоне кряжа* структурно-денудационный рельеф представлен альпийским среднегорьем с абсолютными отметками 450–1000 м и отдельными вершинами высотой 1100–1300 м. Склоны крутые, осложнены эрозионными ложбинами и рытвинами, лавинными желобами, нивальными нишами.

Денудационно-эрозионный рельеф выражен различными формами речных долин. Долины рек и ручьев в верховьях – типичные троги, часто с карами у истоков, ступенчатым продольным профилем и V-образным поперечным профилем с крутыми, местами асимметричными склонами долин. В низовьях профиль имеет корытообразное, редко U-образное поперечное сечение. В некоторых долинах на известняках развит карст.

Денудационный рельеф представлен древними формами рельефа, к которым относятся реликты мел-палеогеновых поверхностей выравнивания, расположенных на высотных отметках от 500–600 м до 800–1000 м. В морфологическом плане это изолированные субгоризонтальные площадки размером 0,1–2,0 км, покрытые маломощным чехлом элювиальных и элювиально-делювиальных отложений, осложненные десерпцией нагорных террас с развитием медальонов вымораживания, пятен многоугольников, связанных с криогенными процессами. Поверхности в значительной степени переработаны покровными оледенениями.

Аккумулятивный рельеф имеет подчиненное распространение. В выработанных долинах рек и ручьев (Нияю, Бадьяшор и Собь) сформирован аккумулятивный рельеф ледникового происхождения. Днища долин, трогов и прилегающие к ним склоны выполнены полярноуральской мореной горно-долинного оледенения, создающей полого-холмистый рельеф. Высота гряд и бугров от первых метров до 20 м. Террасовый комплекс рек в этой зоне представлен в верховьях низкой и высокой поймами, в среднем и нижнем течении фрагментарно I, II, III надпойменными террасами. В большинстве случаев террасы аккумулятивные, реже эрозионно-аккумулятивные.

В *зоне педимента* денудационный рельеф является непосредственным продолжением отрогов хребтов и массивов зоны кряжа. Граница между зонами четко выделяется по резкому перегибу и изменению характера рельефа. Зона остаточных низких гор представляет полосу холмисто-увалистого рельефа с абсолютными отметками от 100 до 450 м, характеризуется уплощенными водоразделами, вытянутыми грядами, увалами, невысокими холмами с незначительным перепадом высот. К наиболее часто встречающимся формам рельефа относятся солифлюкционные террасы, оплывины, скальные останцы, литоформные гряды. Возраст рельефа – неоген-четвертичный.

Аккумулятивный рельеф представлен в этой зоне повсеместно развитыми вдоль рек высокой и низкой поймами. В долине р. Собь фрагментарно прослеживаются I и II аккумулятивные террасы.

Аккумулятивная равнина Зауральской СФЗ расположена на юго-востоке площади. Граница с педиментом в зоне предгорий обозначена в рельефе фрагментарно выраженным невысоким (до 2 м) структурно-денудационным уступом. Абсолютные отметки местности изменяются

Таблица 1. Основные типы опасных процессов и явлений коридора трассы Полярно-Уральской железной дороги.

Процессы	Явления	Коэффициент поражения $K_п$
Выветривание (физическое, морозное)	Курумы, каменные поля, потоки	0,01–0,3
Криогенные	Морозобойное растрескивание	0,01–0,2
	Морозное пучение	До 0,3
	Пятнообразование	До 0,25
	Наледи	0,1–0,25
	Снежники	–
	Термокарст	0–0,5
Гравитационные	Осыпи и обвалы	0,01–0,5
	Оползни	0,01–0,2
	Солифлюкция	До 0,5
Флювиобалансовые:		
эрозионные	Речная эрозия	–
	Овраги, балки	–
	Конусы выноса	–
	Сели	–
абразионные	Термоабразионные уступы	–
	Переработка берегов	–
флювиальные	Заболачивание	0–0,5

от 40 до 130 м. Поверхность аккумулятивной равнины плоская, горизонтальная, характеризуется задернованностью и заболоченностью; осложнена множеством термокарстовых воронок, западин, гидролакколитов, эрозионных ложбин, оврагов и озерных ванн. Эта равнина сложена преимущественно ханмейской мореной и озерно-аллювиальными отложениями предшествующего ханмейскому межледниковью; возраст рельефа – поздний неоплейстоцен.

Гидрографические особенности площади связаны с долиной р. Собь с разветвленной сетью притоков. Самый крупный из них – р. Большая Пайпудына, разделяющая хребты Большой Пайпудынский на западе и юго-западные отроги хребта Большой Харбей-Хой на востоке, трассирующая Талота-Пайпудынский грабен-синклинорий. Река Собь, начинаясь в северо-западных отрогах массива Райиз, выпуклой к северу дугой, повторяя в породах палеозоя контакт массива, разделяет гипербазиты и нижнепротерозойские комплексы Харбейского антиклинория, пересекая габброиды среднего палеозоя и мезозойскую молассу, уходит на юг к долине р. Оби.

Своеобразие *климатических условий* Полярного Урала определяется его принадлежностью к субарктической высотноярусной зоне, положением севернее Северного полярного круга. Годовая величина радиационного баланса составляет 799–850 мДж/м. Суммарная солнечная радиация не превышает 70 ккал/см^2. Это определяет существование пород в многолетнемерзлом состоянии. Среднегодовая температура –7,6 °С. Среднемесячная температура июля +8,7 °С, января –18,9 °С. Число морозных дней в году 210–270. Среднегодовое количество осадков 750 мм и более. Сумма осадков, выпадающих за летние месяцы, составляет 250–280 мм. Устойчивый снежный покров в горах устанавливается в начале сентября, в предгорьях – в конце сентября. Мощность снежного покрова составляет 50–100 см, в узких подветренных долинах, горных ущельях она достигает 2–5 м. Зимой преобладают ветры южного и юго-западного направлений, летом – северо-восточные и северо-западные. Расчетные величины испарения с поверхности суши около 250 мм/год. Преобладание атмосферных осадков над испарением обусловливает избыточную увлажненность территории.

Площадь характеризуется сплошным и прерывистым распространением многолетнемерзлых пород (ММП). Прерывистость обусловлена наличием таликовых зон сквозного характера, которые приурочены к руслам рек (Собь, Пайпудына) и к крупным озерам, а также несквозным таликам.

Глубина слоя сезонного протаивания зависит от литологического состава и мощности рыхлых отложений. Она составляет при мощности рыхлого покрова 0–2 м до 6–8 м, 2–4 м – до 4–6 м, больше 4 м – до 2–4 м. Лишь в полосах стока отмечается аномально глубокое (до 8 м) протаивание при мощности четвертичных отложений до 4 м.

Одной из наиболее значимых характеристик ММП является их льдистость. Величина ее определяется характером образования ММП – синкриогенным, либо эпикриогенным. Синкриогенные мерзлые осадки характеризуются относительно постоянной по разрезу повышенной объемной льдистостью. Такие образования в основном характерны для пород озерно-биогенного, элювиального, аллювиального, ледникового, флювиогляциального генезиса. Эпигенетические образования характерны в основном для скальных горных пород.

Региональные геологические факторы охватывают геологическое строение территории, горные породы различного состава и происхождения, геологические процессы и связанные с ними явления [4].

Рассматриваемый район характеризуется чрезвычайно сложным ***геологическим строением***, обусловленным его положением на сопряжении двух региональных структур Урала I порядка, переживших в мезозое тектоно-магматическую активизацию. В геологическом строении территории принимают участие: раннепротерозойские – рифейские (PR_1–R) метаморфические комплексы Харбейского горст-антиклинория, рифейско-кембрийские (R–Є) комплексы Малокарского горст-антиклинория и палеозойские (O–C) отложения Талота-Пайпудынского грабен-синклинория, принадлежащие Полярно-Уральскому мегантиклинорию Центрально-Уральского поднятия (Центрально-Уральского инженерно-геологического региона); базит-гипербазитовые комплексы северного окончания Тагильско-Магнитогорского прогиба (Главного Уральского региона).

Карелиды нижнего структурного этажа Харбейского горст-антиклинория представлены мигматит-гранитной, алеврит-глинисто-песчаной, метабазальтовой формациями. Байкалиды среднего структурного этажа сложены формациями натровых базальтов – риолитов, глинисто-песчано-алевролитовой, базальт-андезит-дацитовой и базальт-риолитовой. Уралиды верхнего этажа представлены трахибазальтовой, натровых базальтов – риолитов, песчано-глинисто-углеродистой, алеврит-песчаной, известняково-песчано-алевролитовой формациями.

Для рассматриваемой площади характерно широкое развитие интрузивных образований различного состава, возраста и происхождения: габбро, габбро-амфиболитов, кварцевых диоритов, тоналитов, риолит-порфиров, дунитов, гарцбургитов, габбро-долеритов, кварцевых монцонитов, монцодиоритов, гнейсо-гранитов и др.

Мезозойские образования представлены T–J корой выветривания и угленосной молассой, выполняющей наложенную депрессию. Комплексы горных пород коренной основы на значительной площади перекрыты покровными отложениями четвертичного возраста различного состава и происхождения.

Флювиогляциальные и моренные ледниковые отложения представлены галечно-гравийным материалом с супесчаным заполнителем, слагают переуглубленные участки палеодолин при мощности до 108 м. Озерно-аллювиальные отложения представлены алевритами с прослоями глин и тонкозернистого песка, мощность до 55 м. Элювиальные, элювиально-делювиальные отложения распространены на вершинах гор, хребтов и холмов и представлены щебнисто-глыбовыми развалами с неокатанными обломками различной выветрелости, местами с суглинисто-супесчаным заполнителем. Мощность до 5 м. Коллювиальные отложения формируются в зоне кряжа в виде щебнисто-глыбовых осыпей на крутых склонах гор, троговых долин, в карах и цирках. Мощность до 35 м. Делювиальные, делювиально-солифлюкционные и десерпционные отложения перекрывают пологие склоны подножий гор в зоне кряжа и склоны холмов в зоне предгорий. Их формирование во многом связано с деятельностью сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоя. Представлены полимиктовыми валунами, щебнем и дресвой, суглинками и супесями. Мощность до 14 м. Аллювий русла, поймы и дельт развит практически во всех долинах рек и ручьев. Песчано-галечные отложения с валунами в горных долинах слагают русла, низкую и высокую поймы. В зоне педимента и аккумулятивной равнины в аллювии увеличивается количество песчаной и глинистой фракций. Мощность аллювия в зоне кряжа до 4 м, в Зауральской СФЗ до 5–15 м. Аллювий дельтовых конусов выноса в ус-

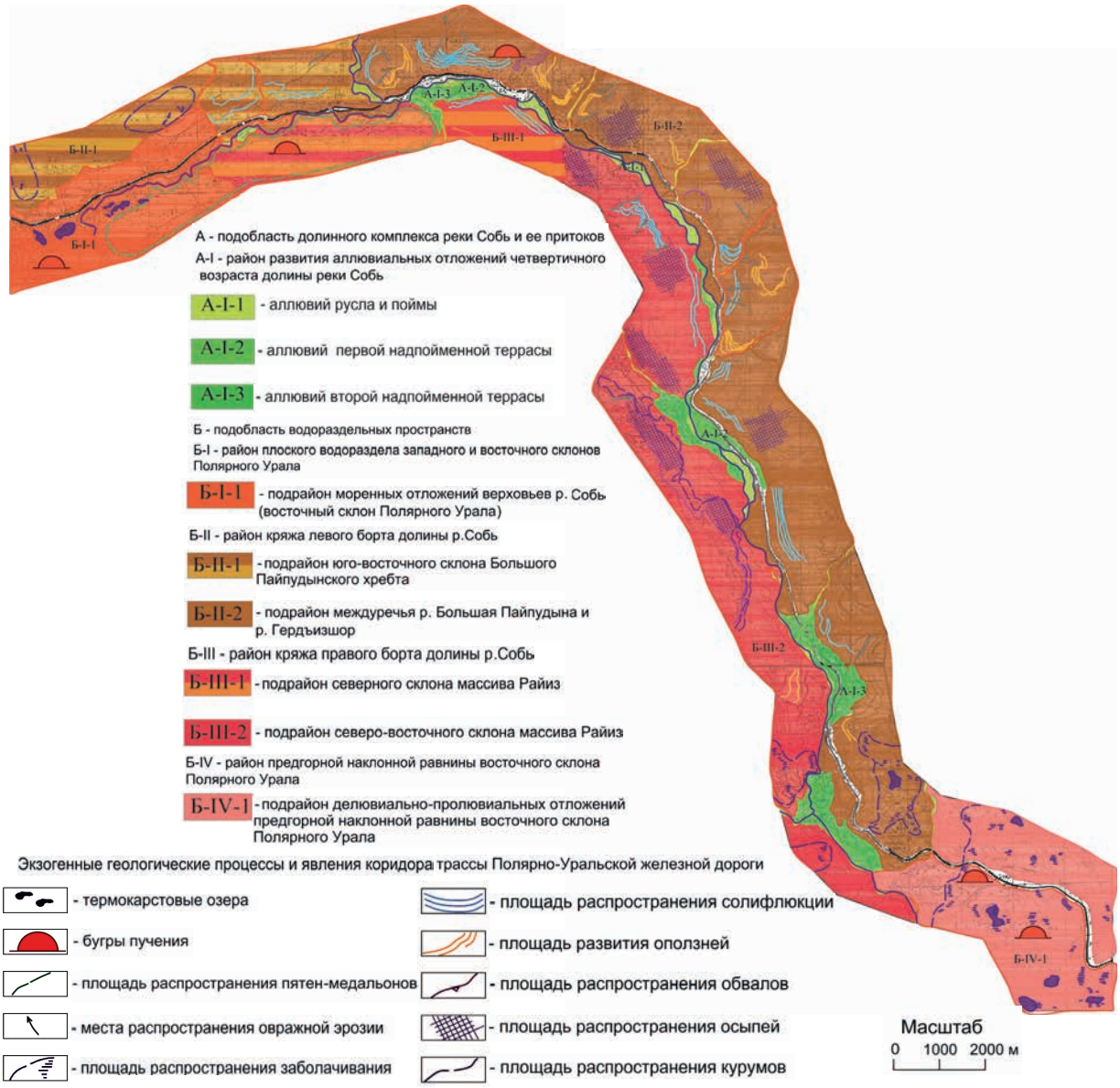


Рисунок 1. Инженерно-геологическое районирование коридора трассы Полярно-Уральской железной дороги (восточный склон).

тьях ручьев (долины рек Большая и Малая Пайпудына, Большой Ханмей, Собь) сложен несортированным песчано-гравийно-галечным материалом с валунами и незначительным количеством суглинка. Мощность от 2 до 15 м. Озерно-биогенные отложения представлены суглинками, глинами, торфом, слагают берега рек, озер и заболоченные низины в зонах педимента и аккумулятивной равнины, локально развиты в зоне кряжа. Мощность не превышает 4 м.

Опасные геологические процессы и явления в коридоре трассы Полярно-Уральской железной дороги обусловлены природными и техногенными факторами. К группе природных относятся: климатические, геоморфологические, геологические и тектонические, гидрографические, состав и свойства горных пород. Техногенные факторы связаны с освоением территории и рассмотрены в соответствующем разделе. Основные типы опасных процессов и связанные с ними явления отражены в табл. 1, а их пространственное распространение на рис. 1.

Выветривание (физическое, морозное) охватывает всю площадь, вызывает дезинтеграцию горных пород. На водоразделах, склонах гор формируются крупноглыбовые развалы коренных пород – курумы (каменные поля, потоки). Размеры глыб от 0,1 × 0,3 м до 0,6 × 0,8 м и крупнее.

Криогенные процессы характеризуются широким разнообразием явлений, свойственных всем ландшафтным зонам [5].

Морозобойное полигональное растрескивание распространено в ландшафтах предгорий как на высотах 200–300 м (долина Большой Пайпудыны), так и на отметках 700–800 м (район массива Райиз). Морфологически оно представлено многоугольниками с поперечниками от 2–3 м до 25–50 м. На участках распространения сланцев формируется причудливый рельеф из вертикальных плашек со своеобразной «щетинистой» поверхностью.

Морозное пучение в пределах коридора трассы развито достаточно широко с образованием сезонных и многолетних бугров пучения. Сезонные минеральные и торфяные бугры пучения развиваются в слое промерзания–оттаивания в осенне-зимний период. Их диаметры варьируют от 30 до 40 м при высоте 3–7 м. Многолетние бугры подразделяются на миграционные и гидролакколиты. Они сконцентрированы вдоль железнодорожной трассы в долине р. Собь, а также в бассейнах рек Большая и Малая Пайпудына и их притоков. Форма округлая, высота от 2–3 до 18 м при диаметре от 5–8 до 25–30 м и крутизне склонов 5–20°.

Пятнообразование. В результате многолетних процессов пучения и наложения морозобойного растрескивания в пределах коридора трассы, межгорных депрессий и плоских равнин формируются своеобразные формы в виде пятен – медальонов, каменных колец, полос и многоугольников при диаметре 0,5–3 м.

Наледи – слой замерзшей или замерзающей воды на поверхности речного льда (речная наледь) или грунта (грунтовая наледь). Широко распространены в долине Большой Пайпудыны. Их площадь изменяется от десятков до сотен квадратных метров при мощности 0,1–1 м. В межгорных долинах притоков рек Собь, Большая и Малая Пайпудына, Хаймей, Харбей распространены наледи, связанные с разгрузкой подземных вод. Их площадь достигает 1 км^2.

Снежники распространены в горах повсеместно. Их образование и существование зависит от рельефа, абсолютных отметок, температуры воздуха, количества осадков и затенения поверхности. Снежники-пере-

Таблица 2. Инженерно-геологическая характеристика подобласти долинного комплекса р. Собь и ее притоков.

Инженерно-геологическая подобласть	Условный знак	А		
	Описание подобласти	Подобласть долинного комплекса р. Собь и ее притоков. Включает в себя эрозионно-аккумулятивные пойменную, первую и вторую надпойменные террасы, сложенные аллювиальными образованиями		
Инженерно-геологический район	Условный знак	А - I		
	Описание района	Район развития аллювиальных отложений четвертичного возраста		
Инженерно-геологические подрайоны	Условный знак	А-I-I	А-I-2	А-I-3
	Описание подрайонов	Аллювиальные отложения русла и поймы. Валунно-галечные, песчано-галечные отложения, пески, глины (5–15 м)	Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы. Отложения представлены глинами, песками, гравием, галечниками и валунами (до 15–30 м)	Аллювиальные отложения второй надпойменной террасы. Глина, пески, супеси, галечники (до 28 м)
	Физико-геологические процессы и явления	Эрозионные: донная эрозия; криогенные: наледи	Эрозионные: береговая эрозия; криогенные: полигональное растрескивание	
	Мерзлотные условия	Подрусловые талики рек Собь и Большая Пайпудына	ММП однослойного строения. Кровля залегает с поверхности или опущена на глубину 2–3 м. Слой СО в песчаных породах 1,2–2 м, в глинах и суглинках 0,5–1,2 м	
	Гидрогеологические условия	Подземные воды подрусловых таликов	Надмерзлотные воды слоя СО, внутримерзлотные подземные воды	

летки сохраняются в течение теплого сезона в глубоко врезанных долинах, навальных нишах, карах и цирках. Протяженность снежников достигает 200–400 м при мощности 0,5–1,5 м.

Термокарст – один из наиболее распространенных криогенных процессов коридора трассы железной дороги. Многочисленные термокарстовые воронки и озера сконцентрированы в приводораздельной западной части коридора на площади развития моренных отложений верховьев р. Собь и на юго-востоке при выходе долины в предгорную наклонную равнину восточного склона Полярного Урала. Размеры термокарстовых озер варьируют от десятков до нескольких сотен метров и составляют 1 км по протяженности. Диаметр воронок изменяется от первых метров до 150 м при глубине 0,3–1,8 м, достигающей нескольких метров.

Гравитационные процессы представлены осыпями, обвалами, оползнями и солифлюкцией [5].

Осыпи и обвалы распространены в зоне кряжа на участках тектонически нарушенных горных пород, зон контактов, переслаивающихся пород и сланцев, обладающих различными структурными и литолого-петрографическими особенностями. На Пайпудынском хребте, массив Райиз, установлено, что основная масса обломочного материала скальных пород поступает в конусы выноса поздней весной и ранней осенью в период перехода температуры через 0 °С. Размеры и форма обломков зависят от литолого-петрографических особенностей пород и составляет от 10–20 см в осыпях до 3 м в обвалах. Площади осыпей – от нескольких десятков до нескольких тысяч квадратных метров.

Оползни. На горных склонах кряжа основная роль принадлежит оползням – оплывинам. Ведущую роль в их образовании играет увлажнение склонов за счет таяния снега. Распространены на склонах с многолетнемерзлыми породами. Возникновение оползней-оплывин связано с протаиванием и оплыванием грунтов. Длина оползней от десятков-сотен метров до 1 км, глубина от 0,2 до 1,5 м.

Солифлюкция в условиях кряжа является одним из основных процессов перемещения рыхлообломочного материала на склонах с относительно небольшими уклонами. Активно процессы развиваются на склонах с крутизной 5–25° в виде протяженных солифлюкционных валов и гряд шириной 2–5 м. У подножия склонов в долинах формируются террасы высотой до 3 м. Заполнитель отложений – суглинисто-щебнистый материал.

Флювиобалансовые процессы охватывают группы эрозионных, абразионных и флювиальных процессов. К *эрозионным* относятся речная, овражная эрозия, конуса выноса, сели.

Речная эрозия в основном проявляется в донной эрозии. Все реки кряжа и предгорной равнины – типичные горные с порожистыми руслами, невыработанным продольным профилем равновесия. Береговая эрозия проявлена редкими участками развития пойменной, первой и второй надпойменных террас р. Собь и ее отдельных притоков.

Овражная эрозия представлена относительно редкими оврагами неполного профиля равновесия на горных склонах кряжа.

Наиболее распространенными из серии эрозионных процессов на рассматриваемой территории являются конусы выноса и сели.

Конусы выноса представляют собой пролювиальные отложения, образуются при выносе потоками дождевых и талых вод по логам и оврагам продуктов выветривания к основанию склонов. Характеризуются плохой отсортированностью и слабой окатанностью обломков. От вершины конусов к подножию гранулометрический состав обломков меняется от щебня, дресвы с песчано-глинистым заполнителем до супесей и суглинков.

Сели. Основные предпосылки для проявления селей созданы климатическими и геологическими условиями площади. Мощные зоны дробления, процессы морозного выветривания, ледниковые отложения способствуют формированию селей. Территория коридора трассы принадлежит к районам II, отчасти I категории селеопасности.

Флювиальные процессы проявлены в заболачивании территории вследствие избыточного увлажнения дождевыми и талыми водами. Распространены арктические минеральные и торфо-минеральные верховые, низинные и переходные болота и мочажины на всех типах рельефа.

Техногенные факторы связаны с функционированием в коридоре трассы Полярно-Уральской железной дороги горнодобывающего, транспортного и селитебного комплексов. Основные виды воздействия на компоненты природной среды выражаются в геодинамическом воздействии, механических нарушениях компонентов среды, химическом загрязнении почв, грунтов, донных отложений, поверхностных и подземных вод. Ударно-взрывное, вибрационное воздействие на массивы горных пород приводит к перераспределению напряженно-деформационного состояния массивов, проявлению субтерральных, активизации гравитационных процессов. Механические нарушения обусловлены перепланировкой местности, перемещением горных пород, полезных ископаемых, созданием отвалов, насыпей, выемок и др. Загрязнение выражается повышенными концентрациями химических элементов и их соединений.

Горнодобывающий комплекс представлен предприятиями по разработке месторождений хромитов (Центральное), бутового камня (Подгорненское), а в будущем, возможно, и баритов (Войшорское, Собское, Поур-Кеу).

Хромитовые месторождения массива Райиз являются практически основной сырьевой базой хрома в российской части Урала. Месторождение Центральное разрабатывается карьером, подготовлена разработка подземным способом системой штольневых горизонтов. Западное месторождение является резервным.

Разработка Подгорненского месторождения диоритов осуществляется открытым способом и по типу и силе воздействия на окружающую среду сопоставимо с месторождением Центральным.

Месторождения барита расположены на расстоянии 1,5–3,0 км от пос. Полярный (станция «110 км» железной дороги на участке Сейда–Лабытнанги). По результатам геологоразведочных работ предварительные запасы баритовых руд оцениваются в 7,2 млн т при среднем содержании барита 27,5–41,2 %. Месторождения отнесены к категории резервных.

Помимо охарактеризованных источников сырья территория является перспективной для разработки месторождений драгоценных, поделочных и облицовочных камней (рубина, жадеита, нефрита, пестроцветных яшм, фельзитов и мраморов).

Транспортный комплекс представлен трассой Полярно-Уральской железной дороги (Сейда–Лабытнанги), автомобильными дорогами. Железнодорожная магистраль, пересекая Полярный Урал с запада на восток и юго-восток, является главной транспортной артерией северо-западной части Ямало-Ненецкого автономного округа, по которой осуществляется

Таблица 3. Инженерно-геологическая характеристика подобласти современных водораздельных пространств.

Инженерно-геологическая подобласть	Условный знак	Б					
	Описание подобласти	Подобласть современных водораздельных пространств включает в себя плоский водораздел западного и восточного склонов Полярного Урала, кряжи левого и правого бортов долины р. Собь и предгорную наклонную равнину восточного склона Полярного Урала					
	Условный знак	Б-I	Б-II		Б-III		Б-IV
Инженерно-геологические районы	Описание районов	Район плоского водораздела западного и восточного склонов Полярного Урала	Район кряжа левого борта долины р. Собь		Район кряжа правого борта долины р. Собь		Район предгорной наклонной равнины восточного склона Полярного Урала
Инженерно-геологические подрайоны	Условный знак	Б-I-I	Б-II-I	Б-II-2	Б-III-I	Б-III-2	Б-IV-I
	Описание подрайонов	Подрайон моренных отложений верховьев р. Собь (восточный склон Полярного Урала). Ледниковые несортированные дресвяно-галечно-щебенистые отложения с валунами, с примесью суглинка и супеси (до 26 м)	Подрайон юго-восточного склона Большого Пайпудынского хребта. Элювиально-делювиальные глыбы, щебень, дресва, суглинки	Подрайон междуречья р. Большая Пайпудына и р. Гердъизшор. Колловиальные щебень, дресва, суглинки, супесь	Подрайон северного склона массива Райиз. Элювиально-делювиальные глыбы, щебень, дресва	Подрайон северо-восточного склона массива Райиз. Коллювиальные глыбы, щебень	Подрайон делювиально-пролювиальных отложений предгорной наклонной равнины восточного склона Полярного Урала. Суглинки, дресва, щебень (до 14 м)
	Физико-геологические процессы и явления	Криогенные: бугры пучения, пятна-медальоны, термокарстовые озера; флювиальные: заболачивание	Выветривание: курумы; криогенные: бугры пучения, термокарст; гравитационные: обвалы, осыпи, солифлюкция; эрозионные: овраги; флювиальные: заболачивание		Выветривание: курумы; криогенные: бугры пучения, пятна-медальоны, термокарст; эрозионные: овраги; гравитационные: обвалы, оползни, осыпи, солифлюкция; флювиальные: заболачивание		Криогенные: бугры пучения, термокарст; флювиальные: заболачивание
	Мерзлотные условия	ММП однослойного строения с островами талых пород. Глубина слоя СО на торфах 0,4–0,6 м, в моренных отложениях до 2–3 м	ММП однослойного строения с островами талых пород. Глубина слоя СО 2,5–4,0 м, на торфяниках 0,4–0,6 м		ММП однослойного строения. Глубина СО 2–3 м, на торфяниках 0,4–0,6 м		ММП однослойного строения с островами талых пород. Глубина слоя СО 3–5 м, на торфяниках 0,5–0,6 м
	Гидрогеологические условия	Надмерзлотные воды слоя СО	Надмерзлотные воды слоя СО				Надмерзлотные воды слоя СО. Внутримерзлотные воды. Подземные воды щелевых таликов в разломах

перевозка грузов и пассажиров. Движение осуществляется тепловозами на дизельном топливе.

Автомобильная дорожная сеть развита слабо и включает единственную асфальтобетонную трассу Харп–Лабытнанги, грунтовую дорогу с щебеночным покрытием месторождение Центральное–Харп, грунтовые дороги пос. Полярный – Харбей, Мраморское. Остальные дороги тракторные.

Сооружение железной дороги и автодорог, проходящих по различным формам рельефа (водоразделам, склонам, долинам), сопровождается возведением насыпей, дамб, прокладкой выемок, траншей, дренажных канав и водостоков, возведением мостовых переходов. Это приводит к нарушению естественных условий, в частности поверхностного стока, его перехвату, концентрированию и пр. Эрозионные (термоэрозионные), гравитационные процессы активизируются вдоль трассы железной дороги. Насыпи характеризуются многолетним промерзанием и агградацией многолетнемерзлых пород.

Селитебный комплекс. Населенные пункты коридора трассы располагаются в долинах рек Собь, Большая Пайпудына. К ним относятся поселок городского типа Харп с населением около 5 тыс. человек, пос. Полярный (база Полярно-Уральской геологоразведочной экспедиции) с населением около 500 человек. Остальные населенные пункты – станционные поселки с общим населением не более 100 человек. Селитебные территории населенных пунктов представляют собой административно-хозяйственные и жилые застройки преимущественно с 1–2-этажными строениями. Теплоснабжение местное, котельные работают на угле и дизельном топливе. Энергоснабжение территории централизованное. Водоснабжение через водозаборные сооружения. Канализация децентрализованная через систему септиков. Свалки ТБО и ПО организованы без соответствующей подготовки основания. Строительство поселков привело к трансформации естественного рельефа, возникновению антропогенных форм мезо- и микрорельефа.

Типизация инженерно-геологических условий коридора трассы Полярно-Уральской железной дороги (восточный склон). В основу типизации инженерно-геологических условий рассматриваемой площади положены принципы, разработанные И. В. Поповым и В. Т. Трофимовым [1, 2], которые позволяют в пределах крупной территории учесть закономерности распределения региональных и зональных факторов. Такой подход позволяет обособить различные по величине, характеру рельефа, геологическому строению, мерзлотным и гидрогеологическим условиям, а в их совокупности по инженерно-геологическим условиям площади. В пределах крупных территорий по геоморфологическим признакам выделяются инженерно-геологические области и подобласти. По однородности геоморфологических и геолого-литологических комплексов подобласти подразделяются на инженерно-геологические районы. Литологические особенности пород и их свойства, характер развития физико-геологических процессов и связанных с ними явлений, многолетнемерзлых пород, гидрогеологические особенности служат основой выделения подрайонов.

Описываемая территория относится к восточному склону горной части Полярного Урала, к области долины р. Собь. В ее пределах выделены инженерно-геологические подобласти (рис. 1): А – подобласть долинного комплекса реки Собь и ее притоков с инженерно-геологическими районом и подрайонами (табл. 2); Б – подобласть современных водораздельных пространств с инженерно-геологическими районами и подрайонами (табл. 3). Техногенная нагрузка, привязанная к трассе железной

дороги, не позволяет обособить автономную подобласть техногенного воздействия.

Проведенная типизация инженерно-геологических условий коридора трассы Полярно-Уральской железной дороги свидетельствует о достаточно сложной обстановке ее строительства и эксплуатации в природных условиях Полярного Урала. Территория трассы подвержена техногенному воздействию, влияющему на активизацию экзогенных геологических процессов, что влечет за собой трансформацию инженерно-геологических условий. Для обеспечения безаварийной работы трассы необходима организация постоянного комплексного инженерно-геологического мониторинга с разработкой природоохранных мероприятий. Надежность Полярно-Уральской железной дороги приобретет особое значение после завершения строительства и начала эксплуатации железной дороги Собь–Бованенково и в особенности железнодорожной трассы Лабытнанги–Салехард–Надым–Новый Уренгой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И. В. Инженерная геология СССР. Т. 1. Общие основы региональной инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1961. 178 с.
2. Трофимов В. Т. Закономерности инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
3. Грязнов О. Н. Факторы инженерно-геологических условий Урала. Физико-географические и техногенные факторы // Изв. УГГУ. 2014. Вып. 4(36). С. 5–18.
4. Грязнов О. Н. Факторы инженерно-геологических условий Урала. Региональные геологические факторы // Изв. УГГУ. Вып. 3(35). 2014. С. 30–50.
5. Петрова И. Г. Оценка экологического состояния геологической среды Собско-Райизской площади Полярного Урала на ранней стадии урбанизации: автореф. дис. … канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2004. 17 с.

REFERENCES

1. Popov I. V. 1961, *Inzhenernaya geologiya SSSR. T. 1. Obshiye osnovy regionalnoi inzhenernoi geologii* [Engineering geology of USSR. General frameworks of regional geologic engineering]. Moscow, 178 p.
2. Trofimov V. T. 2002, *Zakonomernosti inzhenerno-geologicheskikh usloviy kontinentov zemli* [Governing laws of geological engineering conditions of Earth's continents]. Moscow, Moscow State University. 348 p.
3. Gryaznov O. N., 2014. *Faktory inzhenerno-geologicheskikh usloviy Urala. Fiziko-geograficheskiye i tekhnogennye faktory* [Factors of geological engineering conditions of Ural. Physical-geogpraphical and technogenic factors]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University]. Issue 4(36). pp. 5–18.
4. Gryaznov O. N., 2014. *Faktory inzhenerno-geologicheskih usloviy Urala. Regionalnye geologicheskiye faktory* [Factors of geological engineering conditions of Ural. Regional geological factors]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University]. Issue 3(35). pp. 30–50.
5. Petrova I. G., 2004. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya geologicheskoi sredy Sobsko-Raiskoi ploshadi Polyarnogo Urala na rannei stadiyi urbanizatsii: avtoreferat dissertatsii kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk* [Evaluation of ecological conditions of geological environment of Sobsko-Rai-Izskoi area of Polar Ural at an early stage of urbanization: The synopsis of dissertation of candidate of geological and mineralogical sciences]. Ekaterinburg, Ural State Mining University. 17 p.

Олег Николаевич Грязнов,
Gryaznov.O@ursmu.ru
Мария Сергеевна Мартыненко,
Ирина Геннадьевна Петрова,
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Oleg Nikolaevich Gryaznov,
Gryaznov.O@ursmu.ru
Mariya Sergeevna Martynenko,
Irina Gennad'evna Petrova,
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 504.5:556.5+502.175 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-31-34

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД, ОБУСЛОВЛЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ОТРАБОТАННЫХ КАРЬЕРАХ

О. В. Елохина, В. А. Елохин

Evaluation of surface water pollution, conditioned upon the placement of waste placement in depleted pits

O. V. Elokhina, V. A. Elokhin

Examined places: cinder dump, that is located on a high rock-defended coast of Pyshma river 250 m away from the river slope in the region of Sukhoy Log and waste deposit of solid industrial wastes that is located in depleted pit on the section of organized discharge of waste waters by the companies on the left coast of Iset river in Kamensk-Uralskiy. The purpose of the research was determining the level of impact of industrial wastes that are placed in depleted pits on the quality of surface waters. Main methods of researches were: field hydrochemical sampling and laboratory investigation of received results of laboratory investigations of collected water samples. In 2013 hydrochemical sampling of surface waters (8 samples were collected) in the storage area of slug dump was done in 2 spots: site 1 (100 m above the Eighteen water samples were selected for the purpose of studying the quality of surface and discharge waters and detecting the level of influence of discharged water on the quality of water in Iset river, which includes: 9 samples of waste-waters from series 1-3, three samples were taken from the pit and six samples from the Iset river - above and below of the disposal. In order to determine the level of influence of slag dump on the quality of water in the Pyshma river and solid industrial waste disposal site on the quality of water in Iset river accumulation factors were estimated. Estimations shoed that the researched facilities in various degree influence the quality of surface waters. Received results of environmental monitoring should become the basis of data support for preparation and managerial decision making. A conclusion on the necessity of conducting further environmental monitoring was made.

Keywords: pit; surface waters; pollution; monitoring.

Изучаемые объекты – шлаковый отвал, расположенный на высоком берегу р. Пышмы в 250 м от ее уреза в районе г. Сухой Лог, и свалка твердых промышленных отходов, расположенная в отработанном карьере на участке организованного выпуска на рельеф сточных вод предприятий на левом берегу р. Исеть в городе Каменск-Уральский. Целью исследований являлось определение степени влияния промышленных отходов, размещенных в отработанных карьерах, на качество поверхностных вод. Основными методами исследований являлись полевое гидрохимическое опробование и камеральная обработка полученных результатов лабораторных исследований отобранных проб воды. В 2013 г. гидрохимическое опробование поверхностных вод (отобрано 8 проб) в районе размещения шлакового отвала выполнено в 2 точках: створ 1 (100 м выше устья Лиственного Лога), створ 2 (500 м ниже устья Лиственного Лога). С целью изучения качества поверхностных и сточных вод и выявления степени влияния сбрасываемых вод на качество воды в реке Исеть отобраны восемнадцать проб воды, в том числе: 9 проб сточных вод из выпусков 1–3, три пробы взяты из карьера и шесть проб из реки Исеть – выше и ниже сброса. Для определения степени влияния шлакового отвала на качество воды в р. Пышме и свалки твердых промышленных отходов на качество воды в р. Исеть рассчитаны коэффициенты накопления элементов. Расчеты показали, что изучаемые объекты в разной степени влияют на качество поверхностных вод. Полученные результаты экологического мониторинга должны стать основой информационного обеспечения подготовки и принятия управленческих решений. Сделан вывод о необходимости дальнейшего ведения экологического мониторинга окружающей среды

Ключевые слова: карьер; поверхностные воды; загрязнение; мониторинг.

Отработанные карьеры на Урале, как правило, заполняются отходами производства. Разные технико-экономические условия, в которых происходило превращение карьеров в полигоны складирования отходов производства, определяют различную степень их экологической безопасности. Особое место в этом ряду занимают карьеры, в которых накопленные отходы подвергаются вторичной переработке, сопровождаемой выработкой дисперсного минерального вещества и его аэрогенным распространением. Именно к таким относится один из изучаемых объектов, который расположен на высоком берегу р. Пышмы, являющейся основной водной артерией района, в 250 м от уреза реки, в г. Сухой Лог. В отработанном щебеночном карьере глубиной 10–20 м, расположенном на карбонатных породах, с 1974 г. складировались промышленные отходы IV класса опасности, образующиеся в процессе производства вторичных сплавов. В районе г. Сухого Лога долина р. Пышмы имеет каньонообразную форму шириной до 150 м со скальными выходами известняков. Здесь выделяются первая и вторая надпойменные террасы, расчлененные глубокими сухими короткими логами временных потоков. Отвал шлаков расположен на местном водоразделе между р. Пышмой и глубоко врезанным урочищем Лиственный Лог. Севернее и северо-восточнее отвала шлаков также имеется лог, открывающийся в сторону Лиственного.

Река Пышма является местным базисом эрозии. В районе отвала высота берегового обрыва составляет 40–41 м, что обусловливает значительную мощность зоны аэрации прилегающей территории.

Гидрохимическое опробование поверхностных вод (ГОСТ Р 51592–2000. Вода. Общие требования к отбору проб; ГОСТ 17.1.1.03–86. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водопользований; ГОСТ 17.1.3.07–82; ГОСТ 17.1.3.08–82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля) выполнялось в двух точках: створ 1 (100 м выше устья Лиственного Лога), створ 2 (500 м ниже устья Лиственного Лога) и осуществлялось в соответствии с требованиями [1, 2].

В мае 2015 г. вода в р. Пышме превышала нормативы по водородному показателю, кроме того, в течение года отмечалось постоянное превышение норматива (ГОСТ 12.1.007–76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. М.: Стандартинформ, 2007. 7 с.) для объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДКх/п) [3, 4] по показателю окисляемости (рис. 1). При сравнении качества поверхностных вод с нормативами для объектов рыбохозяйственного назначения (ПДКр/х) [3, 4], отмечаются повышенные содержания Cu (рис. 2) и F как выше зоны влияния шлакового отвала, так и ниже, в то же время концентрации перечисленных компонентов значительно ниже ПДК х/п.

С целью определения степени влияния шлакового отвала на качество воды в р. Пышме рассчитаны коэффициенты накопления элементов в створе 2 по отношению к створу 1. Расчеты показали, что отчетливо проявленных закономерностей в распределении исследованных параметров в течение года не выявляется. Вариации коэффициентов накопления могут объясняться несколькими причинами, а именно:

– водностью реки в различные временные отрезки;
– загрязнением воды объектами, расположенными выше по течению;
– поверхностным стоком атмосферных осадков;
– погрешностью анализов.

В то же время за период 2013–2015 гг. по отдельным параметрам, характерным для геохимического спектра шлаков, наблюдается тенденция к загрязнению воды в створе 2 (рис. 3–7).

Согласно изложенному, значительное влияние на изменение качества поверхностных вод оказывают сезонные изменения, которые могут быть обусловлены целым рядом факторов. Однако в отдельные периоды фиксируются превышения элементов, характерных для геохимических спектров подземных вод [5], что может свидетельствовать о некотором влиянии шлакового отвала на качество воды р. Пышмы.

Выполненное биотестирование проб поверхностных и подземных вод показало, что все проанализированные пробы не оказывают острого токсического действия.

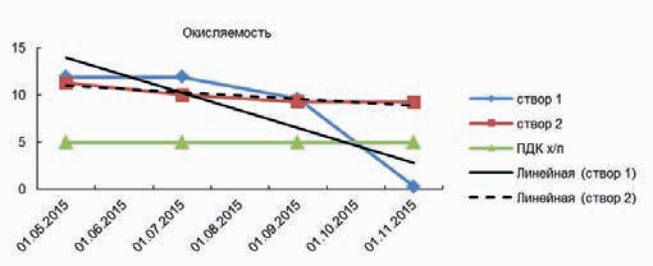


Рисунок 1. Динамика изменения показателя окисляемости (мгО/дм³) воды р. Пышмы в 2015 г.

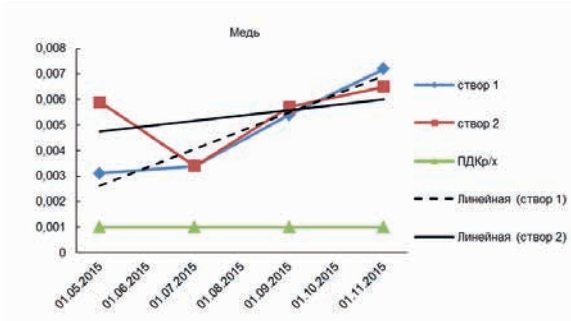


Рисунок 2. Динамика изменения содержания Cu (мг/дм³) в составе воды р. Пышмы в 2015 г.

Предприятие – свалка твердых промышленных отходов (ТПО) «Прометей» – расположено в карьерной выемке на участке организованного выпуска на рельеф сточных вод предприятий на левом берегу р. Исеть в г. Каменске-Уральском и занимает площадь 5,8 га.

Река Исеть является главной водной артерией г. Каменска-Уральского и протекает в 300 м от свалки ТПО. Река Исеть при течении в границах Свердловской области испытывает большую антропогенную нагрузку. Качество воды в р. Исеть в основном соответствует 4 классу В: вода классифицируется как «очень грязная» [6]. В реку Исеть осуществляется сброс поверхностных и сточных вод в районе размещения свалки ТПО.

С целью изучения качества поверхностных и сточных вод и выявления степени влияния сбрасываемых вод на качество воды в реке Исеть в разные периоды 2013 г. отобраны восемнадцать проб воды, в том числе 9 проб сточных вод из выпусков 1–3, три пробы взяты из карьера и шесть проб из р. Исеть – выше и ниже сброса.

Сточная вода из выпуска 1 характеризуется превышениями нормативов по нефтепродуктам (47,4 ПДК) и фенолам (2,0 ПДК). Именно по этим показателям она отличается от воды, отобранной с этого выпуска в августе 2013 г. В ноябре 2013 г. в выпуске 1 отмечались превышения нормативов по содержанию кремнезема, аммиака, меди и количеству сухого остатка.

Качество воды из выпуска 2 по своему составу резко отличается от сточной воды из выпуска 1. Здесь фиксируются высокие концентрации

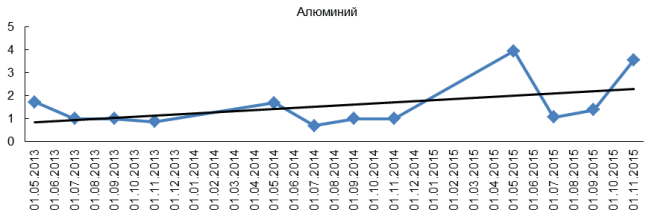


Рисунок 3. Динамика изменения коэффициента накопления алюминия в створе 2 за 2013–2015 гг.

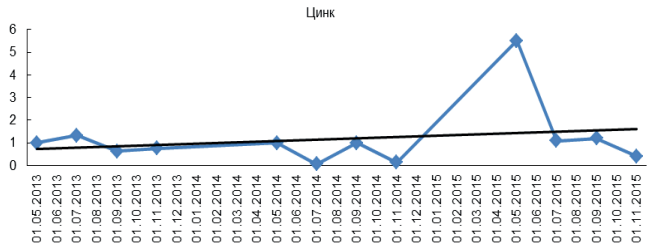


Рисунок 4. Динамика изменения коэффициента накопления цинка в створе 2 за 2013–2015 гг.

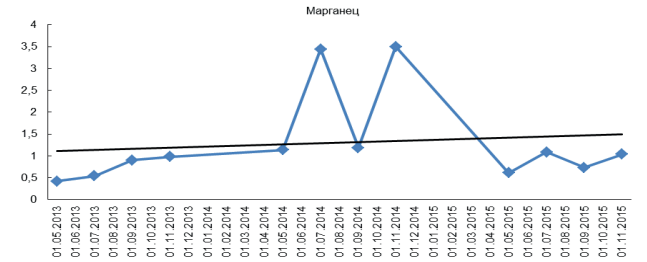


Рисунок 5. Динамика изменения коэффициента накопления марганца в створе 2 за 2013–2015 гг.

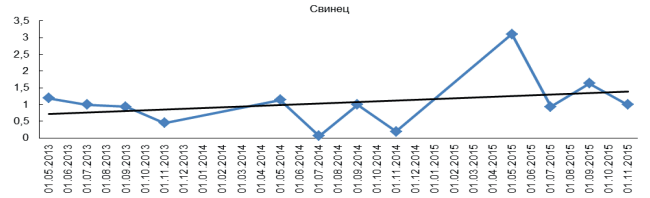


Рисунок 6. Динамика изменения коэффициента накопления свинца в створе 2 за 2013–2015 гг.

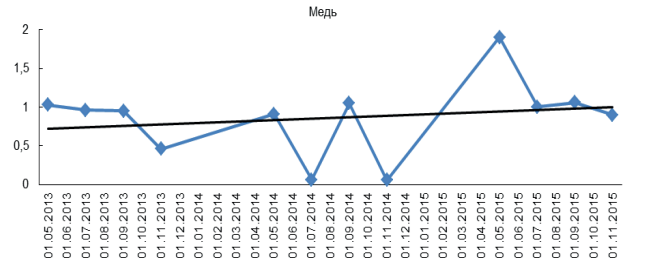


Рисунок 7. Динамика изменения коэффициента накопления меди в створе 2

NO_2 (64,38 ПДКр/х), Cu (42 ПДКр/х), NH_4 (30,2 ПДКр/х), кроме того, отмечаются повышенные содержания SO_4 (7,7 ПДКр/х), Na (6,29ПДКр/х), SiO_2 (3,69 ПДКр/х), нефтепродуктов (3,0 ПДКр/х), фенолов (2,56 ПДКр/х). При сравнении с ПДКх/п отмечаются превышения содержаний Cd (6,0 ПДК), Na (3,77 ПДК), SiO_2 (3,69 ПДК), нефтепродуктов (3,0 ПДК), NO_3 (2,28 ПДК); кроме того, возрастает окисляемость (4,2 ПДК). В целом геохимический спектр поверхностной воды, отобранной из выпуска 2 в октябре 2013 г., с некоторыми вариациями соответствует воде, отобранной в августе 2013 г. Опробование, выполненное в ноябре 2013 г., показало, что в исследованной воде отмечаются превышения нормативов по 11 из 26 определяемым показателям. Так, превышения нормативов ПДКр/х зафиксированы для SiO_2, SO_4, NO_3 и Cu, а превышения нормативов ПДКх/п – по количеству сухого остатка, Na, NH_4, NO_3, Cd, фенолов.

Вода из выпуска 3 в октябре 2013 г. значительно отличалась от воды, отобранной в августе 2013 г. Так, в октябре резко возросли содержания Cu (с 16 ПДКр/х до 1040 ПДКр/х), Zn (с 0,34 ПДКр/х до 33 ПДКр/х), Cd (с 4,4 ПДКр/х до 11,6 ПДКр/х), но в то же время резко сократились содержания фенолов (с 660 ПДКр/х до 1 ПДКр/х). При сравнении с ПДКх/п отмечаются превышения содержаний Cd (58,0 ПДК), нефтепродуктов (3,0 ПДК), кроме того возрастает окисляемость (1,24 ПДК).

В целом геохимический спектр воды, отобранной из выпуска 3 в октябре 2013 г., с некоторыми вариациями соответствует воде, отобранной в августе 2013 г.

Опробование, выполненное в ноябре 2013 г., показало, что воде из выпуска 3 свойственны превышения нормативов ПДК по 16 из 26 определяемых показателей (сухой остаток, окисляемость, Na, NH_4, Ca, Mg, Cl, NO_3, Cd, фенолы, Fe, SO_4, NO_2, Cu, Zn, Ni).

Воде, отобранной из карьерного озера в октябре 2013 г., при сравнении с нормативами ПДКр/х свойственны высокие концентрации Cu (180

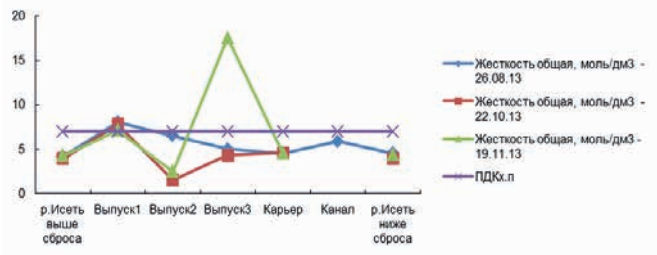


Рисунок 8. Изменение общей жесткости в поверхностных водах

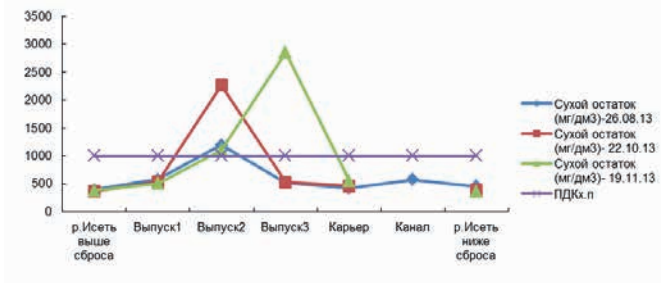


Рисунок 9. Количество сухого остатка в поверхностных водах

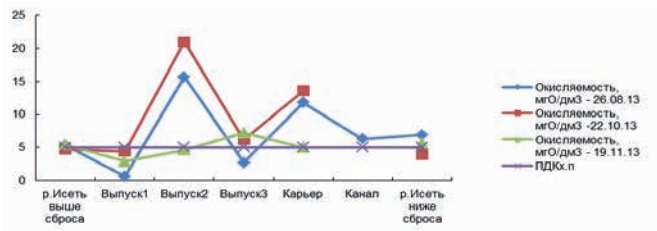


Рисунок 10. Изменение окисляемости поверхностных вод

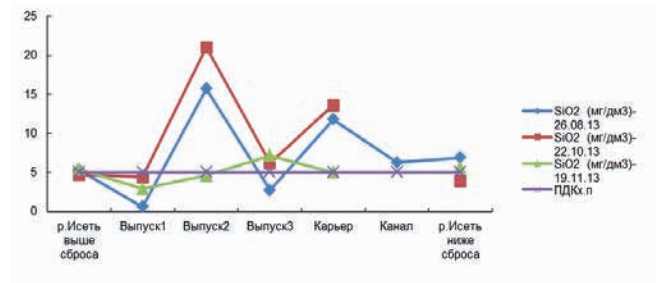


Рисунок 11. Содержание кремния в поверхностных водах

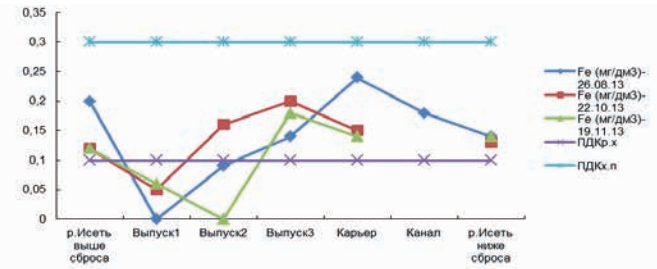


Рисунок 12. Содержание железа в поверхностных водах

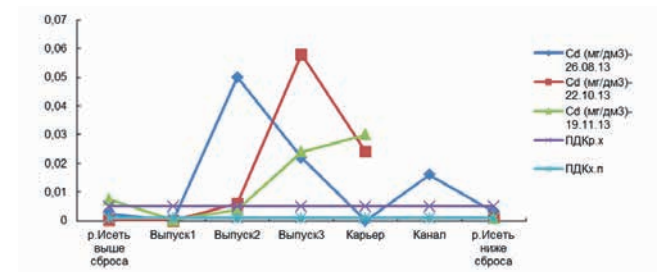


Рисунок 13. Содержание кадмия в поверхностных водах

ПДК), NO_2 (40,63 ПДК), а также повышенные содержания Zn (10 ПДК), Cd (4,8 ПДК), Ni (9,9 ПДК) при ощутимом снижении содержаний нефтепродуктов, аммиака и фенолов.

При сравнении качества воды с нормативами ПДКх/п фиксируются повышенные концентрации Cd, которые возросли с 1,0 ПДК до 24 ПДК, но в то же время уменьшились содержания нефтепродуктов (с 376 ПДК до 8,0 ПДК), фенолов (с 30 ПДК до 2 ПДК) и аммиака (с 4,83 ПДК до 0,57 ПДК). Исследование качества воды, отобранной в ноябре 2013 г., выявило превышения нормативов ПДК по 11 показателям, в том числе по величине окисляемости, по содержанию NO_3, NO_2, NH_4, SO_4, Cd, Cu, Zn, Ni и фенолов.

Для оценки качества воды в реке Исеть проанализированы пробы, отобранные выше и ниже сброса поверхностных вод. Вода выше по течению от устья стока поверхностных вод характеризуется повышенными содержаниями Cu (5,3 ПДКр/х), нефтепродуктов (2,2 ПДКр/х), Zn (1,3 ПДКр/х), Fe (1,2 ПДКр/х). В целом геохимический спектр воды в р. Исеть с некоторыми вариациями соответствовал геохимическому спектру воды, отобранной в августе 2013 г. В ноябре 2013 г. установлены превышения нормативов ПДК по 8 показателям: окисляемость, Cd, фенолы, NH_4, Fe, Cu, Zn, NO_2.

Поверхностная вода из точки отбора, расположенной ниже по течению, практически полностью соответствовала нормативам ПДКх/п. Однако нормативы ПДКр/х превышены по Cu (10 ПДК), Zn (1,5 ПДК) и Fe (1,3 ПДК). Опробование, выполненное в ноябре 2013 г., показало, что в исследованной воде отмечаются превышения нормативов по шести из 26 определяемых показателей. Здесь зафиксированы превышения по окисляемости, NH_4, NO_2, Cu, Zn, Fe.

Содержания основных загрязняющих веществ в поверхностных и сточных водах по периодам опробования приведены на рис. 8–13.

С целью определения степени влияния поверхностных стоков на качество воды р. Исеть были рассчитаны коэффициенты накопления (таблица).

Расчеты показали, что вода в р. Исеть ниже сброса сточных вод в октябре 2013 г. характеризовалась увеличением содержаний Cd в 3,5 раза, Cu – в 1,89 раза, Ni – в 1,46 раз, Zn – в 1,15 раза. Кроме того, фиксируется некоторое накопление Fe, SO_4, As и сухого остатка. Опробование,

Коэффициенты накопления загрязняющих веществ в р. Исеть по периодам опробования

Параметр	26.08.13	22.10.13	19.11.13	Параметр	26.08.13	22.10.13	19.11.13
Водородный показатель	0,99	0,99	0,98	SO_4^{2-}, мг/дм³	**1,11**	**1,05**	**1,15**
Жесткость общая, моль/дм³	**1,08**	1,01	1,02	NO_3^-, мг/дм³	**1,06**	0,99	1,02
Жесткость карбонатная, моль/дм³	**1,03**	1,01	1,00	NO_2^-, мг/дм³,	1,00	< 1,00	0,74
Сухой остаток, мг/дм³	**1,15**	**1,07**	0,94	CO_3^-, мг/дм³	1,00	< 1,00	1,00
Минерализация, мг/дм³	**1,08**	1,02	**1,05**	HCO_3^-, мг/дм³	**1,03**	1,02	1,00
Окисляемость, мгО/дм³	**1,30**	0,83	1,04	Cu, мг/дм³	**1,36**	**1,89**	**1,86**
SiO_2, мг/дм³	0,78	1,00	**2,22**	Zn, мг/дм³	**1,36**	**1,15**	1,17
Na^+, мг/дм³	**1,10**	1,03	**1,11**	Cd, мг/дм³	**1,32**	**3,50**	0,11
K^+, мг/дм³	**1,20**	1,01	**1,25**	Pb, мг/дм³	0,71	–	–
NH_4^+, мг/дм³	0,43	1,00	1,00	Ni, мг/дм³	**1,45**	**1,46**	**1,28**
Ca^{2+}, мг/дм³	**1,10**	1,00	1,01	As, мг/дм³	1,00	**1,06**	0,93
Mg^{2+}, мг/дм³	**1,07**	1,03	1,04	Hg, мг/дм³	1,00	–	–
Fe, мг/дм³	0,70	**1,08**	**1,17**	Нефтепродукты, мг/дм³	**1,43**	0,18	**> 1,00**
Cl^-, мг/дм³	**1,18**	0,96	1,00	Фенолы (общие и летучие), мг/дм³	**> 3,30**	< 1,00	0,33

выполненное в ноябре 2013 г., показало, что концентрации SiO_2, Na, K, Fe, SO_4, Cu, Ni и общая минерализация в воде ниже сброса сточных вод превышают содержания этих компонентов в воде выше сброса. Следует отметить, что во все три периода опробования в нижнем створе фиксировалось увеличение (накопление) количеств сульфатов, меди, никеля и общей минерализации. Из этого можно сделать вывод что этот процесс обусловлен стоком поверхностных вод с территории свалки, так как химические элементы, по которым фиксируется загрязнение р. Исеть, отвечают геохимическим спектрам подземных и сточных поверхностных вод.

Таким образом, проведенные исследования качества поверхностных вод в районах размещения промышленных отходов (шлаковый отвал и свалка твердых промышленных отходов) позволяют сделать следующий вывод: учитывая то, что подземные воды, сточные и поверхностные воды характеризуются наличием загрязняющих веществ в количествах, превышающих ПДК, необходимо вести экологический мониторинг окружающей среды, который бы включал:

– наблюдение за состоянием параметров окружающей среды, природных ресурсов и источников антропогенного воздействия на них;

– оценку состояния указанных объектов наблюдения;

– выявление основных источников загрязнения с целью качественной и количественной оценки степени их влияния на компоненты окружающей природной среды;

– оценку эффективности природоохранных мероприятий с целью оптимизации природопользования;

– обеспечение контролирующих и природоохранных органов систематизированными данными об уровне загрязнения окружающей среды, прогнозом их изменений, а также экстренной информацией при резких повышениях в природных средах уровня содержания загрязняющих веществ.

Полученные результаты экологического мониторинга должны стать основой информационного обеспечения подготовки и принятия управленческих решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вострокнутов Г. А. Временное методическое руководство по проведению геохимических исследований при геоэкологических работах. Екатеринбург: Уралгеология, 1991. 137 с.
2. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / под ред. Л. К. Исаева. СПб.: Союз, 1998.
3. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: ГН 2.1.5.1315–03. М.: Нефтяник, 2003. 14 с.
4. Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: ГН 2.1.5.2307–07. М.: Нефтяник, 2003. 10 с.
5. Елохин В. А., Елохина О. В. Влияние промышленных отходов, складируемых в отработанных карьерах, на качество подземных вод (на примере шлакового отвала и свалки твердых промышленных отходов) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: материалы и доклады X межрегион. науч.-практ. конф. (Уфа, 13–15 мая 2014 г.). Уфа: ДизайнПресс, 2014. С. 223–225.
6. Государственный доклад о состоянии окружающей среды и влиянии факторов среды обитания на здоровье населения Свердловской области в 2008 г. Екатеринбург.: Изд-во Урал. ун-та, 2009.

REFERENCES

1. Vostroknutov G. A. 1991, *Vremennoye metodicheskoye rukovodstvo po provedeniyu geokhimicheskikh issledovaniy pri geoekologicheskikh rabotakh* [Temporary methodological guideline on conducting geochemical surveys during geo-ecological works]. Ekaterinburg. 137 p.
2. Isaev L. K. 1998, *Kontrol himicheskikh i biologicheskikh parametrov okruzhayushey sredy* [Control of chemical and biological parameters of environment]. Saint-Petersburg.
3. GN 2.1.5.1315–03. 2003, *Predel'no dopustimiye kontsentratsii (PDK) himicheskikh veshestv v vode vodnykh ob'ektov hozyaystvenno-pityevogo i kulturno-bitovogo vodopolzovaniya* [Maximum Permissible Concentrations (MPC) of chemical substances in the water of water bodies of drinking and household and domestic water consumption]. Moscow, 14 p.
4. GN 2.1.5.2307–07. 2003, *Orientirovochnye dopustimiye urovni (ODU) himicheskikh veshestv v vode vodnikh obyektov hozyastvenno-pityevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya* [Safe Reference Levels of Impact of chemical substances in water of drinking and household and domestic water usage water areas]. Moscow, 10 p.
5. Elokhin V. A., Elokhina O. V. 2014, *Vliyaniye promyshlennykh othodov, skladiruyemikh v otrabotannykh karyerakh, na kachestvo podzemnykh vod (na primere shlakovogo otvala i svalki tverdykh promyshlennykh otkhodov)* [Effect of industrial wastes that are stockpiled in depleted pits on the quality of groundwaters (on the example of slagheap and disposal site of solid industrial wastes)]. *Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala I sopredelnykh territoriy: materialy i doklady X Mezhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ufa, 13–15 maya, 2014* [Geology, useful mineral resources and problems of geoecology of Bashkortostan, Ural and cross-border regions: materials and reports. Transregional research-to-practice conference, Ufa, 13–15 may, 2014]. Ufa, 223–225 p.
6. 2009, *Gosudartsvennyi doklad o sostoyanii okruzhayushey sredy i vliyaniya sredy obitaniya na zdorovye naseleniya Sverdlovskoi oblasti v 2008 godu* [State report on the environment condition and influence of the environment condition on the health of population of Sverdlovsk Oblast in 2008]. Ekaterinburg.

Оксана Владимировна Елохина,
Уральский государственный колледж имени И. И. Ползунова
Россия, Екатеринбург, просп. Ленина, 28

Владимир Аскольдович Елохин,
Elokhin.v.a@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Oksana Vladimirovna Elokhina,
Ural State College named after I. I. Polzunov
Ekaterinburg, Russia

Vladimir Askol'dovich Elokhin,
Elokhin.v.a@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 502/504 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-35-37

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ ВОД СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА НА ПРИМЕРЕ КАРЬЕРА КРУПНОГО ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. В. Хохряков, А. Г. Студенок, Г. А. Студенок

Investigation of formation processes of drainage waters chemical contamination with nitrogen compounds on the example of major mining enterprise

A. V. Hohryakov, A. G. Studenok, G. A. Studenok

An important ecological aspect of work of all mining enterprises that use drilling-and-blasting mining of rock mass with the application of industrial explosive agents (poremite, granemite, igdanite and others) based on ammonium nitrate is inevitable contamination of drainage waters with nitrogen compounds (ammonium ion NH4+, ion nitrate NO2- and ion nitrate NO3-). These drainage waters that are pumped out during drainage of deposits as a rule are discharged into surface water bodies which leads to their contamination. Execution of stringent requirements of environmental regulation based on protection of water bodies from contamination with nitrogen compounds during discharge of drainage waters dictates the need for selection and development of optimal from the standpoint of eco-economic positions technology of purification. Researching of formation processes of their chemical composition based on contaminated compounds and volume of drainage waters that are subject for cleaning for mining enterprises is necessary for this purpose. This article explores formation processes of chemical contamination of drainage waters with nitrogen compounds that are done in conditions of large pit of construction industry for the purpose of determining possible drainage water purification technologies. Results of research are used by the investigated enterprise during development of drainage water purification technology from nitrogen compounds and optimization of water treatment facilities work depending on the natural and man-caused factors taking into consideration specific conditions of enterprise and its infrastructure (connection of mass of nitrogen compound losses with the seasonality of water inflows, volume of rock mass, types of applied explosive agents).

Keywords: contamination of aquatic resources; drilling and blasting operations; drainage waters of pits; ammonia nitrogen; nitrite-nitrogen; nitrate-nitrogen; pit sump.

Важным экологическим аспектом работы всех горнодобывающих предприятий, использующих буровзрывную подготовку горной массы с применением промышленных взрывчатых веществ (порэмит, гранэмит, игданит и др.) на основе аммиачной селитры, является неизбежное загрязнение дренажных вод соединениями азота (ион аммония NH_4^+, ион нитрита NO_2^- и ион нитрата NO_3^-). Эти дренажные воды, откачиваемые при осушении месторождений, как правило, сбрасываются в поверхностные водные объекты, приводя к их загрязнению. Выполнение ужесточающихся требований природоохранного законодательства по охране водных объектов от загрязнения соединениями азота при сбросе дренажных вод обусловливает необходимость выбора и разработки оптимальной с эколого-экономических позиций технологии их очистки. Для этого необходимо изучение процессов формирования их химического состава по загрязняющим веществам и объема дренажных вод, подлежащих очистке, для горнодобывающих предприятий. В статье рассмотрены процессы формирования химического загрязнения дренажных вод соединениями азота, исследованные в условиях крупного карьера строительной индустрии с целью определения возможных технологий очистки дренажных вод. Результаты исследований использованы рассматриваемым предприятием при разработке технологии очистки дренажных вод от соединений азота и оптимизации работы очистных сооружений в зависимости от природных и техногенных факторов с учетом конкретных условий предприятия и его инфраструктуры (связь массы выноса соединений азота с сезонностью водопритоков, объемом горной массы, видов применяемых ВВ).

Ключевые слова: загрязнение водных ресурсов; буровзрывные работы; дренажные воды карьеров; аммонийный азот; нитритный азот; нитратный азот; карьерный водоотлив.

Буровзрывная подготовка горной массы с применением промышленных взрывчатых веществ (порэмит, гранэмит, игданит) на основе аммиачной селитры (нитрат аммония NH_4NO_3) при разработке обводненных месторождений приводит к загрязнению дренажных вод горных выработок соединениями азота (ионы аммония NH_4^+, ионы нитрита NO_2^- и ионы нитрата NO_3^-). Дренажные воды, откачиваемые при осушении месторождений, как правило, сбрасываются в поверхностные водные объекты, приводя к их загрязнению. Данная проблема характерна практически для всех предприятий горнодобывающего комплекса [1–4]. В Свердловской области это ОАО «Качканарский горно-обогатительный комбинат», ОАО «Ураласбест», ОАО «Высокогорский горно-обогатительный комбинат» и другие предприятия горнопромышленного комплекса, строительной индустрии с открытым и подземным способами добычи, использующе буровзрывную подготовку горной массы.

Выполнение требований природоохранного законодательства по охране водных объектов от загрязнения соединениями азота при сбросе дренажных вод обусловливает необходимость выбора и разработки оптимальной, с эколого-экономических позиций, технологии их очистки [5]. Для этого необходимо изучение процессов формирования их химического состава по загрязняющим веществам и объема дренажных вод, подлежащих очистке.

По результатам раннее выполненных исследований в условиях крупного карьера установлено, что количество соединений азота, поступающих в дренажные воды при ведении взрывных работ, составляет от 3 до 4 % от количества азота, содержащегося в израсходованных взрывчатых веществах [6]. Поступление соединений азота в дренажные воды при ведении взрывных работ приводит к существенному превышению допустимого уровня их содержания в поверхностных и подземных водах, вызывая загрязнение водных объектов при сбросе в них дренажных вод.

Поступление в дренажные воды карьера ионов аммония (аммонийный азот) связано с растворением и вымыванием нитрата аммония при зарядке обводненных скважин. Загрязнение дренажных вод ионами нитрита (нитритный азот) связано с сорбцией горной массой образующихся при взрывах оксидов азота, их последующее вымыванием атмосферными осадками и поступлением образующихся ионов нитрита в дренажные воды [7]. Поступление ионов нитрата в дренажные воды связано как с процессом растворения нитрата аммония в обводненных скважинах, так и с вымывание атмосферными осадками сорбированных горной массой оксидов азота (рис. 1).

Осушение карьера рассматриваемого горного предприятия производится дренажной шахтой через сеть водоспускных скважин, пройденных из зон ведения работ в горизонтальные подземные выработки

Рисунок 1. Источники поступления соединений азота в дренажные воды при ведении взрывных работ.

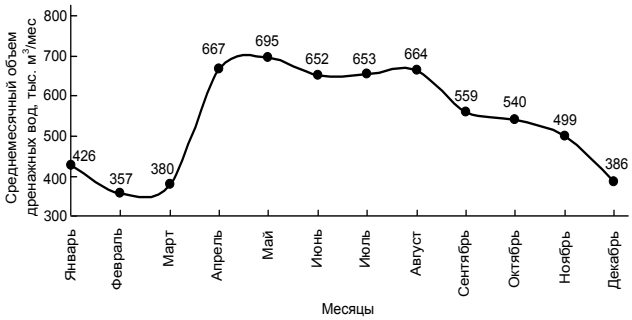


Рисунок 2. Среднемесячная динамика объема водоотлива.

(штреки), расположенные под дном карьера, с последующей откачкой воды на поверхность. Штреки в определенных местах разделены водонепроницаемыми переборками, оборудованными спускными трубами с задвижками, что позволяет затоплять часть выработок в периоды интенсивного притока и регулировать водоотлив, сглаживая пики паводков во времени. Откачка воды на поверхность производится насосами ЦНС-300/540, количественно объем откачиваемых дренажных вод определяется производительностью и временем работы насосов.

На рис. 2 приведена среднемесячная динамика объема водоотлива за период 2006–2015 гг.

Результаты наблюдений показывают, что в годовом разрезе за рассматриваемый период максимальные значения объемов образования дренажных вод (до 70 % годового объема дренажных вод) приходятся на теплый период года (апрель–октябрь), что связано с природными факторами – снеготаянием и атмосферными осадками, выпадающими на водосборную площадь карьера предприятия.

Дренажные воды имеют высокий уровень природного и техногенного загрязнения. Состав дренажных вод хлоридно-гидрокарбонатный или гидрокарбонатно-хлоридный магниевый, минерализация 0,4–1,3 г/дм^3, общая жесткость до 8,2–10,5 моль/дм^3; pH до 8,5–9,5.

Анализ проб воды на соединения азота производится лабораторией по контролю производства с использованием следующих утвержденных методик серии ПНД Ф:

– аммонийный азот: фотометрический метод с реактивом Несслера;

– нитритный азот: фотометрический метод с сульфаниловой кислотой и а-нафтиламином;

– нитратный азот: фотометрический метод с салицилатом натрия.

Химический состав дренажных вод по соединениям азота, постоянно контролируемый лабораторией по контролю производства рассматриваемого горного предприятия (периодичность отбора проб 2 раза в месяц), позволяет установить количественные зависимости процессов загрязнения дренажных вод соединениями азота.

Анализ отчетных данных предприятия по качественному и количественному составу сбрасываемых дренажных вод показывает, что превышение концентраций соединений азота по сравнению с установленными нормативами ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [8] составляет:

– аммонийный азот – в 15–30 раз;

– ион нитрита – в 50–150 раз;

– ион нитрата – в 2,0–3,5 раза.

Определяемые при проведении производственного контроля концентрации соединений азота в дренажных водах обусловлены вымыванием из горной массы соединений азота и позволяют оценить их количество как произведение среднемесячных концентраций на среднемесячный объем дренажных вод.

На рис. 3, *а*, *б*, *в* приведены данные по среднемесячным массам выноса соединений азота с дренажными водами карьера за период 2006–2015 гг.

Анализ результатов наблюдений за составом дренажных вод карьера по соединениям азота (рис. 3, *а*, *б*, *в*) показывает неравномерность их поступления в окружающую среду по периодам года (максимальная масса выноса характерна для теплого периода года).

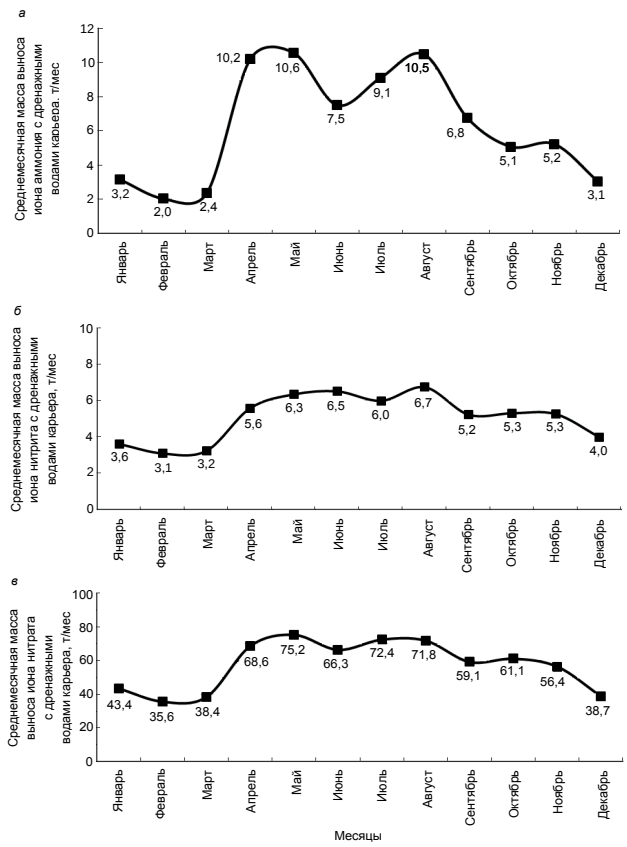


Рисунок 3. Среднемесячные массы выноса соединений азота с дренажными водами карьера. *а* – иона аммония NH_4^+; *б* – иона нитрита NO_2^-; *в* – иона нитрата NO_3^-.

Сводные результаты анализа приведены в таблице.

Анализ результатов показывает следующее:

– 21% от среднегодового выноса иона аммония приходится на холодный период (ноябрь–март) и 79 % от среднегодового выноса – на теплый период (апрель–октябрь);

– 31,5 % от среднегодового выноса иона нитрита приходится на холодный период (ноябрь–март) и 68,5 % от среднегодового выноса – на теплый период (апрель–октябрь);

– 31% от среднегодового выноса иона нитрата приходится на холодный период (ноябрь–март) и 69 % от среднегодового выноса – на теплый период (апрель–октябрь).

Увеличение выноса соединений азота для теплого периода года связано с увеличением объемов образования дренажных вод за счет атмосферных осадков, выпадающих на водосборную площадь карьера (дождевые осадки и весеннее снеготаяние).

На рис. 4, *а*, *б*, *в* представлены графики зависимости изменения массы выноса соединений азота от объема откачиваемых дренажных вод.

Анализ представленных графиков показывает, что между массами выноса соединений азота и объемом карьерного водоотлива наблюдаются тесные, практически линейные зависимости, характеризующиеся значениями коэффициентов парной линейной корреляции, близких к единице: ион аммония – 0,97; ион нитрита – 0,95; ион нитрата – 0,99.

Таким образом, количество соединений азота в виде ионов аммония, нитрита и нитрата, поступающих из горной массы в дренажные воды, может быть охарактеризовано следующей линейной эмпирической

Анализ результатов наблюдений за составом дренажных вод карьера по соединениям азота.

Период года	Объем дренажных вод, тыс. м^3	Масса выноса соединений азота, т/период			Доля от годового выноса, %		
		Ион аммония	Ион нитрита	Ион нитрата	Ион аммония	Ион нитрита	Ион нитрата
Холодный период (ноябрь–март)	2048	15,9	19,2	212,5	21,0	31,5	31,0
Теплый период (апрель–октябрь)	4430	59,8	41,6	474,5	79,0	68,5	69,0
Итого	6478	75,7	60,8	687,0	100,0	100,0	100,0

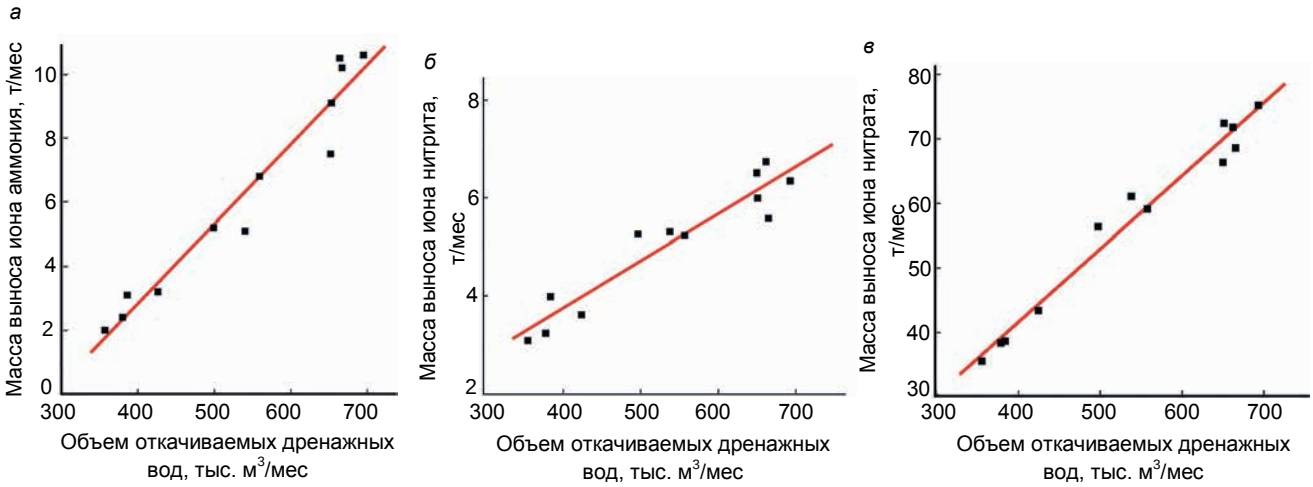


Рисунок 4. Зависимость массы выноса соединений азота от объема откачиваемых дренажных вод. *а* – иона аммония NH_4^+; *б* – иона нитрита NO_2^-; *в* – иона нитрата NO_3^-.

зависимостью в пределах наблюдаемых значений массы выноса отдельных соединений азота и объема водоотлива дренажных вод, т/мес:

$$M_n = A_n + K_n V,$$

где M_n – масса выноса соединений азота за рассматриваемый период времени, т; V – объем дренажных вод, тыс. м^3/мес; A_n, K_n – коэффициенты, характеризующие физико-химические и гидродинамические условия выщелачивания соединений азота из горной массы:

– для ионов аммония $A_n = -7{,}14$; $K_n = 0{,}025$;
– для ионов нитрита $A_n = -0{,}12$; $K_n = 0{,}0096$;
– для ионов нитрата $A_n = -3{,}9$; $K_n = 0{,}11$.

Полученные численные значения коэффициентов в уравнениях линейной регрессии, характеризующих связь массы выноса соединений азота (ионы аммония, нитрита и нитрата) с объемом водоотлива дренажных вод в наблюдаемых пределах изменений значений, зависят от внешних и внутренних факторов.

К определяющим факторам относятся внешние факторы, зависящие от горнотехнических условий горного предприятия (расход и виды ВВ, водопритоки в горные выработки, обводненность взрываемых скважин).

Предварительное сравнение динамики количества использованных ВВ с динамикой массы выноса соединений азота не выявило тесной взаимосвязи между ними во времени ни в среднемесячном, ни в среднегодовом разрезе. По мнению авторов, это связано с тем, что в рассматриваемый длительный промежуток времени вынос соединений азота с дренажными водами сформирован с участием ВВ, использованных как значительно ранее, так и тех, что применены в рассматриваемый период (имеет место сформировавшееся загрязнение системы). Таким образом, решающим фактором, определяющим вынос соединений азота, является объем водоотлива, значительным образом связанный с атмосферными осадками.

Внутренние факторы, определяющие вынос соединений азота, связаны с гидродинамическими и физико-химическими условиями выщелачивания соединений азота из горной массы.

Вследствие этого при применении полученного уравнения для условий конкретного горного предприятия необходимо выполнение обработки результатов мониторинговых наблюдений за объемом и составом дренажных вод для определения числовых значений коэффициентов в уравнении регрессии.

Выполненные исследования положены в основу проектных решений при выборе способов очистки и технологических параметров системы очистки дренажных вод от соединений азота в условиях рассматриваемого предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирюхин В. А. Прикладная гидрогеохимия. СПб.: СПбГИ, 2010. 201 с.
2. Лозовик П. А., Бородулина Г. С. Соединения азота в поверхностных и поземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 6. С. 694–704.
3. Ревво А. В., Хохряков А. В., Медведева И. В. и др. Воздействие предприятий горно-металлургического комплекса на динамику загрязнения реки Чусовой // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 67–74.
4. Экологическая геология крупных горнодобывающих районов Северной Евразии (теория и практика) / под ред. И. И. Косиновой. Воронеж: ОАО «Воронежская областная типография», 2015. 576 с.
5. Студенок А. Г., Студенок Г. А., Ревво А. В. Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий.// Изв. УГГУ. 2013. № 2(30). С. 26–30.
6. Хохряков А. В., Студенок А. Г., Ольховский А. М. и др. Количественная оценка вклада взрывных работ в загрязнение дренажных вод карьеров соединениями азота // Изв. вузов. Горный журнал. 2005. № 6. С. 29–31.
7. Болкисева Е. В. Механизм образования ядовитых газов при проходке горно-строительных выработок взрывным способом // Технология и безопасность взрывных работ: материалы науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2012. С. 262–275.
8. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: утв. приказом Росрыболовства от 18 января 2010 года № 20.

REFERENCES

1. Kiryukhin V. A., 2010, *Prikladnaya gidrogeokhimiya* [Applied hydrogeochemistry]. Saint Petersburg, 201 p.
2. Lozovik P. A., Borodulina G. S. 2009, *Soedineniya azota v poverhnostnykh i podzevmnykh vodakh Karelii* [Nitrogen compounds in surface and underground waters of Karelia]. *Vodnye resursy* [Water resources]. Vol. 36. No. 6. pp. 694–704.
3. Revvo A. V., Khokhryakov A. V., Medvedeva I. V., Tseitlin E. M. 2015, *Vozdeistvie prepyatstviy gorno-metallurgicheskogo kompleksa na dinamiku zagryazneniya reki Chusovoi* [Impact of mining and metals sector industry on the dynamics of Chusovaya river pollution]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurna*l [News of the Higher Institutions. Mining journal]. No. 2, pp. 67–74.
4. Kosinova I. I. 2015, *Ekologicheskaya geologiya krupnykh gornodobyvayushikh rayonov Severnoi Evrazii (teoriya i praktika)* [Ecological geology of big mining districts of North Eurasia (theory and practice)]. Voronezh, 576 p.
5. Studenok A. G., Studenok G. A., Revvo A. V. 2013, *Otsenka metodov ochistki stochnykh vod ot soedineniy azota dlya drenazhnykh vod gornykh predpriyatiy* [Evaluation of sewage water treatment from nitrogen compounds for drainage waters of mining companies]. *Izvestiya Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University]. No. 2 (30). pp. 26–30.
6. Khokryakov A. V., Olkhovskiy A. M., Studenok A. G., Studenok G. A. 2005, *Kolichestvennaya otsenka vklada vzryvnykh rabot v zagryazneniye drenazhnykh vod kar'erov soedineniyami azota* [Quantitative evaluation of contribution of blasting operations into contamination of drainage waters of pits with nitrogen compounds]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining journal]. No. 6. pp. 29–31.
7. Bolkiseva E. V. 2012, *Mekhanizm obrazovaniya yadovitykh gazov pri prokhodke gorno-stroitelnykh vyrabotok vzryvnym sposobom* [Mechanism of generation of toxic gases during boring of mountain construction productions with explosive methods]. Technology and safety during explosive operations: materials of scientific technical conferences]. IMA Ural Branch RAS. pp. 262–275.
8. 2010, *Normativy kachestva vodi vodnykh obyektov rybohozyastvennogo znacheniya, v tom chisle normativy predel'no dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyastvennogo znacheniya, utverzhdennye prikazom Rosrybolovstva ot 18.01.2010 № 20* [Quality standards of aquatic areas waters of objects of commercial fishing importance, including standards of maximum allowable concentrations of hazardous substances in fishery waters, approved by the order of Russian Federal Fisheries Agency from 18th of January 2010, No. 20].

Александр Владимирович Хохряков,
ief.ie@m.ursmu.ru
Андрей Геннадьевич Студенок,
Геннадий Андреевич Студенок,
genand@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Aleksandr Vladimirovich Hohryakov,
ief.ie@m.ursmu.ru
Andrey Gennadyevich Studenok,
Gennadiy Andreevich Studenok,
genand@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 502/504 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-38-40

Die Erforschung von Prozessen der chemischen Verunreinigung des Dränagewassers durch Stickstoffverbindungen am Beispiel von dem Tagebau eines grossen Bergbauunternehmens

A. W. Chochrjakow, A. G. Studenok, G. A. Studenok

Ein wichtiger ökologischer Aspekt der Arbeit aller Bergbauunternehmen, die Bohr- und Sprengarbeiten am Haufwerks mit unter Anwendung der Industriesprengmittel (Poremit, Granemit, Igdanit) auf Basis vom Ammonsalpeter durchführen, ist die unvermeidliche Verunreinigung des Dränagewassers Stickstoffverbindungen (das Ammonium-Ion NH_4^+, das Nitrit-Ion NO_2^- und das Nitrat-Ion NO_3^-). Das Dränagewasser, das bei der Entwässerung der Vorkommen ausgepumpt wird, wird in der Regel in die oberflächlichen abgeleitet, was zur Gewässerverunreinigung führt. Die Erfüllung der verschärften Anforderungen der Umweltschutzgesetzgebung, in Bezug auf den Wasserobjektschutz vor der Verunreinigung durch Stickstoffverb-indungen bei der Ableitung (Ablassung) des Dränagewassers, bedingt die Notwendigkeit der Auswahl und der Entwicklung von ökologisch-wirtschaftlich optimalen Technologien ihrer Reinigung. Dafür ist es für Bergbauunternehmen nötig, die Bildungsvorgänge ihrer chemischen Zusammensetzung in Bezug auf Schmutzstoffe (Verschmutzungsverbindungen) und Dränagewasservolumen, die der Reinigung unterliegen, zu erforschen. Im Artikel sind Bildungsvorgänge der chemischen Verunreinigung des Dränagewasser durch Stickstoffverbindungen untersucht, die am Beispiel eines grossen Tagebaus der Bauindustrie erforscht wurden. Das Hauptziel der Er-forschung war die Untersuchung der potenziellen Technologien für Was-serreinigung des Dränagewassers. Die Forschungsergebnisse sind vom betrachteten Unternehmen dafür benutzt, die Stickstof-fentfernugstechnologie für Dränagewasser zu entwickeln und die Arbeit der Reinigungsanlagen in Abhängigkeit von Natur- und Betriebsfaktoren unter Berücksichtigung der konkreten Bedingungen des Unternehmens und seiner Infrastruktur (der Zusammenhang zwischen dem Austrag der Stick-stoffverbindungen und jahreszeitlicher Schwankung des natürlichen Wasserflusses), Masse des Haufwerks, den angewendeten Arten der Sprengmittel zu optimisieren.

Schlüsselwörter: Waesserverunreinigung; Bohrschiessarbeiten; Tagebauedraengewaesser; der Ammoniakstickstoff, das Nitrit-Ion, das Nitrat-Ion, Auspumpen der Draengewaesser.

Der Bohr- und Sprengvortrieb des Haufwerks unter Anwendung der Industriesprengmittel (Poremit, Granemit, Igdanit) auf Basis vom Ammonsalpeter (NH_4NO_3) bei der Förderung im bewässerten Tagebau führt zur Verunreinigung des Dränagewasser durch Stickstoffverbindungen (das Ammonium-Ion NH_4^+, das Nitrit-Ion NO_2^- und das Nitrat-Ion NO_3^-). Das Dränagewasser, das bei der Entwässerung der Lagerstätte aus-gepumpt wird, wird in der Regel in die oberflächlichen Wasserobjekte abgeleitet (abgelassen), was zu Wasserverunreinigung führt. Das Problem ist charakteristisch für fast alle Bergbauunternehmen [1–4]. Im Swerdlowsker Gebiet (Region) sind das die "Katschkanarer Bergbau- und Aufbereitungskombinat AG", die "Uralasbest AG", die "Vysokogorskij Bergbau- und Aufbereitungskombinat AG" und andere Bergbau- und Bauindustrieunternehmen mit Tagebauen und den Untertagebauen, die der Bohr- und Sprengvortrieb des Haufwerks anwenden.

Die Erfüllung der Anforderungen der Umweltschutzgesetze in Bezug auf den Wasserschutz vor der Verunreinigung durch Stickstoffverbindungen bei der Ableitung des Dränagewassers bedingt die Notwendigkeit der Auswahl und Entwicklung von ökologisch-wirtschaftlich optimalen Technologien der Abwasserreinigung [5]. Dafür ist es nötig, die Bildungsvorgänge ihrer chemischen Zusammensetzung in Bezug auf Schmutzstoffe und Dränagewassermengen, die der Reinigung unterliegen, zu erforschen.

Dem Ergebnis der vorher ausgeführten Forschungen zufolge am Beispiel (in Bedingungen) eines Grosstagebaus wurde festgestellt, dass die Stickstoffverbindungenmenge, die sich in das Dränagewasser bei den Sprengarbeiten (Schiessarbeiten) lösen, von 3 bis 4 % vom Stickstoffgehalt, die angewendeten Sprengmittel enthalten, beträgt [6]. Das Einströmen von Stickstoffverbindungen ins Dränagewasser bei den Bohr- und Sprengarbeiten führt zur wesentlichen Überschreitung ihres zulässigen Gehaltes in Oberflächen- und Grundwässern bei der Ableitung des Dränagewassers, was diese Gewässer verschmutzt.

Das Einströmen der Ammonium-Ionen ist mit der Lösung und der Ausschwemmung des Ammoniumnitrates beim Laden der bewässerten Bohrlöcher verbunden. Die Dränagewasserverunreinigung durch Nitrit-Ionen entsteht wegen der Sorption der während der Sprengungen entstehenden Stickstoffoxide vom Haufwerk, ihrer folgenden Ausschwemmung durch Niederschläge und des Einströmens der entstehenden Nitrit-Ionen in die Dränagewasser [7]. Das Einströmen der Nitrat-Ionen in die Dränagewasser entsteht sowohl durch Prozesse der Lösung des Ammoniumnitrates beim Laden der bewässerten Bohrlöcher, als auch wegen der Ausschwemmung durch Niederschläge der von dem Haufwerk sorbierten Stickstoffoxide (die Zeichnung 1).

Der Tagebau des betrachteten Bergunternehmens wird entwässert durch einen Dränageschacht und ein Netz von Entwässerungsbohrlöchern, die im Bereich der Bergbauarbeiten bis in die horizontale Strecken, die sich unter dem Tagebau befinden, gebohrt sind, mit dem folgenden Auspumpen des Wassers auf die Oberfläche. Die Strecken sind in bestimmten Plätzen durch Dämmschotte getrennt, die mit Abflussröhren mit Schiebern ausgerüstet sind, was erlaubt, einen Teil der Ausbaue in den Zeiträumen des intensiven Wasserzuflusses zu überfluten und damit die Wasserhaltung zu steuern und die Hochwasserzeiten abzugleichen. Das Auspumpen des Wassers auf die Oberfläche wird mit den Pumpen ZNS-300/540 ausgeführt, mengenmässig wird das ausgepumpte Wasservolumen durch die Arbeitsleistung und die Arbeitszeit der Pumpen bestimmt.

An der Zeichnung 2 ist die monatsdurchschnitliche Entwässerungsdynamik im Zeitraum 2006–2015 angeführt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass das maximale monatsdurchschnittliche Dränage-wasservolumen (bis zu 70 % des Jahrvolumens des Dränagewassers) im wärmen Zeitraum des Jahres entsteht (April–Oktober), was mit natürlichen Faktoren verbunden ist (die Schneeschmelze und Niederschläge, die auf das Einzugsgebiet des Bergwerks fallen).

Das Dränagewasser hat einen hohen natürlichen und industriellen Verschmutzungsgrad. Es enthält chlorid-hydrogenkarbonate oder magnesium-chlorid-hydrokarbonate (Zusammenfassung), mit der Mineralisation 0,4–1,3 g/dm^3, Gesamthärte bis zu 8,2–10,5 mol/dm^3, pH bis zu 8,5–9,5.

Die Wasseranalyse auf Stickstoffverbindungen wird vom Laboratorium der Betriebskontrolle ausgeführt mit der Anwendung von folgenden zugelassenen Methoden (PND F):

– Ammoniakstickstoff: die photometrische Methode mit Nessler-Reagens;

– Nitritstickstoff: die photometrische Methode mit Sulfanilsäure und α-Naphtylamin;

– Nitratstickstoff: die photometrische Methode mit Natriumsalizylat.

Die chemische Zusammensetzung des Dränagewassers in Bezug auf Stickstoffverbindungen, die stets vom Laboratorium der Betriebskontrolle des betrachteten Unternehmens ausgeführt wird (die Periodizität der Probeentnahmen ist zweimal pro Monat) ermöglicht die quantitative Zuordnung des Dränegewasserschadens durch Stickstoffverbindungen zu bestimmen.

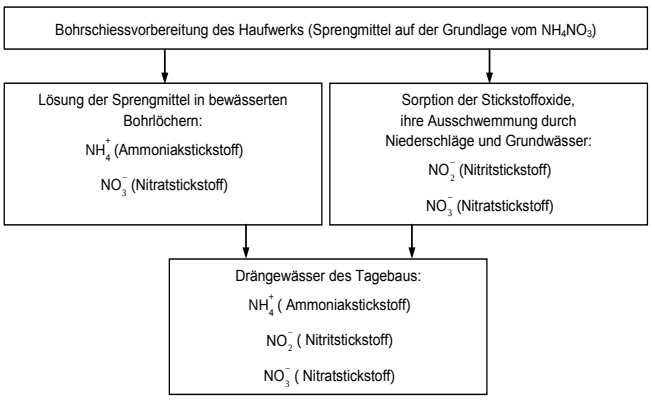
Die Analyse der Berichte des Unternehmens in Bezug auf qualitative und quantitative Zusam-menfassung zeigt, dass der Überschuss der Konzentrationen der Stickstoffverbindungen die Grenzkonzentration für fischwirtschaftliche Wasserobjekte [8] beträgt:

– Ammoniakstickstoff – 15–30 mal;

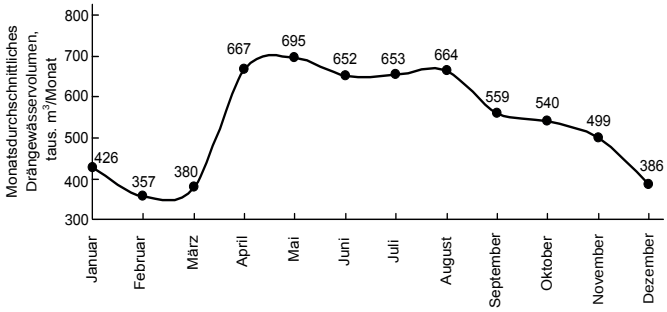
– Nitrit–Ion – 50–150 mal;

– Nitrat–Ion – 2.0–3.5 mal.

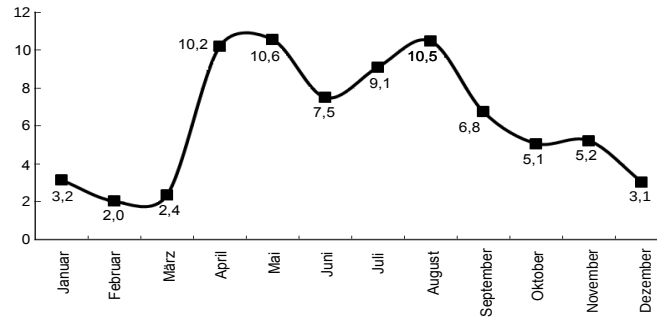
Die bei der Betriebskontrolle bestimmten Konzentrationen von Stickstoffverbindungen im Dränagewasser sind durch die Ausschwemmung aus dem Haufwerk bedingt und ermöglichen es ihre Menge als das Produkt der monatsdurchschnittlichen Konzentrationen und des monatsdurchschnittlichen Volumens zu zu bewerten.



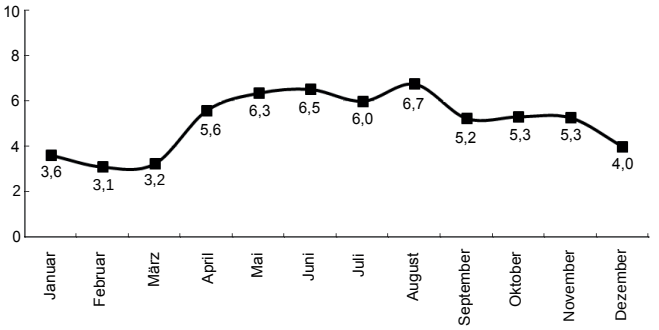
Zeichnung 1. Die Quellen des Einströmens der Stickstoffverbindungen in die Dränagewasser bei den Sprengarbeiten.



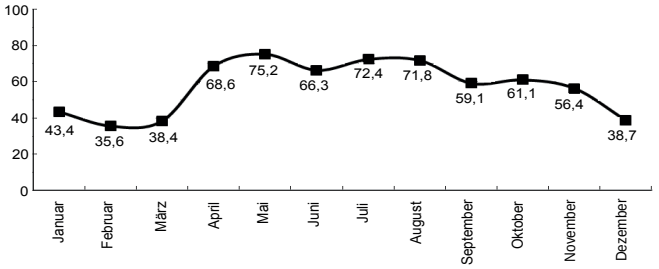
Zeichnung 2. Das monatsdurchschnittliche Dränagewasservolumen des Unternehmens im Zeitraum 2006–2015.



Zeichnung 3. Monatsdurchschnittliche Ausschwemmungmassen vom Ammonium-Ion (NH_4^+) im Dränagewasser des Tagebaus.



Zeichnung 4. Monatsdurchschnittliche Ausschwemmungmassen vom Nitrit-Ion (NO_2^-) im Dränagewasser des Tagebaus.



Zeichnung 5. Monatsdurchschnittliche Ausschwemmungmassen vom Nitrat-Ion (NO_3^-) im Dränagewasser des Tagebaus.

In den Zeichnungen 3–5 sind die Angaben für die monatsdurchschnittlichen Ausschwem-mungsmassen von den Stickstoffverbindungen im Dränagewasser des Tagebaus im Zeitraum 2006–2015 angeführt.

Die Analyse der Ergebnisse der Untersuchung des Dränagewassers in Bezug auf die Stickstoffverbindungen zeigt die Jahreszeitenschwankung des Einströmes in die Umwelt (maximale Masse ist für die warmen Jahreszeiten charakteristisch).

Die Analyse der Ergebnisse zeigt folgendes:

– 21 % von der jahresdurchschnittlichen Ausschwemmung des Ammonium-Ions fällt auf den kalten Zeitraum (November–März) und 79 % fällt auf den warmen Zeitraum (April–Oktober);

– 31.5 % von der jahresdurchschnittlichen Ausschwemmung des Nitrit-Ions fällt auf den kalten Zeitraum (November–März) und 68.5 % fällt auf den warmen Zeitraum (April–Oktober);

– 31% von der jahresdurchschnittlichen Ausschwemmung des Nitrit-Ions fällt auf den kalten Zeitraum (November-März) und 69 % fällt auf den warmen Zeitraum (April–Oktober).

Die Erhöhung der Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen ist mit der Erhöhung der Drängewässervolumenentstehung durch Niederschläge, die auf das Einzugsgebiet des Unternehmens fallen (Regenwässer und die Schneeschmelze).

In den Zeichnungen 6–8 sind die graphischen Abhängigkeiten der Ausschwemmungsmassen von Stickstoffverbindungen vom ausgepumpten Dränagewasservolumen angeführt.

Die Analyse von angeführten graphischen Abhängigkeiten zeigt, dass die Ausschwemmungsmassen von Stickstoffverbindungen vom ausgepumpten Drängewässervolumen innig, praktisch linear abhängt und diese Abhängigkeiten werden durch folgende dem 1 nahe Werte der Koeffizienten von der Linearkorrelation charakterisiert: für das Ammonium-Ion – 0,97, für das Nitrit-Ion – 0,95, für das Nitrat-Ion – 0,99.

Die Menge von Stickstoffverbindungen, die in Form der Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Ionen aus dem Haufwerk in die Dränagewasser kommt, kann mit der folgenden linearen empirischen Abhängigkeit charakterisiert werden (in den Grenzen der aktuellen Werten der Ausschwemmungmassen von einzelnen Stickstoffverbindungen und des Drängewässervolumens), t/Monat:

$$M_n = A_n + K_n V,$$

dabei M_n – die Ausschwemmungsmasse von Stickstoffverbindungen pro bestimmten Zeitraum, t; V – das Dränagewasservolumen, Tausende Kubikmeter / Monat; A_n, K_n – Koeffiziente, die physikalisch-chemische und hydrodynamische Bedingungen der Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen aus dem Haufwerk charakterisieren:

– für Ammonium-Ionen $A_n = -7{,}14$; $K_n = 0{,}025$;

– für Nitrit-Ionen $A_n = -0{,}12$; $K_n = 0{,}0096$;

– für Nitrat-Ionen $A_n = -3{,}9$; $K_n = 0{,}11$.

Die erhaltenen Koeffizientenwerte in den Gleichungen der linearen Regression, die den Zusammenhang zwischen der Ausschwemmungmasse von Stickstoffverbindungen und des Dränagewasservolumens (in den Grenzen der aktuellen Werten) hängen von äusseren und inneren Faktoren ab.

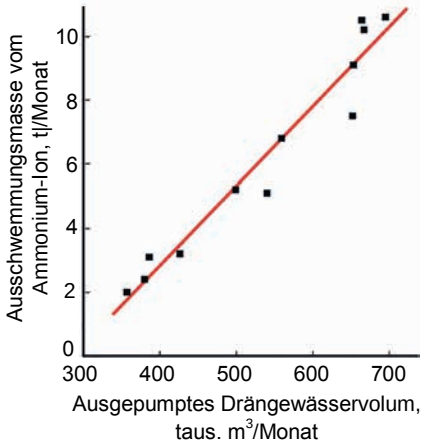
Zu den bestimmenden Faktoren gehören äussere Faktoren, die von den bergtech-nischen Bedingungen des Bergunternehmens abhängen (Sprengmittelverbrauch, Sprengmittelarten, Wasserzufluss in den Grubenbau, Wässerung der zu sprengenden Bohrlöcher).

Der vorausgehende Vergleich der Verbrauchsdynamik von angewendeten Sprengmitteln zur Ausschwemmungsdynamik von der Stickstoffverbindungenmasse hat keinen engen Zusammenhang zwischen ihnen, weder im monatsdurchschnittlichen noch im jahresdurchschnittlichen Verhältnis festgestellt.

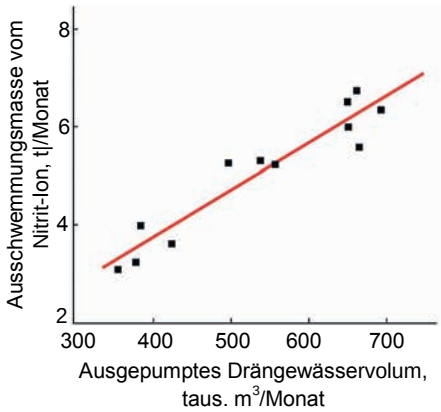
Aus Sicht der Autoren, ist es damit verbunden, dass im betrachteten langfristigen Zeitraum die Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen im Dränagewasser mit der Beteiligung von Sprengmitteln verbunden ist, die sowohl wesentlich früher als auch im betrachteten Zeitraum angewendet wurden (das heisst, wir betrachten eine längst enstandene Dränagewasserver-

Die Analyse der Ergebnisse von der Kontrolle der Zusammensetzung des Dränagewasser in Bezug auf die Stickstoffverbindungen.

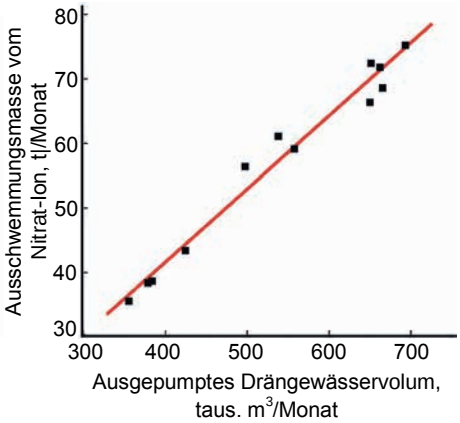
Jahreszeit	Dränage-wasser-volumen (taus. m³ / Zeitraum)	Ausschwemmungmassen von Stickstoffverbindungen Tonnen/Jahreszeit			Anteil von jährlicher Ausschwemmung, %		
		Ammonium-Ion	Nitrit-Ion	Nitrat-Ion	Ammonium-Ion	Nitrit-Ion	Nitrat-Ion
Kalter Zeitraum (November–März)	2048	15,9	19,2	212,5	21,0	31,5	31,0
Warmer Zeitraum (April–Oktober)	4430	59,8	41,6	474,5	79,0	68,5	69,0
Insgesamt	**6478**	**75,7**	**60,8**	**687,0**	**100,0**	**100,0**	**100,0**



Zeichnung 6. Die Abhängigkeit der Ausschwemmungsmasse des Ammonium-Ions von dem Drängewässervolumen.



Zeichnung 7. Die Abhängigkeit der Ausschwemmungsmasse des Nitrit-Ions von dem Drängewässervolumen



Zeichnung 8. Die Abhängigkeit der Ausschwemmungsmasse des Nitrat-Ions von dem Drängewässervolumen

unreinigung). Der entscheidende Faktor, der die Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen bestimmt, ist also die Auspumpung des Dränagewassers (das Volumen der Wasserabführung), die wesentlich mit den Niederschlägen verbunden ist.

Die inneren Faktoren, die die Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen bestimmen, sind mit den hydrodynamischen und physikalisch-chemischen Bedingungen der Ausschwemmung von Stickstoffverbindungen aus dem Haufwerk verbunden.

Bei der Anwendung der erhaltenen Gleichung am Beispiel eines konkreten Bergbauunternehmens ist es infolgedessen notwendig, die Ergebnisse der Betriebskontrolle in Bezug auf das Dränagewasservolumen und die Zusammensetzung des Dränagewassers zu bearbeiten, um die Koeffizienten der Regressionsgleichung zu bestimmen.

Auf Basis von ausgeführten Forschungen wurden Projektentscheidungen über die Reinigungsverfahren und technologische Kennwerten des Reinigungssystems für Dränagewasser von Stickstoffverbindungen in den Bedingungen des betrachteten Unternehmens getroffen.

QUELLENVERZEICHNIS

1. Kirjuchin W. A. Angewandte Hydrogeochemie. Die Sankt-Petersburgische Berghochschule, Sankt-Petersburg, 2010, 201 S.
2. Losowik P. A., Borodulina G. S. Stickstoffverbindungen in den Oberflächen- und Grundgewässern Kareliens. Wasserressourcen, 2009, Band 36, № 6, S. 694–704.
3. Rewwo A. W., Chochrjakow A. W., Medwedewa I. W., Zeitlin E. M. Einfluss der Bergbau- und Hüttenunternehmen auf die Verschmutzungsdynamik des Tschussowaya-Flusses.
4. Ökologische Geologie der grossen Bergbaugebieten Eurasiens – bearbeitet von I. I. Kosinova, Voronezh, 2015. 576 s.
5. Studenok A. G., Studenok G. A., Rewwo A. W. Bewertung von Verfahren der Abwässerreinigung von Stickstoffverbindungen für Drängewässer der Bergunternehmen. Nachrichten von Uraler staatlichen Berguniversität. 2013, № 2(30), S. 26–30.
6. Chochrjakow A. W., Olchowskij A. M., Studenok A. G., Studenok G.A. Quantifizierung des Schiessarbeitenbeitrages zum Schaden der Tagebauedrängewässer durch Stickstoffverbindungen. Nachrichten von Hochschulen. Bergzeitschrift. 2005, № 6, S. 29–31.
7. Bolkisewa E. W. Bildungsverfahren von Giftgasen bei der Auffahrung der Bergausbaue mit der Anwendung von Schiessarbeiten. Technologie und Sicherheit der Schiessarbeiten. Die Informationsschriften der wissenschaftlich-technischen Konferenz “Entwicklung von Ressourceneinsparungstechnologien im Schiesswesen”. Jekaterinburg, 2012, S. 262–275.
8. “Qualitätsnormative für fischwirtschaftliche Wasserobjekte, einschliesslich Grenzwerte der Verbindungsstoffen in den fischwirtschaftlichen Wasserobjekten”, die vom Befehl № 20 der russischen Fischwirtschaftbehörde am 18.01.2010. gebilligt sind.

Alexandr Wladimirowitsch Chochrjakow,
ief.ie@m.ursmu.ru
Andrej Gennadjewitsch Studenok,
Gennadij Andrejewitsch Studenok,
genand@mail.ru
Die Uraler staatliche Bergbauuniversität
Jekaterinburg, Russland

УДК 550. 837.21 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-41-44

СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ АУДИОМАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЭКСПРЕСС-ЗОНДИРОВАНИЙ

В. А. Давыдов

Methods of developing audio-magnetotelluric express soundings

V. A. Davydov

Audio-magnetotelluric soundings (AMTS) are related to high frequency modification of magnetotelluric methods. In order to research low depths (up to 100-200 m) methods of audio-magnetotelluric and magnetic-variation measurements in motion were developed, or with short stops that was called AMTS express-survey. The purpose of the presented work is to determine the information value of various methods of quality and quantitative processing of audio-magnetotelluric (AMT) express-zonings. AMT-measurements in traditional and express options are given for this purpose on the controlled geophysical polygon. The comparison showed that the end results of both options of receiving data do not have great differences. Registered information contains all the necessary data on changing of electrical properties of the cut-section with the depth which allowed to build frequency and depth based cut-sections of various electrical magnetical parameters of the environment and to carry out 1D-2D inversion. Main provisions of the method, applied equipment, brief methods of field works and charts of office analysis of audio-magnetotelluric data are given in the work. Comparison of AMT processing results of express soundings with the present geological-geophysical information showed good convergence both in case of 1D-2D inversion, and in case of qualitative plottings of transformative cut-sections of audio-magnetotelluric and geomagnetic-variation parameters. Specific distinctions of one dimensional and two dimensional geoelectrical cut-sections of vertical electrical soundings (VES) and AMTS were emphasized. It was noted that various types of cut-sections have various characteristics. In order to increase the informative value it is recommended to use both quantitative as well as qualitative options of mapping. Using express option of AMT sounding with fast interpretation in field conditions allows to considerably increase the productivity of electrical magnetical methods of research during prospecting and exploratory drilling geotechnical works.

Keywords: audio-magnetotelluric sounding; AMTS; impedance; longitudinal conductance; tipper; inversion; geoelectrical cut section.

Аудиомагнитотеллурические зондирования (АМТЗ) относятся к высокочастотной модификации магнитотеллурических методов. Для изучения небольших глубин (до 100–200 м) ранее была разработана методика аудиомагнитотеллурических и магнитовариационных измерений в движении или с короткими остановками, названная экспресс-съемкой АМТЗ. Целью представленной работы является определение информативности различных способов качественной и количественной обработки аудиомагнитотеллурических (АМТ) экспресс-зондирований. Для этого на контрольном геофизическом полигоне проведены АМТ-измерения в традиционном и экспрессном вариантах. Сравнение показало, что конечные результаты двух способов получения данных не имеют существенных отличий. Регистрируемая информация содержит все необходимые сведения об изменении электрических свойств разреза с глубиной, что позволило построить частотные и глубинные разрезы различных электромагнитных параметров среды и провести 1D–2D-инверсию. В работе приведены основные положения метода, применяемая аппаратура, краткая методика полевых работ и граф камеральной обработки аудиомагнитотеллурических данных. Сопоставление результатов АМТ-обработки экспресс-зондирований с имеющейся геолого-геофизической информацией показало хорошую сходимость как в случае 1D–2D- инверсии, так и в случае качественных построений трансформированных разрезов аудиомагнитотеллурических и магнитовариационных параметров. Выделены характерные отличия одномерных и двумерных геоэлектрических разрезов вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и АМТЗ. Отмечено, что на разных типах разрезов проявляются различные особенности. Для повышения информативности зондирований рекомендуется применение как количественных, так и качественных вариантов построений. Использование экспресс-варианта АМТЗ с быстрой интерпретацией в полевых условиях позволяет значительно повысить производительность электромагнитных методов исследований при поисково-разведочных, инженерно-геологических и гидрогеологических работах.

Ключевые слова: аудиомагнитотеллурические зондирования (АМТЗ); импеданс; продольная проводимость; типпер; инверсия; геоэлектрический разрез.

Введение

Аудиомагнитотеллурические зондирования (АМТЗ) являются модификацией метода магнитотеллурических зондирований (МТЗ) и относятся пока к мало распространенным методам геофизических исследований. Специфика их развития обусловлена средней глубинностью и сильным влиянием промышленных помех. В то же время метод уже хорошо зарекомендовал себя при поисках кимберлитовых трубок [1], рудных месторождений [2], пресных и термальных вод [3–5], появились данные об опробовании АМТЗ на углеводородное сырье [6]. Методика проведения работ и обработки материалов, требующая длительных многокомпонентных измерений на каждой точке, перешла от МТЗ. Глубина исследований в магнитотеллурических (МТ) методах напрямую зависит от периода измерений, достигая десятков километров при суточных наблюдениях. Информация о небольших глубинах (до 100–200 м) содержится в высокочастотном аудиодиапазоне (более 100 Гц), где время наблюдений можно сократить до нескольких секунд и даже проводить АМТ-съемку в движении [7]. Упрощенная методика полевых работ приводит к сокращению данных и отражается на качестве получаемого материала. Для достоверной интерпретации таких экспресс-зондирований может потребоваться применение других подходов к обработке. При этом на первом этапе достаточно иметь общее представление об однородности разреза и наличии аномалий электропроводности путем проведения качественной интерпретации. Для получения результатов о глубине залегания и удельном электрическом сопротивлении (УЭС) слоев, слагающих разрез, проводят количественную интерпретацию путем 1D–2D-инверсии аудиомагнитотеллурических (АМТ) данных. Целью данной работы является определение информативности различных способов качественной и количественной обработки аудиомагнитотеллурических экспресс-зондирований. К основным задачам исследований относятся получение и сопоставление трансформированных разрезов различных АМТ-параметров с 1D–2D-геоэлектрическими разрезами электромагнитных зондирований.

Основные положения

Главный параметр, рассчитываемый в результате проведения МТЗ и АМТЗ, – это импеданс Z, или входное сопротивление среды, равное отношению горизонтальных составляющих напряженности электрического E и магнитного H полей. В методе МТЗ для получения информации об электропроводности геологической среды обычно используется полный тензор импеданса с одновременным измерением четырех составляющих электромагнитного поля E_x, E_y, H_x, H_y, ориентированных в направлениях запад–восток X и юг–север Y [8]. Чтобы воспользоваться магнитовариационными характеристиками, дополнительно к этому включают измерение вертикальной составляющей магнитного поля H_z. Тензор импеданса дает возможность оценить характер и степень геоэлектрической неоднородности среды. В случае использования двухканальной аппаратуры осуществляются последовательные измерения основных компонент взаимного импеданса среды:

$$Z_{xy} = E_x/H_y;\ Z_{yx} = E_y/H_x.$$

Для АМТЗ, в отличие от МТЗ, не требуется длительных измерений на точке, поэтому общая потеря производительности невысокая и оправдывается компактностью аппаратуры и малым весом оборудования. Для вычисления импеданса в общем виде используется следующая формула:

$$Z = (U_e/U_m)(g/h_l),$$

где U_e – напряжение на выходе электрического канала, мВ; U_m – напряжение на выходе магнитного канала, мВ; g – чувствительность магнитного датчика, В/(А/м); h_l – действующая длина электрической приемной линии, м.

Получив значения импедансов, можно рассчитать кажущиеся удельные электрические сопротивления ρ_{xy}, ρ_{yx} и фазовые углы φ_f по формулам:

$$\rho_{xy} = |Z_{xy}|^2/(2\pi f \mu_0);\ \rho_{yx} = |Z_{yx}|^2/(2\pi f \mu_0);$$

$$\varphi_f = \arg Z = \varphi_{Ex} - \varphi_{Hy} = \varphi_{Ey} - \varphi_{Hx} + 180°,$$

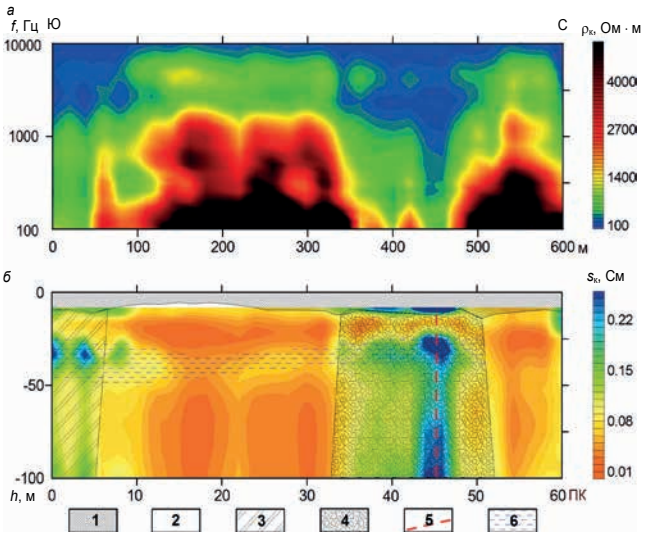


Рисунок 1. Качественные разрезы экспрессных АМТЗ. *а* – частотный псевдоразрез кажущихся сопротивлений; *б* – глубинный разрез кажущейся продольной проводимости; 1 – суглинки коры выветривания; 2 – габбро; 3 – зона трещиноватости; 4 – зона дробления; 5 – глубинный разлом; 6 – трещинные воды.

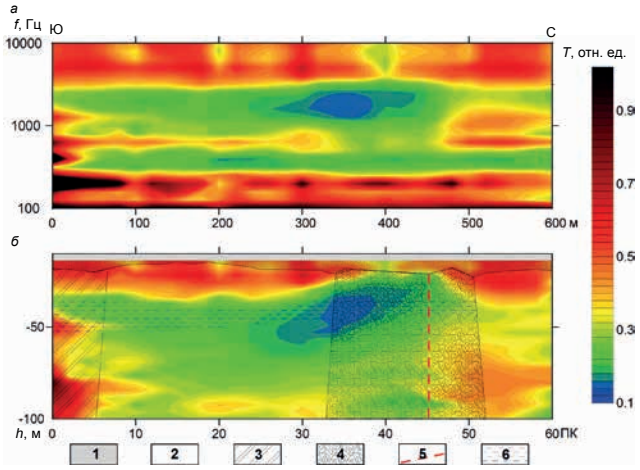


Рисунок 2. Вертикальные разрезы типпера. *а* – частотный псевдоразрез*T*; *б* – глубинный разрез *T*. Условные обозначения соответствуют описанию к рис. 1.

где f – частота электромагнитного поля, Гц; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, Гн/м, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

Амплитудные и фазовые кривые АМТЗ являются, по существу, частотными характеристиками геоэлектрического разреза и отражают изменение электрических свойств среды с глубиной. Высокочастотные вихревые поля концентрируются в верхней части разреза, с понижением частоты глубина проникновения поля растет и кажущееся сопротивление начинает нести информацию о все более глубоких слоях. Полученные данные служат основой для качественной и количественной интерпретации результатов АМТЗ. Для решения оперативных производственных задач вполне достаточно получения импеданса среды в одном направлении (по линии профиля). Данная технология является распространенной практикой при поисках подземных вод [9]. В этом случае для измерения электрической составляющей поля вдоль профиля удобно использовать незаземленную стелющуюся линию, при этом магнитный датчик направлен поперек профиля. Предложенная методика работ позволяет проводить наблюдения аудиомагнитотеллурических компонент поля в движении (АМТ-съемка) или с короткими остановками (АМТ-экспресс-зондирования).

Методика работ

Для тестирования аппаратуры и сопоставления результатов работ разными методами в Институте геофизики УрО РАН давно используется контрольный полигон. Геофизический полигон находится на территории старого золоторудного месторождения в районе контакта двух интрузивных массивов – габбро и гранитов. Основной профиль пересекает разлом с зоной дробления и метасоматическими изменениями пород. Территория повсеместно перекрыта слоем рыхлых отложений (5–10 м и более), состоящих из элювиально-делювиальных суглинков коры выветривания коренных пород. На полигоне пробурены одна инженерно-геологическая скважина (12 м) и три гидрогеологических скважины глубиной более 50 м. При изучении полигона применялись гравимагнитная съемка, малоглубинная сейсморазведка, радиометрия и электроразведка. Электромагнитные исследования на контрольном профиле перед постановкой АМТЗ включали вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) и дистанционные индукционные зондирования (ДИЗ) с вертикальным магнитным диполем.

Аудиомагнитотеллурические зондирования проводились с помощью двухканальной приемно-регистрирующей аппаратуры «ОМАР-2м», обеспечивающей усиление, аналого-цифровое преобразование и запись широкополосных геофизических сигналов в реальном масштабе времени [10]. Измерения велись в частотном диапазоне 100–10 000 Гц двумя способами:

– последовательные наблюдения электрических составляющих E_x, E_y с помощью заземленных линий и ортогональных им магнитных компонент H_y, H_x, в течение 2–3 мин по каждому направлению;

– экспресс-измерения на стелющуюся незаземленную линию вдоль профиля E_y и магнитный датчик H_x поперек профиля, а затем на ортогональную пару магнитных датчиков H_x, H_z по 20–30 с.

Магнитные компоненты измерялась с помощью активных магнитных датчиков индукционного типа с линеаризованной амплитудно-частотной характеристикой и изменяемой чувствительностью [11]. Заземленные электрические линии *MN* составляли в длину 20 м, незаземленная стелющаяся симметричная антенна – 10 м. Измерения двумя способами дали возможность сравнить АМТ-данные, получаемые в основном режиме и в экспресс-варианте. Как и ожидалось, экспрессные измерения обладают более низким соотношением сигнал/шум и худшим разрешением, однако повторяют все характерные особенности и аномалии основных наблюдений. Так как результаты измерений не имеют существенных различий, дальнейшие выкладки и построения разрезов приведены только для экспресс-зондирований.

Камеральная обработка аудиомагнитотеллурических данных включала:

– фильтрацию промышленных помех;

– получение частотных спектров на основе быстрого преобразования Фурье;

– восстановление истинных амплитуд сигналов с учетом амплитудно-частотной характеристики измерительных каналов;

– расчет продольного импеданса среды Z;

– расчет кажущегося сопротивления КС и получение частотного псевдоразреза $\rho_к(f)$;

– трансформацию частотной зависимости $\rho_к(f)$ в глубинный разрез КС $\rho_к(h)$ с помощью оригинального способа преобразования АМТ-данных с учетом априорной информации;

– пересчет и построение глубинного разреза кажущейся продольной проводимости $S_к(h)$;

– построение вертикальных разрезов магнитовариационных отношений;

– одномерную 1D-инверсию АМТЗ по программе МГУ IPI2WinMT [12];

– двумерную 2D-инверсию АМТЗ по программе Каминского ZondMT2d [13];

– построение количественных геоэлектрических разрезов АМТЗ.

Дополнительные работы методом ВЭЗ проводились комплектом аппаратуры ЭРА-МАКС (НПП «ЭРА», г. Санкт-Петербург) на частоте 4,88 Гц по стандартной методике [14]. Использовалась симметричная четырехэлектродная установка Шлюмберже (*AMNB*) с выносом питающих электродов *AB*/2 на расстояние от 2 до 150 м с логарифмическим шагом. Измерения проводились при стабилизированном токе в питающей линии от 5 до 50 мА. Погрешность полевых измерений составила менее 3 %. Количественная интерпретация результатов ВЭЗ выполнена в рамках одномерной и двумерной модели по программам Каминского ZondIP и ZondRes2D.

Результаты исследований

Как уже отмечалось в графе обработки, частотный псевдоразрез КС, полученный в результате зондирований с незаземленной электрической линией (рис. 1, *а*), был трансформирован в глубинный разрез кажущейся продольной проводимости (рис. 1, *б*).

На всех представленных разрезах выделяются основные черты геологического строения. Так, положение области трещиноватости в габбро ПК0–ПК6 отмечается аномалиями пониженных величин кажущихся сопротивлений (рис. 1, *а*) и повышенными значениями продольной проводимости (рис. 1, *б*). Четкой аномалией электропроводности выделяется глубинный разлом (ПК45) с зоной дробления ПК34–ПК50, а также прослеживается протяженная умеренно проводящая зона на глубине 30–40 м, фиксирующая известный горизонт трещинных вод. Качественная интер-

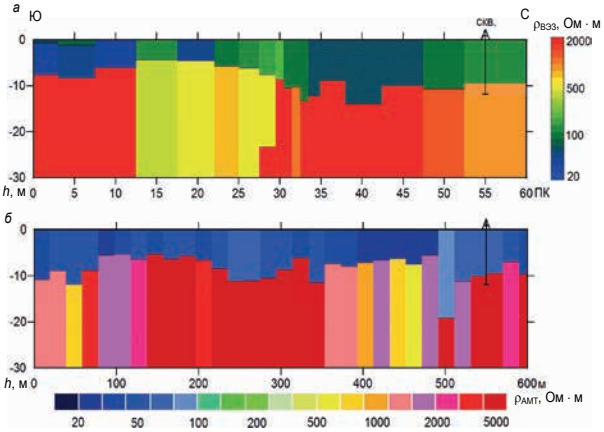


Рисунок 3. Результаты одномерной (1D) инверсии по контрольному профилю: геоэлектрические разрезы ВЭЗ – *а* и АМТЗ – *б*.

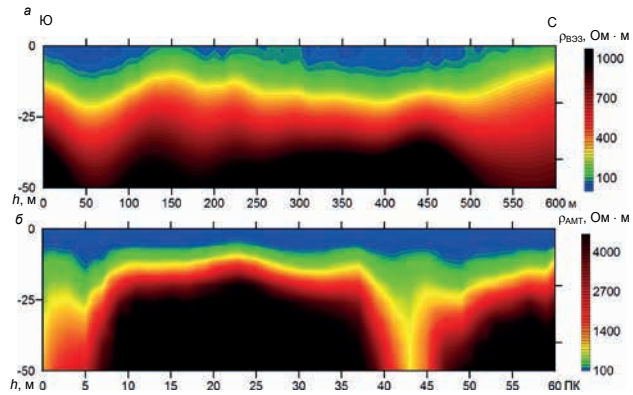


Рисунок 4. Результаты двумерной (2D) инверсии по контрольному профилю: геоэлектрические разрезы ВЭЗ – *а* и АМТЗ – *б*.

претация адекватно визуализирует разрез, что можно использовать для оценки смены геологической обстановки и присутствия подземных вод.

Важными физическими показателями естественного электромагнитного поля являются магнитовариационные параметры. Существует даже отдельный метод магнитовариационного профилирования (МВП), который применяется в практике магнитотеллурических работ для обнаружения аномалий электропроводности. С помощью магнитовариационных параметров можно определить направление на проводящее тело и суммарную продольную проводимость аномального объекта [15]. Функциями отклика среды в методе МВП являются реальный и мнимый индукционные векторы, а также амплитуда и фаза типпера. Отличительной способностью магнитовариационных функций отклика является их высокая чувствительность к наличию аномальных проводящих объектов в широком диапазоне глубин. Имеется множество удачных примеров применения индукционных векторов при поисках различных месторождений полезных ископаемых [16, 17]. Использование амплитудных характеристик типпера распространено не так широко из-за меньшей однозначности и наглядности. Типпер рассчитывается по трем ортогональным компонентам магнитного поля [18]:

$$T = \sqrt{\left(\frac{H_z}{H_x}\right)^2 + \left(\frac{H_z}{H_y}\right)^2}.$$

Для повышения информативности качественной интерпретации АМТЗ практикуется построение вертикальных разрезов типпера или отдельных магнитовариационных отношений как по оси частот (рис. 2, *а*), так и в виде глубинного разреза, получаемого в результате трансформации (рис. 2, *б*).

Как видно из рис. 1, 2, на вертикальных разрезах типпера T хорошо проявляется аномальный эффект, связанный с горизонтом трещинных вод. Минимальные значения T могут свидетельствовать о повышенной водонасыщенности горных пород. Наклонное положение аномальной зоны подтверждается результатами ранее проведенных дистанционных индукционных зондирований. По результатам ДИЗ, аномалия эффективной продольной проводимости выделяется вблизи поверхности на ПК45 и далее падает на юг под тем же углом, что и аномалия типпера, фактически являясь ее продолжением. Это еще раз подтверждает прямую связь магнитовариационных параметров естественного поля Земли с электропроводностью разреза. Результаты изучения составляющих переменного магнитного поля показали, что магнитовариационные отношения H_z/H_x и H_z/H_y гораздо меньше отличаются друг от друга, чем отношения горизонтальных компонент импеданса. По-видимому, они меньше реагируют на анизотропные свойства разреза. Это дает возможность при экспресс-съемке проводить измерение только двух компонент переменного магнитного поля для вычисления одного магнитовариационного отношения.

Как уже отмечалось, ранее на контрольном профиле были проведены вертикальные электрические зондирования. Дополнительно к этому, отдельные точки подверглись повторным измерениям, а в некоторых местах профиля проведена детализация. Результаты одномерной интерпретации ВЭЗ указывают на преимущественно двухслойное строение геоэлектрического разреза (рис. 3, *а*). Задавшись двухслойной горизонтально-слоистой моделью среды, включающей рыхлые отложения и коренные породы, рассчитали количественный геоэлектрический разрез АМТЗ (рис. 3, *б*).

Следует отметить, что мощность рыхлых отложений, определенная по ВЭЗ и другим геофизическим методам, хорошо согласуется с количественными результатами АМТЗ, разница в вычислении положения границы в среднем составляет 4–8 %. Инженерно-геологическая скважина, пробуренная на ПК55, показала глубину до коренных пород 9,5 м и подтверждает правильность количественной интерпретации. В то же время геоэлектрические разрезы ВЭЗ и АМТЗ существенно отличаются друг от друга по величинам и вариациям удельных электрических сопротивлений (УЭС). Величина УЭС по двум методам может отличаться в 2–3 раза для рыхлых отложений и еще больше для коренных пород. Это объясняется различием физических процессов с участием постоянных и вихревых токов в двухфазной среде, состоящей из непроводящего минерального скелета и порового пространства, частично заполненного водой. Можно вспомнить, что методы сопротивлений (в том числе ВЭЗ) хорошо работают в проводящих средах, а индукционные (АМТЗ) – в изоляторах. Таким образом, результаты количественной интерпретации ВЭЗ более достоверны для рыхлых низкоомных образований, а геоэлектрический разрез АМТЗ более точен в отношении коренных пород. Подтверждением этому является разная реакция двух методов на известное тектоническое нарушение в интервале ПК40–ПК50: ВЭЗ отмечает увеличение мощности рыхлых отложений, а АМТЗ – уменьшение УЭС коренных пород (рис. 3, *а*, *б*).

С появлением программ двумерной (2D) инверсии данных появилась возможность вывести количественную интерпретацию электроразведочных данных на новый уровень. Геоэлектрические 2D-разрезы ВЭЗ и АМТЗ по контрольному профилю ИГФ рассчитаны и построены с помощью программ Каминского ZondRes2D и ZondMT2D (рис. 4).

Можно еще раз убедиться в том, что вертикальные электрические зондирования обладают слабой контрастностью в отношении высокоомных коренных пород, являющихся изолятором для электрического тока. ВЭЗ даже не фиксирует присутствие разлома, прекрасно выделяющегося на аудиомагнитотеллурическом разрезе в районе ПК43 (рис. 4, *а*, *б*). Верхняя часть геоэлектрических разрезов ВЭЗ и АМТЗ выглядит похожим образом, на обоих разрезах замечена депрессия в начале профиля, приуроченная к ослабленным грунтам.

Несмотря на то что двумерный разрез АМТЗ выглядит довольно правдоподобно и отображает основные геологические структуры, на нем не видно горизонта трещинных вод, определяемого на качественных разрезах продольной проводимости и типпера (рис. 1, 2). Это приводит к заключению, что количественная интерпретация, основанная на подборе подходящей геолого-геофизической модели, не всегда может корректно отобразить разрез в соответствии с решаемой задачей. Поэтому использование качественных разрезов кажущихся параметров, получаемых прямым пересчетом, не только возможно, но порой и необходимо для получения более полной картины.

Выводы

Выполненные исследования показали, что аудиомагнитотеллурические данные, получаемые в основном режиме и в варианте экспрессных измерений, не имеют существенных различий. Регистрируемая информация содержит сведения об изменении электрических свойств разреза с глубиной, что позволяет строить качественные разрезы электромагнитных параметров и количественные геоэлектрические разрезы.

Сопоставление результатов обработки аудиомагнитотеллурических экспресс-зондирований с имеющейся геолого-геофизической информацией показало хорошую сходимость как в случае 1D–2D-инверсии, так и в случае качественных построений трансформированных разрезов аудиомагнитотеллурических и магнитовариационных параметров. Отме-

чено, что на разных типах разрезов выделяются различные особенности. Для повышения информативности зондирований рекомендуется применение всех возможных вариантов построений.

Использование экспресс-варианта АМТЗ с быстрой интерпретацией в полевых условиях позволяет значительно повысить производительность электромагнитных методов исследований при поисково-разведочных, инженерно-геологических и гидрогеологических работах.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 15-2-5-31.

Автор выражает благодарность сотрудникам Института геофизики УрО РАН Федоровой О. И., Горшкову В. Ю. и Маликову А. В. за предоставление полевых материалов по вертикальным электрическим зондированиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сараев А. К., Антащук К. М. Возможности аудиомагнитотеллурических зондирований при поисках кимберлитовых трубок // Геофизика. 2011. № 4. С. 36–43.
2. Куликов В. А., Яковлев А. Г. Практическое применение магнитотеллурических методов в рудной геофизике // Разведка и охрана недр. 2011. № 3. С. 26–33.
3. Li X., Li Y., Meng X., Carlson N., Feast C., Bushner G. The use of CSAMT and NSAMT in siting groundwater production wells: two case histories // International Workshop on Gravity, Electrical & Magnetic Methods and Their Applications. Beijing, China, October 10–13, 2011. P. 23–25.
4. Антащук К. М., Сараев А. К. МТ–АМТ-зондирования при поисках геотермальных месторождений в северо-западной части полуострова Камчатка // Геофизика. 2013. № 3. С. 45–51.
5. Blake S., Jones A. G., Henry T., Kalscheuer T. A multi-disciplinary investigation of Irish warm springs and their potential for geothermal energy provision // Proceedings World Geothermal Congress (Melbourne, Australia, 19–25 April 2015). P. 1–11.
6. Abdellatif Younis, Gad El-Qady, Mohamed Abd Alla et al. AMT and CSAMT methods for hydrocarbon exploration at Nile Delta, Egypt // Arabian Journal of Geosciences. 2015. Vol. 8, issue 4. P. 1965–1975.
7. Давыдов В. А. Аудиомагнитотеллурическая съемка в движении // Геофизика. 2014. № 2. С. 47–53.
8. Бердичевский М. Н., Дмитриев В. И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009. 680 с.
9. Carlson N., Paski P., Urquhart S. Applications of Controlled Source and Natural Source Audio-Frequency Magnetotellurics to Groundwater Exploration // Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. 2005. P. 585–595.
10. Давыдов В. А. Опытная малогабаритная аппаратура регистрации «ОМАР-2м» для метода АМТЗ // Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей: материалы конф. Екатеринбург: ИГФ УрО РАН, 2011. С. 112–115.
11. Давыдов В. А. Эквивалентные схемы и основные характеристики различных датчиков электромагнитных сигналов в широкой полосе частот // Уральский геофизический вестник. 2014. № 1 (23). С. 46–54.
12. IPI2Win(MT) User manual. Moscow: MSU, 2002. 15 p.
13. Каминский А. Е. Zond-программы для геофизики. URL: http://zond-geo.ru/software
14. Рейхерт Л. А. Инструкция по электроразведке: наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка. Л.: Недра, 1984. 352 с.
15. Рокитянский И. И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наук. думка, 1975. 286 с.
16. Алексеев Д. А., Куликов В. А., Яковлев А. Г. и др. Опыт применения метода АМТЗ при поисках полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. 2004. № 5. С. 40–44.
17. Куликов В. А., Яковлев А. Г. Возможности МТ методов при проведении работ на высокоомных разрезах // Разведка и охрана недр. 2008. № 12. С. 3–6.
18. Ермолин Е. Ю., Ингеров А. И. Пятикомпонентные измерения МТЗ для оценки параметров 2D аномальных тел, находящихся вне профиля измерений // Проблемы недропользования. 2014. Вып. 2. С. 13–19.

REFERENCES

1. Saraev A. K., Antashuk K. M. 2011, *Vozmozhnosti audiomagnitotellurgicheskikh zondirovanii pri poiskakh kimberlitovykh trubok* [Capabilities of AMT sounding during searching of kimberlite pipes]. *Geophizika* [Russian geophysics]. No. 4, pp. 36–43.
2. Kulikov V. A., Yakovlev A. G. 2011, *Prakticheskoe primenenie magnitotellurgicheskikh metodov v rudnoi geophizike* [Practical application of magnetotelluric methods in mining geophysics]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources]. No. 3. pp. 26–33.
3. Li X., Li Y., Meng X., Carlson N., Feast C., Bushner G. 2011, The use of CSAMT and NSAMT in siting groundwater production wells: Two case histories. International Workshop on Gravity, Electrical & Magnetic Methods and Their Applications, Beijing, China, October 10–13, pp. 23–25.
4. Antashuk K. M., Saraev A. K. 2013, *MT-AMT-zondirovaniya pri poiskakh geotermalnykh mestorozhdeniy v severo-zapadnoi chasti poluostrova Kamchatka* [AMT-soundings when searching for geothermal fields in north-western part of Kamchatka peninsula]. *Geophizika* [Russian geophysics]. No. 3. pp. 45–51.
5. Blake S., Jones A. G., Henry T., Kalscheuer T. A. 2015, Multi-Disciplinary Investigation of Irish Warm Springs and Their Potential for Geothermal Energy Provision. Proceedings World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19–25 April, pp. 1–11.
6. Abdellatif Younis, Gad El-Qady, Mohamed Abd Alla, et al. 2015, AMT and CSAMT 1965-1975, methods for hydrocarbon exploration at Nile Delta, Egypt. Arabian Journal of Geosciences, vol. 8, Issue 4, pp. 1965–1975.
7. Davydov V. A. 2014, *Audiomagnitotellurichеskaya syemka v dvizhenii* [Audio-magnetotelluric survey in motion]. *Geophizika* [Russian geophysics]. No. 2. pp. 47–53.
8. Berdichevskiy M. N., Dmitriev V. I. 2009, *Modeli i metody magnitotelluriki* [Models and methods of magnetotellurics]. Moscow, 680 p.
9. Carlson, N., Paski, P., Urquhart, S. 2005, Applications of Controlled Source and Natural Source Audio-Frequency Magnetotellurics to Groundwater Exploration. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. pp. 585–595.
10. Davydov V. A. 2011, *Opytnaya malogabaritnaya apparatura registratsii "OMAR-2m" dlya metoda AMTZ* [Exploratory portable registration equipment «OMAR-2m» for AMTZ method]. *Geodinamika. Glubinnoe stroenie. Teplovoe pole Zemli. Interpretatsiya geofizicheskikh poley* [Geodynamics. Deep structure. Thermal field of Earth. Interpretation of geophysical fields] *Shestye nauchnye chteniya Y. P. Bulashevicha: materialy konferentsii* [Sixth science readings Y. P. Bulashevich: Conference materials]. Ekaterinburg, pp. 112–115.
11. Davydov V. A. 2014, *Ekvivalentnye skhemy i osnovnye kharakteristiki razlichnykh datchikov elektromagnitnykh signalov v shirokoy polose chastot* [Equivalent circuits and main characteristics of various detectors of electrical magnetic signals in a wide frequency band]. *Uralskiy geophizicheskiy vestnik* [Ural geophysical bulletin]. No. 1 (23). pp. 46–54.
12. 2002, IPI2Win(MT) User Manual. Moscow. 15 p.
13. Kaminskiy A. E. *Zond-programmy dlya geofiziki* [Programs for geophysics]. URL: http://zond-geo.ru/software
14. 1984, *Instruktsiya po elektrorazvedke* [Instruction on electrical exploration]. Leningrad, 352 p.
15. Rokiyatskiy I. I. 1975, *Issledovaniye anomaliy elektroprovodnosti metodom magnitovariatsionnogo profilirovaniya* [Research of electrical conduction abnormalities with the method of geomagnetic-variation profiling]. Kiev, 286 p.
16. Alekseev D. A., Kulikov V. A., Yakovlev A. G. et al. 2004, *Opyt primeneniya metoda AMTZ pri poiskakh poleznykh iskopaemykh* [Case history of using AMT sounding method when searching for mineral resources]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources]. No. 5. pp. 40–44.
17. Kulikov V. A., Yakovlev A. G. 2008, *Vozmozhnosti MT metodov pri provedenii rabot na vysokoomnykh razrezakh* [Capabilities of MT methods during conducting of work at resistive structures]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources]. No. 12. pp. 3–6.
18. Ermolin E. Y., Ingerov A. I. 2014, *Pyatikomponentnye izmereniya MTZ dlya otsenki parametrov 2D anomalnykh tel, nakhodyashikhsya vne profilya izmereniy* [Quinary measurements of MT sounding for evaluation of 2D parameters of anomaly bodies that are located outside the measurement profile]. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of subsurface resources management]. Issue 2. Ekaterinburg, pp. 13–19.

Вадим Анатольевич Давыдов,
davyde@yandex.ru
Институт геофизики УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Амундсена, 100

Vadim Anatol'evich Davydov,
davyde@yandex.ru
Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS
Ekaterinburg, Russia

УДК 550.023 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-45-49

СЕЙСМИЧНОСТЬ УРАЛА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

А. Н. Гуляев

Seismicity of Ural and adjacent territories

A. N. Gulyaev

Modern Ural mountains are the recent epiplatform orogen that was formed for the last 30 million years in the western part of more ancient Paleozoic mountain fold belt that occurred at the end of Paleozoic on the border of East-European platform (EEP) and Western-Siberian slab and demolished by weathering processes during mesozoic-kainozoic time. The establishing of the newest Ural mountain belt and adjacent territories on the modern stage are supported by rarely occurring sensible earthquakes with a magnitude from 3–4 to 5–6 grades on MSK-64 scale. Majority of epicenters of sensible earthquakes are concentrated within the boundaries of Sredne-Uralsk seismic domain that is confined to the interference region of submeridional Ural and north-eastern outskirts of Russian EEP platform that has north-western direction. In the area to the west from Ural rarely occurring sensible earthquakes are registered in submeridional Kirovsk-Kazhimskiy aulacogen. In the area to the east from Ural sensible earthquakes were registered in the region of town Ishim of Tyumen oblast. Sources of sensible earthquakes of examined region are localized predominantly in crystalline basement at depths from a few kilometers to 25 km. For the last 300 years within the limits of examined region there were around 50 sensible earthquakes with intensity from 3–4 to 5–6 marks on MSK-64 scale. At large engineering-seismic condition at Ural and in adjacent to it regions are considered to be favorable and safe for engineering structures that are built in accordance with the construction norms and regulations.

Keywords: newest orogeny; sensible natural earthquakes; seismicity; earthquake sources; earthquake intensity; seismic domain; potentially seismic areas.

Современные Уральские горы являются новейшим эпиплатформенным орогеном, сформировавшимся в последние 30 млн лет в западной части более древнего палеозойского горно-складчатого пояса, возникшего в конце палеозоя на границе Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Западно-Сибирской плиты и разрушенного процессами выветривания в мезозойско-кайнозойское время. Становление новейшего Уральского горного пояса и прилегающих к нему территорий на современном этапе сопровождается редко происходящими ощутимыми землетрясениями силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64. Большая часть эпицентров ощутимых землетрясений сосредоточена в пределах Средне-Уральского сейсмодомена, приуроченного к области интерференции субмеридионального Урала и северо-восточной окраины Русской плиты ВЕП, имеющей северо-западное направление. В области к западу от Урала редко происходящие ощутимые землетрясения отмечаются в субмеридиональном Кировско-Кажимском авлакогене. В области к востоку от Урала ощутимые землетрясения отмечались в районе г. Ишим Тюменской области. Очаги ощутимых землетрясений рассматриваемого региона локализованы преимущественно в кристаллическом фундаменте на глубинах от нескольких километров до 25 км. За последние 300 лет в пределах рассматриваемого региона было отмечено около 50 ощутимых землетрясений интенсивностью от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64. В целом инженерно-сейсмические условия на Урале и в прилегающих к нему регионах оцениваются как благоприятные и безопасные для инженерных сооружений, построенных в соответствии со строительными нормами и правилами.

Ключевые слова: новейший ороген; ощутимые природные землетрясения; сейсмичность; очаги землетрясений; интенсивность землетрясений; сейсмодомен; потенциально сейсмичные области.

Современные Уральские горы, согласно [1–3], представляют собой новейший эпиплатформенный эпипалеозойский ороген, возникший в новейшее время (приблизительно в последние 30 млн лет) в западной части палеозойского субмеридионального горно-складчатого пояса, существовавшего на границе эпипротерозойской Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Западно-Сибирской плиты и разрушенного процессами выветривания в мезозойско-кайнозойское время. Согласно [4–7], в пределах новейшего Уральского орогена и прилегающих территорий ВЕП и Западно-Сибирской плиты отмечаются редко происходящие ощутимые землетрясениями силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 в эпицентре. Предполагается, что упомянутые землетрясения сопровождают процесс становления Уральского новейшего орогена на современном этапе. До 1997 г. Урал относился к регионам, в которых при проектировании и строительстве инженерных сооружений не надо учитывать сейсмичность [8], но по результатам ОСР-97 Средний Урал и прилегающие к нему части Северного и Южного Урала были отнесены к районам, где при проектировании надо учитывать величину расчетной силы сейсмического воздействия [9]. Актуальной стала задача детального сейсмического районирования Урала и оценки величины расчетной силы сейсмического воздействия на планируемые к строительству объекты. В рамках решения этой задачи авторами было выполнено детальное сейсмическое районирование центральной части Уральского региона [10]. В настоящей работе приведена оценка потенциальной сейсмичности и сейсмическое районирование всего Урала и прилегающих территорий ВЕП и Западно-Сибирской плиты.

Общая характеристика сейсмичности Урала и прилегающих районов ВЕП и Западной Сибири

Согласно [4–7, 11], за последние 300 лет в пределах рассматриваемого региона было отмечено порядка 50 ощутимых природных землетрясений интенсивностью от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 (рис. 1, 2). Из них три события – Билимбаевское 17.08.1914 г., Ишимское 29.01.1849 г. и Сысольское 13.01.1939 г. – имели интенсивность в эпицентре около 6 баллов по шкале MSK-64 [7]. Большая часть эпицентров ощутимых природных землетрясений Урала и прилегающих частей ВЕП и Западной Сибири сосредоточена в пределах Средне-Уральского [12] и Кировско-Кажимского сейсмодоменов [13] (рис. 1). Очаги большей части природных ощутимых землетрясений рассматриваемого района локализованы в породах дорифейского кристаллического фундамента на глубинах от первых километров до 15–25 км [5–7]. Природа землетрясений оценивается преимущественно как тектоническая [5–7].

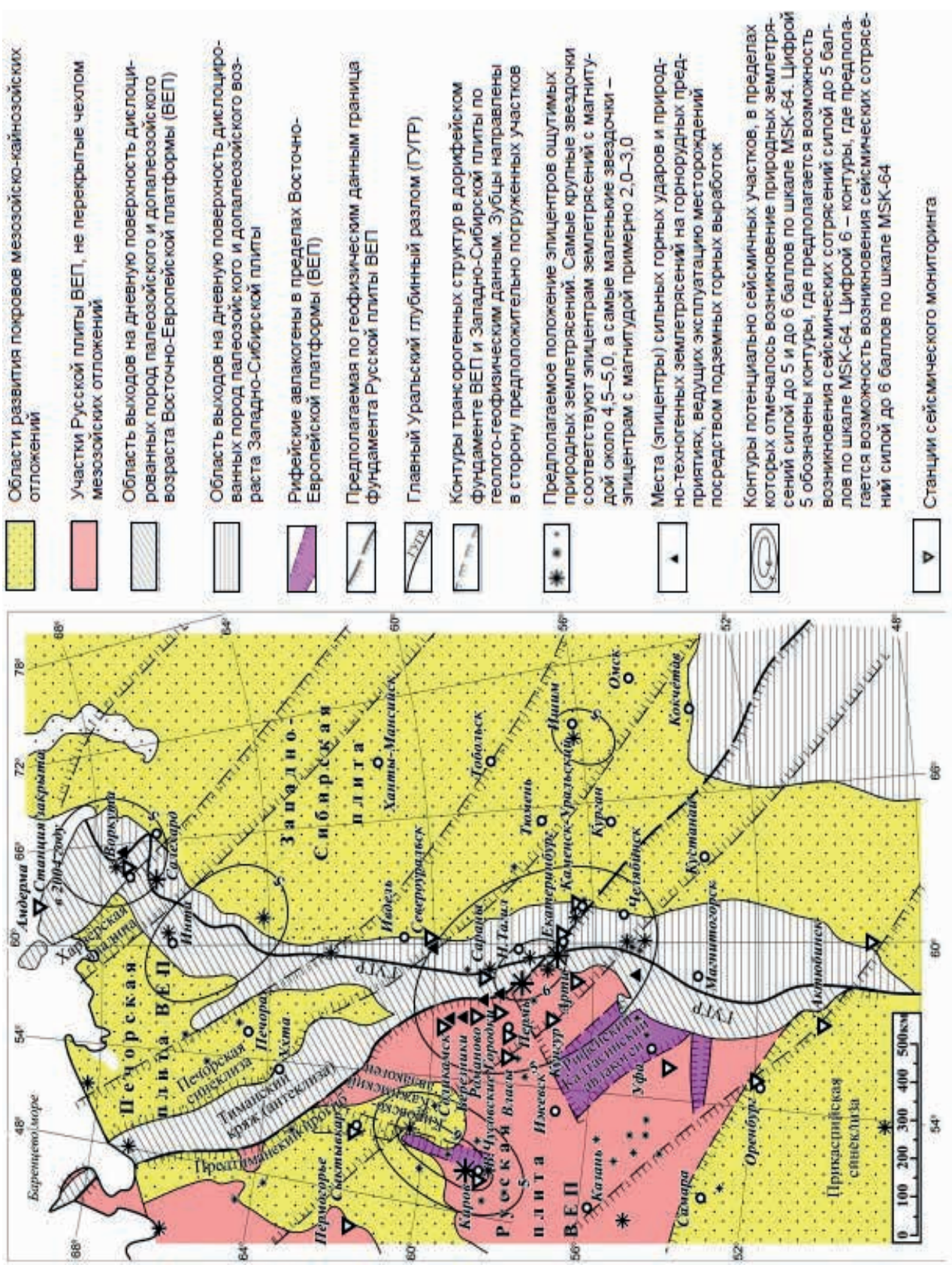
Анализ геолого-тектонической обстановки позволяет предположить, что Средне-Уральский сейсмодомен приурочен к участку интерференции северо-восточной пограничной зоны Русской плиты ВЕП и Средне-Уральской части субмеридионального Уральского новейшего орогена. Кировско-Кажимский сейсмодомен приурочен к одноименному субмеридиональному рифейскому авлакогену в пределах Русской плиты ВЕП (рис. 1).

По результатам анализа геолого-геофизических материалов можно заключить, что осевая зона Средне-Уральского сейсмодомена, к которой приурочены эпицентры наиболее сильных землетрясений Урала, может являться участком северо-восточной границы Русской плиты ВЕП, фундамент которой, согласно [2, 14], представлен кристаллическими породами архейско-протерозойского возраста.

Ранее упомянутая граница по отношению к Уральскому горному поясу является трансорогенной и проявлена в поле скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК), рис. 3 [15], и в аномальном магнитном поле, осредненном с радиусом 125 км и 250 км (схемы поля приведены в работе [16]), рис. 4, *а*, *б*, в виде градиентной зоны северо-западного направления (азимут ее около 320–330°), разделяющей области с разной величиной параметров. К северо-востоку от упомянутой границы располагается Печорская плита ВЕП, являющаяся, согласно [2], областью развития рифейско-вендских (тиманских) океанических структур, имеющих северо-западное направление и предположительно рифейский сланцевый фундамент.

Анализ аномального магнитного поля, осредненного с радиусом 125 и 250 км (рис. 4, *а*, *б*), позволяет предположить, что эта область может продолжаться на юго-восток в пределы Западно-Сибирской плиты. Анализируя поле скоростей СВДЗК (рис. 3), можно видеть, что ранее упомянутая Печорско-Западно-Сибирская область на современном этапе испытывает преимущественно относительное воздымание по отношению расположенной к юго-западу от нее области Русской плиты ВЕП. Эпицентры наиболее сильных землетрясений Средне-Уральского сейсмодомена приурочены к градиентной зоне, разделяющей Русскую плиту ВЕП и Печорско-Западно-Сибирскую область в поле скоростей СВДЗК и в аномальном магнитном поле, осредненном с радиусом 125 и 250 км. Не исключено, что процесс современной деформации земной коры дифференциальными движениями ее блоков, проявляющийся в поле скоростей СВДЗК, в совокупности с процессами, описанными в работах [13, 17], может быть причиной сейсмичности Среднего Урала.

Сейсмогрунтовые условия на Урале и в прилегающих районах ВЕП и Западной Сибири


Области развития покровов мезозойско-кайнозойских отложений
Участки Русской плиты ВЕП, не перекрытые чехлом мезозойских отложений
Область выходов на дневную поверхность дислоцированных пород палеозойского и допалеозойского возраста Восточно-Европейской платформы (ВЕП)
Область выходов на дневную поверхность дислоцированных пород палеозойского и допалеозойского возраста Западно-Сибирской плиты
Рифейские авлакогены в пределах Восточно-Европейской платформы (ВЕП)
Предполагаемая по геофизическим данным граница фундамента Русской плиты ВЕП
Главный Уральский глубинный разлом (ГУГР)
Контуры трансгрессивных структур в дорифейском фундаменте ВЕП и Западно-Сибирской плиты по геолого-геофизическим данным. Зубцы направлены в сторону предположительно погруженных участков
Предполагаемое положение эпицентров ощутимых природных землетрясений. Самые крупные звездочки соответствуют эпицентрам землетрясений с магнитудой около 4,5–5,0, а самые маленькие звездочки – эпицентрам с магнитудой примерно 2,0–3,0
Места (эпицентры) сильных горных ударов и природно-техногенных землетрясений на горнорудных предприятиях, ведущих эксплуатацию месторождений посредством подземных горных выработок
Контуры потенциально сейсмичных участков, в пределах которых отмечалось возникновение природных землетрясений силой до 5 и до 6 баллов по шкале MSK-64. Цифрой 5 обозначены контуры, где предполагается возможность возникновения сейсмических сотрясений силой до 5 баллов по шкале MSK-64. Цифрой 6 – контуры, где предполагается возможность возникновения сейсмических сотрясений силой до 6 баллов по шкале MSK-64
Станции сейсмического мониторинга
ГУГР
Печорская плита ВЕП
Западно-Сибирская плита
Русская плита ВЕП
Баренцево море
Воркута
Салехард
Инта
Ханты-Мансийск
Тобольск
Тюмень
Екатеринбург
Каменск-Уральский
Ишим
Курган
Омск
Кокчетав
Челябинск
Магнитогорск
Актюбинск
Оренбург
Самара
Уфа
Казань
Ижевск
Пермь
Киров
Котлас
Архангельск
Печора
Усть-Цильма
Ухта
Воркута
Тиманский кряж (антеклиза)
Печорская синеклиза
Прикаспийская синеклиза
Рифейские авлакогены
Сыктывкар
Пермь
Ижевск
Уфа
Самара
Оренбург
Казань
Киров
Котлас
Архангельск
Ухта
Печора
Воркута
Салехард
Инта
Ханты-Мансийск
Тобольск
Тюмень
Екатеринбург
Каменск-Уральский
Ишим
Курган
Омск
Кокчетав
Челябинск
Магнитогорск
Актюбинск
Оренбург
Самара
Уфа
Казань
Ижевск
Пермь

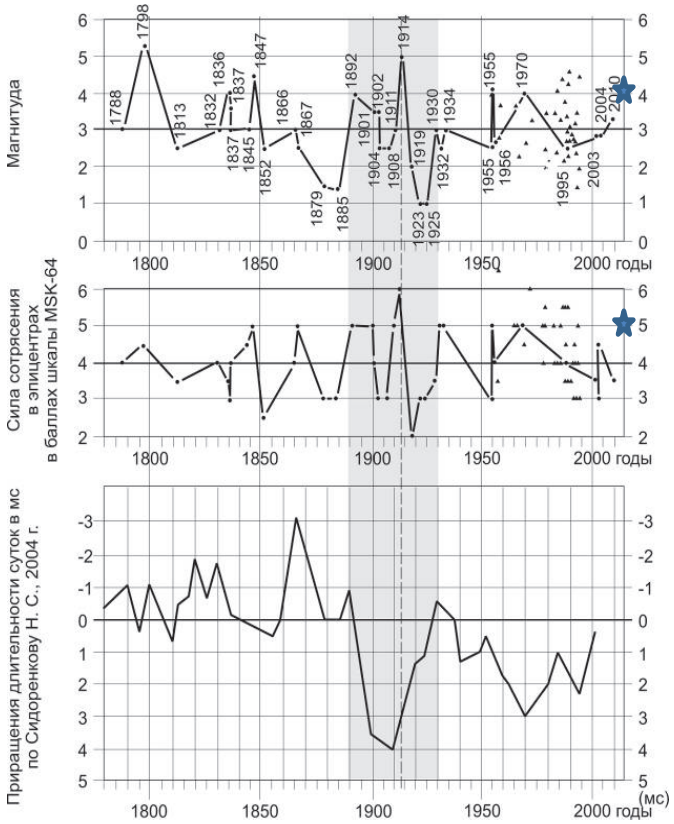
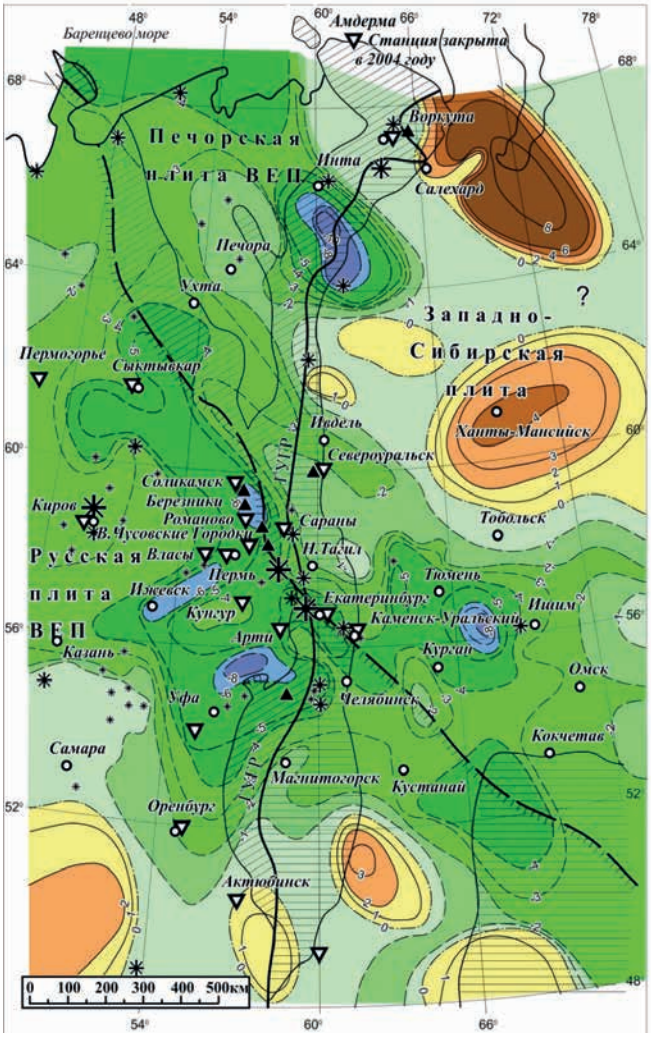


Рисунок 2. Графики вариаций во времени магнитуды (верхний график) и силы (интенсивности) ощутимых землетрясений Урала (средний график) за период 1788–2015 гг. в сопоставлении с графиком приращений длительности суток (приращений скорости вращения Земли) по Н. С. Сидоренкову, 2004 г. (нижний график). Составил А. Н. Гуляев, Институт геофизики УрО РАН, 2005–2015 гг. Компьютерная графика Н. В. Михайловой. Точками показаны параметры для случаев природных землетрясений, черными треугольниками – параметры для сильных горных ударов и природно-техногенных землетрясений на горнорудных предприятиях. Пятиконечными звездочками – параметры землетрясения 19.10.2015 г. Цифрами над верхним графиком – годы, когда были отмечены природные ощутимые землетрясения.



Шкала раскраски схемы скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК)

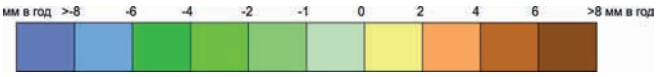


Рисунок 3. Схема скоростей современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) Уральского региона и прилегающих территорий. Составил А. Н. Гуляев, Институт геофизики УрО РАН, 2016 г., с использованием данных, отраженных на карте скоростей современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР (СВДЗК) масштаба 1:5 000 000, составленной ГУГК в 1989 г. под редакцией и непосредственным руководством Л. А. Кашина. Компьютерная графика Н. В. Михайловой.

прочности), щебенисто-дресвянистые грунты и элювиальные суглинки, глины. Грунты и породы чехла коры выветривания по своим физико-механическим свойствам (плотность от 1,86 г/см^3 до 2,45 г/см^3, предел прочности рухляков на одноосное сжатие около 2–10 МПа, коэффициент пористости элювиальных суглинков и глин около 0,650–1,341 доли ед., число пластичности элювиальных суглинков и глин примерно 0,035–1,35 доли ед., показатель текучести элювиальных суглинков и глин от > 0 до +0,30 доли ед., угол внутреннего трения элювиальных суглинков и глин около 20–35 град., модуль деформации порядка 15–25 МПа) могут быть отнесены преимущественно к грунтам **второй категории** по сейсмическим свойствам по классификации СП14.13330.2014. Мощность чехла коры выветривания неодинаковая и изменяется от нуля до нескольких десятков метров в карманах выветривания, развившихся по реликтовым палеозойским зонам деформации земной коры.

В прилегающей к Уралу с запада Восточно-Европейской платформе (ВЕП) коренные породы палеозойского осадочного чехла представлены терригенными, карбонатными породами и эвапоритами пермского возраста, перекрытыми чехлом грунтов коры выветривания и четвертичными отложениями. Физико-механические свойства этих пород и грунтов (плотность пород пермского возраста малой и средней прочности примерно от 2,50–2,60 г/см^3 до 2,63–2,67 г/см^3, предел прочности на одноосное сжатие около 13–27 МПа) позволяют отнести их преимущественно к грунтам первой и второй категории.

В прилегающей с запада и северо-запада к Северному, Приполярному и Полярному Уралу Печорской плите ВЕП породы палеозойского чехла перекрыты чехлом мезозойских отложений. Физико-механические свойства этих пород и грунтов (плотность около 2,15–2,25 г/см^3, модуль деформации примерно 16–18 МПа, угол внутреннего трения примерно 25–28 град.) позволяют отнести их преимущественно к грунтам второй категории.

В прилегающей к Уралу с востока Западно-Сибирской плите породы палеозойского чехла перекрыты чехлом преимущественно терригенных морских и континентальных мезозойско-кайнозойских отложений, представленных песками, суглинками, глинами с прослоями опок. Физико-механические свойства этих пород и грунтов позволяют отнести их преимущественно к грунтам второй и частично третьей категорий (плотность около 1,80–2,10 г/см^3, коэффициент пористости примерно 0,580–0,850 доли ед., число пластичности примерно 0,035–1,40 доли ед., показатель текучести от > 0 до +0,35 доли ед., угол внутреннего трения суглинков и глин около 21–28 град., модуль деформации примерно 13–24 МПа).

Детальное сейсмическое районирование Урала и прилегающих территорий. В качестве потенциально сейсмичных районов рассматриваемой территории, в пределах которых возможно возникновение редких ощутимых природных землетрясений силой до 5–6 баллов по шкале MSK-64, можно выделить, в первую очередь, Средне-Уральский и Кировско-Кажимский сейсмодомены (рис. 1). Природные ощутимые землетрясения силой от 3–4 до 5–6 баллов в пределах упомянутых районов отмечались в прошлом и, вероятно, могут возникать и в будущем. Вероятность возникновения природных землетрясений силой 5 баллов по шкале MSK-64 в пределах упомянутых сейсмодоменов оценивается как один раз в 50–60 лет, а силой в 6 баллов по шкале MSK-64 – как один

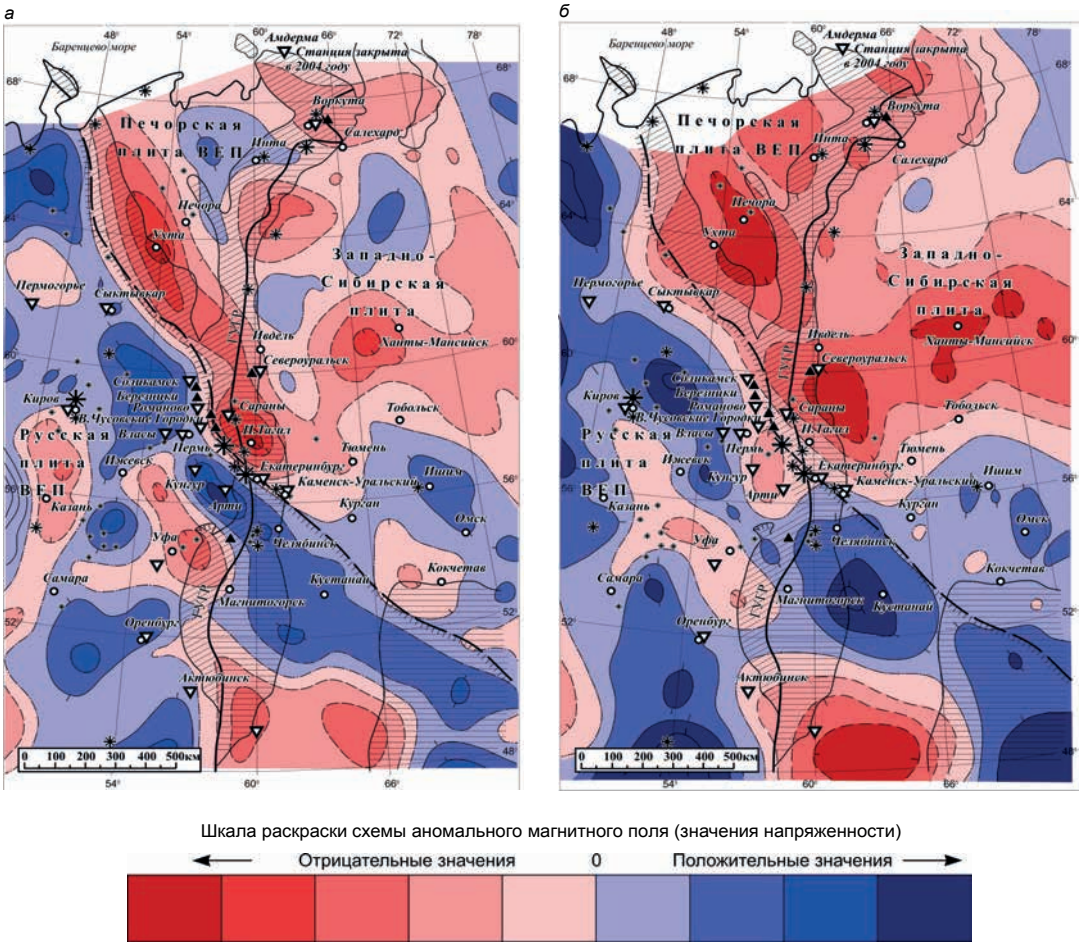


Рисунок 4. Схема аномального магнитного поля Уральского региона, осредненного с радиусом 125 км – *а* и 250 км – *б* по Р. Т. Васильеву, 1987 г. (фрагменты карты, приведенной в работе [14]). Подосновой схем является упрощенная тектоническая схема Урала, приведенная в работе [17], с дополнениями автора. Составил А. Н. Гуляев, Институт геофизики УрО РАН 2016 г., компьютерная графика Н. В. Михайловой.

раз в 100–130 лет (рис. 5, 6).

Кроме того, в качестве потенциально сейсмичных районов в пределах рассматриваемой территории можно выделить еще: а) район города Ишим Тюменской области, б) горный узел Народ-Из на участке сочленения хребтов Приполярного и Полярного Урала, в) узел сочленения хребта Полярного Урала и хребта Пай-Хой (рис. 1).

В районе г. Ишим Тюменской области, согласно [4, 5], в 1849 и 1904 гг. отмечались природные землетрясения силой 5 и 6 баллов. В пределах двух других потенциально сейсмичных узлов, согласно [13], отмечались

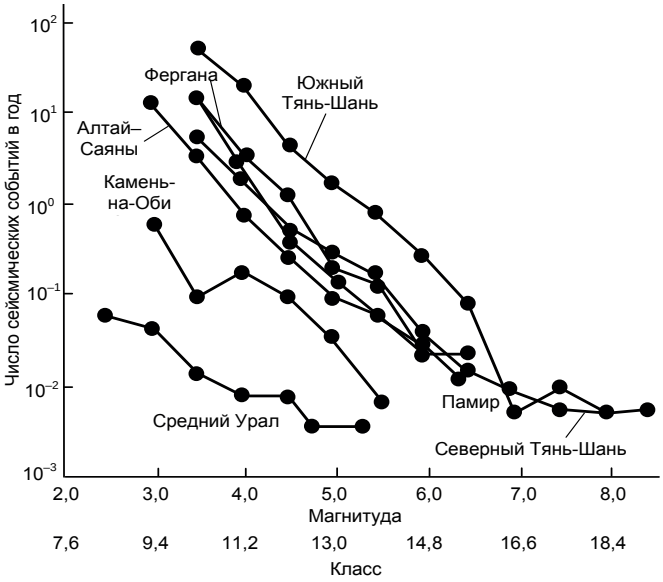


Рисунок 5. График (наблюденный) повторяемости землетрясений Среднего Урала за период 1788–2016 гг. в сопоставлении с подобными графиками других сейсмичных регионов. Составил А. Н. Гуляев, Институт геофизики УрО РАН, 2005–2016 гг.

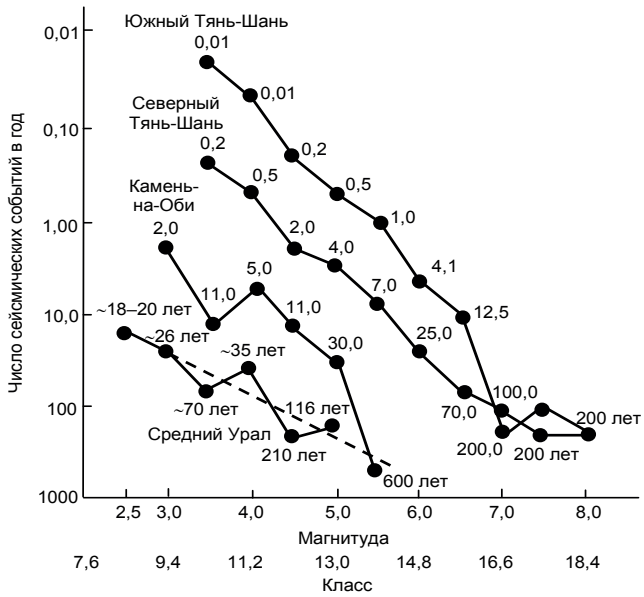


Рисунок 6. График средних временных интервалов в годах между ощутимыми землетрясениями различной магнитуды Среднего Урала за период 1788–2016 гг. в сопоставлении с подобными графиками других сейсмичных регионов. Составил А. Н. Гуляев, Институт геофизики УрО РАН, 2005–2016 гг.

редко происходящие землетрясения с магнитудой до 3,5–4,5.

На остальной части территории рассматриваемого региона сейсмическая активность недр низкая, ощутимые природные землетрясения за последние 300 лет силой от 3–4 до 5–6 баллов отмечались редко, либо совсем не отмечались.

На основании изложенного можно заключить, что инженерно-сейсмические условия на Урале и в прилегающих к нему частях Восточно-Европейской платформы и Западно-Сибирской плиты благоприятные и безопасные для большей части инженерных сооружений, построенных в соответствии со строительными правилами. Антисейсмические мероприятия в рассматриваемом районе актуальны при проектировании и строительстве лишь особо ответственных и высотных инженерных сооружений, в том числе зданий высотой в 40 этажей и более. Безопасность и благоприятность инженерно-сейсмических условий региона обусловлена низкой сейсмической активностью недр, проявляющейся в том, что ощутимые природные землетрясения силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 происходят редко и сила их не достигает 7 баллов по шкале MSK-64, а также благоприятными сейсмогрунтовыми условиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология СССР / ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1969. Т. XII, ч. 1, кн. 2. 304 с.
2. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа, 2010. 279 с.
3. Новейшая тектоника Урала / под ред. А. П. Сигова, В. А. Сигова. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. Т. V. 104 с.
4. Вейс-Ксенофонтова З. Г., Попов В. В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала // Труды Сейсмологич. ин-та АН СССР. 1940. № 104. 12 с.
5. Степанов В. В., Годзиковская А. А., Ломакин В. С. и др. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы. М.: ЦСГНЭО, 2002. 135 с.
6. Кашубин С. Н., Дружинин В. С., Гуляев А. Н. и др. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 124 с.
7. Годзиковская А. А. Каталог сейсмических событий Уральского региона с древнейших времен до 2002 г. (сопутствующие первичные материалы). М., 2016. 257 с.
8. Сейсмическое районирование территории СССР / отв. ред. В. И. Бунэ, Г. П. Горшков. М.: Наука, 1980. 306 с.
9. Комплект карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97, масштаб 1:8000 000: объяснит. записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / гл. ред. Комплекта карт ОСР-97 акад. РАН В. Н. Страхов, чл.-корр. АН Республики Узбекистан проф. В. И. Уломов. М., 1999. 56 с.
10. Гуляев А. Н. Детальное сейсмическое районирование центральной части Уральского региона // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 6. С. 103–112.
11. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн. 1. Землетрясения / под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина. Петрозаводск, 2007. 380 с.
12. Гуляев А. Н, Осипова А. Ю. Сейсмичность Среднего Урала и строительство в регионе // Изв. вузов. Архитектон. URL: http:// archvuz.ru/2013_2/20
13. Осика Д. Г., Черкашин В. И. Энергетика и флюидодинамика сейсмичности. М.: Наука, 2008. 243 с.
14. Соболев И. Д., Автонеев С. В., Белковская Р. П., Петрова Т. Ю., Сюткина Р. А Тектоническая карта Урала масштаба 1:1000 000: объяснит. записка. Свердловск, 1983. 168 с.
15. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР (СВДЗК). Масштаб 1:5 000 000 / под ред. Л. А. Кашина. М.: ГУГК, 1989.
16. Глубинное строение слабосейсмичных регионов СССР / отв. ред. И. Л. Нерсесов. М.: Наука, 1987. 235 с.
17. Ромашов А. Н. Планета Земля: тектонофизика и эволюция. М.: Едиториал УРСС, 2003. 261 с.

REFERENCES

1. 1969, *Geologiya SSSR* [Geology of USSR], Vol. XII, part 1, book 2. Moscow, 304 p.
2. Puchkov V. N., 2010, *Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and Ural region (topical matters of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny]. Ufa, 279 p.
3. Sigov A. P., Sigov V. A. 1975, *Noveishaya tektonika Urala, tom V* [Newest tectonics of Ural]. Vol. V. Saratov, 104 p.
4. Veis-Ksenofontova Z. G., Popov V. V, 1940, *K voprosu o seismicheskoi kharakteristike Urala* [On the question of seismic characteristics of Ural]. Moscow, 12 p.
5. Stepanov V. V., Godzikovskaya A. A., Lomakin V. S., Privilova N. E., Mokrushina N. G., Silina I. K., Kusonskiy O. A., Mitenkova N. V. 2002, *Zemletryaseniya Urala i silneishiye zemletryaseniya prilegayushikh territoriy Zapadnoi Sibiri i Vostochno-Evropeiskoi platformy* [Earthquakes of Ural and the strongest earthquakes of adjacent territories of Western Siberia and East-European platform]. Center of Geodynamic observations service in electric power industry, Moscow, 135 p.
6. Kashubin S. N., Druzhinin V. S., Gulyaev A. N., Kusonskiy O. A., Lomakin V. S., Malovichko A., Nikitin S. N., Parigin G. N., Ryzhiy B. P., Utkin V. I. 2001, *Seismichnost i seismicheskoye rayonirovaniye Uralskogo regiona* [Seismic activity and seismic zoning of Ural region]. Ekaterinburg, Economy Institute of Ural Department of Russian Academy of Sciences, 124 p.
7. Godzikovskaya A. A. 2016, *Katalog seismicheskikh sobytiy Uralskogo regiona s drevneyshikh vremen do 2002 goda (soputstvuyushiye pervichnye materialy)* [Catalogue of seismic events of Ural region from ancient times up to 2002 (accompanying source materials)]. Moscow, 257 p.
8. Bune V. I., Gorshkov G. R. 1980, *Seismicheskoye rayonirovaniye territorii SSSR* [Seismic zoning of USSR territory]. Moscow, 306 p.
9. 1999, *Komplekt kart Obshego seismicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy Federatsii OSR-97, masshtab 1:8000 000, obyasnitel'naya zapiska i spisok gorodov i naselennikh punktov, raspolozhennykh v seismoopasnykh rayonakh* [Set of maps of General Seismic Zoning of the territory of Russian Federation OSR-97, scale: 1:8000 000, explanatory note and list of cities and residential areas, located in seismic active regions]. Moscow, 56 p.
10. Gulyaev A. N., 2015, *Detal'noye seismicheskoe rayonirovanie tsentralnoi chasti Uralskogo regiona* [Detailed seismic zoning of central part of Ural region]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining journal]. No. 6, pp. 103–112.
11. Sharov I. V., Malovichko A. A., Schukin Y. K. 2007, *Zemletryaseniya i mikroseismichnost' v zadachakh sovremennoy geodinamiki Vostochno-Evropeiskoy platformy. Kniga 1: Zemletryaseniya* [Earthquakes and micro seismicity in present day challenges of geodynamics of East-European platform]. Book 1. Earthquakes. Petrozavodsk, 380 p.
12. Gulyaev A. N., Osipova A. Y. 2013, S*eismichnost' Srednego Urala i stroitel'stvo v regione* [Seismic level of the Middle Urals and construction in the region]. Architecton: news bulletin of higher education universities. URL: http:// archvuz.ru/2013_2/20
13. Osika D. G., Cherkashin V. I. 2008, *Energetika I flyuidodinamika seismichnosti* [Energetics and fluid dynamics of seismicity]. Moscow, 243 p.
14. Sobolev I. D., Avtoneev S. V., Belkovskaya R. P., Petrova T. Y., Syutkina R. A., 1983, *Tektonicheskaya karta Urala mashtaba 1:1000 000 (ob'yasnitelnaya zapiska)* [Tectonic map of Ural, scale of 1:1000 000 (explanatory note)]. Sverdlovsk, 1983. 168 p.
15. Kashin L. A. 1989, *Karta sovremennykh vertikalnykh dvizheniy zemnoi kory po geodezicheskim dannym na territoriyu SSSR* [Map of present-day vertical movements of Earth crust based on geodesic data for the USSR territory (Present day vertical movement of earth crust). Scale: 1:5 000 000. Federal Agency of Geodesy and map-making.
16. 1987, *Glubinnoe stroeniye slaboseismichnykh regionov SSSR* [Deep structure of seismically quiet regions of USSR]. Moscow, 235 p.
17. Romashov A. N. 2003, *Planeta Zemlya: tektonophizika i evolutsiya* [The Earth: Tectonophysics and evolution]. Moscow, 261 p.

Александр Николаевич Гуляев,
usc_alex@mail.ru
Институт геофизики УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Амундсена, 100

Aleksandr Nikolaevich Gulyaev,
usc_alex@mail.ru
Institute of Geophysics of the Ural Branch of RAS
Ekaterinburg, Russia

DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-45-49

УДК 622.271.33/.451+624.121.(532+537)+625.033.38+627.43 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-50-53

ТЕОРИЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И ОСНОВАНИЙ.

Устойчивость откосов в поле тектонических, сейсмических и гидростатических напряжений*

А. В. Жабко

THEORY OF CALCULATION OF THE STABILITY OF SLOPES AND BASES.

Slope stability in the field of tectonic, seismic and hydrostatic stresses

A. V. Zhabko

Existing methods and means of evaluating the stability of slopes only apply to the so called unstrained mountain masses. In other words this means that in the borders of the region, that includes the mined-out pit, stresses are equal to zero. However this only occurs in massive sedimentary sheaths. At the same time, most of the pits for which the recording of tectonic stress fields is necessary, quite deeply embed into crystalline basement of Earth's crust. Overwhelming majority of researches point at the presence of natural (tectonic) stress fields in the mountain massif, recording of which is not implemented in a single regimented strength calculation method of pit sides in the capacity of boundary conditions. There are also no uniform justified methods of recording hydrogeological factors and seismicity All of this justifies the relevance of this type of research. In the first part of the article power loads, which occur under the influence of tectonic, seismic and hydrostatic stresses are provided. In the second part of the work general conditions of slope stability are given (displacement prisms) that is subject to the influence of tectonic stresses, seismicity and hydrogeological impact. Tectonic stress fields impact level on the stability of pit sides slopes in comparison with the gravitational field is analyzed. A conclusion is made on a pretty significant negative contribution of tectonic stresses in the stability of open-pit sides.

Keywords: slope; pit side; tectonic stresses; coefficient of stress concentration; seismic stress; hydrostatic pressure; evaluation of slope stability; sliding surface.

Существующие методы и способы оценки устойчивости откосов применимы лишь к так называемым ненапряженным горным массивам. Другими словами, когда на границах области, включающей выработанное карьерное пространство, напряжения равны нулю. Однако это имеет место лишь в массивных осадочных чехлах. Вместе с тем большинство карьеров, для которых вообще необходим учет тектонических полей напряжений, достаточно глубоко врезаются в кристаллический фундамент земной коры. Подавляющее большинство исследований указывают на наличие естественных (тектонических) полей напряжений в горном массиве, учет которых в качестве граничных условий не реализуется ни в одном из регламентируемых способов расчета устойчивости бортов карьеров. Не существует также и единых обоснованных методик учета гидрогеологических факторов и сейсмичности. Все это и обосновывает актуальность такого рода исследований. В первой части статьи выводятся силовые нагрузки, которые возникают под действием тектонических, сейсмических и гидростатических напряжений. Во второй части работы приводится общее условие устойчивости откоса (призмы смещения), подверженного воздействию тектонических напряжений, сейсмичности и гидрогеологическому воздействию. Анализируется степень воздействия тектонических полей напряжений на устойчивость откосов бортов карьеров в сравнении с гравитационным полем. Делается вывод о достаточно серьезном негативном вкладе тектонических напряжений в устойчивость бортов карьеров.

Ключевые слова: откос; борт карьера; тектонические напряжения; коэффициент концентрации напряжений; сейсмическая нагрузка; гидростатическое давление; оценка устойчивости откосов; поверхность скольжения.

Данная статья является пятой и заключительной работой, публикуемой автором в журнале «Известия Уральского государственного горного университета» под общим названием «Теория расчета устойчивости откосов и оснований». Подробно ознакомиться с данной теорией можно также в монографии [1]. Данная статья посвящена избранным, но весьма важным вопросам геомеханики открытой разработки. Прежде всего, речь идет об учете при оценке устойчивости откосов тектонических полей естественных напряжений. Фактически универсальной методики учета первоначальной напряженности горного массива при расчете устойчивости бортов карьеров не существует. Достаточно разнообразно учитываются сейсмические и гидростатические нагрузки. Кроме того, практически отсутствуют данные о влиянии перечисленных факторов на форму и положение критической поверхности скольжения в массиве.

Как известно, силы гидростатического взвешивания и гидродинамического давления эквивалентны некоторой силе, называемой силой гидростатического давления, действующей по площадке скольжения и перпендикулярной к ней. Ее численное значение определяется формулой [2]:

$$D = \gamma_в h_в l,$$

где $\gamma_в$ – объемный вес воды; $h_в$ – высота столба воды, $h_в = (y_в - y)$; $y_в$ – функция депрессионной кривой; y – функция поверхности скольжения; l – протяженность обводненной части отсека (для подтопленного отсека равна длине площадки скольжения отсека).

При расчете откосов с элементарным размером отсека

$$D = \frac{\gamma_в h_в dx}{\cos \vartheta}, \qquad (1)$$

где ϑ – угол наклона основания отсека.

Как было показано в предыдущих частях работы, условие равновесия призмы смещения для однородного откоса описывается при помощи интегралов (сумм). В целях упрощения выводов и более яркого представления идеи учета силового воздействия подземных вод будем рассматривать только один из них, являющийся наиболее общим и определяющий наиболее протяженную часть поверхности скольжения. Обобщенную силу для рассматриваемого участка поверхности скольжения с учетом гидрогеологии (1) можно представить в виде:

$$\int_{\vartheta>\varphi} \left[\frac{\gamma(\bar{y}-y)(y'-f)-(C-f\gamma_в(y_в-y))(1+y'^2)}{1+y'^2} \right] dx. \qquad (2)$$

Из условия равновесия (2) вытекает силовое воздействие подземных вод, а именно оно может быть учтено снижением величины сцепления в каждой рассматриваемой точке поверхности скольжения (отсеке).

Выясним, каким образом обводненность откоса влияет на изменение положения наиболее вероятной поверхности скольжения по сравнению с сухим откосом.

Запишем условие трансверсальности (условие в точке пересечения поверхности скольжения с депрессионной кривой) в общем виде [3]:

$$F + (\psi' - y') F_{y'} \Big|_{x=x_0} = 0, \qquad (3)$$

где F, $F_{y'}$ – подынтегральное выражение и частная производная подынтегрального выражения по y'; ψ' – производная функции кривой, вдоль которой перемещается экстремаль (депрессионная кривая); x_0 – абсцисса точки пересечения экстремали (поверхности скольжения) и кривой, вдоль которой перемещается экстремаль (депрессионная кривая).

Выясним, будет ли преломляться поверхность скольжения при переходе с сухого на обводненный участок массива, и наоборот (точка B (рис. 1)), а также в случае преломления депрессионной кривой (например, когда она выходит в откос, точка A (см. рис. 1)). Для этого необходимо рассмотреть разрывную задачу вариационного исчисления второго рода [3]. Рассмотрим два соседних отсека, разделенных вертикальной границей. При этом площадка скольжения одного из отсеков обводнена, а другого нет. Приравнивая условия трансверсальности (3) для функционала (2) и его необводненного аналога ($\gamma_в = 0$), а также учтя, что на гра-

* Окончание. Первая часть статьи опубликована в вып. 4(40) за 2015 г., с. 45–57.

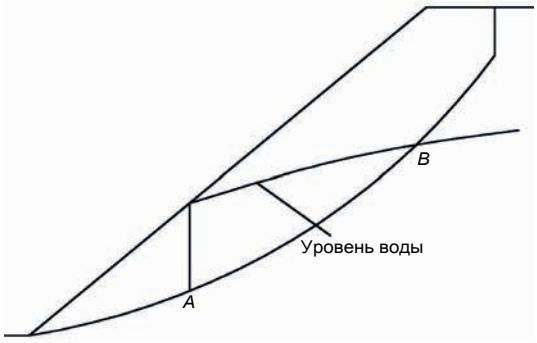


Рисунок 1. Расчет обводненного откоса.

нице отсеков $h_в = y_в - y = 0$, будем иметь:

$$y'_в = y'.$$

Таким образом, производные функции поверхности скольжения в точке стыка сухого и обводненного участков равны, т. е. излом поверхности скольжения отсутствует. Другими словами, обводнение горных пород не влияет на форму поверхности скольжения в откосах, чего раньше никто не доказывал.

Преломления поверхности скольжения в точке A (рис. 1) также не будет, так как условие (3) на вертикальной границе двух обводненных отсеков имеет вид: $F_{y'}|_{x = x0} = 0$ [3] и не зависит от производной функции депрессионной поверхности ψ'.

Как указывалось ранее, силовое действие воды состоит в уменьшении величины сцепления в обводненных точках (отсеках) поверхности скольжения. А в силу того, что на форму поверхности скольжения вода влияния не оказывает, существует некоторое приведенное (среднее) значение сцепления, удовлетворяющее предельному равновесию обводненного откоса.

Таким образом, на обводненном участке поверхности скольжения величина силы сцепления:

$$F_{в.с} = \int_в \left[C - \operatorname{tg}\varphi\gamma_в \left(y_в - y \right) \right] dx,$$

а на сухом участке:

$$F_с = \int C dx.$$

Среднее или приведенное значение сцепления определится формулой:

$$C_в = \frac{\int_в \left[C - \operatorname{tg}\varphi\gamma_в \left(y_в - y \right) \right] dx + \int C dx}{\int_в dx + \int dx} = C - \frac{\gamma_в S_в \operatorname{tg}\varphi}{d} = C - \gamma_в h_в^{ср} \operatorname{tg}\varphi, \quad (4)$$

где $S_в$ – объем воды в пределах призмы смещения; d – горизонтальная проекция поверхности скольжения; $h_в^{ср}$ – среднее значение высоты столба воды вдоль всей поверхности скольжения (используется вся поверхность скольжения, включая необводненную).

Таким образом, для определения предельных параметров обводненного однородного откоса необходимо вычислить по формуле (4) значение величины приведенного сцепления массива и воспользоваться номограммой устойчивости однородных откосов.

Если проектируемый объект (дамба хвостохранилища, карьер и т. д.) находится в сейсмоактивном регионе, то их проектирование (расчет) необходимо производить с учетом возможного сейсмического воздействия. Механизм воздействия сейсмики на откос представляется следующим образом. В момент сейсмического события из гипоцентра (точка в массиве, где произошло высвобождение энергии, эпицентр – это его проекция на земную поверхность) начинают распространяться упругие сейсмические волны (волны напряжений), которые принято подразделять на продольные (создают нормальные напряжения и линейные деформации в массиве) и поперечные (создают касательные напряжения и угловые

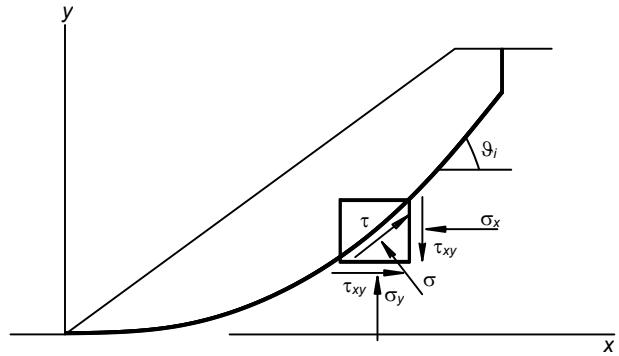


Рисунок 2. Напряженное состояние горных пород в окрестности поверхности скольжения.

деформации). Распространение волн приводит к упругим колебаниям среды (частиц горной породы) с некоторым ускорением. Согласно принципу Даламбера, ускорение порождает сейсмическую инерционную силу, направленную противоположно. Таким образом, на каждый отсек призмы смещения будет действовать сила, прямо пропорциональная его массе и ускорению частиц среды. Интенсивность сейсмического события (землетрясения) принято измерять в баллах. В нашей стране используется двенадцатибалльная система. Модуль сейсмической силы определяется по формуле [4]:

$$F_с = \frac{1}{1 - T_0^2} k_с P,$$

где T_0 – период собственных колебаний частиц породы (весь множитель носит название динамический коэффициент и в практических расчетах принимается равным единице); $k_с = a/g$ – коэффициент сейсмичности, равный отношению ускорения сейсмической волны к ускорению свободного падения, определяется согласно данным, приведенным ниже; P – вес рассматриваемого объема (отсека, блока):

Коэффициент сейсмичности [4, 5].

Расчетная сейсмичность, баллы ...	6	7	8	9	10
Коэффициент сейсмичности $k_с$	0,01	0,025	0,05	0,10	0,25

Направление действия сейсмической силы большинство исследователей принимают горизонтальным. С другой стороны, как было доказано раньше, общая реакция со стороны соседних отсеков направлена под углом $\vartheta_i - \varphi$ к горизонту в сторону массива, при этом она совершит максимальную (минимальную) работу. Таким образом, направление, противоположное данному, будет являться самым уязвимым с точки зрения устойчивости. Поэтому примем это направление за направление действия сейсмической силы на каждый отсек. То есть направление сейсмической силы будет меняться от отсека к отсеку, т. е. вдоль поверхности скольжения, что будет соответствовать максимально негативному влиянию сейсмики на откос, однако это всегда идет в запас устойчивости.

Рассмотренные задачи по оценке устойчивости откосов в различных условиях относятся к так называемому гравитационному типу оползневых явлений. То есть единственной активной силой, выводящей откос (призму смещения) из положения равновесия, является вес горных пород, обусловливаемый гравитацией. Вес горных пород формирует также напряженное состояние. Вертикальная компонента напряжений является активной, а горизонтальная – реактивной.

Однако в практике разработки месторождений часто встречаются случаи, когда горизонтальная компонента естественного поля напряжений является активной, кроме того, ее величина может превосходить вертикальную компоненту в несколько раз. В этом случае говорят о действии в массиве тектонических полей напряжений, обусловленных тектоническими процессами (субдукция, рифтогенез, коллизия, орогенез и др.), которые достаточно подробно описаны в курсах геотектоники и геодинамики недр. Задача по определению конструктивных элементов бортов карьера в условиях тектонических полей напряжений была поставлена сравнительно недавно.

Необходимо отметить, что определение ориентировки главных осей напряжений в пространстве и значений главных напряжений является сложной научной задачей. Не рассматривая причин возникновения

тектонических напряжений и определения их ориентировки и значений, перейдем к исследованию вопроса их учета при оценке устойчивости откосов бортов карьеров.

В силу неоднозначности вопроса необходимо сделать ряд принципиальных замечаний.

1. Разрушение горных пород, как и любых других материалов, при срезе происходит по некоторой поверхности, которую, как и раньше, будем называть поверхностью скольжения (разрушения). Если речь идет об идеально однородных откосах или откосах, которые можно привести к таковым посредством статистического усреднения физико-механических свойств, то поверхность скольжения является плавной и криволинейной. Если в массиве присутствуют ярко выраженная система трещин с падением в карьер или сплошные трещины (поверхности ослабления, включая тектонические нарушения) большого протяжения, то такой откос следует считать анизотропным, а поверхность скольжения будет иметь излом. Если массив разбит одиночными, разнонаклонными трещинами, соизмеримыми с размерами откоса, то поверхность скольжения будет ломаной, в большинстве своем совпадая с трещинами. Какой бы из перечисленных случаев ни имел место, откос все равно разрушается по некоторой поверхности, называть которую будем, как и раньше, поверхностью скольжения. Однако для каждого типа поверхности скольжения и каждого ее участка необходимо обосновать условие устойчивости или равновесия.

2. Призма смещения так же, как и любое другое тело, может перемещаться в пространстве под действием активных сил и реакций связей. Поэтому несмотря на то, что граничными условиями являются тектонические поля напряжений, условие устойчивости (частный случай движения) должно быть выражено через силы, а не напряжения.

3. Недопустимо оценивать устойчивость всей призмы смещения сравнением напряжений или сил в какой-либо точке поверхности скольжения. Другими словами, критерий устойчивости должен определяться суммами удерживающих и сдвигающих сил вдоль всей поверхности скольжения, разумеется, при выполнении условия сплошности (неразрывности) призмы смещения.

Установим условия устойчивости (разрушения) откосов, находящихся в условиях тектонического воздействия. Необходимо разработать методику расчета откосов при известном распределении напряжений в прибортовом массиве, т. е. получить аналитическое выражение, отвечающее условиям необходимости и достаточности равновесия призмы смещения, с помощью которого суммируются тектонические и гравитационные силы.

Таким образом, имеются плоский откос и известное поле распределения компонент напряжений (рис. 2). В случае, когда наиболее опасная поверхность скольжения определена, вдоль нее будут известны компоненты плоского поля напряжений. Кроме того, очевидно, что в предельном равновесии вдоль поверхности скольжения (как и в каждой отдельной точке поверхности скольжения) выполняется условие предельного кулоновского равновесия.

С другой стороны, действие тектонических полей в точке эквивалентно некоторой горизонтальной силе, действующей на элементарный отсек:

$$F_{\text{т}} = k_{\text{к}}\sigma_{\text{т}}\operatorname{tg}\vartheta_i dx, \tag{5}$$

где $k_{\text{к}}$ – коэффициент концентрации тектонических (горизонтальных) напряжений в рассматриваемой точке поверхности скольжения; $\sigma_{\text{т}}$ – тектоническое (горизонтальное) нормальное напряжение в нетронутом массиве (в естественном залегании).

Таким образом, к расчетной схеме по установлению условия равновесия отсека необходимо добавить горизонтальную сдвигающую тектоническую силу (5). В силу того, что тектоническая сила параллельна реакции ΔE, в условие равновесия отсека она войдет с тем же множителем. Заметим, что появление тектонической силы не изменяет закона распределения межблоковых реакций, поэтому дальнейшие операции по выводу условий равновесия призмы смещения на различных участках будут идентичны случаю гравитационных сил.

Тектоническое напряжение часто представляют в виде:

$$\sigma_{\text{т}} = \lambda\gamma H, \tag{6}$$

где H – глубина точки от поверхности (до начала разработки); λ – коэффициент пропорциональности, численно равный отношению горизонтальной составляющей поля тектонических напряжений к вертикальной. Численное значение коэффициента λ некоторые авторы для тектонических регионов оценивают величиной 1–10 (если тектоники нет, то будем считать $\lambda = 0$).

Коэффициент концентрации тектонических напряжений $k_{\text{к}}$ является весьма значимой характеристикой. Он показывает степень рассеяния тектонических напряжений в окрестности поверхности скольжения (открытой горной выработки) и определяется размерами карьера в плане, высотой и углом откоса, глубиной заложения поверхности скольжения. В первом приближении коэффициент концентрации может быть оценен по формуле

$$k_{\text{к}} = \left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right),$$

где r_0 – радиус выработки (карьера) в плане (на рассматриваемой высоте); r – расстояние до рассматриваемой точки.

Так как $k_{\text{к}}$ заведомо меньше единицы (при некоторых параметрах карьера может быть значительно меньше), то очевидно, что учет тектонической составляющей напряжений необходим при достаточно высоком значении λ.

Таким образом, условие равновесия откоса (призмы смещения) в условиях обводненности, сейсмичности и тектонических напряжений примет вид (интегралы заменены на суммы):

$$\begin{aligned}
&\sum_{\vartheta\le\varphi}\left[\frac{\gamma h\left(\operatorname{tg}\vartheta - \operatorname{tg}\varphi + k_{\text{с}}/\left(\cos\vartheta\cos\varphi\right)\right) + k_{\text{к}}\sigma_{\text{т}}\operatorname{tg}\vartheta\left(1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta\right) - \left(C - \gamma_{\text{в}}h_{\text{в}}\operatorname{tg}\varphi\right)\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta\right)}{1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta}\right]\Delta + \\
&+\sum_{\vartheta>\varphi}\left[\frac{\gamma h\left(\operatorname{tg}\vartheta - \operatorname{tg}\varphi + k_{\text{с}}/\left(\cos\vartheta\cos\varphi\right)\right) + k_{\text{к}}\sigma_{\text{т}}\operatorname{tg}\vartheta\left(1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta\right) - \left(C - \gamma_{\text{в}}h_{\text{в}}\operatorname{tg}\varphi\right)\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta\right)}{1+\operatorname{tg}^2\vartheta}\right]\Delta + \\
&+\sum_{\text{Берма}}\left[\gamma h\left(\operatorname{tg}\vartheta - \operatorname{tg}\varphi + k_{\text{с}}/\left(\cos\vartheta\cos\varphi\right)\right) + k_{\text{к}}\sigma_{\text{т}}\operatorname{tg}\vartheta\left(1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta\right) - \left(C - \gamma_{\text{в}}h_{\text{в}}\operatorname{tg}\varphi\right)\left(1+\operatorname{tg}^2\vartheta\right)\right]\Delta = 0,
\end{aligned} \tag{7}$$

где h – высота отсека; Δ – ширина отсека.

Разумеется, не представляет никакого труда записать условие равновесия призмы смещения (7) через коэффициент устойчивости. В случае, когда поверхность скольжения не формируется, а совпадает с уже существующими поверхностями ослабления массива, для расчета баланса сил нужно использовать последнее слагаемое (7).

Отметим, что предлагаемая методика учета тектонических напряжений при оценке устойчивости откосов не требует проведения математического моделирования для определения напряженного состояния в окрестности поверхности скольжения. В связи с этим нет необходимости выдвигать гипотезы о модели среды (упругая, пластическая и т. д.) и обосновывать трудноопределимые показатели деформационных свойств массива, как правило, сложной структуры.

Для оценки влияния тектонических напряжений на устойчивость откосов введем показатель, который можно назвать коэффициентом вклада тектонических напряжений (в точке, т. е. для одного отсека). Данный коэффициент численно равен отношению работы тектонических сил к работе гравитационных сил на возможном перемещении всей призмы. Таким образом, с учетом выражения (7) коэффициент вклада определится зависимостью

$$k_{\text{т}} = \frac{k_{\text{к}}\lambda\gamma H\operatorname{tg}\vartheta\left(1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta\right)}{\gamma h\operatorname{tg}\vartheta} = k_{\text{к}}\lambda\left(H/h\right)\left(1+\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\vartheta\right). \tag{8}$$

Как следует из выражения (8), тектонические силы могут вносить весьма существенный вклад в устойчивость откосов, соизмеримый и даже превышающий вклад гравитационных сил. Средний коэффициент влияния вдоль всей поверхности скольжения будет характеризовать общий вклад тектонических напряжений в устойчивость призмы смещения в сравнении с гравитационным.

В отличие от действия подземных вод, сейсмика и тектоническая нагрузка приводят к изменению формы поверхности скольжения (силы зависят от угла наклона поверхности скольжения, а значит в функционал входит производная функции поверхности скольжения). Поверхность скольжения для случая тектонических напряжений находится аналогично случаю гравитационных сил, однако для этого необходимо располагать функцией коэффициента концентрации напряжений $k_{\text{к}} = k_{\text{к}}(x, y)$. Кроме того, решение данной задачи в аналитическом виде резко усложнится (в первом приближении коэффициент можно принять постоянным, средним). Несмотря на это, анализируя функционалы (7) и выражение (6), можно проследить некоторые закономерности поведения наиболее опасной поверхности скольжения в случае действия тектонических напряжений. Совершенно очевидно, что наиболее опасная поверхность скольжения под откосом свои наибольшие углы ϑ будет приурочивать к наибольшим значениям H. Это значит, что уже в нижних точках поверхность скольжения будет стремиться к своим максимальным углам наклона (предельным из условия неразрывности или сплошности призмы сме-

щения). Но в силу того, что угол наклона поверхности скольжения под откосом возрастает, в однородных массивах поверхность скольжения, ее большая часть будет близка к плоскости.

Таким образом, размер призмы смещения с увеличением тектонических напряжений будет уменьшаться. К этим же выводам приходит М. В. Рыльникова с соавторами [6]. И в общем данный факт объясним. Когда тектонические напряжения равны нулю, призма смещения увеличивается в размерах для увеличения размеров призмы активного давления, т. е. чтобы сдвигающих сил было достаточно для нарушения устойчивости откоса. Когда же действуют тектонические напряжения, в этом нет необходимости, т. е. сдвигающих активных сил достаточно для нарушения устойчивости откоса. Кроме того, уже и не нужна минимальная высота, необходимая для образования площадок среза H_{90}, или по крайней мере не требуется ее полных размеров.

В случае сильнотрещиноватых скальных массивов разрушение откоса будет происходить в виде отделения небольших участков (призм) по системам трещин и их перемещения вниз под действием собственного веса. Именно поэтому деформации скальных прибортовых массивов при действии тектонических полей напряжений не похожи на классические оползневые явления гравитационного типа с захватом достаточно обширных прим смещения и с более или менее выдержанной формой криволинейной поверхности скольжения, а также трещиной отрыва. Деформации откосов в этом случае будут больше напоминать осыпи и обрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жабко А. В. Аналитическая геомеханика. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. 224 с.
2. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
3. Лаврентьев М. А., Люстерник Л. А. Курс вариационного исчисления. 2-е изд. М.: Гостехиздат, 1950. 296 с.
4. Шахунянц Г. М. Земляное полотно железных дорог. М.: Трансжелдориздат, 1953. 827 с.
5. Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. 308 с.
6. Оценка устойчивости борта Учалинского карьера в условиях действия тектонических сил / М. В. Рыльникова [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. 1991. № 7. С. 54–64.

REFERENCES

1. Zhabko A.V. 2016, *Analiticheskaya geomekhanika* [Analytical geomechanics]. Ekaterinburg, 224 p.
2. Fisenko G. L. 1965, *Ustoychivost' bortov kar'erov i otvalov* [The stability of pit walls and dumps]. Moscow, 378 p.
3. Lavrentyev M. A., Lyusternik L. A. 1950, *Kurs variatcionnogo ischisleniya* [Variational calculation course]. 2nd edition. Moscow, 296 p.
4. Shahunyants G. M. 1953, *Zemlyanoe polotno zheleznykh dorog* [Earth railway bed]. Moscow, 827 p.
5. Emelyanova E. P. 1972, *Osnovnye zakonomernosti opolznevykh protcessov* [Main regularities of soil slips]. Moscow, 308 p.
6. Rylnikova M. V. 1991, *Otsenka ustoychivosti borta Uchalinskogo kar'era v usloviyakh deysviya tektonicheskikh sil* [Assessment of the stability of the Uchalinsky quarry side under the action of tectonic forces]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the higher institutions. Mining journal]. Issue 7. pp. 54–64.

Андрей Викторович Жабко,
zhabkoav@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Andrey Viktorovich Zhabko,
zhabkoav@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 622.271 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-54-56

РАЗРАБОТКА УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО КАРЬЕРНОГО КОМБАЙНА

А. Ю. Чебан, Н. П. Хрунина, С. А. Шемякин

Development of coal deposits with the application of upgraded surface miner

A. Yu. Cheban, N. P. Khrunina, S. A. Shemyakin

Technologies of excavation of dense and half-rocks with application of surface miners are being developed, which are used during development of deposits of coal, bauxite, phosphates, limestones, marble, chalky clay and other mineral resources. During development of coal deposits surface miners allow to withdraw from drilling and blasting operations, provide an increase of coefficient of extracting the mineral reserves from earth depths and the decrease of ash content of the coal due to its selective mining. An important problem is the presence of a big amount of small fractions in extracted coal, which predetermines the losses of mineral deposits during loading, transportation and storage, it also lowers the quality and market value of the coal. This article proposes the technology of layer-wise open pit development of coal fields with application of modernized surface miner, additionally equipped with transport-assortment device. Extracted rock mass is supplied to the transport-assortment device and is divided on its surface into sized coal and coal slack. Efficiency of assortment process is increased due to the operation of vibrator that impacts its sizing grill that is installed in elastic supports. Sized coal is supplied to the dumping truck through the discharge boom of surface miner, whereas the coal slack is transferred into sealed bins of special vehicle through pneumatic conveyor system. The proposed technical-process design allows carrying out the assortment of coal directly where it is extracted, as a result of which necessity in additional coal transferring is eliminated. Ecological situation is improved since the blowing out of coal slack in the coal extraction location and during its transportation to the transfer point is almost entirely eliminated.

Keywords: surface miner; coal slack; bracketing; assortment; dumptruck; sealed bin; pneumatic transportation system.

Развиваются технологии выемки плотных и полускальных горных пород с применением карьерных комбайнов, которые используются при освоении месторождений угля, бокситов, фосфоритов, известняков, мрамора, мергеля и других полезных ископаемых. Карьерные комбайны при разработке угольных месторождений позволяют отказаться от буровзрывных работ, обеспечивают повышение коэффициента извлечения запасов полезного ископаемого из недр и снижение зольности угля за счет его селективной выемки. Важной проблемой остается наличие большого количества мелких фракций в добываемом угле, что предопределяет потери полезного ископаемого при погрузке, транспортировании и хранении, а также снижает качество и рыночную стоимость угля. В статье предлагается технология послойной открытой разработки месторождений угля с применением усовершенствованного карьерного комбайна, дополнительно оснащенного транспортно-сортировочным агрегатом. Вынутая горная масса подается на транспортно-сортировочный агрегат и разделяется на нем на сортовой уголь и угольную мелочь. Эффективность процесса сортировки увеличивается за счет работы вибратора, воздействующего на сортировочную решетку, установленную на упругих опорах. Сортовой уголь через разгрузочную консоль карьерного комбайна подается в автосамосвал, а угольная мелочь посредством пневмотранспортной системы перемещается в герметичные бункеры специального транспортного средства. Предлагаемое технико-технологическое решение позволяет производить сортировку угля непосредственно на месте его добычи, в результате чего отпадет необходимость в дополнительной перегрузке угля. Улучшается экологическая ситуация, так как практически устраняется выдувание угольной мелочи в месте добычи угля и при его транспортировке до перегрузочного пункта.

Ключевые слова: карьерный комбайн; угольная мелочь; брикетирование; сортировка; автосамосвал; герметичный бункер; пневматическая транспортная система.

Введение

В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке значительное число угольных месторождений имеют сложную структуру с широким диапазоном количества пластов и их мощностей [1]. В настоящее время в России при разработке угольных месторождений преобладают технологические схемы с использованием буровзрывных работ и выемочного карьерного оборудования циклического действия [2–4]. С учетом технических параметров карьерного оборудования, задействованного на угольных разрезах Дальнего Востока, обычные параметры кондиций на уголь для открытых работ следующие: минимальная мощность угольного пласта 1–2 м; максимальная мощность внутрипластовых породных прослоев, включаемых в подсчет запасов, 0,7–1,0 м; предельная зольность по пластопересечению 35–45 % [1]. Таким образом, применение традиционных технических средств и технологий не позволяет вести селективную выемку угля, и значительные по мощности пропластки пустой породы включаются в полезную толщу, снижая качество добываемого полезного ископаемого. В то же время маломощные пласты угля отрабатываются совместно с пустой породой и отправляются в отвал [4].

Развиваются технологии безвзрывной выемки плотных и полускальных горных пород с применением карьерных комбайнов, которые используются при освоении месторождений угля, бокситов, фосфоритов, известняков, мрамора и других полезных ископаемых [5–8]. Применение карьерных комбайнов при разработке сложноструктурных угольных месторождений позволяет не только отказаться от буровзрывных работ, но и обеспечивает повышение коэффициента извлечения запасов полезного ископаемого из недр и снижение зольности угля за счет его селективной выемки. Использование карьерных комбайнов также позволяет снизить себестоимость добычи угля, выровнять рабочие площадки и транспортные коммуникации, снизить динамические нагрузки на конструкцию самосвала при загрузке и обеспечить более полное заполнение его кузова.

Однако важной проблемой остается наличие большого количества мелких фракций в добываемом угле, что предопределяет потери полезного ископаемого при погрузке, транспортировании и хранении, а также снижает качество и рыночную стоимость угля [9]. Потери углей мелких фракций от выдувания воздушным потоком при транспортировке рядового угля железнодорожным транспортом на 500 км составляют 0,5–0,6 т в расчете на один вагон, что эквивалентно потере 1 % транспортируемого угля, при перевозках угля автомобильным транспортом относительные потери еще выше [10]. Для повышения качества угля производят его сортировку с удалением мелочи, в результате чего накапливается огромное количество отходов, которые занимают значительные территории и негативно влияют на окружающую среду наряду с другими вредными выбросами, сопровождающими горное производство [11–14]. Только в Кузнецком бассейне количество нереализованной угольной мелочи превышает 30 млн т, подобные объемы складированных отходов можно классифицировать как техногенные месторождения, при этом в России все более ощущается дефицит недорогого сортового топлива для коммунально-бытовых нужд [12].

Результаты работы и область их применения. Наиболее целесообразным решением является создание производственных объектов по выработке топливных брикетов. В странах Западной Европы, США

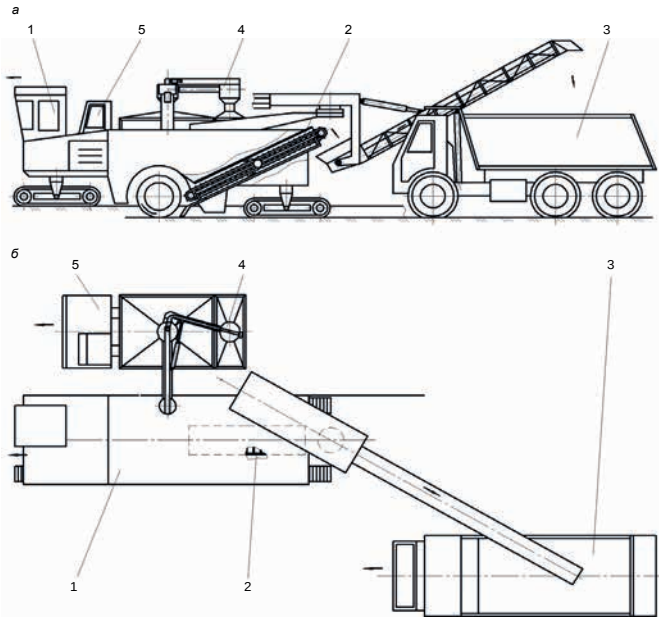


Рисунок 1. Комплекс горного оборудования для открытой разработки угольного месторождения. *а* – общий вид комплекса; *б* – вид комплекса сверху; 1 – усовершенствованный карьерный комбайн; 2 – транспортно-сортировочный агрегат; 3 – автосамосвал; 4 – пневмотранспортная система; 5 – транспортное средство.

и Австралии по различным технологиям в больших объемах производят брикеты на базе угольной мелочи. Это обусловлено тем, что при сжигании угольных брикетов по сравнению с рядовым углем КПД топочных устройств повышается на 25–35 %, снижаются на 15–20 % выбросы сернистого газа, более чем вдвое снижаются выбросы твердых веществ с дымовыми газами, а также на 15–20 % снижается недожог горючих компонентов [11]. В России также разработаны технологии производства топливных брикетов из угольной мелочи, в частности с использованием легко компонуемых перерабатывающих комплексов, которые можно установить в местах накапливания угольной мелочи (разрезы, шахты, склады топлива и т. п.). На перерабатывающих комплексах осуществляется также сортировка полезного ископаемого с получением сортового угля и выделением угольной мелочи, из которой в дальнейшем можно получать топливные брикеты.

Решение данной проблемы возможно с помощью технологии послойной открытой разработки месторождений угля с применением усовершенствованного карьерного комбайна. При отработке пласта угля комбайн 1 посредством фрезерного барабана послойно отрабатывает полезное ископаемое и подает вынутую горную массу на транспортно-сортировочный агрегат 2 (рис. 1).

Скребковый конвейер перемещает уголь вдоль сортировочной решетки, в результате чего происходит разделение горной массы на подрешетный продукт – угольную мелочь и надрешетный продукт – сортовой уголь. Эффективность процесса сортировки увеличивается за счет работы вибратора, воздействующего на сортировочную решетку, установленную на упругих опорах. Сортовой уголь из транспортно-сортировочного агрегата 2 попадает на разгрузочный конвейер и перемещается в кузов автосамосвала 3, следующего за карьерным комбайном 1. Угольная мелочь по кожуху транспортно-сортировочного агрегата ссыпается в накопитель, откуда потоком воздуха по воздуховодам пневмотранспортной системы 4 перемещается к секции осаждения мелкой фракции (3–13 мм), где за счет перепада поперечных сечений воздуховодов происходит резкое снижение скорости потока воздуха с выделением мелкой фракции, ссыпающейся в передний герметичный бункер транспортного средства 5. Оставшаяся угольная мелочь вместе с потоком воздуха поступает в секцию осаждения тонкой фракции (0–3 мм), которая ссыпается в задний герметичный бункер транспортного средства. Контроль за наполнением герметичных бункеров осуществляется в автоматическом режиме с использованием датчиков загрузки. После заполнения бункеров транспортного средства секции осаждения мелкой и тонкой фракций отсоединяются от герметичных бункеров посредством механизма поворота воздуховодов пневмотранспортной системы. Транспортное средство 5 перемещает угольную мелочь на перерабатывающий комплекс, расположенный в непосредственной близости от угольного разреза. При этом тонкая фракция сразу поступает в качестве готового сырья в смеситель для приготовления шихты с целью последующего изготовления топливных брикетов. Мелкая фракция предварительно измельчается на дробилке перерабатывающего комплекса и затем также поступает на изготовление брикетов. Сортовой уголь транспортируется автосамосвалом 3 на перегрузочный пункт разреза для отправки потребителям. В случае загрузки угля комбайном в автосамосвалы, которые могут двигаться по дорогам общего пользования, и близкого расположения потребителей сортовой уголь от места добычи без всяких перегрузок может транспортироваться непосредственно потребителям.

Применение транспортно-сортировочного агрегата непосредственно на карьерном комбайне позволяет производить сортировку угля на месте его добычи, в результате чего отпадет необходимость в наличии отдельной сортировочной установки, следовательно, дополнительной перегрузке угля. Практически устраняется выдувание угольной мелочи в месте добычи угля и при его транспортировке до перегрузочного пункта, поскольку угольная мелочь сразу отделяется от сортового угля и по воздуховодам транспортируется в герметичные бункеры транспортного средства. В технологической цепочке агрегатов перерабатывающего комплекса не требуется применение сортировочной установки, поскольку разделение угольной мелочи на тонкую и мелкую фракции происходит непосредственно в системе пневмотранспортирования карьерного комбайна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щадов В. М. Открытая разработка сложноструктурных угольных месторождений Восточной Сибири и Дальнего Востока. 2-е изд., стереотип. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 298 с.
2. Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Оценка технического уровня добычи угля открытым способом // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 6. С. 14–20.
3. Сандригайло И. Н., Арефьев С. А., Мойсиев Х. С., Глебов И. А., Шлохин Д. А. Анализ эффективности применения шарнирно-сочлененных автосамосвалов при разработке месторождений с малыми запасами // Изв. УГГУ. 2015. № 2. С. 23–27.
4. Чебан А. Ю., Рассказов И. Ю., Литвинцев В. С. Анализ парка горных машин горнодобывающих предприятий Амурской области // Маркшейдерия и недропользование. 2012. № 2. С. 41–50.
5. Пихлер М., Панкевич Ю. Б. Направления совершенствования и результаты применения комбайнов Wirtgen Surface Miner на карьерах и разрезах мира // Горная промышленность. 2000. № 3. С. 42–45.
6. Чеботарев С. И. Опыт работы фрезерного комбайна на Коелгинском месторождении мрамора // Изв. УГГУ. 2015. № 3. С. 42–46.
7. Чебан А. Ю., Хрунина Н. П. Техника и технологии разработки угольных разрезов Приамурья и перспективы их развития // Маркшейдерия и недропользование. 2015. № 1. С. 19–21.
8. Cheban, A. Yu., Sekisov G. V., Khrunina N. P., Shemyakin S. A. Upgrading continuous and cyclic excavation and transportation during open-pit mining // Eurasian mining. 2014. № 1. P. 22–24.
9. Жигуленкова А. И., Алексеева С. Н., Кекух Т. Ю. Рынки, цены и эффективность использования сортовых углей // ГИАБ. 2000. Т. 2. С. 46–48.
10. Демченко И. И. Научное обоснование и разработка комплекса средств механизации для обеспечения качества углепродукции: автореф. … дис. д-ра техн. наук. Иркутск: СФУ, 2007. 48 с.
11. Москаленко Т. В., Ворсина Е. В. Управление отходами горной промышленности как элемент устойчивого развития республики Саха (Якутия) // Вестник ИрГТУ. 2014. № 10. С. 98–102.
12. Шувалов Ю. В., Тарасов Ю. Д., Никулин А. Н. Обоснование рациональных технологий получения топливно-энергетического сырья на основе твердых горючих углесодержащих отходов // ГИАБ. 2011. № 8. С. 243–247.
13. Moskalenko T. V., Mikheev V. A Application of fractionation device for removal of high-ash admixtures from low-grade coals // Journal of Mining Science. 2004. V. 40. № 2. С. 216–220.
14. Ugay S. M., Golokhvast K. S., Pogotovkina N. S., Miheev E. M., Cheban A.Yu. Assessment of the impact of compressed gas vehicle on the environment // Life Science Journal. 2014. № 11. P. 515–517.

REFERENCES

1. Schadov V. M. 2004, *Otkrytaya razrabotka slozhnostrukturnykh ugolnykh mestorozhdeniy Vostochnoy Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Open pit development of complex coal deposits of Eastern Siberia and Far East]. 2d edition. Moscow, Moscow State Mining University, 2004. 298 p.
2. Linnik Y. N., Linnik V. Y. 2013, *Otsenka tekhnicheskogo urovnya dobychi uglya otkryrym sposobom* [Evaluation of technical level of coal open pit]. *Gornoe oborudovanie i elektromehanika* [Mining equipment and electromechanics]. 2013. No. 6. pp. 14–20.
3. Sandrigailo I. N., Arefyev S. A., Moisiyev K. S., Glebov I. A., Shlokhin D. A. 2015, *Analiz effektivnosti primeneniya sharnirno-sochlenennykh avtosamosvalov pri razrabotke mestorozhdeniy s malymi zapasami* [Analysis of efficiency of using articulated dump trucks during development of deposits with low reserves]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University]. 2015. No. 2. pp. 23–27.
4. Cheban A.Yu., Rasskazov I. U., Litvintsev V. S. 2012, *Analiz parka gornykh mashin gornodobyvayushikh predpriyatiy Amurskoi oblasti* [Analysis of park of mountain machinery of mining companies of Amur oblast']. *Marksheideriya i*

nedropolzovanie [Mine surveying and subsurface resources management]. 2012. No. 2. pp. 41–50.
5. Pikhler M., Pankevich Y. B. 2000, *Napravleniya sovershenstvovaniya i rezultaty primeneniya kombainov Wirtgen Surface Miner na karyerakh i razrezakh mira* [Direction of upgrading and results of using Wirtgen Surface Miner combiners on pits and cut sections of the world]. *Gornaya promishlennost'* [Mining industry journal]. 2000. No. 3. pp. 42–45.
6. Chebotarev S. I. 2015, *Opyt raboty frezernogo kombaina na Koelginskom mestorozhdenii mramora* [Experience of milling combine operation on Koelgian marble deposit]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University]. 2015. No. 3. pp. 42–46.
7. Cheban A.Y., Khrunina N. R. 2015, *Tekhnika i tekhnologii razrabotki ugolnykh rezervov Priamurya i perspektivy ikh razvitiya* [Machinery and processes of developing coal strip mines of Outer Manchuria and perspectives and their development]. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine surveying and subsurface resources management]. 2015. No. 1. pp. 19–21.
8. Cheban A. Yu., Sekisov G. V., Khrunina N. P., Shemyakin S. A. Upgrading continuous and cyclic excavation and transportation during open-pit mining. *Eurasian mining*. 2014. No. 1. pp. 22–24.
9. Zhigulenkova A. I., Alekseeva S. N., Kekukh T. Y. 2000, Rynki, tseny i effektivnost' ispol'zovaniya sortovykh uglei [Markets, prices and efficiency of usage of sized coals]. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. 2000. Vol. 2. pp. 46–48.
10. Demchenko I. I. 2007, *Nauchnoye obosnovaniye i razrabotka kompleksa sredstv mekhanizatsii dlya obespecheniya kachestva ugleproduktsii* [Scientific justification and development of a complex of mechanization means for the quality assurance of coal products]. Author's abstract of doctor of technical sciences. Irkutsk: Siberian Federal University. 2007. 48 p.
11. Moskalenko T. V., Vorsina E. V. 2014, *Upravlenie otkhodami gornoi promyshlennosti kak element ustoychivogo razvitiya respubliki Sakha (Yakutiya)* [Waste management of mining industry as an element of sustainable development of Sakha republic (Yakutiya)]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. 2014. No. 10. pp. 98–102.
12. Shuvalov Yu. V., Tarasov Yu. D., Nikulin A. N. 2011, Obosnovanie ratsionalnykh tekhnologiy polucheniya toplivno-energeticheskogo syrya na osnove tverdykh goryuchikh uglesoderzhaschikh otkhodov [Justification of rational technologies of receiving fuel and energy raw materials based on combustible coal-containing wastes]. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. 2011. No. 8. pp. 243–247.
13. Moskalenko T. V., Mikheev V. A. Application of fractionation device for removal of high-ash admixtures from low-grade coals. *Journal of Mining Science*. 2004. Vol. 40. No. 2. pp. 216–220.
14. Ugay S. M., Golokhvast K. S., Pogotovkina N. S., Miheev E. M., Cheban A.Yu. Assessment of the impact of compressed gas vehicle on the environment. *Life Science Journal*. 2014. No. 11. pp. 515–517.

Антон Юрьевич Чебан,
chebanay@mail.ru
Наталья Петровна Хрунина,
npetx@mail.ru
Институт горного дела ДВО РАН
Россия, Хабаровск, ул. Тургенева, 51

Станислав Аркадьевич Шемякин,
Lesch@sdm.khstu.ru
Тихоокеанский государственный университет
Россия, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

Anton Yur'evich Cheban,
chebanay@mail.ru
Natalya Petrovna Khrunina,
npetx@mail.ru
Institute of Mining of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
Khabarovsk, Russia

Stanislav Arkad'evich Shemyakin,
Lesch@sdm.khstu.ru
Pacific National University
Khabarovsk, Russia

УДК 528.7 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-57-59

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК ПО ОДИНОЧНОМУ АЭРОСНИМКУ И РАСТРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Н. Ф. Добрынин, Т. М. Пимшина

Determining of position data based on single aerial view and bitmap model of relief

N. F. Dobrynin, T. M. Pimshina

One of the options of combined photogrammetric plotting of single shot and digital model of the aerial view object (DMBO) for solving spatial tasks was examined. Tasks of this type occur (or might occur) during updating of topographical maps, solving engineering and science-application tasks. The latter ones are monitoring of environment, studying of modern active volcanism, reconstruction based on shots of geological processes and list of other tasks. Principle of detecting spatial coordinates of the point based on single shot is quite simple: all you have to do is make equations of the projecting ray and surface close to its meeting with digital microprocessor-based oscilloscope. However realization of this principle becomes complicated by the fact that in order to determine the plane coordinates of meeting point you have to know its height above a specific horizontal plane (or level of Baltic Sea), in order to find the elevation of this point, it is impossible to do it without plane coordinates. Furthermore there is a certain difficulty of searching the DMBO area where the meeting point of projected ray is projected. Resolution of these conflicts is proposed by focused organization of DMBO that is named bit-mapped. The concept of spatial matrix that has three indexes was introduced. With its help it became possible to rigidly connect the coordinates and height points of DMBO with their position on the location and to the memory of computer. This allowed calculating the spatial coordinates of a plotted point by a method of stepwise approximation. Having given the height Z0, invariably higher than any DMBO point, plane coordinates of point in question are determined. After that the numbers of spatial matrix indexes are calculated, and then based on them the area of DMBO where this point is projected based on the coordinates. Now instead of Z0 Z is designated as an arithmetic mean out of a few heights of points that are located close to the one that is identified. And so it goes like this after the indexes of spatial matrix within the neighboring iterations. After that the task on identification of final coordinates of projecting ray contact with DMBO.

Keywords: single shot; digital model of the object (DMBO); equations of a plane and projecting ray; spatial matrix of DMBO.

Рассмотрен один из вариантов совместной фотограмметрической обработки одиночного снимка и цифровой модели объекта аэросъемки (ЦМО) для решения пространственных задач. Задачи подобного рода возникают (или могут возникнуть) при обновлении топографических карт, решении инженерных и научно-прикладных задач. К последним можно отнести мониторинг окружающей среды, изучение современного активного вулканизма, реконструкцию по снимкам геологических процессов и ряд других задач. Принцип определения пространственных координат точки по одиночному снимку довольно прост: достаточно составить уравнения проектирующего луча и поверхности в окрестности его встречи с ЦМО. Однако реализация этого принципа усложняется тем, что для определения плановых координат точки встречи необходимо знать ее высоту над некоторой горизонтальной плоскостью (или уровнем Балтийского моря), а чтобы найти отметку этой точки, то без плановых ее координат этого сделать невозможно. К тому же возникает определенная трудность поиска области ЦМО, куда проектируется точка встречи проектирующего луча. Разрешение этих противоречий предложено целенаправленной организацией ЦМО, названной растровой. Введено понятие пространственной матрицы, имеющей три индекса. С ее помощью удалось строго связать координаты и высоты точек ЦМО с их положением на местности и в памяти компьютера. Это позволило методом последовательных приближений вычислить пространственные координаты определяемой точки. Задавшись высотой Z_0, заведомо выше любой точки ЦМО, определяют плановые координаты искомой точки. Затем вычисляют номера индексов пространственной матрицы, а по ним область ЦМО, куда проектируется по координатам эта точка. Теперь вместо Z_0 назначается Z как среднее арифметическое из нескольких высот точек, расположенных вблизи определяемой. И так продолжается до тех пор, пока не повторятся в смежных итерациях индексы пространственной матрицы. После этого решается задача по определению окончательных координат встречи проектирующего луча с ЦМО.

Ключевые слова: одиночный снимок; цифровая модель объекта (ЦМО); уравнения плоскости и проектирующего луча; пространственная матрица ЦМО.

В практике фотограмметрических работ, связанных с использованием геометрических свойств одиночного снимка, возникают задачи (чаще всего в области инженерных и научно-прикладных направлений), когда необходимо определить пространственное положение объекта (X, Y, Z) по одному аэроснимку. Поскольку без дополнительных данных пространственные прямоугольные координаты точки невозможно получить по измеренным на снимке (x, y) плоским (даже если известны элементы внешнего ориентирования этого снимка), то в качестве вспомогательных величин предлагается использовать цифровую модель рельефа местности. Рассмотрим возможный вариант совместного использования модели рельефа и измеренных на аэроснимке плоских прямоугольных координат характерных точек объекта для определения их пространственного положения.

Суть решения задачи в общем виде показана на рис. 1, на котором снимок P с известными элементами внутреннего и внешнего ориентирования x_0, y_0, f, X_S, Y_S, Z_S, α, ω, χ изображает на снимке местность, т. е. точками a и b изображены точки A и B местности. Если измерить плоские прямоугольные координаты точек a и b, а используя угловые элементы α, ω, χ перейти к пространственным координатам этих точек (X', Y', Z'), то по формулам

$$\left.\begin{aligned} X &= X_S + \frac{X'}{Z'}\left(Z - Z_S\right); \\ Y &= Y_S + \frac{Y'}{Z'}\left(Z - Z_S\right) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

можно вычислить плоские координаты точек A и B при известных значениях их высот (Z_A и Z_B).

Анализируя формулы (1), можно заметить, что для вычисления высот точек A и B надо знать по ним плоские прямоугольные координаты (X, Y). Поэтому без использования цифровой модели объекта съемки (ЦМО) решение задачи по определению пространственного его положения не представляется возможным.

Проследим по рис. 1 процесс определения пространственных прямоугольных координат (X, Y, Z) точки A. Задавшись величиной Z_0 (заведомо больше максимальной отметки какой-либо точки на объекте, изображенном на снимке), по формулам (1) вычислим X, Y точки A_0, лежащей на виртуальном проектирующем луче Sa. Предположим, что удалось найти несколько точек в ЦМО (об алгоритме поиска речь пойдет далее) с плоскими координатами, близкими в заданных пределах аналогичным величинам точки A_0. Взяв среднее арифметическое из их высот Z_1, вновь обратимся к формулам (1), чтобы вычислить X, Y точки A_1. Продолжим вычислительный процесс до тех пор, пока на следующем шаге не получим предыдущий ответ, или, задавшись допустимым отклонением от него, найдем достаточно близкие координаты (X, Y, Z) для точки A. Окончательные значения координат этой точки найдем как пересечение проектирующего луча Sa с поверхностью ЦМО в ее окрестности.

В векторном виде уравнение виртуального проектирующего луча Sa [1]:

$$r = at,$$

которое в координатной форме и параметрическом виде применительно к обозначениям, используемым в фотограмметрии (для фотограмметрической системы координат), примет следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} X &= X_S + \Delta X t; \\ Y &= Y_S \Delta Y t; \\ Z &= Z_S \Delta Z t, \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

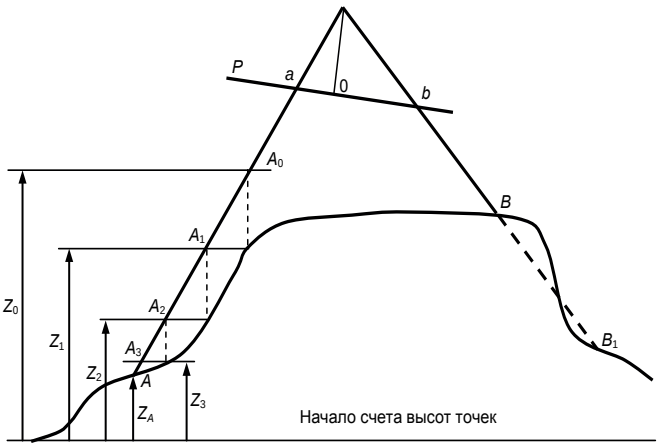


Рисунок 1. Графическая интерпретация взаимного положения снимка и цифровой модели местности.

где ΔX, ΔY, ΔZ – разности между одноименными координатами двух точек, по которым составляется уравнение проектирующего луча Sa; t – множитель, обеспечивающий положение определяемой точки на проектирующем луче.

В качестве точек, задающих направление проектирующего луча Sa, примем точку фотографирования S (X_S, Y_S, Z_S) и мнимую точку, координаты которой (X, Y, Z) вычислены из последней итерации предварительного определения координат реальной точки ЦМО (A).

Выбрав из ЦМО ближайшие к A точки (достаточно трех) для описания поверхности в ее окрестности, воспользуемся тремя уравнениями плоскости вида

$$Z = c_0 + c_1 X + c_2 Y, \tag{3}$$

из решения которых найдем коэффициенты c_0, c_1 и c_2, позволяющие решить систему уравнений (2) и (3) с четырьмя неизвестными (X, Y, Z, t).

Обращаясь к алгоритму предложенного ранее принципа определения пространственного положения объекта и не рассматривая здесь известных методов определения элементов внутреннего и внешнего ориентирования аэроснимков [2, 3], будем полагать, что эти величины известны и представлены в правой фотограмметрической пространственной системе координат и Балтийской системе высот. В это же координатное пространство переведена и цифровая модель объекта съемки. При этом воспользуемся системой угловой ориентировки снимков, предложенной проф. И. Т. Антиповым [4].

Осталось лишь рассмотреть технологию ее формирования и функционирования, обратив особое внимание на возможность обеспечения надежности, однозначности и минимизации сортировки информации при поиске области ЦМО в окрестности предполагаемой точки A (рис. 1: точки A_0, A_1, A_2, A_3, …, A).

Математическое обеспечение современных вычислительных средств позволяет выполнять операции с пространственными массивами – матрицами, имеющими более двух индексов [5]. Воспользуемся этой возможностью для размещения в памяти ЭВМ информации об объекте. А если в структуру матрицы вложить еще и геометрический смысл, поставив в соответствие определенным клеткам матрицы реальные части объекта, цифровая модель приобретает динамический характер, а поиск характерных точек обрабатываемого участка исключит всякий перебор информации.

Реализацию предложенной идеи формирования ЦМО рассмотрим в предположении, что на данном объекте модель создается впервые. Пусть поверхность в районе предстоящих работ отражена дискретно координатами и высотами характерных точек с известной (заданной) плотностью, обеспечивающей назначенную точность вычисления координат и высот определяемых точек по ЦМО. Выберем такой размер ΔL элементарного участка квадратной формы, чтобы в нем оказалось не более одной точки, допуская их отсутствие в некоторых квадратах и занося «лишние» (попадающие вторыми в элементарный участок) в резервный массив. Если ЦМО создается по снимкам прошлых лет, то размер квадрата можно вычислить по следующей формуле:

$$\Delta L = \frac{L_1 + L_2 + \sqrt{\left(L_1 + L_2\right)^2 + 4L_1L_2\left(n-1\right)}}{2\left(n-1\right)}, \tag{4}$$

полученной в предположении, что все n точек равномерно расположены на объекте размером $L_1 \times L_2$. При этом отдельные ячейки растра могут оказаться свободными от точек ЦМО (как показано на рис. 2, где символом «*» помечено их наличие), но это не имеет принципиального значения. Область поиска точек можно расширить.

Обозначим в пространственной матрице, например, ЦМО [k, m, n] управляемый ординатами точек индекс через i (рис. 2), а связанный с абсциссами через j. Тогда

$$\left.\begin{aligned} i &= a + 1; \\ j &= b + 1, \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

где a – целая часть результата от деления ординаты точки на ΔL; b – целая часть от аналогичного деления абсциссы этой точки.

Пределы изменения индексов зависят от размера объекта. Если L_1 и L_2 в формуле (4) – его размеры соответственно вдоль оси X и Y, то, приняв $a = L_1$, а $b = L_2$ и вычислив по формулам (5) индексы i и j, определим размер матрицы ЦМО [k, m, n], т. е. $k = i$, $m = j$. Значение константы n (третьего индекса матрицы) зависит от возможностей дальнейшего использования созданной ЦМО, названной авторами растровой. Например, при обновлении топографических карт и планов в этот смысловой вектор постоянной длины n можно заносить кроме координат точки закодированную цифрами семантическую информацию. Применительно же к нашему случаю величина n может принять значение три (для X, Y и Z), если «лишние» точки помещать в дополнительный массив, либо шесть, если предусмотреть возможность размещения двух точек в одной ячейке растра. В последнем случае потребуется в два раза больше свободной оперативной памяти компьютера, а полученное по формуле (4) значение ΔL следует увеличить в два раза.

В качестве иллюстрации покажем, как находятся ближайшие, например, к точке A_0 точки ЦМО. После определения плоских координат этой точки по формуле (1) вычисляют индексы i и j, указывающие на местоположение ее координат в пространственной матрице. Далее целенаправленной манипуляцией индексов вызывают на рабочее поле программы координаты окружающих A_0 точек. Пусть надо вызвать координаты одной из точек, если A_0 проектируется (по своим координатам) в заштрихованный на рис. 2 квадрат.

Тогда вызов координат из соседнего квадрата (расположенного, например, восточнее данного) можно осуществить так (используя абстрактный язык программирования):

$$X := \text{ЦМО}\left[i, j+1, \quad 1\right]; \quad Y := \text{ЦМО}\left[i, j+1, \quad 2\right]; \quad Z := \text{ЦМО}\left[i, j+1, \quad 3\right].$$

При выполнении аэросъемки горной местности на крутых склонах, направленных от центра снимка, могут появляться «мертвые» зоны (перспективные тени), что может привести к ошибочному определению координат следа виртуального проектирующего луча на поверхности ЦМО. Например (рис. 1), по плоским координатам точки B на снимке (x_B, y_B) вычислим координаты B_1 на поверхности ЦМО, если в качестве Z_0 примем величину, значение которой меньше высоты точки B_1, которой нет на снимке, но есть на поверхности ЦМО. По этой причине поиск точки встречи любого проектирующего луча с ЦМО предлагается начинать, назначив Z_0 больше максимальной отметки любой точки растровой модели местности. Заметим, что в работе [6] автор ограничился лишь рассмотрением уклонов местности, не превышающих 45°.

Если ЦМО создается по карте в виде регулярной модели на квадратной сетке, то для перевода ее в растровую достаточно задать координаты исходной модели юго-западного угла и размер сетки. Этих данных вполне достаточно для решения данной задачи. Метод триангуляции Делоне также легко преобразуется в растровую модель [7].

При построении ЦМО по снимкам, полученным цифровыми широкоформатными съемочными камерами [8], появится возможность создавать плотные модели рельефа, что должно повысить точность и надежность окончательных результатов по определению координат точек рассмотренным методом. Приведенные в различных литературных источниках данные по исследованию фотограмметрической обработки таких снимков свидетельствуют об этом [9, 10].

Возвращаясь к алгоритму определения пространственного положения объекта по одиночному снимку и ЦМО, отметим, что введение дополнительного неизвестного t позволило существенно упростить процесс отыскания неизвестных. Действительно, подставив в уравнение

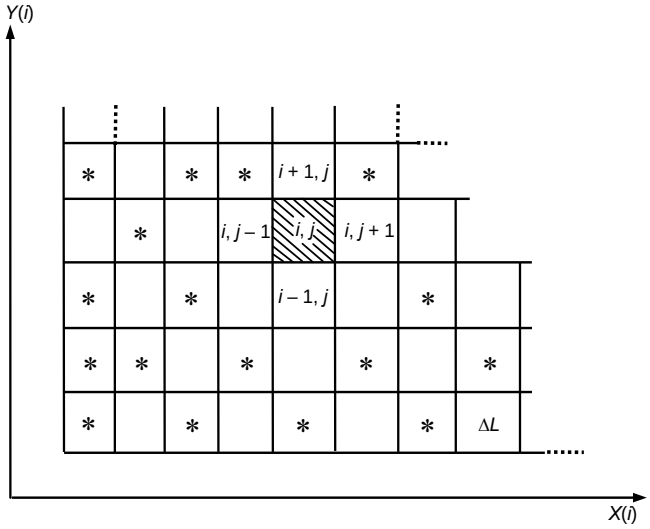


Рисунок 2. Принцип функционированиярастровой ЦМО.

плоскости (3) координаты X, Y, Z из выражений (2) после того как будут определены коэффициенты c_0, c_1, c_2, получим уравнение с одним неизвестным t, из решения которого найдем масштабный множитель, т. е.

$$t = \frac{Z_S - c_0 - c_1 X_S - c_2 Y_S}{c_1 \Delta X + c_2 \Delta Y - \Delta Z}. \quad (6)$$

Координаты точки A (X, Y, Z) вычислим по формулам (2). При этом необходимо произвести контрольные вычисления, суть которых состоит в следующем.

Сначала по формулам (5) следует вычислить индексы (i, j) для определения возможного местоположения координат точки A в пространственной матрице ЦМО [i, j, n]. Затем целенаправленной манипуляцией индексов находятся три ближайшие к A точки ЦМО, чтобы по ним вновь определить коэффициенты уравнения плоскости (3) и по формуле (6) вычислить t, полагая

$$\Delta X = X - X_S, \quad \Delta Y = Y - Y_S, \quad \Delta Z = Z - Z_S.$$

С новыми данными вновь вычисляют координаты точки A по тем же формулам (2).

Контрольные вычисления продолжают до тех пор, пока не стабилизируются значения индексов i и j, или координаты точки A в повторных вычислениях не окажутся в пределах установленных заранее допусков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выгодский М. А. Справочник по высшей математике. М.: Наука, 1973. 873 с.
2. Бабашкин Н. М., Нехин С. С. Топографическая аэросъемка. Современное состояние и перспективы развития // Геодезия и картография. 2015. № 7. С. 36–41.
3. Соколова К. А., Резник Ю. Н. Определение элементов внешнего ориентирования одиночного аэроснимка // Избр. докл. 60-й университет. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых. Томск: ТГАСУ, 2015. С. 465–468.
4. Антипов И. Т. Об использовании систем угловой ориентировки снимков // ГЕО-Сибирь-2006: сб. материалов Междунар. науч. конгресса (Новосибирск, 24–28 апр. 2006 г.). Новосибирск: СГГА, 2006. Т. 3. Ч. 1. С. 52–58.
5. Аккерман Ф. Рост производительности компьютеров и развитие фотограмметрии // Геоматика. 2011. № 1 (10). С. 23–31.
6. Андронов В. Г. Орбитальный метод планово-высотной координатной привязки одиночных космических изображений. // Сб. статей по итогам Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 230-летию основания МИИГАиК. 2009. Вып. 2. Ч. II. С. 211–215.
7. Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А., Обиралов А. И. Совершенствование технологических процессов создания цифровых моделей местности по материалам аэрофотосъемки. М.: ГУЗ, 2006. 80 с.
8. Ковров А. А. Новые технологии компании Microsoft Vexcel по сбору и обработке данных аэросъемки // Геопрофи. 2012. № 2. С. 12–14.
9. Wang Cheng-long. Aerotriangulation accuracy analysis of GPS-assisted aerial photogrammetry based on SWDC // Chinese academy of Surveying and Mapping. 2011. Vol. 36, № 2. P. 101–103.
10. Geng Xun, Yang Tina-ke, Miao Tian. Research on datum transformation for the aerial photogrammetry of airborne three-line CCD skanner // Chinese academy of Surveying and Mapping. 2010. Vol. 35, № 4. P. 65–67.

REFERENCES

1. Vygodskiy M. A. 1973, *Spravochnik po vysshey matematike* [Guidebook on higher mathematics]. Moscow, 873 p.
2. Babashkin N. M., Nekhin S. S. 2015, *Topograficheskaya aeros'emka. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Topographical aerial imagery. Modern condition and development prospects]. Geodeziya i kartographiya [Geodesy and cartography], pp. 36–41.
3. Sokolova K. A., Reznik Y. N. 2015, *Opredelenie elementov vneshnego orientirovaniya odinochnogo aerosnimka* [Identification of elements of absolute orientation of a single aerial image]. *Sb. izbr. dokladov 60 universitetskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Collection of chosen reports of 60th University Scientific-Technical Conference of students and young scientists of Tomsk State Architectural-Construction University], pp. 465–468.
4. Antipov I. T. 2006, *Ob ispol'zovanii uglovoy orientirovki snimkov* [On the usage of angled oriented shots]. *GEO-Sibir-2006: Sb. materialov Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa* [GEO-Siberia-2006: Collection of materials of International Scientific Congress]. Novosibirsk, 24–28 of April 2006. Vol. 3.
Monitoring okruzhayushey sredy, geoekologiya, distantsionnye metody zondirovaniya zemli i fotogrammetriya [Monitoring of environment, geoecology, remote sensing methods of earth sounding and photo charting]. Part 1. Novosibirsk: Siberian State University of Geosystems and Technologies, 2006. pp. 52–58.
5. Akkerman F. 2011, *Rost proizvoditel'nosti komp'uterov i razvitie fotogrammetrii* [Performance gain of computers and development of photo charting]. *Geomatika* [Geomatics]. No. 1 (10). pp. 23–31.
Andronov V. G. 2009, Orbital'nyi metod planovo-vysotnoy koordinatnoy privyazki 6. odinochnykh kosmicheskikh izobrazheniy [Orbital method of plan-vertical positioning of single space images]. Sb. statei po itogam Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashennoy 230-letiyu osnovaniya Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta geodezii i kartografii [Collection of articles according to the results of International Scientific-technical conference, dedicated celebrating 230 years since Moscow State University of Geodesy and Cartography was founded]. Issue 2. Part II. Moscow, pp. 211–215.
7. Limonov A. N., Gavrilova L. A., Obiralov A. I. 2006, *Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov sozdaniya tsifrovykh modeley mestnosti po materialam aerofotos'emki* [Technological advancement of creating digital terrain models based on materials of aerial imagery]. Moscow, State University of Land Use Planning. 80 p.
8. Kovrov A. A. 2012, *Novye tekhnologii kompanii Microsoft Vexcel po sboru I obrabotke dannykh aeros'emki* [New technologies of company Microsoft Vexcel on collection and processing of aerial photography data]. *Geoprofi* [Geoprofi.ru]. No. 2. pp. 12–14.
9. Wang Cheng-long. Aerotriangulation accuracy analysis of GPS-assisted aerial photogrammetry based on SWDC. Cehui kexue = Sci. Surv. and Mapping, 2011. 36. no. 2. pp. 101–103.
10. Geng Xun, Yang Tina-ke, Miao Tian. Research on datum transformation for the aerial photogrammetry of airborne three-line CCD skanner. Cehui kexue = Sci. Surv. and Mapping, 2010. 35. № 4. pp. 65–67.

Николай Федорович Добрынин,
ips@rgups.ru
Татьяна Михайловна Пимшина,
pimshina.tat@jandex.ru
Ростовский государственный университет путей сообщения
Россия, Ростов-на-Дону, пл. им. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2

Nikolai Fedorovich Dobrynin,
ips@rgups.ru
Tatyana Mikhaylovna Pimshina,
pimshina.tat@jandex.ru
Rostov State Transport University

Rostov-on-Don, Russia

УДК 621.86.078 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-60-62

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ СОСУДОВ КОМПЛЕКСОВ ШАХТНОГО ПОДЪЕМА

С. А. Тимухин, А. М. Плотников, Д. С. Дмитриев

On the question of substantiating the movement speeds of conveyances of hoisting complexes

S. A. Timukhin, A. M. Plotnikov, D. S. Dmitriev

The article mentions that the main dynamical equation of mining hoisting units cannot be the basis for energy analysis of unit operations. That is why the purpose of the article is the attempt to fill this gap. Strategy to evaluate the energy efficiency of mining hoisting units operation is described based on the classical mechanics. Dependencies of energy expenditure in the function of average movement speed of conveyances for the time of the hoisting cycle were received. Evaluation of the hosting unit blank run energetics was given. It was shown that in this operating mode no work in the hoisting system is done, however energy consumption for the retaining of the cargo takes place. In the operating mode of the hoisting unit the main power consumption is accounted for the potential component of the full energy of hoisting system, kinetic component of full energy of the system at that is inconsiderable. Analysis of received results shows low energetic efficiency of hoisting units operation during low speeds of conveyances, especially up to 5–6 m/s. The dependencies of energy consumption in the velocity function that are provided in the article are confirmed by experiments that were carried out on industrial hoisting units. Rational speed values of conveyances movement that provide minimal energy consumption during maximum possible movement speed of conveyances in bores are recommended during the operation.

Keywords: hoisting units; energy dependences; movement speed; energy consumptions.

В статье отмечено, что основное уравнение динамики шахтных подъемных установок не может являться основой для энергетического анализа работы установок. Поэтому целью статьи является попытка восполнить этот пробел. На базе классической механики изложен подход к оценке энергетической эффективности работы шахтных подъемных установок. Получены зависимости расхода энергии в функции средней скорости движения подъемных сосудов за время подъемного цикла. Дана оценка энергетики режима холостого хода подъемной установки. Показано что в этом режиме работы в подъемной системе не совершается, однако расход энергии на удержание груза имеет место. В рабочем режиме подъемной установки основной расход электроэнергии приходится на потенциальную составляющую полной энергии подъемной системы, кинетическая составляющая полной энергии системы при этом незначительна. Анализ полученных результатов показывает низкую энергетическую эффективность работы подъемных установок при малых скоростях движения сосудов, особенно до 5–6 м/с. Приведенные в статье зависимости расхода энергии в функции скорости подтверждены экспериментами, проведенными на промышленных подъемных установках.
В работе рекомендуются рациональные значения скоростей движения подъемных сосудов, обеспечивающих минимальные энергетические затраты при максимально возможной скорости движения подъемных сосудов в стволах.

Ключевые слова: подъемные установки, энергетические зависимости, скорости движения, энергетические затраты.

Введение

Развитие горнодобывающей отрасли промышленности страны на современном этапе обусловило строительство крупных шахт и рудников, разрабатывающих глубокозалегающие угольные пласты и рудные массивы. В этих условиях особенно возрастает роль подъемных комплексов горных предприятий, величина полезного груза которых достигает 50 т при высоте подъема 1200–1600 м и мощности привода подъемных установок до 5000 кВт и более.

Такие параметры характерны, например, для подъемных комплексов крупных горнодобывающих предприятий России: Норильского ГМК, Гайского ГОКа, ОАО «Севуралбокситруда» и др. Энергоемкость подъемных установок (ПУ) этих предприятий составляет значительную долю в общем энергетическом балансе предприятия, что вызывает необходимость обоснования и обеспечения энергосберегающих режимов работы машин. Однако лежащее в основе теории подъемных установок известное уравнение динамики подъема в дифференциальной форме М. М. Федорова и его производные для различных систем подъема [1–7] позволяют осуществлять главным образом силовой анализ, поэтому они малопригодны для энергетического анализа режимов работы установок. Статья представляет собой попытку восполнить этот пробел.

Анализ энергетики подъема

С учетом основных принципов классической механики запишем в общем виде уравнение энергетического баланса подъемной установки

$$E_{полн} = E_{пот} + E_{кин} + E_{сопр}, \quad (1)$$

где $E_{полн}$, $E_{пот}$, $E_{кин}$ – полная, потенциальная и кинетическая энергия подъемной системы; $E_{сопр}$ – энергия, затрачиваемая на преодоление сопротивлений в подъемной системе.

С учетом того что сопротивления движению в шахтном подъеме относят к статическим сопротивлениям и поскольку их величина пропорциональна нормальному давлению, создаваемому силами тяжести, исходя из секундной производительности ПУ имеем:

$$A_с = A_ч/3600,$$

где $A_ч$ – часовая производительность подъема; запишем уравнение (1) для уравновешенной системы подъема в следующем виде:

$$E_{полн} = A_с g H_п + 0{,}5 A_с v_{ср}^2 + k' A_с g H_п,$$

где $H_п$ – высота подъема; $v_{ср}$ – средняя скорость движения подъемного сосуда в течение подъемного цикла; k' – коэффициент вредных сопротивлений;

$$E_{полн} = A_с (K g H_п + 0{,}5\, v_{ср}^2), \quad (2)$$

где K – грузовой коэффициент ПУ, $K = 1 + k'$.

Анализ уравнения (2) показывает, что оно представляет зависимость энергии, т. е. способности подъемной системы совершать работу в функции средней скорости подъема.

Выполним исследование этой зависимости в диапазоне $v_{ср}$ = 0–30 м/с для следующих вариантов подъемных установок:

1. $A_ч$ = 400 т/ч; $H_п$ = 600 м; k = 1,1;
2. $A_ч$ = 600 т/ч; $H_п$ = 800 м; k = 1,1;
3. $A_ч$ = 800 т/ч; $H_п$ = 1000 м; k = 1,1.

Результаты этого исследования приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. К анализу уравнения (2).

$v_{ср}$, м/с	$E_{кин}$, кВт			$E_{полн}$, кВт		
	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант
0	0,00	0,00	0,00	718,67	1437,33	2395,56
2	0,22	0,33	0,44	718,89	1437,67	2396,00
4	0,89	1,33	1,78	719,56	1438,67	2397,33
6	2,00	3,00	4,00	720,67	1440,33	2399,56
8	3,56	5,33	7,11	722,22	1442,67	2402,67
10	5,56	8,33	11,11	724,22	1445,67	2406,67
12	8,00	12,00	16,00	726,67	1449,33	2411,56
14	19,89	16,33	21,78	729,56	1453,67	2417,33
16	14,22	21,33	28,44	732,89	1458,67	2424,00
18	18,00	27,00	36,00	736,67	1464,33	2431,56
20	22,22	33,33	44,44	740,89	1470,67	2440,00
22	26,89	40,33	53,78	745,56	1477,67	2449,33
24	32,00	48,00	64,00	750,67	1485,33	2459,56
26	37,56	56,33	75,11	756,22	1493,67	2470,67
28	43,56	65,33	87,11	762,22	1502,67	2482,67
30	50,00	75,00	100,00	768,67	1512,33	2495,56

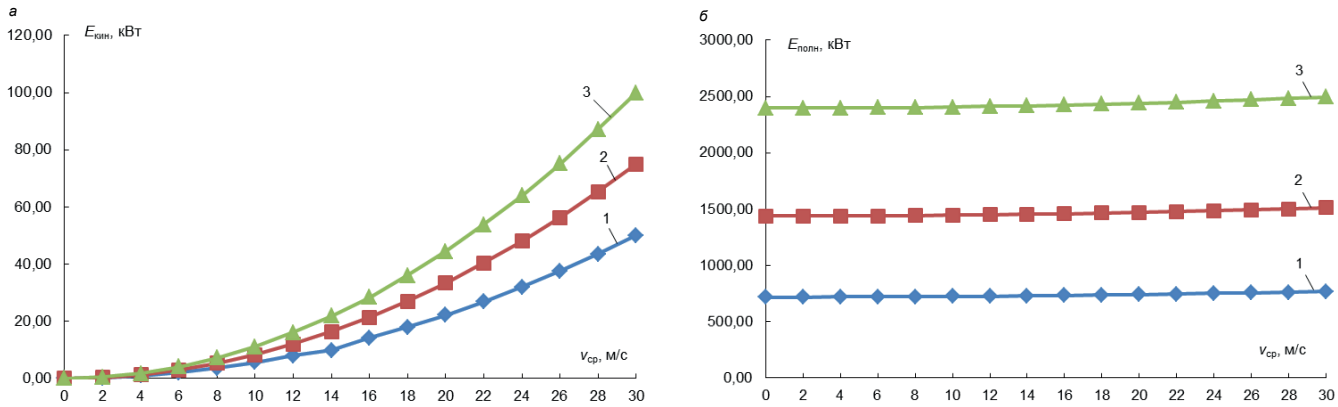


Рисунок 1. К анализу уравнения (2). *а* – зависимость кинетической энергии; *б* – зависимость полной энергии.

Как следует из табл. 1 и рис. 1, зависимости полной энергии подъемной системы в функции $v_{ср}$ представляют собой параболы с параметром $0{,}5\,A_c v_{ср}^2$, отсекающие на оси ординат величину потенциальной энергии системы $kA_c gH_п$. Следовательно, в режиме холостого хода ПУ полная энергия системы будет равна ее потенциальной составляющей, т. е.

$$E_{полн}^{х.х} = E_{пот}^{х.х} = QgH_{х.х}, \quad (3)$$

где Q – масса полезного груза; $H_{х.х}$ – положение удерживаемого груза относительно горизонта загрузки.

Полный расход энергии $W_{полн}$ за время движения $t_{дв}$ подъемного сосуда в течение подъемного цикла

$$W_{полн} = W_{пот} + W_{кин} = t_{дв}A_c\,(kgH_п + 0{,}5\,v_{ср}^2), \quad (4)$$

где $W_{пот}$, $W_{кин}$ – расход потенциальной и кинетической энергии.

Заменив в этом уравнении $t_{дв} = H_п/v_{ср}$, приведем его к виду

$$W_{полн} = (kA_c g\,H_п^2)/v_{ср} + 0{,}5\,A_c H_п v_{ср}. \quad (5)$$

Продифференцировав данное уравнение по $v_{ср}$ и приравняв полученное выражение к нулю, получим формулу для определения оптимальной по критерию энергозатрат величины средней скорости подъемных сосудов

$$v_{ср}^{опт} = \sqrt{2kgH_п}.$$

Однако значения $v_{ср}^{опт}$, найденные по этой формуле, могут представлять интерес только с теоретической точки зрения, поскольку экстремум функции $W_{полн} = f(v_{ср})$ лежит в области нереально высоких для ПУ значений скоростей движения подъемных сосудов. Поэтому выполним анализ уравнения (4) для рассмотренных ранее вариантов подъемных установок.

Результаты данного анализа приведены в табл. 2 и на рис. 2, откуда следует, что затраты энергии на ПУ в значительной степени определяются скоростями движения подъемных сосудов.

Анализ полученных зависимостей $W_{полн} = f(v_{ср})$ свидетельствует о низкой энергетической эффективности малых скоростей движения подъемных сосудов, особенно в диапазоне до 5–6 м/с [8, 9].

Кроме того, он показывает также значительное снижение расхода энергии за время подъемного цикла при увеличении этих скоростей, особенно в диапазоне до 12–15 м/с. При дальнейшем увеличении скоростей до 20–25 м/с снижение энергозатрат также продолжится, хотя и менее интенсивно. Как следует из табл. 2, расход электроэнергии за подъемный цикл сократится примерно в 15 раз при увеличении скорости подъема с 2 до 30 м/с за счет сокращения времени движения $t_{дв}$ подъемных сосудов примерно во столько же раз.

Экспериментальное подтверждение этих данных дано в работе [10], где приведены результаты эксперимента по подъему груза массой 23 500 кг на высоту $H_п$ =1150 м с разными скоростями. Как следует из этих результатов, увеличение скорости движения подъемных сосудов с 8 до 9 м/с привело к снижению расхода электроэнергии за время подъемного цикла с 230 кВт · ч до 175 кВт · ч, т. е. на 24 %.

В ходе другого эксперимента, проведенного на наклонном стволе шахты «Черемуховская» ОАО «Севуралбокситруда», Q = 9590 кг, $H_п$ = 345 м, $\alpha_п$ = 28,5°, $L_п$ = 723 м, где $\alpha_п$ – угол наклона рельсового пути; $L_п$ – длина откатки.

Было установлено, что увеличение скорости подъема с 1 до 3 м/с привело к снижению расхода электроэнергии за время подъемного цикла с 27,26 до 20,16 кВт · ч, т. е. на 26 %.

Заключение

Следовательно, при выборе энергосберегающих режимов работы ПУ следует ориентироваться на максимально допустимые с точки зрения возможностей технической реализации скорости движения подъемных

Таблица 2. К анализу уравнения (4).

$v_{ср}$, м/с	$t_{дв}$, с			$W_{пот}$, кВт · ч			$W_{полн}$, кВт · ч		
	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант
0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2	300	400	500	59,89	159,70	332,72	59,91	159,74	332,78
4	150	200	25	29,94	79,85	166,36	29,98	79,93	166,48
6	100	1233	167	19,96	53,23	110,91	20,02	53,35	111,09
8	75	100	125	14,97	39,93	83,18	15,05	40,07	83,43
10	60	80	100	11,98	31,94	66,54	12,07	32,13	66,85
12	50	67	83	9,98	26,62	55,45	10,09	26,84	55,82
14	43	57	71	8,56	22,81	47,53	8,69	23,07	47,96
16	38	50	63	7,49	19,96	41,59	7,63	20,26	42,08
18	33	44	56	6,65	17,74	36,97	6,82	18,08	37,52
20	30	40	50	5,99	15,97	33,27	6,17	16,34	33,89
22	27	36	45	5,44	14,52	30,25	5,65	14,93	30,93
24	25	33	42	4,99	13,31	27,79	5,21	13,75	28,47
26	23	31	38	4,61	12,28	25,59	4,85	12,77	26,40
28	21	29	36	4,28	11,41	23,77	4,54	11,93	24,63
30	20	27	33	3,99	10,65	22,18	4,27	11,20	23,11

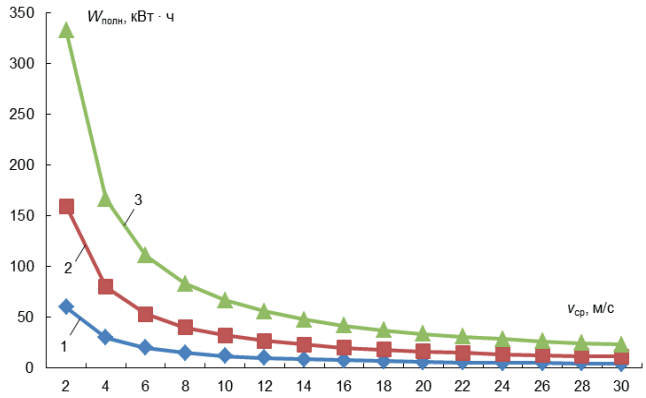


Рисунок 2. К анализу уравнения (4).

сосудов [11, 12]. Такой подход обеспечивает как высокую производительность ПУ по горной массе, так и минимально возможные энергетические затраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Li Z. G., Wang Z. X., Chen J. H., Zhong Y. N. Dynamic simulative study of hoisting system of mine // Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 215. P. 982–985.
2. Степанов А. Г., Ольховиков Ю. П., Трифанов Г. Д. Экспериментальные исследования динамики скипового подъема // Изв. вузов. Горный журнал. 1982. № 3. С. 82–84.
3. Белобров В. И., Дзензерский В. А., Самуся В. И. и др. Динамика шахтных подъемных установок. Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. ун-та, 2000. 384 с.
4. Зверев В. Ю., Трифанов Г. Д., Стрелков М. А. Анализ динамических нагрузок, действующих на канаты шахтных подъемных установок // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования. 2015. Т. 1. С. 26–32.
5. Трифанов Г. Д., Стрелков М. А., Зверев В. Ю. Способы минимизации динамических нагрузок в канатах шахтных подъемных установок // Горный журнал. 2015. № 8. С. 92–95.
6. Zhao Y. F ., Sha L., Zhu Y. Dynamic simulation analysis of the crane hoisting process based on adams // Advanced Materials Research. 2014. Vol. 940. P. 132–135.
7. Плотников А. М. Применение многоканатных подъемных установок в наземном исполнении на примере ОАО «Гайский ГОК» // Изв. УГГУ. 2011. Вып. 25/26. С. 113–119.
8. Трифанов М. Г., Барашков Д. В. Ограничитель скорости ОС-5 // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 11. С. 18–21.
9. Малиновский А. К. К вопросу повышения надежности, безопасности и эффективности шахтных подъемных машин // ГИАБ. 2015. № 5. С. 313–316.
10. Дмитриев В. Т., Попов Ю. В., Дмитриев Д. С. Обоснование скорости движения сосуда шахтной подъемной установки // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 2. С. 41–43.
11. Oskouei M. A., Awuah-Offei K. Statistical methods for evaluating the effect of operators on energy efficiency of mining machines // Mining Technology. 2014. Vol. 123, №. 4. P. 175–182.
12. Belytshcko T., Hsien B. Non-linear transient finite element analysis with convected coordinates // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 1973. Vol. 7. P. 255–271.

REFERENCES

1. Li Z. G., Wang Z. X., Chen J. H., Zhong Y. N. 2012, Dynamic Simulative Study of Hoisting System of Mine. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 215, pp. 982–985.
2. Stepanov A. G., Ol'khovikov Y. P., Trifanov G. D. 1982, *Eksperemintal'nye issledovaniya dinamiki skipovogo pod'ema* [Experimental research of skip hoisting dynamics]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal [News of the Higher Institutions. Mining Journal]. No. 3, pp. 82–84.
3. Belobrov V. I., Dzenzerskiy V. A., Samusya V. I., Ilyin S. R. 2000, *Dinamika shakhtnykh pod'emnykh ustanovok* [Dynamics of mining hoisting units]. Dnepotrovsk: Dnepropetrovskiy University, 2000, 384 p.
4. Zverev V. Y., Trifanov G. D., Strelkov M. A. 2015, *Analiz dinamicheskikh nagruzok, deystvuyuschikh na kanaty shakhtnykh pod'emnykh ustanovok* [Analysis of dynamic loads, that are acting on the ropes of mining hoisting equipment]. *Aktualnye problemy povysheniya effektivnosti i bezopasnosti ekspluatatsii gornoshakhtnogo i nefteprom yslovogo oborudovaniya: materialy conferentsii* [Actual problems of increasing the efficiency and safety of mining and oilfield equipment: materials of the conference]. Vol. 1, pp. 26–32.
5. Trifanov G. D., Strelkov M. A., Zverev V. Y. 2015, *Sposoby minimizatsii dinamicheskikh nagruzok v kanatakh pod'emnykh ustanovok* [Minimization methods of dynamic loads in ropes of mining hoisting units]. Gornyi zhurnal [Mining journal]. No. 8. pp. 92–95.
6. Zhao Y. F., Sha L., Zhu Y. 2014, Dynamic Simulation Analysis of the Crane Hoisting Process Based on Adams. *Advanced Materials Research*. Vol. 940, pp. 132–135.
7. Plotnikov A. M. 2011, *Primeneniye mnogokanatnykh pod'emnykh ustanovok v nazemnom ispolnenii na primere OAO "Gaiskiy GOK"* [Application of multi-rope hoisting units in above ground execution on the example of JSC "Gaiskiy mining and processing combined works"] *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University]. Issue 25–26. 2011. pp. 113–119.
8. Trifanov M. G., Barashkov D. V. 2012, *Ogranichitel' skorosti OS-5. Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika* [Mining equipment and electromechanics]. No. 11. pp. 18–21.
9. Malinovskiy A. K. 2015, K voprosu povysheniya nadezhnosti, bezopasnosti i effektivnosti shakhtnykh pod'emnykh mashin [On the question of increasing the reliability, safety and efficiency of mining hoisting machinery]. Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten' [Mining informational and analytical bulletin]. No. 5, pp. 313–316.
10. Dmitriev V. T., Popov Y. V., Dmitriev D. S. 2012, *Obosnovanie skorosti dvizheniya sosuda shakhtnoi pod'emnoy ustanovki* [Substantiation of movement speed of the mining lifting unit vessel]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal]. No. 2, pp. 41–43.
11. Oskouei M. A., Awuah-Offei K. 2014, Statistical methods for evaluating the effect of operators on energy efficiency of mining machines. *Mining Technology*. Vol. 123(4). pp. 175–182.
12. Belytshcko T., Hsien B. 1973, Non-linear transient finite element analysis with convected coordinates. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. Vol. 7. pp. 255–271.

Сергей Андреевич Тимухин,
Александр Михайлович Плотников,
Дмитрий Сергеевич Дмитриев,
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Sergey Andreevich Timukhin,
Aleksandr Mikhaylovich Plotnikov,
Dmitriy Sergeevich Dmitriev
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 53.083(430.1) DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-63-67

ПОИСК ПРЕДПОСЫЛОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЕДИНОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ

П. Б. Герике

Searching for prerequisites in order to create a uniform diagnostic criterion to evaluate the maximum technical state of mountain machinery

P. B. Gericke

The present work is based on the results of the analysis of existing results on creation of unified diagnostic criterions that are fit for execution of evaluation of technical condition of energy mechanical equipment of mining machinery and development of mathematic degradation models of measuring the condition of complex mechanical systems. The carried out analysis of diagnostic characteristics that were received during operation of energy-mechanical equipment of mining excavators and diesel-hydraulic drilling installations allowed to group together defects of this type of mining machinery based on 7 main groups which correspond with more than one hundred of diagnostic indicators on vibration parameters. These characteristics were classified and formalized for convenience of use during development of algorithm code of automatized control of complex systems based on parameters of generated mechanical oscillations. As part of execution of this investigation necessity of use of complex diagnostic approach for evaluation of technical condition of mechanisms based on parameters of generated vibration was justified. It was shown that only with the widespread use of modern methods of vibration diagnostics and non-destructive control there is an opportunity for modern flaw detection of mining machinery and development of forecast models and change of their technical condition. Results of conducted investigations peremptorily prove the possibility in principle to create a group of proper unified diagnostic criterions which can be used for execution of short-term forecasting of diagnostic parameters. The developed complex of diagnostic regulations of fault detection based on results of mechanical oscillation parameters and created unified diagnostic criterions of evaluation of condition might serve as the platform for realization of machinery servicing that are based on the analysis of mechanical oscillation parameters, that are developed based on the number of main groups of defects of diagnosed equipment.

Keywords: vibration monitoring; unified diagnostic criterion; forecasted modelling; mining excavators; diesel-hydraulic drilling installations.

Настоящая работа построена на результатах анализа существующих наработок по созданию единых диагностических критериев, пригодных для выполнения оценки технического состояния энергомеханического оборудования горных машин и разработки математических деградационных моделей изменения состояния сложных механических систем. Проведенный анализ диагностических характеристик, полученных при работе энергомеханического оборудования карьерных экскаваторов и дизель-гидравлических буровых установок, позволил сгруппировать дефекты данного типа горных машин по семи основным группам, которым в совокупности соответствуют более ста диагностических признаков по параметрам вибрации. Данные признаки были классифицированы и формализованы для удобства использования при разработке кода алгоритма автоматизированного контроля сложных систем по параметрам генерируемых механических колебаний. В рамках выполнения настоящего исследования обоснована необходимость применения комплексного диагностического подхода для оценки технического состояния механизмов по параметрам генерируемой ими вибрации. Показано, что только с широким использованием современных методов вибрационной диагностики и неразрушающего контроля представляется возможность для своевременного выявления дефектов оборудования горных машин и разработки прогнозных моделей изменения их технического состояния. Результаты проведенных исследований, бесспорно, доказывают принципиальную возможность создания группы адекватных единых диагностических критериев, которые могут быть использованы для выполнения краткосрочного прогнозирования диагностических параметров. Платформой для реализации элементов концепции системы обслуживания техники по ее фактическому техническому состоянию могут послужить разработанный комплекс диагностических правил выявления дефектов по результатам анализа параметров механических колебаний и создаваемые единые диагностические критерии оценки состояния, основанные на анализе параметров механических колебаний, разрабатываемые по количеству основных групп неисправностей диагностируемого оборудования.

Ключевые слова: вибродиагностика; единый диагностический критерий; прогнозное моделирование; карьерные экскаваторы; дизель-гидравлические буровые установки.

Применяемая на сегодняшний день в рамках экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ) система оценки технического состояния горных машин по параметрам механических колебаний [1, 2] является несовершенной и не позволяет быстро и эффективно выявлять дефекты оборудования с оценкой степени их вклада в общий уровень исследуемого сигнала.

Разработка единого диагностического критерия (ЕДК), пригодного для выполнения оценки фактического технического состояния самых разных объектов диагностирования по результатам анализа параметров генерируемой при их работе вибрации, является весьма актуальной и не решенной на сегодняшний день научной задачей. Представляется очевидным, что из-за существующих ограничений в области применения методов контроля по параметрам механических колебаний выборка диагностических характеристик и параметров, необходимая для создания ЕДК для каждого из элементов конструкции сложной механической системы, будет в своем роде уникальна. Именно такой, распределенный подход к оценке и подбору характеристик, точно подходящих для описания предельного состояния объектов, является отличительной особенностью проводимого исследования, в то время как другие авторы [3, 4] рассматривают в качестве информативного критерия оценки в основном только лишь один диагностический параметр – среднеквадратическое значение виброускорения или виброскорости в диапазоне 10…1000 Гц.

Объектом данного исследования является выборка из тридцати единиц одноковшовых электрических карьерных экскаваторов (модели ЭКГ-5А; ЭКГ-8И; ЭКГ-10; ЭКГ-12,5 и др.) и 10 единиц дизель-гидравлических установок серии DML-LP, наблюдение за которой осуществлялось в течение пяти лет. Все данное оборудование эксплуатируется на угольных разрезах Кузбасса и подлежит прохождению обязательной процедуры экспертизы промышленной безопасности как выработавшее свой нормативный срок.

Основным методом неразрушающего контроля, наилучшим образом подходящим для решения стоящих перед настоящим исследованием задач, является контроль по параметрам вибрации – единственный метод НК, который с высокой степенью достоверности позволяет выявлять абсолютное большинство дефектов диагностируемого энергомеханического оборудования вне зависимости от степени их развития. В рамках настоящего исследования обосновывается эффективность применения комплексного диагностического подхода, включающего в себя такие методы практического виброанализа, как прямой спектральный анализ, эксцесс, анализ огибающей и некоторые другие. Конкретное сочетание методов в данном случае определяется типом объекта исследования и режимами его работы, а также необходимой степенью детализации проводимого исследования.

В контексте настоящего исследования наибольший интерес представляют прогнозные модели, описывающие процесс деградации технического состояния оборудования карьерных экскаваторов как наиболее сложных технических устройств, эксплуатируемых на открытых горных работах [5]. Существующие на сегодняшний день математические прогнозные модели, описывающие процессы деградации технического состояния энергомеханического оборудования горных машин (развитие таких дефектов, как дисбалансы ротора; нарушение соосности, перекосы и искривления валов агрегатов; дефекты подшипников качения; нару-

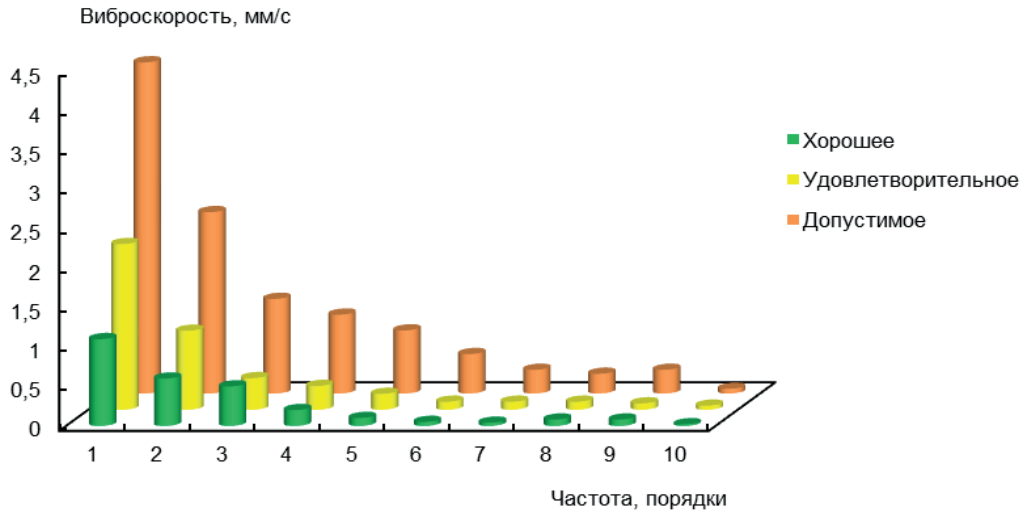


Рисунок 1. Пример нормирования состава полигармонической волны, генерируемой при работе преобразовательного агрегата электрического одноковшового экскаватора типа ЭКГ-10.

шение жесткости системы и(или) структурный резонанс; повреждения зубчатых передач; соединительных муфт и т. д.) и позволяющие выполнять средне- и долгосрочное прогнозирование изменения характеристик технического состояния сложных механических систем по результатам анализа параметров генерируемой при их работе вибрации, являются несовершенными. Большинство существующих моделей такого типа ориентировано на прогнозирование деградационных процессов только лишь единичных элементов энергомеханического оборудования горных машин (например, объектом может служить подшипник редуктора вращателя буровой установки или подшипник сетевого двигателя экскаватора типа ЭКГ). Таким образом, область их применения крайне мала, а апробация результатов моделирования не всегда достаточна.

Универсальной деградационной модели, ориентированной на прогнозирование процессов изменения технического состояния сложных механических систем по результатам анализа параметров генерируемой при их работе вибрации и обладающей высокой степенью достоверности

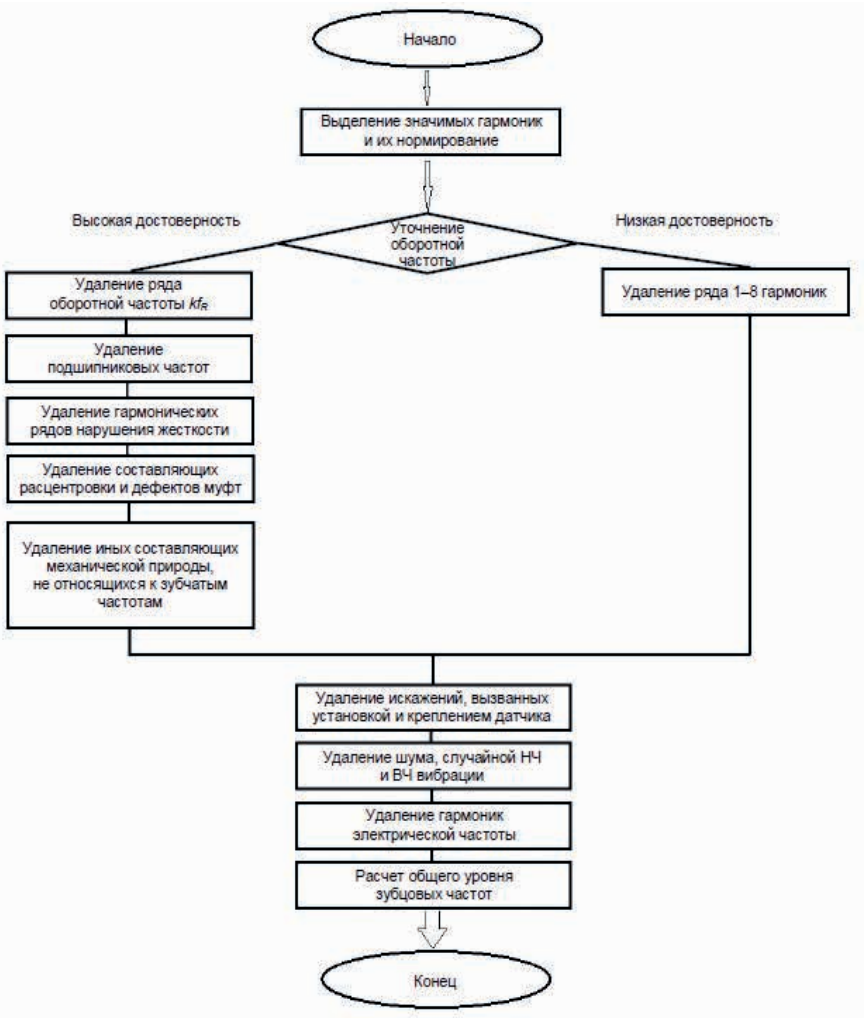


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма выявления диагностического критерия на примере дефектов зубчатых передач (анализ прямого спектра по параметру виброскорости в расширенном диапазоне частот).

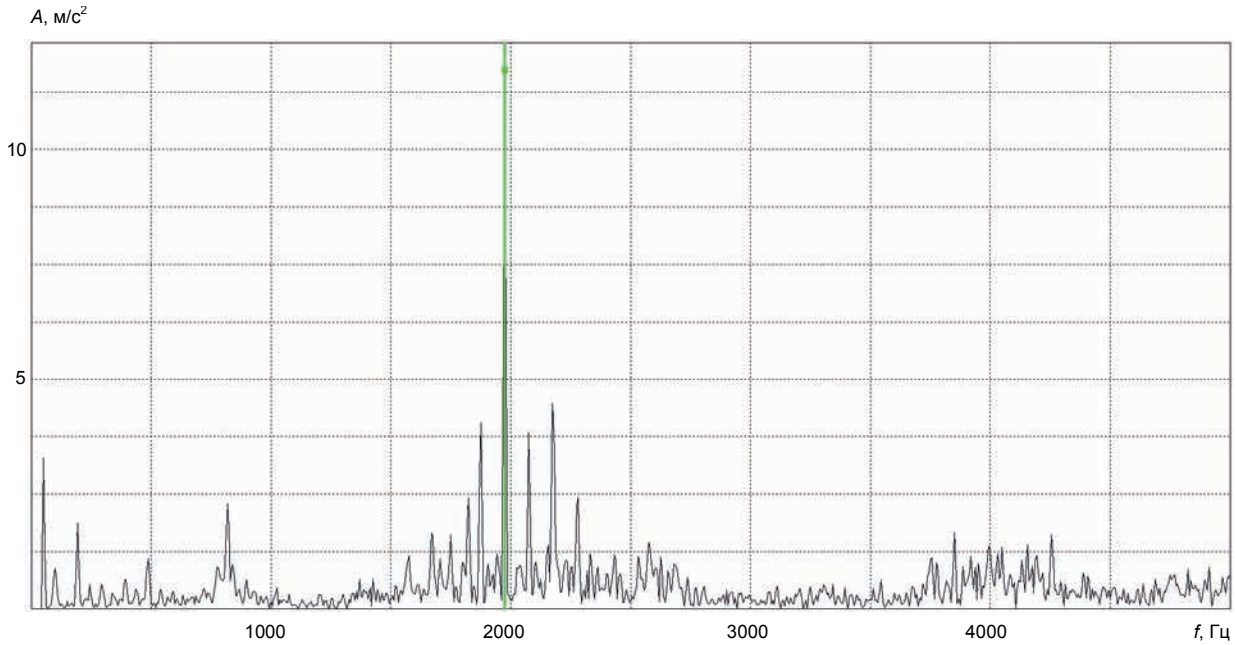


Рисунок 3. Спектр по параметру виброускорения, записанный на опоре подшипника качения генератора подъема экскаватора ЭКГ-8И (максимальная амплитуда гармонических составляющих зафиксирована на одной из подшипниковых частот, что в данном случае свидетельствует о наличии раковины внешнего кольца).

на сегодняшний день не существует. Причины этого обусловлены недостаточной изученностью вопросов динамики горных машин, отсутствием представительных баз данных по параметрам вибрации, сложностями в интерпретации полученных результатов, трудностью реализации предлагаемых громоздких и не всегда адекватных математических моделей. Кроме того, разработка достоверных прогностических моделей развития дефектов оборудования горных машин, основанных на результатах анализа параметров механических колебаний, невозможна без наличия устойчивой теоретической базы [3], учитывающей характер изменения спектрального состава исследуемых характеристик [4, 6]. Для разработки эффективной модели потребуются данные результатов комплексного диагностического подхода к анализу параметров механических колебаний и единые диагностические критерии оценки состояния однотипных объектов исследования.

Таким образом, становится очевидным, что для каждой отдельной группы дефектов элементов оборудования (редукторов различного типа, подшипников качения и скольжения, электродвигателей, генераторов, соединительных муфт, крепежа и т. д.) должен быть разработан свой уникальный единый диагностический критерий оценки технического состояния, учитывающий результаты комплексной обработки исходных данных несколькими различными методами виброанализа. Уникальность данного критерия заключается в том, что результаты его применения исключают необходимость использования для проведения оценки и прогнозирования процесса изменения технического состояния объектов диагностирования различных громоздких диагностических признаков и правил.

В рамках действующей сегодня на предприятиях угольной и горнорудной промышленности России системы планово-предупредительных ремонтов сроки проведения обслуживания технических устройств четко регламентированы. В этих условиях очень важным является наличие достоверной информации о том, доработает ли объект диагностирования до очередного ремонта без возникновения аварийной ситуации или нет. Именно поэтому наибольший приоритет должен быть отдан кратко- и среднесрочным прогнозным моделям.

Наиболее эффективное решение поставленной задачи может быть получено с использованием алгоритмов адаптивного краткосрочного прогнозирования процесса деградации технического состояния объектов исследования. Доказано, что подобные алгоритмы наилучшим образом используют экспериментальные данные предыдущих измерений, адаптируя параметры модели к изменению внешних условий. Исследования разных авторов [3, 7, 8] позволили выявить главный недостаток существующих краткосрочных адаптивных прогностических моделей, а именно, их крайне ограниченную область применения. Большинство работ, связанных с разработкой единого диагностического критерия, основанного на результатах анализа параметров вибрации, ограничивается подшипниками качения [8, 9].

Кроме того, существенные ограничения на область применения разрабатываемых критериев оценки оказывают такие факторы, как низкие частоты вращения тихоходных агрегатов и наличие так называемых «паразитных» составляющих частотного спектра [8]. Эти составляющие, в свою очередь, могут быть вызваны как ошибками при установке датчиков и наличием дефектных соединений в кабелях виброизмерительной аппаратуры, так и конструктивными особенностями объектов исследования (труднодоступность точек измерения, значительные знакопеременные ударные нагрузки и т. д.). Наиболее простой способ решения данной проблемы состоит в использовании при разработке единых критериев дополнительного коэффициента, учитывающего наличие «паразитных» составляющих сигнала, который обычно принимает значение 0 или 1 [8]. Однако данный подход существенно упрощает представление о сложных механических системах и приводит к потере части ценной диагностической информации. Поэтому применение его является нецелесообразным, оптимальным выходом из данной проблемы будет использование гибко настроенных алгоритмов фильтрации, позволяющих очистить спектр от «паразитного шума».

В настоящее время на рынке специализированного программного обеспечения широкое распространение получили алгоритмы математических прогнозных моделей, реализуемых в программном обеспечении некоторых отечественных разработчиков, специализирующихся на производстве виброанализаторов и создании программного обеспечения для анализа регистрируемых характеристик (например, Dream for Windows фирмы «ВАСТ», г. С.-Петербург или Аврора фирмы ООО «Вибро-Центр», г. Пермь и т. п.). Такие модели, как правило, ориентированы на прогнозирование минимального гарантированного и ожидаемого остаточного ресурса оборудования. В качестве базового и зачастую единственного диагностического критерия здесь обычно используется общий уровень среднеквадратического значения виброскорости.

Настоящая работа ориентирована на совершенствование методологических подходов к диагностике сложных механических систем, решение задач по проблематике создания прогностических моделей деградации технического состояния различных узлов и агрегатов энерго-механического оборудования горных машин с использованием разрабатываемых ЕДК.

Обоснование критериев предельного технического состояния, пригодных для выявления дефектов и выполнения оценки степени развития повреждений элементов технических устройств, является начальным этапом разработки адекватной прогнозной модели.

Необходимый и достаточный минимум диагностической информации, практически полностью характеризующей фактическое состояние сложной механической системы, может быть получен с помощью анализа ряда основных параметров виброакустического сигнала. Таким образом, в качестве основных критериев предельного состояния эффективным может оказаться использование одного или сразу нескольких из следующих основных информативных показателей:

– общий уровень СКЗ виброскорости и виброускорения в стандартном и расширенном частотных диапазонах;

– максимумы амплитуд подшипниковых и зубчатых частот по параметрам виброскорости и(или) виброускорения в расширенном частотном диапазоне (10…10 000 Гц);

– частотные полосы, ряды или отдельные гармоники, свидетельствующие о наличии повреждений однотипного характера (например, гармонические ряды нарушения жесткости системы [$0{,}4 f_R \ldots 24 f_{R\,\max}$] или расцентровки двигателя с редуктором [$f_R \ldots 4 \ldots 6 f_R$]);

– размах виброперемещения в диапазоне 10…1000 Гц;

– СКЗ виброскорости в октавной полосе частот, включающей в себя частоту вращения ротора [10–12].

Обзор существующих научных публикаций по тематике данной проблемы [7, 9, 12] показал, что разработке алгоритмов автоматизированной диагностики по результатам оценки информативных частот посвящено большое количество работ, ориентированных на решение задач практического виброанализа. Однако область их применения существенно ограничена однотипными несложными механическими объектами и требует наличия базы данных по частотным признакам дефектов данного оборудования, что доказывает несовершенство существующих алгоритмов автоматизированного поиска дефектов по частотным наборам базовых признаков. Кроме того, на стабильность работы подобных алгоритмов существенное влияние оказывают качество диагностических данных, наличие шумов, случайных составляющих и искажений сигнала.

Проведенные ранее в этой области исследования показали [8], в частности, что для наиболее эффективного описания технического состояния такого классического объекта вибродиагностики, которым является подшипник качения, необходимо использовать сразу несколько основных диагностических критериев:

1. Общий уровень подшипниковых составляющих спектра по параметру виброскорости;

2. Общий уровень сигнала по параметру виброускорения;

3. «Меру подобия», определяемую по спектру огибающей высокочастотного сигнала;

4. Анализ параметров полигармонических волн с применением эксцесса.

Системные работы по формализации диагностических признаков в области виброанализа для выявления дефектов других элементов энергомеханического оборудования (помимо подшипников качения), пригодных для создания единого диагностического критерия, ранее не проводились. Основной целью настоящего исследования является разработка оригинальных диагностических критериев, позволяющих получить максимум полезной диагностической информации из исходных полигармонических волн, генерируемых при работе различных агрегатов и узлов энергомеханического оборудования горных машин. Кроме того, такие критерии должны быть эффективны на любых этапах развития дефектов – от зарождения, появления первых малозаметных изменений в спектральном составе исследуемых характеристик до стадии накопления повреждений и аварийного выхода объекта из строя.

Анализ диагностических характеристик, полученных при работе энергомеханического оборудования электрических экскаваторов, позволил сгруппировать дефекты данного типа горных машин по семи основным группам, которым в совокупности соответствуют более ста диагностических признаков по параметрам вибрации. Данные признаки были классифицированы и формализованы для удобства использования при разработке кода алгоритма автоматизированного контроля сложных систем по параметрам генерируемых механических колебаний.

Основным приемом, которым пользуются исследователи для повышения эффективности результатов диагностики, является уточнение оборотной частоты, такая процедура активно реализуется при разработке программного обеспечения [8, 13]. Подобные алгоритмы хорошо изучены и могут быть использованы при разработке спектральных масок высокой степени детализации (рис. 1). Главным недостатком таких подходов является то, что при смене объекта диагностирования работу по нормированию составляющих спектра и созданию спектральных масок необходимо начинать заново. Задачу по сбору диагностической информации существенно упростило бы применение стационарного комплекса контроля параметров вибрации, однако использование систем такого класса на исследуемом технологическом оборудовании экономически неоправданно.

С учетом ограничений морально устаревшей системы планово-предупредительных ремонтов (ППР), действующей сегодня на предприятиях ТЭК Кузбасса, наибольший интерес представляют результаты краткосрочного прогнозирования изменения фактического состояния эксплуатируемого оборудования. Действительно, в условиях системы ППР намного актуальнее стоит задача по созданию краткосрочного прогноза (один или два интервала диагностирования), позволяющего дать точную оценку вероятности безотказной работы агрегата до момента проведения ближайшего ремонта (технического обслуживания). Разработка долгосрочных прогнозов изменения технического состояния исследуемых объектов в сложившейся ситуации представляет чистый академический интерес и может быть практически реализована только как один из базовых элементов создания концепции обслуживания горных машин по их фактическому состоянию. Анализ публикационной активности по тематике настоящего исследования позволил сделать вывод об эффективности использования адаптивных экспоненциальных математических моделей для выполнения краткосрочного прогнозирования. Доказано [8, 14], что при краткосрочном прогнозировании процесса изменения технического состояния сложных механических систем именно адаптивные методы предоставляют возможность получения хорошей сходимости полученных результатов. Однако представляется совершенно очевидным, что на сегодняшний день не была осуществлена апробация данных методик на значительном количестве элементов конструкций горных машин.

Большинство из существующих краткосрочных моделей изменения технического состояния основано на построении прогноза изменения величины общего уровня сигнала по параметру виброскорости $ve_{\text{СКЗ}}$. Моделей, способных адекватно осуществить прогноз сразу по группе информативных частот, описывающих дефекты подшипников качения, зубчатых передач, нарушения соосности валов агрегата и т. д., на сегодняшний день не существует; их разработка является не в пример более сложной задачей, по сравнению с моделированием среднеквадратического значения общего уровня вибрации. Кроме того, эффективно оценить остаточный ресурс сложных механических систем можно только при наличии доступных и высокоточных способов выделения трендов детерминированной составляющей виброакустического сигнала, пригодных для создания краткосрочного прогноза изменения технического состояния объекта исследования. Выходом по разрабатываемым моделям должны стать три основных показателя, характеризующих состояние механической системы, – величина гарантированного остаточного ресурса, ожидаемый остаточный ресурс и оптимальный междиагностический интервал [13, 14].

Исследование параметров полигармонических волн, генерируемых при работе энергомеханического оборудования горных машин, позволило сделать вывод о том, что необходимым условием эффективной и информативной оценки технического состояния и осуществления достоверного прогноза его изменения является использование результатов комплексного диагностического подхода. Опыт, полученный в области практического виброанализа сложных механических систем, подсказывает, что такой подход должен состоять минимум из трех отдельных диагностических методов – спектрального анализа по параметрам виброскорости и виброускорения в расширенном частотном диапазоне, анализа огибающей спектра и эксцесса. В этом случае рассчитываемый единый диагностический критерий (ЕДК), используемый для оценки и прогнозирования изменения технического состояния механической системы, должен быть основан на результатах анализа параметров исходных характеристик с применением как минимум этих трех диагностических подходов (конкретное сочетание методов зависит от типа объекта диагностирования).

ЕДК, наилучшим образом подходящий для выполнения оценки состояния однотипных объектов, может быть разработан с применением многомерного пространства диагностических признаков при помощи алгоритмов скаляризации [8, 15, 16]. Таким образом, данный алгоритм обязательно должен включать пошаговую сегментацию групп объектов с различной степенью развития дефектов энергомеханического оборудования. Очевидно, что должно быть разработано несколько таких критериев, по одному на каждую группу дефектов (например, ЕДК для дефектов подшипников, нарушения центровки, нарушения жесткости системы, дефектов соединительных муфт, дефектов зубчатых передач в составе редукторов и т. д.).

Для разработки ЕДК для каждого из типов дефектов энергомеханического оборудования электрических экскаваторов и дизель-гидравлических буровых установок необходимо удалить из спектра все «лишние» гармонические составляющие, генерируемые другими процессами, т. е. осуществить процедуру клиппирования.

Алгоритмы выделения информативных составляющих дефектов подшипников качения, зубчатых передач, соединительных муфт, центровки валов и т. п. должны быть основаны на удалении из спектра всех составляющих иной природы. Таким образом, число описываемых алгоритмов клиппирования должно равняться количеству потенциально возможных дефектов исследуемого оборудования. Пример алгоритма выявления критерия наличия дефектов зубчатых передач в составе редукторов переборного типа, используемых в конструкции электрических экскаваторов, приведен ниже на рис. 2.

В данном алгоритме применяется процедура уточнения оборотной частоты вращения, основанная на принципе поиска составляющих спектра с максимальными амплитудами в низкочастотном диапазоне. Существует несколько аналогичных процедур, отличающихся принципами выявления возможных оборотных (не всегда совпадающих с максимально выраженными гармониками), наиболее эффективной из которых представляется программа расчета, разработанная в рамках исследования [8]. Поскольку данный алгоритм показал высокую достоверность при работе со спектрами виброскорости и виброускорения подшипников качения, где максимальные амплитуды значащих гармоник априори не принадлежали оборотной частоте (рис. 3), то он, безусловно, с успехом может быть применен при разработке ЕДК для других типов объектов диагностирования.

Результаты выполненных автором настоящей работы исследований позволили сформулировать шесть основных диагностических признаков оценки состояния зубчатых передач по параметрам вибрации:

1. Нормированный общий уровень (признак 1а) и пиковое значение (признак 1б) виброускорения в диапазоне 50…10 000 Гц;

2. Общий уровень составляющих зубчатых частот по параметру виброскорости (2…3000 Гц);

3. Глубина модуляции спектра огибающей вибросигнала в диапазоне 0,5 f_{Zmin}…20 f_{Zmax} Гц, где f_{Zmin}, f_{Zmax} – минимальная и максимальная по частоте гармоники любой из базовых зубцовых частот соответственно;

4. Общий уровень виброскорости в низкочастотном диапазоне (5 Гц … 15 f_{R1}), содержащий признаки наличия несоосности и(или) изгиба валов, неуравновешенности элементов редуктора, нарушения жесткости системы;

5. Флуктуация амплитуд гармоник базовых kf_R, $mf_Z \pm n_{fR}$ и промежуточных модуляционных частот $f_м$ и $f_м \pm nf_R$, указывающая на степень развития повреждения зубчатой пары.

6. Мера подобия, определяемая по результатам сравнения вейвлет-преобразования и временной волны реального и «эталонного» сигналов.

На основе данных шести базовых признаков автором разработан ЕДК для диагностики редукторов переборного типа, используемых в конструкции экскаваторов типа ЭКГ. Практическая реализация настоящего единого критерия оценки в программном обеспечении для автоматизированного контроля параметров вибрации позволит значительно упростить процедуру анализа данных и максимально повысить достоверность получаемых результатов.

ЕДК, создаваемые для оценки состояния других элементов конструкции горных машин, также могут с успехом применяться для разработки адаптивных деградационных моделей, позволяющих провести краткосрочное прогнозирование на один-два интервала моделирования, что вполне достаточно в условиях действующей на предприятиях отрасли системы планово-предупредительных ремонтов [13].

Таким образом, становится очевидным, что решение задачи по разработке ЕДК для всех типов энергомеханического оборудования горных машин и созданию прогностических моделей изменения технического состояния по параметрам вибрации является необходимым условием для внедрения систем обслуживания техники по ее фактическому состоянию [14]. Внедрение такой системы невозможно без наличия четко структурированной базы данных, содержащей информацию о динамике изменения диагностических параметров для широкого типового и номенклатурного ряда горной техники. Предложенный в рамках настоящего исследования подход к разработке единых диагностических критериев и моделированию деградационных процессов в сложных механических системах имеет весьма важное практическое значение и может быть использован, кроме прочего, для эффективного решения задач, связанных с минимизацией аварийных отказов техники и повышением безопасности при проведении открытых горных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации о порядке проведения экспертизы промышленной безопасности карьерных одноковшовых экскаваторов: РД 15-14-2008: введ. в действие с 01.08.08. Сер. 26, вып. 9. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2008. 108 с.
2. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности ленточных конвейерных установок: РД 15-04-2006: утв. приказом Федер. службы по экол., технол. и атомному надзору от 26.02.06 № 125: введ. в действие с 01.06.06. М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2009. 150 с.
3. Ещеркин П. В. Разработка методики диагностирования и прогнозирования технического состояния дизель-гидравлических буровых станков: автореф. дис. … канд. техн. наук. Кемерово, 2012. 18 с.
4. Bently D. E., Hatch C. T. Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics. Minden: Bently Pressurized Bearing Company, 2002. 726 p.
5. Герике П. Б. Анализ основных закономерностей изменения технического состояния оборудования экскаваторов типа драглайн // Вестник КузГТУ. 2016. № 1. С. 70–77.
6. Delvecchio S., Delia G., Mucchi E., Dalpiaz G. Advanced signal processing tools for the vibratory surveillance of assembly faults in diesel engine cold tests // Journal of Vibration and Acoustics. 2010. Vol. 132, Issue 2, 021008-10. DOI 10.1115/1.4000807.
7. Дрыгин М. Ю. Разработка стационарного диагностического комплекса для экскаватора типа ЭКГ: автореф. дис. … канд. техн. наук. Кемерово, 2012. 20 с.
8. Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем: дис. … канд. техн. наук. М.: МИФИ, 2007. 170 с.
9. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
10. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. М., 1996. 276 с.
11. Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. Т. 7 / под ред. чл.-корр. РАН В. В. Клюева. М., 2005. 828 с.
12. Лукьянов А. В. Классификатор вибродиагностических признаков дефектов роторных машин. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. 230 с.
13. Герике П. Б. Адаптивное прогностическое моделирование процессов деградации технического состояния генераторных групп карьерных экскаваторов на основе анализа параметров генерируемой при их работе вибрации // Вестник КузГТУ. 2015. № 6. С. 71–77.
14. Краковский Ю. М. Математические и программные средства оценки технического состояния оборудования. Новосибирск: Наука, 2006. 227 с.
15. Попков В. И., Мышинский Э. Л., Попков О. И. Виброакустическая диагностика в судостроении. Л.: Судостроение, 1989. 256 с.
16. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E. Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2012. Vol. 134(18). DOI 10.1115/1.4006060.

REFERENCES

1. RD 15-14-2008, *Metodicheskiye rekomendatsii o poryadke provedeniya ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti kar'ernykh odnokovshovykh ekskavatorov* [Methodological recommendations on the procedure of executing expertise of industrial safety of pit single-bucket excavators].
2. RD 15-04-2006, *Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu ekspertizy promyshlennoy bezopasnosti lentochnykh konveyernykh ustanovok* [Procedural guidelines on execution of expertise of industrial safety of belt-type of conveyor units].
3. Esherkin P. V. 2012, *Razrabotka metodiki diagnostirovaniya i prognozirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya dizel-gidravlicheskikh burovykh stankov* [Development of procedural guidelines of diagnosing and forecasting technical condition of diesel-hydraulic drilling rigs: synopsis of a thesis of the candidate of engineering sciences]. Kemerovo, 18 p.
4. Bently D. E., Hatch C. T. 2002, Fundamentals of rotating Machinery Diagnostics, Bently Pressurized Press, 726 p.
5. Gericke P. B. 2016, *Analiz osnovnykh zakonomernostey izmeneniya tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya ekskavatorov tipa draglain* [Analysis of main regularities of measuring technical condition of equipment excavators of dragline type]. *Vestnik KuzGTU* [Vestnik of Kuzbass State Technical University]. No. 1. pp. 70–77.
6. Delvecchio S., Delia G., Mucchi E., Dalpiaz G. Advanced signal processing tools for the vibratory surveillance of assembly faults in diesel engine cold tests, *Journal of Vibration and Acoustics*, April 2010, Vol. 132, Issue 2, 021008-10. DOI 10.1115/1.4000807
7. Drygin M. Y., 2012, *Razrabotka statsionarnogo diagnosticheskogo kompleksa dlya ekskavatora tipa EKG* [Development of stationary complex for pit Caterpillar type excavator: synopsis of a thesis of the candidate of engineering sciences]. Kemerovo, 20 p.
8. Sushko A. E. 2007, *Razrabotka spetsialnogo matematicheskogo i programmnogo obespecheniya dlya avtomatizirovannoy diagnostiki slozhnykh sistem* [Development of special mathematical software for automatized diagnostics of complex systems: thesis of the candidate of engineering sciences]. Moscow, National Research Nuclear University. 170 p.
9. Skeinik R., Petersen D. Automated fault detection via selective frequency band alarming in PC-based predictive maintenance systems. CSI, Knaxville, TN 37923, USA.
10. Shirman A. R., Solov'ev A. B. 1996, *Prakticheskaya vibrodiagnostika I monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya* [Practical vibration monitoring and monitoring of condition of mechanical equipment]. 276 p.
11. Klyuyev V. V. 2005, *Nerazrushayushiy control: spravochnik* [Non-destructive control: quick-reference guide]. Vol. 7. Moscow, 828 p.
12. Lukyanov A. V. 1999, *Klassifikator vibrodiagnoticheskikh priznakov defektov rotornykh mashin* [Classifier of vibrodiagnostic defect symptoms of rotary machines]. Irkutsk, Irkutsk State Technical University, 230 p.
13. Gerike P. B. 2015, *Adaptivnoe prognosticheskoe modelirovanie protsessov degradatsii tekhnicheskogo sostoyaniya generatornykh grupp kar'ernykh ekskavatorov na osnove analiza parametrov generiruemoy pri ikh rabote vibratsii* [Adaptive forecasting modeling of degradation processes of generator groups technical condition of mine excavators based on the analysis of parameters of generated vibration]. *Vestnik KuzGTU* [Vestnik of Kuzbass State Technical University]. No. 6. pp. 71–77.
14. Krakovskiy Y. M. 2006, *Matematicheskie i programmnye sredstva otsenki tekhnicheskogo sostoyaniya oborudovaniya* [Mathematical and software tools for evaluating the technical condition of equipment]. Novosibirsk, 227 p.
15. Popkov V. I., Mishinskiy E. L., Popkov O. I. 1989, *Vibroakusticheskaya diagnostika v sudostroenii* [Vibroacoustic diagnostics in shipbuilding]. Leningrad, 256 p.
16. Rudloff L., Arghir M., Bonneau O., Guingo S., Chemla G., Renard E. 2012, Experimental Analysis of the Dynamic Characteristics of A Hybrid Aerostatic Bearing. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, vol. 134(8). DOI 10.1115/1.4006060

Павел Борисович Герике,
am_besten@mail.ru
Федеральный Исследовательский Центр угля и углехимии СО РАН
Россия, Кемерово,
просп. Ленинградский, 10

Pavel Borisovich Gericke,
am_besten@mail.ru
Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of RAS
Kemerovo, Russia

УДК 622.274 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-68-71

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ЛИТЫХ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

А. Ю. Стовманенко, А. Н. Анушенков

Perspectives of using pipelines from polymer materials during transportation of cast packing filled mixtures

A. Yu. Stovmanenko, A. N. Anushenkov

The purpose of conducted research is the modernization of pipeline transport of cast packing filled mixtures, during underground development of mineral products. Due to the registered operation problems of steel pipelines in conditions underground workings on process sections of pipeline flushing system a decision to replace steel pipes on more fitting polymer pipes was proposed. In order to determine the more abrasion-resistant type of non-metallic pipelines a few samples of the more common types of plastic and polymer pipelines were selected, additionally comparative testing based on the wearability criterias were carried out. Research was made on the developed test facility of friction. The results of comparitative studies of wearability of such polymer and plastic materials as fiber-glass, polyvinyl chloride, polyethylene of high density and polypropelene that were received with the help of experimental unit showed that pipelines from polyethylene of high-density PE-100 are the most abrasion resistant. The conducted comparative evaluation of cost of polyethylene pipes with operating pressure of up to 4–6 MPa showed that for today the unit cost of polyethylene pipes almost came close to the cost of steel pipes that are equal in strength and furthermore, considerably lower in cost than similar pipes from other polymer materials and plastic. This allows to assert that on underground loose items of the pipelines for transportation of cast stowing mixtures, where the operating pressure does not exceed 4–6 MPa, using polyethylene pipes PE100 will be more efficient than using steel pipes or pipes from other reviewed polymer or plastic materials.

Keywords: stowing complexes; stowing operations; pipeline transport; polymer pipes; plastic pipes.

Целью проводимых исследований является модернизация систем трубопроводного транспорта литых закладочных смесей при подземной разработке полезных ископаемых. В связи с отмеченными проблемами эксплуатации стальных трубопроводов в условиях подземных выработок, на технологических забойных участках трубопроводной закладочной системы предлагается заменить стальные трубы на полимерные. Для определения наиболее износостойкого вида неметаллических трубопроводов были выбраны несколько образцов самых распространенных типов пластиковых и полимерных трубопроводов и проведены их сравнительные испытания по критерию истираемости (изнашиваемости). Исследования проводились на разработаной испытательной установке трения. Полученные с помощью опытной установки результаты сравнительных исследований износостойкости таких полимерных и пластических материалов, как стеклопластик, поливинилхлорид, полиэтилен высокой плотности и полипропилен, показали, что наиболее износостойкими являются трубопроводы из полиэтилена высокой плотности ПЭ100. Произведенная сравнительная оценка стоимости полиэтиленовых труб с рабочим давлением до 4–6 МПа показала, что на сегодняшний день удельная стоимость полиэтиленовых труб практически сравнялась со стоимостью равнопрочных им стальных труб и при этом существенно ниже стоимости аналогичных труб из других полимерных материалов и пластика. Это позволяет утверждать, что на подземных забойных участках трубопровода для транспортирования литых закладочных смесей, где рабочее давление не превышает 4–6 МПа, применение полиэтиленовых труб ПЭ100 будет более эффективно, чем применение стальных труб или труб из других рассмотренных полимерных и пластиковых материалов.

Ключевые слова: закладочные комплексы; закладочные работы; трубопроводный транспорт; полимерные трубы; пластиковые трубы.

Введение

Трубопроводный транспорт получил наиболее широкое распространение при доставке закладочного материала в подземные горные выработки. При транспортировании закладочных материалов в виде литых твердеющих смесей (ЛТС) трубопроводным транспортом возникает ряд существенных трудностей, связанных с эксплуатацией трубопроводов из стальных труб. Одной из основных причин разгерметизации подземных трубопроводов является образование каверн, трещин и разрывов вследствие химической и электрокоррозии стальных труб [1, 2].

Закладочный трубопровод обычно состоит из участков, различаемых по расположению и продолжительности использования:

– *вертикальный трубопроводный став,* работает в условиях повышенного и пульсирующего давления смеси, вызванного большой скоростью движения ЛТС и значительной высотой вертикального шахтного ствола;

– *магистральные горизонтальные трубопроводы,* также характеризуются высокой скоростью движения и значительным давлением ЛТС, особенно на начальных участках;

– *забойные участки*, имеют непостоянное положение ввиду того, что регулярно необходимо внесение изменения в конструкцию трубопровода, связанное с постоянным перемещением фронта горных работ.

Эксплуатация трубопроводов забойных участков предполагает их частый монтаж и демонтаж, перевозку секций труб, наращивание или уменьшение длины трубопровода, установку пневмоврезок и т. д. [3], что приводит к значительным трудозатратам, связанным еще и со сложностью применения средств механизации в стесненных условиях подземных горных выработок. Это ведет к увеличению себестоимости закладочных работ, простоям закладочного комплекса в момент внесения изменений в конструкцию трубопровода, а также к снижению общей производительности закладочных и основных горных работ.

В качестве одного из способов решения данных проблем предлагается применение в закладочной трубопроводной системе труб, изготовленных из полимерных или пластических материалов. Применение полимерных труб на вертикальном ставе и на начальном участке самотека на данный момент затруднительно, так как в период закупорки трубопроводов в них возникает значительное давление закладочной смеси. В то же время на забойных горизонтальных подземных участках закладочного трубопровода применение труб из полимерных или пластиковых труб вполне возможно.

Анализ характеристик современных полимерных и пластиковых труб

В настоящее время в трубопроводном транспорте возможно применение труб из разнообразных полимерных и пластических материалов. Эти трубы антикоррозийные, они обычно намного легче стальных труб (особенно футерованных), при этом обладают меньшим гидравлическим сопротивлением вследствие более гладкой внутренней поверхности. Далее приведены основные характеристики наиболее широко применяемых полимерных и пластиковых труб.

Стеклопластиковые трубы (ГОСТ Р 53201–2008) состоят из полиэфирных смол, усиленных стеклянными волокнами. Для изготовления труб в зависимости от назначения, места и способа прокладки могут применяться различные материалы: базальтовые, стеклянные или углеродные волокна, синтетические волокна из различных материалов, резинопласты и фторопласты различных марок, связующие материалы на базе различных смол и клеевых композиций. Высокие удельные показатели прочности и жесткости волокнистых композиционных материалов наряду с химической стойкостью, сравнительно малым весом и другими свойствами сделали эти материалы привлекательными для изготовления трубопроводов различного назначения. Стеклопластики характеризуются относительно высокой плотностью 1750–2100 кг/м^3, имеют прочность 2–14 МПа и обладают высокой коррозионной стойкостью. Однако при нарушении сплошности внутренним гидростатическим давлением стеклопластиковые трубы могут терять герметичность при нагрузках более низких, чем механическая прочность стеклопластика.

ПВХ трубы (винипластовые) (ГОСТ Р 51613–2000) изготавливают из поливинилхлоридной смолы, получаемой полимеризацией хлористого винила. Наряду с такими положительными физико-механическими

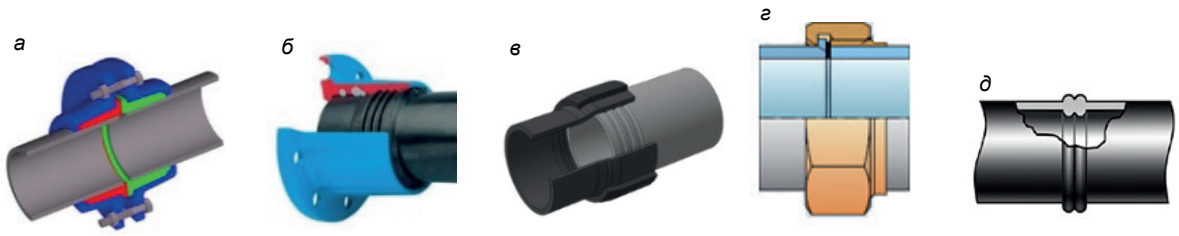


Рисунок 1. Примеры соединений полимерных труб. *а* – фланцевые фрикционные; *б* – фланцевые резьбовые; *в* – прессовые; *г* – с накидной гайкой; *д* – соединенные с помощью сварки.

свойствами, как высокий предел прочности при разрыве (4–15 МПа), винипласт обладает и отрицательными свойствами, такими как хрупкость и резкое изменение физико-механических свойств при длительном нагружении. Винипластовые трубы сохраняют механическую прочность в диапазоне температур от 10 до 90 °С, кроме того, удельная ударная вязкость снижается при надрезах и царапинах. При низких отрицательных температурах винипласт становится хрупким. В последние годы доля труб ПВХ в общем объеме производства постепенно уменьшается, уступая другим видам полимеров, прежде всего полипропилену и полиэтилену.

Полиэтиленовые трубы (ГОСТ Р 18599–2001) изготовляются из гранулированного полиэтилена высокой и низкой плотности методом непрерывной экструзии на шнек-прессах. Полиэтиленовые трубы имеют ряд положительных свойств:

– малый объемный вес (полиэтилен высокой плотности имеет удельную массу около 960 кг/м^3);

– сопротивление удару, значительно превышающее требования, предъявляемые к трубам при их транспортировке и монтаже;

– высокие физико-механические свойства полиэтилена позволяют получать трубы, обладающие исключительно высокой гибкостью;

– стойкость к воздействию коррозийных сред и к электрокоррозии, поскольку полиэтилен не является проводником электрического тока. Трубы из полиэтилена имеют гладкую поверхность. Низкое значение модуля упругости полиэтилена, а также его эластичность обеспечивают сохранение целостности трубопровода при вибрационных нагрузках. Полиэтиленовые трубы на сегодняшний день могут применяться для давлений до 1,2–10 МПа и позволяют эксплуатировать их при температурах от –60 до +60 °С.

Полипропиленовые трубы (ГОСТ Р 52134–2003), изготовленные из термопластичного полимера методом объединения (полимеризации) молекул производной газа этилена, имеют плотность 930 кг/м^3, прочность 2–10 МПа, модуль упругости 800 МПа. Их общие свойства схожи со свойствами полиэтиленовых труб.

Наиболее часто полимерные трубы, которые применяются в трубопроводах с высоким давлением, армированы синтетическими нитями. Такие высоконапорные трубы применяются в промышленном масштабе для строительства трубопроводов с рабочим давлением до 4–6 МПа. Армированные трубы относятся к классу композиционных материалов на основе термопластичных матриц и подчиняются тем же законам, что и композиционные материалы. Регулируемое армирование при намотке обеспечивает заданную анизотропию физико-механических свойств материала как по направлению, так и по величине. При армировании полимеров меняется характер деформирования и разрушения, причем прирост сопротивления термопластичных композиционных материалов внешней нагрузке может исчисляться сотнями процентов [4].

Для соединения полимерных трубопроводов разработано большое количество надежных разъемных и неразъемных соединений, используемых как для соединения нескольких полимерных труб, так и для стыковки полимерных труб с металлическими (рис. 1).

Сравнение характеристик различных видов трубопроводов (рис. 2, *а*) показывает, что при одинаковой толщине стенок полимерные трубопроводы в 5–7 раз легче, чем стальные. При обеспечении условия равнопрочности (равном возможном внутреннем давлении) необходимая толщина стенки у полимерных трубопроводов (даже у армированных) будет существенно больше, чем у стальных. Сравнительные расчеты параметров равнопрочных труб при давлении от 4 до 6 МПа (рис. 2, б), показали, что погонная масса 1 м трубопроводов из стеклопластика и ПВХ будет близка к стальным нефутерованным трубам, а трубы из полиэтилена и полипропилена в 1,5–2 раза легче вследствие их меньшего удельного веса.

Практика применения полимерных трубопроводов для транспортирования мелкодисперсных гидросмесей

В России полимерные трубы на сегодняшний день пока ограниченно применяются в системах транспортирования мелкодисперсных материалов. Исследования и эксперименты использования полимерных труб в практике горно-обогатительного производства носят чаще всего практический характер.

Так, в работе [5] описывается промышленный эксперимент, проведенный в 2011 г. компанией ЕВРАЗ. Образцы труб разных типов диаметром 630 мм (стальной футерованной резиной и полиэтиленовой) были установлены в действующую систему самотечного транспортирования хвостовой пульпы. Условия эксплуатации опытного участка были следующими: транспортируемая среда – хвостовая пульпа обогатительного производства; насыпная плотность – 1,9 т/м^3; рабочее давление – 10 кг/см^2. Испытания длились два года. За это время представители ЕВРАЗ произвели 7 официальных мониторингов состояния экспериментальных шламопроводов с демонтажом опытных отрезков и инструментальными замерами. В результате проведенных испытаний был сделан вывод о целесообразности применения в промышленных масштабах полиэтиленовых труб ПЭ100 для транспортировки абразивной среды. Средний износ составил 4,6 мм при толщине стенки 37,4 мм.

В работе [6] описан практический эксперимент в условиях гидротранспортного комплекса «Вольногорский горно-металлургический комбинат» (ВГМК), где в апреле 2006 г. был введен в эксплуатацию опытный участок полиэтиленовой трубы длиной 160 м, смонтированный на рабочем трубопроводе. Была применена труба ПЭ 80 SDR 21 диаметром

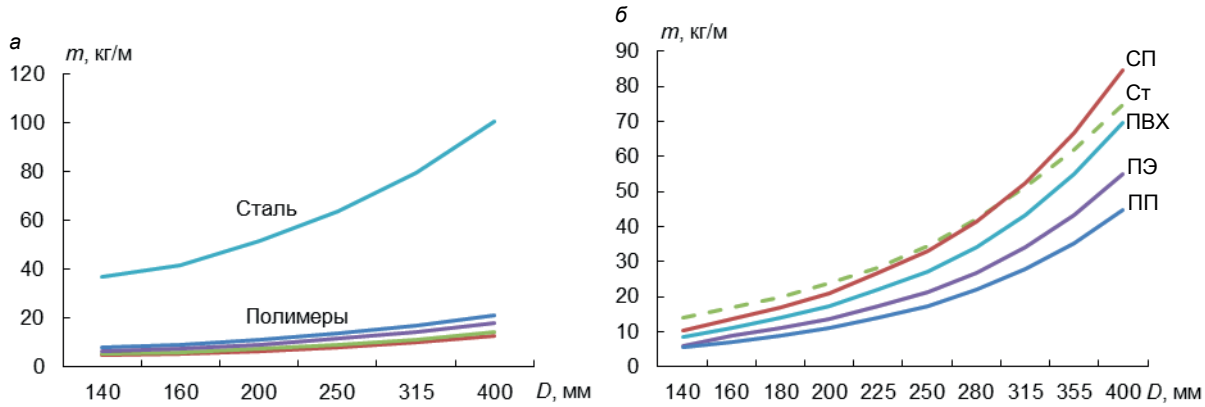


Рисунок 2. Сравнение значения массы 1 пог. м стальных и полимерных труб. *а* – равнотолщинных; *б* – равнопрочных. Сравнение паспортных характеристик трубопроводов диаметром 140–400 мм из стеклопластика (СП), поливинилхлорида (ПВХ), полипропилена (ПП), полиэтилена (ПЭ) и стали (Ст).

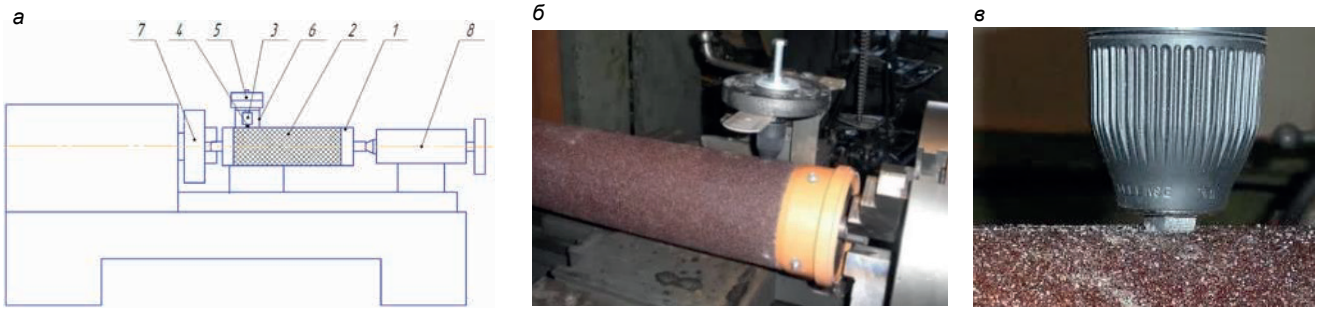


Рисунок 3. Установка для исследования полимерных труб на износостойкость. *а* – схема установки; *б* – конструкция установки; *в* – патрон-держатель с исследуемым образцом.

630 мм с толщиной стенки 30 мм, рассчитанная на рабочее давление до 6 атм. Трубопровод отработал более 3500 ч, было подано более 2 млн м^3 рудных песков. Плотность пульпы в зависимости от режима работы гидротранспортного комплекса изменялась от 1,01 до 1,22 т/м^3. При осмотре внутренняя часть трубы была практически гладкая, небольшая шероховатость заметна только в нижней части трубы в пределах от 200 до 300 мм по дуге. Замер толщины труб ультразвуковым переносным прибором показал износ не более 1,5 мм.

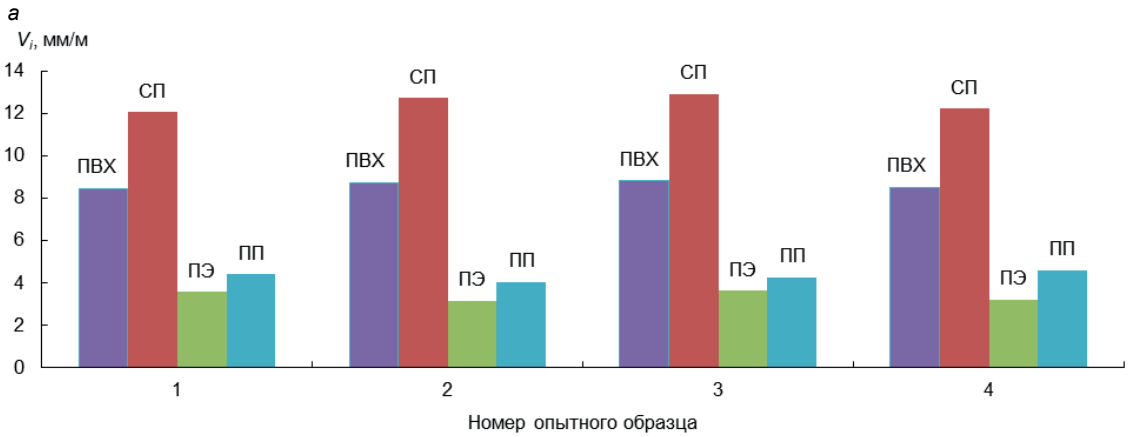
Значительный опыт использования полимерных трубопроводов также накоплен в нефтегазовой промышленности [7] и в сфере ЖКХ.

Проведение исследования абразивной износостойкости полимерных трубопроводов

Вопросы сравнительной оценки износостойкости полимерных труб до настоящего времени остаются недостаточно освещенными, что в свою очередь затрудняет обоснование применимости полимерных трубопроводов в практике горного производства.

В работе [8] описывается разработанный метод испытаний труб на износ, где испытательные образцы труб длинной 1 м наклонялись вперед и назад с частотой 21 цикл/мин. Объем абразивного материала (кварцевый песок с размерами частиц 0–3 мм) в воде составлял 46 %. Результирующая скорость потока составляла 0,36 м/с. Используя этот метод, установили, что полиэтиленовые трубы имели износ до 0,3 мм после 400 000 циклов. Указывается, что полиэтиленовые трубы имеют хорошую износостойкость по сравнению с трубами из железобетона, алюминия и стали. Сообщается, что в шламопроводах ими целесообразно заменять металлические трубы.

Для решения задачи рационального выбора материала полимерных и пластмассовых трубопроводов для транспортирования литых закладочных смесей, авторами были проведены сравнительные исследования на износостойкость материалов труб из наиболее известных полимерных и пластических материалов.



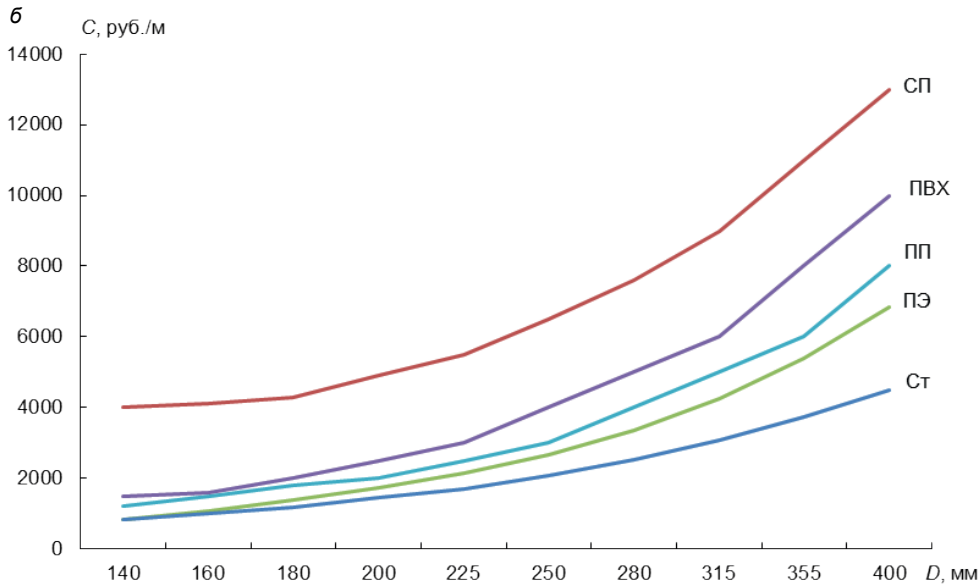


Рисунок 4. Сравнение характеристик пластиковых и полимерных труб. *а* – по величине опытного показателя истирания V_i; *б* – по стоимости 1 пог. м труб одинаковой прочности.

Работа проводилась согласно методике испытания пластмассовых изделий на истирание, приведенной в ГОСТ 11012–69. Для испытания пластмасс на абразивный износ применялась разработанная испытательная машина, схема которой приведена на рис. 3.

Испытательная машина состоит из вращающегося цилиндра *1*, диаметром 160 мм, предназначенного для закрепления на нем шлифовальной шкурки *2*, патрона-держателя *3* с закрепленным в нем образцом *4*, грузов *5*, опорной шарнирной штанги *6*. Барабан устанавливается в типовые зажимные устройства токарного станка. Один конец вала барабана зажимался с усилием, достаточным для передачи крутящего момента в токарный трехкулачковый патрон *7*, а второй устанавливался в задний центр *8*.

Длина рабочей части цилиндра составляла 0,7 м, что обеспечивало путь истирания образцов по винтовой линии не менее 30 м. Нагружающее устройство, согласно ГОСТ 11012–69, обеспечивало приложение регулируемой нагрузки перпендикулярно истирающей поверхности.

В качестве механизма, обеспечивающего равномерное перемещение патрона-держателя вдоль образующей цилиндра (на расстояние 10 мм за время одного оборота) был использован стандартный механизм подачи токарного станка 16К20. Конструкция барабана обеспечивала плотное закрепление шлифовальной шкурки на его поверхности без вздутий и перекосов. Для испытания применялась шлифовальная шкурка по ГОСТ 344–85 в рулоне. В качестве образцов пластмасс для испытания использовались бруски квадратного сечения 10 × 10 мм высотой 15 мм. Образцы для испытания выпиливались из труб исследуемого материала. Для исследований брались трубы из винипласта, полипропилена, полиэтилена ПЭ100 и фторопласта-4. Эталон из металлического цинка чистоты 99,9 % по ГОСТ 2999–75 служил для тарировки истирающей способности применяемой шкурки. Он имел форму и размеры, как у образцов.

Испытания образцов включали следующее: притирку к истирающей поверхности; взвешивание с точностью до 0,001 г; истирание на определенном пути; определение потери веса при истирании; расчет показателя истирания V_i для каждого вида материала.

Испытания проводили по методике, описанной в ГОСТ 11012–69, с усилием 19,62 Н (2 кгс). Для достоверности опыта из каждого материала брали по четыре образца. Испытание каждого образца продолжалось в течение одного и того же заранее заданного пути истирания (примерно 10–11 м). Истирание образцов в соответствии с требованиями ГОСТа проводилось только по свежей поверхности шкурки после установки взвешенного образца в патрон-держатель машины в том же положении, что и до притирки, при установленной внешней нагрузке. На истираемой поверхности образца не допускалось раковин, сколов, пор, заусенцев, вздутий и других дефектов, видимых невооруженным глазом. Окружная скорость поверхности цилиндра составляла 0,3 м/с, что соответствовало частоте вращения шпинделя станка 0,6 об/с (36 об/мин).

Данные опытов обрабатывались с помощью математической статистики. Показатель истирания V_i, мм³/м, каждого образца пластмассы рассчитывался по формуле, рекомендованной ГОСТ 11012–69:

$$V_i = K\frac{G_0 - G_1}{\rho L}1000,$$

где K – коэффициент пересчета, характеризующий истирающую способность неэталонного рулона шкурки; G_0 – масса испытуемого образца до истирания, г; G_1 – масса испытуемого образца после истирания, г; ρ – плотность образца, г/мм³; L – длина пути истирания, м.

За результат испытания на истирание (износ) принималось среднеарифметическое значение полученных показателей истирания испытываемых образцов одного вида. Окончательные данные испытания для всех материалов (по 4 образца) приведены на рис. 4, *а*. Для образцов каждого типа опытные средние значения показателя истирания V_i составили: из стеклопластика (СП) –12,46, мм³/м; из винила (ПВХ) – 8,63, мм³/м; из полипропилена (ПП) – 4,31, мм³/м; из полиэтилена (ПЭ) – 3,44, мм³/м.

По опытным данным можно сделать вывод, что по истиранию (абразивному износу) для трубопроводного транспорта закладочных смесей лучше всего подходят трубы из полиэтилена (V_i = 3,44 мм³/м). На рис. 4, *б* приведены сравнительные данные по стоимости 1 пог. м труб из пластических масс.

Выводы

Таким образом, учитывая приведенные сведения о физико-механических свойствах и более высокой износостойкости полиэтиленовых труб, а также то, что стоимость полиэтиленовых труб среднего диаметра с рабочим давлением до 4–6 МПа на сегодняшний день практически сравнялась со стоимостью равнопрочных им стальных труб (рис. 4, б), можно утверждать, что для транспортирования литых закладочных смесей на забойных участках закладочных трубопроводов, там, где расчетное рабочее давление смеси не превышает 4–6 МПа, применение полиэтиленовых труб высокой плотности будет более эффективно, чем применение стальных труб или труб из других рассмотренных полимерных и пластиковых материалов.

Полиэтиленовые трубы легкие, достаточно прочные, гибкие, коррозионно- и износостойкие и, следовательно, более эффективны для прокладки в стесненных условиях подземных горных выработок. Трубы из полиэтилена значительно облегчат транспортные и монтажные работы на закладочных трубопроводах. Уменьшение гидравлического сопротивления вследствие меньшей шероховатости внутренних стенок полиэтиленовых труб увеличит возможное наибольшее горизонтальное расстояние подачи закладочных смесей, что в итоге обеспечит лучшие условия работы всего закладочного транспортного комплекса, повысит скорость ведения закладочных работ, долговечность эксплуатации трубопроводов и в конечном итоге приведет к снижению общей себестоимости закладки подземных горных выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов М. В., Новоселов В. Ф., Тугунов П. И. и др. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. М.: Недра, 1992. 238 с.
2. Лейзерович С. Г., Ельников В. Н. Исследование процесса заполнения хвостами обогащения верхней части подземных камер и характера износа вертикального пульповода // ГИАБ. 2006. № 4. С. 209–214.
3. Хайрутдинов М.М. Подземная геотехнология с закладкой выработанного пространства. Недостатки и возможности совершенствования // ГИАБ. 2009. № 1. С. 240–250.
4. Пепеляев В. С. Полиэтиленовые армированные трубы высокого давления // Сфера. Нефть и газ. 2011. № 3. С. 176–178.
5. Муравин И. А., Кривоноженко Н. Н. Износостойкость полиэтиленовых труб доказана практикой // Полиэтиленовые трубы. Украина. 2013. № 4. С. 51–54.
6. Шурыгин В. Д., Семененко Е. В. Износ полиэтиленовых труб при гидротранспорте исходных песков Малышевского месторождения // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2007. № 6. С. 90–93.
7. Мустафанов Ф. М. Промысловые трубопроводы и оборудование. М.: Недра, 2004. 662 с.
8. Kirschmer O. Problems of Abrasion in Pipes // Steinzeugin Formationen. 1988. № 1. P. 3–13.

REFERENCES

1. Kuznetsov M. V., Novoselov V. F., Tugunov P. I., Kotov V. F. 1992, *Protivokorroziynaya zaschita truboprovodov i rezervuarov* [Anti-corrosion protection of pipelines and tanks]. Moscow, 238 p.
2. Leizerovich S. G., El'nikov V. N. 2006, *Issledovaniye protsessa zapolneniya khvostami obogascheniya verkhnei chasti podzemnykh kamer i kharaktera iznosa vertikal'nogo pul'povoda* [Research of the process of filling by rewash discard of upper part of underground chambers and the nature of wear and tear of vertical pulp line]. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. pp. 209–214.
3. Khairutdinov M. M. 2008, *Podzemnaya geotekhnologiya s zakladkoi vyrabotannogo prostranstva. Nedostatki ivozmozhnosti sovershenstvovaniya* [Underground geotechnology with goave packing. Problems and capabilities of modernization]. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin]. pp. 240–250.
4. Pepelyaev V. S. 2011, *Polietilenovye armirovannye truby vysokogo davleniya* [Polyethylene reinforced pipes of high pressure]. *Sfera. Neft' i gaz* [Sphere. Oil and Gas]. No. 3. pp. 176–178.
5. Muravin I. A., Krivonozhenko N. N. 2013, I*znosostoikost' polietilenovykh trub dokazana praktikoi* [Abrasion resistance of polyethylene pipes proven in use]. Polietilenovye truby [Polyethylene pipes]. No. 4. pp. 51–54.
6. Shurygin V. D., Semenenko E. V. 2007, *Iznos polietilenovykh trub pri gidrotransporte iskhodnykh peskov Malyshevskogo mestorozhdeniya* [Abrasive resistance of polyethylene pipes during hydrotransport of initial sands of Malyshevskiy deposit]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Metal Mining industry]. No. 6. pp. 90–93.
7. Mustafanov F. M. 2004, *Promyslovye truboprovody i oborudovanie* [Field pipelines and equipment]. Moscow, 662 p.
8. Kirschmer O. Problems of Abrasion in Pipes, *Steinzeugin Formationen*, 1988, No. 1, pp. 3–13.

Андрей Юрьевич Стовманенко,
s600122@yandex.ru
Александр Николаевич Анушенков,
sfu-prm@ya.ru
Сибирский федеральный университет
Россия, Красноярск, просп. Свободный, 79

Andrey Yur'evich Stovmanenko,
s600122@yandex.ru
Aleksandr Nikolaevich Anushenkov,
sfu-prm@ya.ru
Siberian Federal University
Krasnoyarsk, Russia

УДК 629.735(07) DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-72-75

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ ИНВАРИАНТНОГО ПОГРУЖЕНИЯ В БЕЗДАТЧИКОВОЙ СИСТЕМЕ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Г. Т. Хафизов, Д. А. Курносов, С. Г. Воронин

Usage of invariant immersion filters in sensorless system of vector control of PMSM

G. T. Khaphizov, D. A. Kurnosov, S. G. Voronin

With each year, electrical drives occupy a bigger place in the life of a person. In medicine, construction, rescue work, military, scientific, industrial, in processing and many others. There are almost no areas, spheres of life where electrical drives aren't used and rectifier drive starts taking up leading position. Rectifier drive based on permanent-field synchronous motor is a locked system of automatic control, feedbacks on phase currents and voltages usually, as well as mechanical coordinates, such as rotor turn angle, rotational speed and momentum at the rotor shaft. Oftentimes finished electrical drive is quite an expensive device. Detectors of mechanical coordinates are one of the most expensive elements and a crucial task is to build sensorless electrical drive. There are also oftentimes problems during design of rectifier drive, when there is no physical access for measuring the mechanical coordinates. In such cases it is necessary to implement an estimation device which should correctly function not only in static modes but also during transition processes. Sensorless diagram of vector control of PMSM based on non-linear estimating filters of invariant immersion is considered during this work. Usage of estimating filters of invariant immersion allows withdrawing from measuring mechanical coordinates, not only in static modes but in dynamics. Decision structure of this problem is to analyze the system of PMSM combined equation; invariant immersion filter synthesis; in order to estimate the mechanical coordinates; reduced-order invariant immersion filter synthesis; mathematic modeling for the purpose of analyzing and comparing their functioning and application to rectifier drive. During the work the following was received: full order invariant immersion filter; lower order invariant immersion filter; results of work simulation of estimating filters are given.

Keywords: filter of full order invariant immersion; filter of invariant immersion of lowered order; PMSM; vector control; sensor-less control; synchronous motor with permanent magnets.

С каждым годом электроприводы занимают все большее место в жизни человека. Они применяются в медицине, строительстве, спасательном деле, военном, научном, производственном, в переработке и многих других. Практически нет областей, сфер жизни, где бы ни применялись электроприводы, и лидирующую позицию начинает занимать вентильный электропривод. Вентильный электропривод на основе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов представляет собой замкнутую систему автоматического управления. Замыкают систему обычно обратные связи по фазным токам и напряжениям, а также по таким механическим координатам, как угол поворота ротора, угловая скорость вращения и механический момент на валу ротора. Зачастую готовый электропривод является весьма дорогим устройством. Датчики механических координат являются одними из самых дорогих элементов, и актуальной задачей является построение бездатчикового электропривода. Также часто возникают задачи при проектировании вентильного электропривода, когда нет физического доступа, для измерения механических координат. В таких случаях необходимо реализовывать оценивающее устройство, которое должно корректно функционировать не только в статических режимах, но и при переходных процессах. В данной работе рассматривается бездатчиковая схема векторного управления вентильного двигателя на основе нелинейных оценивающих фильтров инвариантного погружения. Использование оценивающих фильтров инвариантного погружения позволяет отказаться от измерения механических координат не только в статических режимах, но и в динамике. Структурой решения данной проблемы являются анализ системы уравнений вентильного двигателя; синтез фильтра инвариантного погружения для оценивания механических координат; синтез фильтра инвариантного погружения пониженного порядка; математическое моделирование с целью анализа и сравнения их функционирования и применимости к вентильному электроприводу. В ходе работы были получены: фильтр полного порядка инвариантного погружения; фильтр пониженного порядка инвариантного погружения; приводятся результаты моделирования работы оценивающих фильтров.

Ключевые слова: фильтр инвариантного погружения полного порядка; фильтр инвариантного погружения пониженного порядка; вентильный двигатель; векторное управление; бездатчиковое управление; синхронный двигатель с постоянными магнитами.

Фильтр инвариантного погружения полного порядка

Проблемой оценивания ненаблюдаемых координат в теории электропривода вентильными двигателями посвящено много работ. Наиболее применяемые – фильтры Калмана [1, 2] и Люинбергера [3–5], также применяются оценивающие устройства, основанные на геометрической связи в фазовом пространстве [6], и устройства, получаемые методом расширения пространства состояний и введением динамических коэффициентов у функций штрафа [7]. Однако все эти фильтры хорошо работают в стационарных режимах, а для бездатчикового привода необходимы переходные режимы – для таких задач, как пуск двигателя. Фильтр инвариантного погружения основан на уравнении Стратоновича, которое описывает апостериорную плотность вероятности вектора состояний динамической системы. Вследствие этого фильтр инвариантного погружения высокоточно оценивает нелинейные системы в динамике. В основе вентильного двигателя лежит синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов. Как известно, любой электрически симметричный, m-фазный, n-полюсный синхронный двигатель преобразуется к эквивалентному двухфазному однополюсному синхронному двигателю. Рассмотрим бездатчиковый случай вентильного электропривода, будем считать, что наблюдаемыми величинами будут фазные токи, а ненаблюдаемыми – механические координаты. Запишем нелинейную систему обыкновенных стохастических дифференциальных уравнений в форме Коши, описывающую электромеханические процессы [8, 9] в двухфазном вентильном двигателе с учетом шумов, а также наблюдаемых и не наблюдаемых величин:

$$\begin{cases} \dfrac{di_\alpha^s}{dt} = \dfrac{U}{L^s}\cos(\varphi+\theta) - \dfrac{R^s}{L^s} i_\alpha^s - \dfrac{\kappa}{L^s}\omega\cos(\varphi) + W_1(t); \\ \dfrac{di_\beta^s}{dt} = \dfrac{U}{L^s}\sin(\varphi+\theta) - \dfrac{R^s}{L^s} i_\beta^s - \dfrac{\kappa}{L^s}\omega\cos\left(\varphi-\dfrac{\pi}{2}\right) + W_2(t); \\ \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{\kappa}{J^r} i_\alpha^s\cos(\varphi) + \dfrac{\kappa}{J^r} i_\beta^s\cos\left(\varphi-\dfrac{\pi}{2}\right) - \dfrac{M_c}{J^r} + W_3(t); \\ \dfrac{d\varphi}{dt} = \omega + W_4(t); \\ \dfrac{dM_c}{dt} = W_5(t); \\ z_1 = i_\alpha^s + V_1(t), \\ z_2 = i_\beta^s + V_2(t); \end{cases} \quad \begin{array}{l} a \in \left\{i_\alpha^s(t), i_\beta^s(t), \omega(t), \varphi(t), M_c(t)\right\} \in \Re, \\ b \in \left\{W_1(t), W_2(t), W_3(t), W_4(t), W_5(t)\right\} \in \Re, \\ c \in \left\{V_1(t), V_2(t)\right\} \in \Re; \\ M\left\{\forall a(t_0)\right\} = \mu_{a_0}, \\ D\left\{\forall a(t_0)\right\} = \nu_{a_0}, \\ M\left\{\forall b(t)\right\} = D\left\{\forall c(t)\right\} = 0; \\ \operatorname{cov}\left\{\forall b(t), \forall b(\tau)\right\} = \Psi_w \delta_D(t-\tau), \\ \operatorname{cov}\left\{\forall c(t), \forall c(\tau)\right\} = \Psi_v \delta_D(t-\tau), \\ \operatorname{cov}\left\{\forall b(t), \forall c(\tau)\right\} = 0, \end{array} \quad (1)$$

где i_α^s, i_β^s – токи фаз эквивалентного двухфазного электродвигателя; L^s – суммарная симметричная индуктивность обмотки фазы статора; R^s – сопротивление фазы статора; взаимосвязь амплитуды потока собственного поля ротора в системе отсчета статора задается коэффициентом κ; φ – механический угол поворота ротора; U – амплитуда напряжения питания фазы вентильного двигателя; θ – угол коммутации; M_c – момент сопротивления; J^r – момент инерции ротора; $W_1(t)$, $W_2(t)$, $W_3(t)$, $W_4(t)$, $W_5(t)$ – гауссовские шумы, вызванные естественными процессами, не учитываемые моделью; z_1, z_2 – переменные наблюдаемых в приводе величин; $V_1(t)$, $V_2(t)$ – гауссовские шумы, вызванные измерениями наблюдаемых величин; a – конечное множество переменных состояния системы; b – конечное множество шумов гаусса, вызванных естественными процессами, не учитываемых моделью; c – конечное множество шумов

Гаусса, вызванных измерениями наблюдаемых величин; $M\{\}$ – функция математического ожидания; $D\{\}$ – функция дисперсии; μ_{a0} – начальное значение математического ожидания от любого элемента множества $a(t_0)$ в начальный момент времени; ν_{a0} – начальное значение дисперсии от любого элемента множества $a(t_0)$ в начальный момент времени; $\mathrm{cov}\{,\}$ – функция ковариации процессов; $\delta_D()$ – дельта функция; Ψ_w – амплитуда интенсивности ковариации любых двух шумов из множества b в разные моменты времени; Ψ_v – амплитуда интенсивности ковариации любых двух шумов из множества c в разные моменты времени.

Рассмотрим систему уравнений фильтра инвариантного погружения полного порядка:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\mathbf{X}}} = \boldsymbol{f}\left(\hat{\mathrm{X}}, t, U, \theta\right) + \mathbf{P}\dfrac{\partial \boldsymbol{h}^T\left(\hat{\mathrm{X}}, t\right)}{\partial \hat{\mathrm{X}}}\boldsymbol{\Psi}_v^{-1}\left[\mathbf{Z} - \boldsymbol{h}\left(\mathrm{X}, t\right)\right]; \\ \dot{\mathbf{P}} = \mathbf{G}\boldsymbol{\Psi}_w\mathbf{G}^T + \mathbf{P}\dfrac{\partial \boldsymbol{f}^T\left(\hat{\mathrm{X}}, t, U, \theta\right)}{\partial \hat{\mathrm{X}}} + \dfrac{\partial \boldsymbol{f}\left(\hat{\mathrm{X}}, t, U, \theta\right)}{\partial \hat{\mathrm{X}}}\mathbf{P} - \mathbf{P}\dfrac{\partial\left\{\dfrac{\partial \boldsymbol{h}^T\left(\hat{\mathrm{X}}, t\right)}{\partial \hat{\mathbf{X}}}\boldsymbol{\Psi}_v^{-1}\left[\mathbf{Z} - \boldsymbol{h}\left(\hat{\mathrm{X}}, t\right)\right]\right\}}{\partial \hat{\mathrm{X}}}\mathbf{P}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\hat{\mathbf{X}}$ – оценка вектора состояния системы; $\boldsymbol{f}\left(\hat{\mathrm{X}}, t, U, \theta\right)$ – функция связи оценки вектора состояния; $\mathbf{P}$ – матрица дисперсии ошибки; $\mathbf{Z}$ – вектор наблюдения; $\boldsymbol{h}(\mathrm{X}, t)$ – вектор-функция связи наблюдаемых величин и вектора наблюдения; $\boldsymbol{\Psi}_v$ – матрица амплитуд ковариаций шумов измерений; $\boldsymbol{\Psi}_w$ – матрица амплитуд ковариаций шумов, вызванных естественными процессами в вентильном двигателе; $\mathbf{G}$ – матрица взаимосвязи гауссовских шумов.

Определим значения элементов системы (2) с учетом системы (1), для этого запишем необходимые сокращения:

$$\begin{cases} j_{13} = -\dfrac{\kappa}{L^s}\cos\left(\hat{\varphi}\right), & j_{31} = \dfrac{\kappa}{J^r}\cos\left(\hat{\varphi}\right), \\ j_{14} = \dfrac{\kappa}{L^s}\cdot\dfrac{3}{2}\hat{\omega}\sin\left(\hat{\varphi}\right) - \dfrac{U}{L^s}\sin\left(\hat{\varphi} + \theta\right), & j_{32} = \dfrac{\kappa}{J^r}\sin\left(\hat{\varphi}\right), \\ j_{22} = -R^s/L^s, & j_{34} = \dfrac{\kappa}{J^r}i_\beta^s\cos\left(\hat{\varphi}\right) - \dfrac{\kappa}{J^r}i_\alpha^s\sin\left(\hat{\varphi}\right), \\ j_{23} = -\dfrac{\kappa}{L^s}\cdot\dfrac{3}{2}\sin\left(\hat{\varphi}\right), & j_{35} = -\dfrac{1}{J^r}, \\ j_{24} = \dfrac{U}{L^s}\cos\left(\hat{\varphi} + \theta\right) - \dfrac{\kappa}{L^s}\hat{\omega}\cos\left(\hat{\varphi}\right), & j_{11} = -R^s/L^s, \end{cases} \quad (3)$$

Примем, что матрицы ковариаций будут единичными, матрица взаимосвязи – диагональная единичная матрица. Также пусть матрица дисперсий будет симметричной, дополнительно введем симметричную матрицу $\mathbf{B}$, которая будет содержать функциональную составляющую правой части второго уравнения системы (2). Запишем преобразованные с учетом систем (1)–(3) компоненты симметричной матрицы $\mathbf{B}$:

$$\begin{cases} b_{11} = 2P_{11}j_{11} + 2P_{31}j_{13} + 2P_{41}j_{14} - P_{11}P_{11} - P_{21}P_{21} + 1, \\ b_{21} = P_{21}j_{11} + P_{32}j_{13} + P_{42}j_{14} + j_{22}P_{21} + j_{23}P_{31} + j_{24}P_{41} - P_{21}P_{11} - P_{22}P_{21}, \\ b_{31} = P_{31}j_{11} + P_{33}j_{13} + P_{43}j_{14} + j_{31}P_{11} + j_{32}P_{21} + j_{34}P_{41} + j_{35}P_{51} - P_{31}P_{11} - P_{32}P_{21}, \\ b_{41} = P_{41}j_{11} + P_{43}j_{13} + P_{44}j_{14} + P_{41} - P_{41}P_{11} - P_{42}P_{21}, \\ b_{51} = P_{51}j_{11} + P_{53}j_{13} + P_{54}j_{14} - P_{51}P_{11} - P_{52}P_{21}, \\ b_{22} = 2P_{22}j_{22} + 2P_{32}j_{23} + 2P_{42}j_{24} - P_{21}P_{21} - P_{22}P_{22} + 1, \\ b_{32} = P_{32}j_{22} + P_{33}j_{23} + P_{43}j_{24} + j_{31}P_{21} + j_{32}P_{22} + j_{34}P_{42} + j_{35}P_{52} - P_{31}P_{21} - P_{32}P_{22}, \\ b_{42} = P_{42}j_{22} + P_{43}j_{23} + P_{44}j_{24} + P_{42} - P_{41}P_{21} - P_{42}P_{22}, \\ b_{52} = P_{52}j_{22} + P_{53}j_{23} + P_{54}j_{24} - P_{51}P_{21} - P_{52}P_{22}, \\ b_{33} = 2P_{31}j_{31} + 2P_{32}j_{32} + 2P_{43}j_{34} - 2P_{35}j_{53} - P_{31}P_{31} - P_{32}P_{32} + 1, \\ b_{43} = P_{41}j_{31} + P_{42}j_{32} + P_{44}j_{34} + j_{35}P_{54} + P_{43} - P_{41}P_{31} - P_{42}P_{32}, \\ b_{53} = P_{51}j_{31} + P_{52}j_{32} + P_{54}j_{34} + j_{35}P_{55} - P_{51}P_{31} - P_{52}P_{32}, \\ b_{44} = 2P_{44} - P_{41}P_{41} - P_{42}P_{42} + 1, \\ b_{54} = P_{54} - P_{51}P_{41} - P_{52}P_{42}, \\ b_{55} = P_{51}P_{51} + P_{52}P_{52} + 1. \end{cases} \quad (4)$$

Окончательно система уравнений для фильтра инвариантного погружения оценки механических величин вентильного двигателя с учетом систем (1)–(4) запишется следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\mathbf{X}}} = \begin{bmatrix} \dot{\hat{i}}_\alpha^s \\ \dot{\hat{i}}_\beta^s \\ \dot{\hat{\omega}} \\ \dot{\hat{\varphi}} \\ \dot{\hat{M}}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{U}{L^{s''}}\cos\left(\hat{\varphi} + \theta\right) - \dfrac{R^s}{L^{s''}}\hat{i}_\alpha^s - \dfrac{\kappa}{L^{s''}}\hat{\omega}\cos\left(\hat{\varphi}\right) \\ \dfrac{U}{L^{s''}}\sin\left(\hat{\varphi} + \theta\right) - \dfrac{R^s}{L^{s''}}\hat{i}_\beta^s - \dfrac{\kappa}{L^{s''}}\hat{\omega}\sin\left(\hat{\varphi}\right) \\ \dfrac{\kappa}{J^r}\hat{i}_\alpha^s\cos\left(\hat{\varphi}\right) + \dfrac{\kappa}{J^r}\hat{i}_\beta^s\sin\left(\hat{\varphi}\right) - \dfrac{\hat{M}_c}{J^r} \\ \hat{\omega} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_{11}\left(i_\alpha^s - \hat{i}_\alpha^s\right) + P_{21}\left(i_\beta^s - \hat{i}_\beta^s\right) \\ P_{21}\left(i_\alpha^s - \hat{i}_\alpha^s\right) + P_{22}\left(i_\beta^s - \hat{i}_\beta^s\right) \\ P_{31}\left(i_\alpha^s - \hat{i}_\alpha^s\right) + P_{32}\left(i_\beta^s - \hat{i}_\beta^s\right) \\ P_{41}\left(i_\alpha^s - \hat{i}_\alpha^s\right) + P_{42}\left(i_\beta^s - \hat{i}_\beta^s\right) \\ P_{51}\left(i_\alpha^s - \hat{i}_\alpha^s\right) + P_{52}\left(i_\beta^s - \hat{i}_\beta^s\right) \end{bmatrix} \\ \dot{\mathbf{P}} = \mathbf{B} \end{cases}. \quad (5)$$

Как можно заметить, система (5) – это система двадцатого порядка, компоненты матрицы дисперсии ошибки $\mathbf{P}$ играют роль динамических коэффициентов у функций «штрафа», которыми являются разности наблюдаемых и оцениваемых фазных токов. Высокий порядок системы затрудняет реализацию на микроконтроллерах со слабой вычислительной мощностью, поэтому необходимо понизить порядок фильтра инвариантного погружения.

Фильтр инвариантного погружения пониженного порядка

Фильтр инвариантного погружения полного порядка оценивает не только ненаблюдаемые механические координаты, но и наблюдаемые, т. е. фазные токи. Построим фильтр пониженного порядка так, чтобы происходила оценка только ненаблюдаемых величин, а остальные величины будем восстанавливать из оцениваемых. Разделим оценку вектора состояния системы (2) на две части, часть с токами определим в вектор-функцию связи наблюдаемых величин и вектора наблюдения, а оставшиеся элементы оставим в векторе состояния. Тогда к системе (2) необходимо добавить дополнительное векторное дифференциальное уравнение:

$$\dot{\boldsymbol{h}} = \boldsymbol{h}\left(\hat{X}, t\right). \quad (6)$$

Однако порядок системы изменится незначительно, при таком введении для существенного изменения необходимо решить систему (6) и использовать решение уже в системе (2). Система (6) представляет собой первые два уравнения системы (1). Каждое уравнение системы (6) представляет собой уравнение Бернулли. Решение уравнения Бернулли представляет собой функцию:

$$h\left(t\right) = Ce^{-\int Pdt} + e^{-\int Pdt}\int\left[Qe^{\int Pdt}\right]dt, \quad (7)$$

где $P = R^s/L^s$; Q – оставшиеся элементы векторного многочлена $\boldsymbol{f}\left(\hat{X}, t, U, \theta\right)$; C – константа.

Предположим, что скорость в системе (6) от времени меняется слабо: $\omega \approx \mathrm{const}$, также пусть в фазных токах отсутствует постоянная составляющая $C = 0$, пусть также $Q'(t)$ слабо зависит от $e^{\int Pdt}$. Тогда решение (7) можно переписать в виде:

$$h(t) = Q(t). \quad (8)$$

Воспользуемся решением (8) системы (6) для сборки фильтра инвариантного погружения пониженного порядка из систем (6) и (2). Проведем предварительные преобразования и запишем систему, но для этого запишем предварительные сокращения:

$$\begin{cases} h_1 = \dfrac{U\cos\left(\theta\right) - \kappa\hat{\omega}}{L^s}\cdot\dfrac{\hat{\omega}\sin\left(\hat{\varphi}\right) + \left(R^s/L^s\right)\cos\left(\hat{\varphi}\right)}{\left(R^s/L^s\right)^2 + \hat{\omega}^2} - \dfrac{U\sin\left(\theta\right)}{L^s}\cdot\dfrac{\left(R^s/L^s\right)\sin\left(\hat{\varphi}\right) - \hat{\omega}\cos\left(\hat{\varphi}\right)}{\left(R^s/L^s\right)^2 + \hat{\omega}^2}, \\ h_2 = \dfrac{U\cos\left(\theta\right) - \kappa\hat{\omega}}{L^s}\cdot\dfrac{\left(R^s/L^s\right)\sin\left(\hat{\varphi}\right) - \hat{\omega}\cos\left(\hat{\varphi}\right)}{\left(R^s/L^s\right)^2 + \hat{\omega}^2} + \dfrac{U\sin\left(\theta\right)}{L^s}\cdot\dfrac{\hat{\omega}\sin\left(\hat{\varphi}\right) + \left(R^s/L^s\right)\cos\left(\hat{\varphi}\right)}{\left(R^s/L^s\right)^2 + \hat{\omega}^2}; \\ r_1 = -\dfrac{UL^{s3}\hat{\omega}^2\sin\left(\hat{\varphi} + \theta\right) - \kappa L^{s2}R^{s2}\hat{\omega}^2\cos\left(\hat{\varphi}\right) + 2UL^{s2}R^s\hat{\omega}\cos\left(\hat{\varphi}\right)}{\left[\left(L^{s''}\hat{\omega}\right)^2 + R^{s2}\right]^2} - \\ -\dfrac{2\kappa L^sR^{s2}\hat{\omega}\sin\left(\hat{\varphi}\right) - UL^sR^{s2}\sin\left(\hat{\varphi} + \theta\right) + \kappa R^{s3}\cos\left(\hat{\varphi}\right)}{\left[\left(L^s\hat{\omega}\right)^2 + R^{s2}\right]^2}, \\ r_2 = -\dfrac{R^sU\sin\left(\hat{\varphi} + \theta\right) - R^s\kappa\hat{\omega}\sin\left(\hat{\varphi}\right) - UL^{s''}\hat{\omega}\cos\left(\hat{\varphi} + \theta\right)}{\left(L^s\hat{\omega}\right)^2 + R^{s2}} - \dfrac{\kappa L^s\hat{\omega}^2\cos\left(\hat{\varphi}\right)}{\left(L^{s''}\hat{\omega}\right)^2 + R^{s2}}, \\ r_3 = -\dfrac{UL^{s3}\hat{\omega}^2\cos\left(\hat{\varphi} + \theta\right) - \kappa L^{s2}R^{s2}\hat{\omega}^2\cos\left(\hat{\varphi}\right) + 2UL^{s2}R^s\hat{\omega}\sin\left(\hat{\varphi}\right)}{\left[\left(L^{s''}\hat{\omega}\right)^2 + R^{s2}\right]^2} - \\ -\dfrac{2\kappa L^sR^{s2}\hat{\omega}\cos\left(\hat{\varphi}\right) + UL^sR^{s2}\cos\left(\hat{\varphi} + \theta\right) + \kappa R^{s3}\sin\left(\hat{\varphi}\right)}{\left[\left(L^s\hat{\omega}\right)^2 + R^{s2}\right]^2}, \\ r_4 = \dfrac{R^sU\cos\left(\hat{\varphi} + \theta\right) - R^s\kappa\hat{\omega}\cos\left(\hat{\varphi}\right) + UL^s\hat{\omega}\sin\left(\hat{\varphi} + \theta\right) - \kappa L^s\hat{\omega}^2\sin\left(\hat{\varphi}\right)}{\left(L^s\hat{\omega}\right)^2 + R^{s2}}; \\ c_1 = -\dfrac{\kappa}{J^r}i_\alpha^s\sin\left(\hat{\varphi}\right) + \dfrac{\kappa}{J^r}i_\beta^s\cos\left(\hat{\varphi}\right),\ c_2 = -\dfrac{1}{J^r}. \end{cases} \quad (9)$$

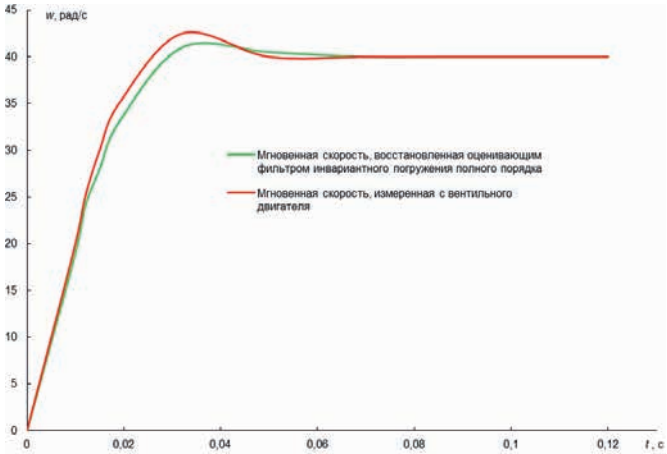


Рисунок 1. Осциллограмма угловой скорости ротора вентильного двигателя, снятая с фильтра инвариантного погружения полного порядка и с математической модели вентильного двигателя.

Тогда система уравнений фильтра инвариантного погружения пониженного порядка для вентильного двигателя будет выражаться:

$$\begin{cases} \dot{\hat{\mathbf{X}}} = \begin{bmatrix} \dot{\hat{\omega}} \\ \dot{\hat{\varphi}} \\ \dot{\hat{M}}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\kappa}{J^r} i_\alpha^s \cos(\hat{\varphi}) + \frac{\kappa}{J^r} i_\beta^s \cos(\hat{\varphi} - \pi/2) - \frac{\hat{M}_c}{J^r} \\ \omega \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \left[i_\alpha^s - h_1\right]\left(P_{11} r_1 + P_{21} r_2\right) + \\ + \left[i_\beta^s - h_2\right]\left(P_{11} r_3 + P_{21} r_4\right) \\ \left[i_\alpha^s - h_1\right]\left(P_{21} r_{11} + P_{22} r_2\right) + \\ + \left[i_\beta^s - h_2\right]\left(P_{21} r_3 + P_{22} r_4\right) \\ \left[i_\alpha^s - h_1\right]\left(P_{31} r_1 + P_{32} r_2\right) + \\ + \left[i_\beta^s - h_2\right]\left(P_{31} r_3 + P_{32} r_4\right) \end{bmatrix}; \\ \dot{\mathbf{P}} = \begin{bmatrix} \dot{P}_{11} \\ \dot{P}_{21} \\ \dot{P}_{22} \\ \dot{P}_{31} \\ \dot{P}_{32} \\ \dot{P}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(P_{11} P_{11} r_1 r_1 + P_{11} P_{21} r_2 r_1 + P_{11} P_{11} r_3 r_3 + P_{11} P_{21} r_4 r_3 + \\ + P_{21} P_{11} r_1 r_2 + P_{21} P_{21} r_2 r_2 + P_{21} P_{11} r_3 r_4 + P_{21} P_{21} r_4 r_4) + 2P_{21} c_1 + 2P_{31} c_2 + 1 \\ -(P_{11} P_{21} r_1 r_1 + P_{11} P_{22} r_2 r_1 + P_{11} P_{21} r_3 r_3 + P_{11} P_{22} r_4 r_3 + \\ + P_{21} P_{21} r_1 r_2 + P_{21} P_{22} r_2 r_2 + P_{21} P_{21} r_3 r_4 + P_{21} P_{22} r_4 r_4) + P_{22} c_1 + P_{32} c_2 + P_{11} \\ -(P_{21} P_{21} r_1 r_1 + P_{21} P_{22} r_2 r_1 + P_{21} P_{21} r_3 r_3 + P_{21} P_{22} r_4 r_3 + \\ + P_{22} P_{21} r_1 r_2 + P_{22} P_{22} r_2 r_2 + P_{22} P_{21} r_3 r_4 + P_{22} P_{22} r_4 r_4) + 2P_{21} + 1 \\ -(P_{11} P_{31} r_1 r_1 + P_{11} P_{32} r_2 r_1 + P_{11} P_{31} r_3 r_3 + P_{11} P_{32} r_4 r_3 + \\ + P_{21} P_{31} r_1 r_2 + P_{21} P_{32} r_2 r_2 + P_{21} P_{31} r_3 r_4 + P_{21} P_{32} r_4 r_4) + P_{32} c_1 + P_{33} c_2 \\ -(P_{21} P_{31} r_1 r_1 + P_{21} P_{32} r_2 r_1 + P_{21} P_{31} r_3 r_3 + P_{21} P_{32} r_4 r_3 + \\ + P_{22} P_{31} r_1 r_2 + P_{22} P_{32} r_2 r_2 + P_{22} P_{31} r_3 r_4 + P_{22} P_{32} r_4 r_4) + P_{31} \\ -(P_{31} P_{31} r_1 r_1 + P_{31} P_{32} r_2 r_1 + P_{31} P_{31} r_3 r_3 + P_{21} P_{32} r_4 r_3 + \\ + P_{32} P_{31} r_1 r_2 + P_{32} P_{32} r_2 r_2 + P_{32} P_{31} r_3 r_4 + P_{32} P_{32} r_4 r_4) + 1 \end{bmatrix} \end{cases}. \quad (10)$$

Полученная система фильтра инвариантного погружения пониженного порядка (10) для вентильного двигателя является системой девятого порядка, а это на одиннадцать порядков ниже, чем у фильтра полного порядка (5). Таким образом, фильтр пониженного порядка имеет большую степень реализуемости на микроконтроллерах с малой вычислительной мощностью. Однако, в связи с принятыми упрощениями, данный фильтр будет менее адекватен при оценивании переходных процессов относительно фильтра полного порядка.

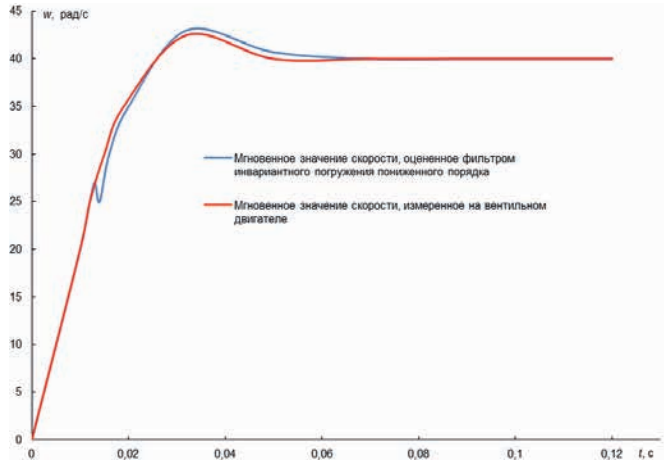


Рисунок 2. Осциллограмма угловой скорости ротора вентильного двигателя, снятая с фильтра инвариантного погружения пониженного порядка и с математической модели вентильного двигателя.

Математическое моделирование фильтров инвариантного погружения

Проведем математическое моделирование фильтров полного и пониженного порядков систем (10) и (5). Для этого примем, что электропривод вентильного двигателя обладает следующими параметрами и начальными условиями:

$$\begin{cases} R^s = 1\,\text{Ом} \\ L^s = 0{,}005\,\text{Гн} \\ U = 40\,\text{В} \\ J = 0{,}01\,\text{кг}\cdot\text{м}^2 \\ \theta = 0\,\text{рад} \end{cases}, \mathbf{P}(0) = \begin{pmatrix} 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 5 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 5 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{X}(0) = \begin{bmatrix} i_\alpha^s(0) = 0 \\ i_\beta^s(0) = 0 \\ \omega(0) = 0 \\ \varphi(0) = 0 \\ M_c(0) = 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Приведем сравнительные осциллограммы угловых скоростей ротора, снятые с оценивающего фильтра и с математической модели вентильного двигателя в составе бездатчикового электропривода.

Из рис. 1, 2 видно, что оценивающие фильтры инвариантного погружения справляются с задачей оценки скорости двигателя. Надо заметить, что фильтр полного порядка имеет меньшее перерегулирование по скорости, чем сам объект, когда фильтр пониженного порядка практически неразличим при переходном процессе, но имеет в себе нелинейность, приводящую к сбою на 0,014 секунде.

Рассмотрим теперь семейства осциллограмм моментов на валу ротора вентильного двигателя, снятые с оценивающего фильтра и с математической модели вентильного двигателя в составе бездатчикового электропривода.

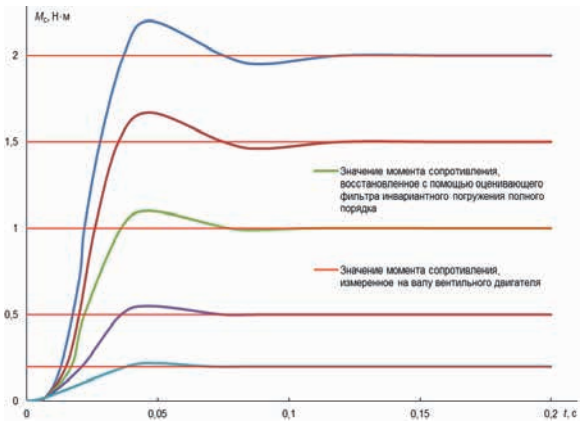


Рисунок 3. Семейство осциллограмм моментов сопротивлений на валу вентильного двигателя в составе привода, снятые с фильтра инвариантного погружения полного порядка и с математической модели вентильного двигателя.

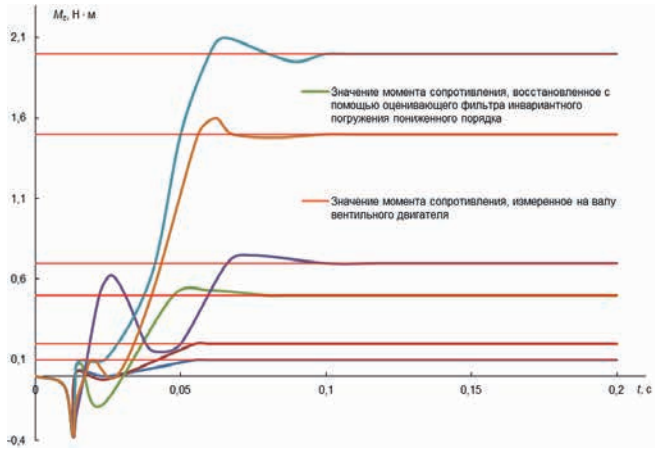


Рисунок 4. Семейство осциллограмм моментов сопротивлений на валу вентильного двигателя в составе привода, снятые с фильтра инвариантного погружения пониженного порядка и с математической модели вентильного двигателя.

На рис. 2–4 представлены семейства осциллограмм моментов на валу ротора вентильного двигателя. Как можно заметить, фильтр инвариантного погружения полного порядка оценивает значение момента на валу ротора без статической ошибки и с минимальным перерегулированием в динамике. Фильтр инвариантного погружения пониженного порядка оценивает момент хуже в динамике, при переходных процессах возникают высокая колебательность и перерегулирование, однако оцениваемые значения момента асимптотически стремятся к значениям момента на валу ротора.

Таким образом, поставленные в исследовании задачи решены и получены следующие результаты: исследован оценивающий фильтр инвариантного погружения для задачи построения бездатчикового вентильного привода, выявлено, что фильтр представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений двадцатого порядка, которая корректно оценивает механические координаты вентильного двигателя в составе привода как в статических режимах, так и в переходных процессах. Получен фильтр инвариантного погружения пониженного порядка, выявлено, что фильтр является системой дифференциальных уравнений девятого порядка и справляется с задачей оценивания механических координат при переходных процессах удовлетворительно, однако при оценивании момента сопротивления наблюдается высокое перерегулирование. Необходимо заметить, что для пуска вентильного двигателя необходимо корректно оценивать механические координаты в динамике, поэтому наиболее оптимальным для таких задач можно считать фильтр инвариантного погружения полного порядка, но в стационарных и псевдостационарных режимах лучшим решением будет фильтр инвариантного погружения пониженного порядка. Подводя итог, можно сказать. что в связи с все увеличивающимися вычислительными мощностями и удешевляющимися микроконтроллерами фильтр инвариантного погружения является перспективным оценивающим устройством для применения в вентильном электроприводе, способным получать корректную оценку таких механических величин, как угол поворота ротора, угловая скорость и момент сопротивления на валу ротора вентильного двигателя при переходных процессах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gamazo-Real J. C., Vázquez-Sánchez E., Gómez-Gil E. Position and speed control of brushless DC motors using sensorless Techniques and Application Trends // Sensors. 2010. № 10. P. 6900–6947.
2. Lavanya Y., Bhavani N. P. G., Ramesh N., Sujatha K. Sensorless vector control of BLDC using extended Kalman filter // Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ). 2009. № 2. P. 5005–5022.
3. Luenberger D. An Introduction to Observers // IEEE Trans. Autom. Control. 1971. Vol. 16. P. 596–602.
4. Yang J., Hu Y., Huang W., Chu J., Gao J. Direct torque control of brushless DC motor without flux linkage observation // Proceedings of the IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC ‘09), Wuhan, China, May 2009. pp. 1934–1937.
5. Busca C. Open loop low speed control for PMSM in high dynamic applications. Aalborg, Denmark: Aalborg universitet. 2010. 119 c.
6. Клиначев Н. В., Кулёва Н. Ю., Воронин С. Г. Определение углового положения ротора синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Энергетика». 2014. Т. 14. № 2. С. 49–54.
7. Курносов Д. А. Использование настраиваемой модели вентильного двигателя в бездатчиковой системе векторного управления // Материалы 65 науч. конф. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. № 1. С. 44–48.
8. Хафизов Г. Т., Воронин С. Г. Некоторые способы регулировки выходных параметров электропривода с вентильным двигателем при векторном управлении // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 1. С. 10–13.
9. Воронин С. Г. Курносов Д. А. и др. Электромагнитный момент и момент сопротивления на валу синхронного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов // Электротехника. 2012. № 2. С. 2–5.

REFERENCES

1. Gamazo-Real J. C., Vázquez-Sánchez E., Gómez-Gil E. Position and speed control of brushless DC motors using sensorless Techniques and Application Trends. *Sensors*. 2010. № 10. P. 6900–6947.
2. Lavanya Y., Bhavani N. P. G., Ramesh N., Sujatha K. Sensorless vector control of BLDC using extended Kalman filter. *Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)*. 2009. № 2. P. 5005–5022.
3. Luenberger D. An Introduction to Observers. *IEEE Trans. Autom. Control*. 1971. Vol. 16. P. 596–602.
4. Yang J., Hu Y., Huang W., Chu J., Gao J. Direct torque control of brushless DC motor without flux linkage observation. Proceedings of the IEEE 6th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC ‘09), Wuhan, China, May 2009. pp. 1934–1937.
5. Busca C. Open loop low speed control for PMSM in high dynamic applications. Aalborg, Denmark: Aalborg universitet. 2010. 119 c.
6. Klinachev N. V., Kulyeva N. Yu., Voronin S. G. 2014, *Opredelenie uglovogo polozheniya rotora sinkhronnogo dvigatelya s vozbuzhdeniem ot postoyannykh magnitov* [Determining the angular location of the synchronous motor rotor with excitation from permanent magnets]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Energetics]. 2014. No. 2. pp. 49–54.
7. Kurnosov D. A. 2013, *Ispol'zovanie nastraivaemoi modeli ventil'nogo dvigatelya v bezdatchikovoi sisteme vektornogo upravleniya. Materialy 65 nauchnoi konferentsii* [Usage of adaptive model of PMSM in sensorless system of vectorial control. Materials of 65th scientific conference]. Chelyabinsk, South Ural State University. 2013. No. 1. pp. 44–48.
8. Khafizov G. T., Voronin S. G. 2016, *Nekotorye sposoby regulirovki viykhodnykh parametrov elektroprivoda s ventilnym dvigatelem pri vektornom upravlenii* [Few methods of aligning the output parameters of electrical drive with PMSM during vector control]. *Elektrotekhnicheskie sistemy i kompleksy* [Electrotechnical systems and complexes]. 2016. No. 1. pp. 10–13.
9. Voronin S. G., Kurnosov D. A. et al. 2012, *Elektromagnitnyi moment i moment soprotivleniya na valu sinkhronnogo elektrodvigatelya s vozbuzhdeniem ot postoyannykh magnitov* [Electromagnetic moment and moment resistance on the synchronous motor shaft with actuation from permanent magnets]. *Electrotekhnika* [Russian Electrical Engineering]. No. 2. 2012. pp. 2–5.

Глеб Тагирович Хафизов,
Bloodnighthorror@mail.ru
Дмитрий Александрович Курносов,
Сергей Григорьевич Воронин,
Южно-Уральский государственный университет
Россия, Челябинск, просп. Ленина, 76

Gleb Tagirovich Khaphizov,
Bloodnighthorror@mail.ru
Dmitriy Aleksandrovich Kurnosov,
Sergey Grigor'evich Voronin,
South Ural State University
Chelyabinsk, Russia

УДК 621.3 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-76-79

ОБ АКТИВНЫХ МАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКАХ

И. Л. Шеклеина, А. В. Угольников, Д. С. Стожков

About active magnetic bearings

I. L. Schekleina, A. V. Ugol'nikov, D. S. Stozhkov

Concept of active magnetic bearing as a controllable electromagnetic device which holds the part of the machine (rotor) in set position relative to stationary part is given. Structurally the active magnetic bearing consists of two main parts: electrical mechanical part, or bearing itself and electrical control system. Options of the structure and operating principle of bearings are given. Bearing is a rotor and rotor position sensors. Rotor rotates in the magnetic field. Electrical magnets create the magnetic field, they are fixed on the stator. There is no mechanical contact between rotor and stator. There are two structural options of radial bearings: with traversal and lateral direction of magnetic flow relative to the rotor axis. Bearings with transversal flow direction are easier to manufacture and have lesser longitudinal dimensions. Control system is simpler during eight pole structure of the stator. In case of big bearings it is viable to use large number of poles. Routes of providing optimal technical characteristics are given: maximum frequency of rotor spinning, friction losses, power consumption, functional reliability. Maximum frequency of rotor spinning depends only on the quality of structural materials. Stiffness of bearing depends on the parameters of control system and disturbing frequency. Positional accuracy of the rotor axis is determined by the quality of the signal of position sensor and the support stiffness. Friction losses in the bearing are caused by the losses on vortex currents and hysteresis in rotor packs. Energy consumption of the bearing is justified by the loses in electromagnets and power amplifiers. Operation reliability of the bearing is determined by the reliability of the electronic circuit and power supply system. Industry where active magnet bearings are used are reflected: in space systems, gas industry, in energetics, medicine, pharmaceutical and food industry, in power oscillators, in precision measuring instruments, gyroscopes, robots.

Keywords: active magnet bearing; rotor; magnet field; electrical magnets; system; control; rotation frequency; load capacity; dimensions; mass; stiffness; precision; position control; losses; friction; power consumption; reliability; pumps; mixers; turbines; industry.

Дано понятие активного магнитного подшипника как управляемого электромагнитного устройства, которое удерживает часть машины (ротор) в заданном положении относительно неподвижной части. Конструктивно активный магнитный подшипник состоит из двух основных частей: электромеханической части, или собственно подшипника, и электронной системы управления. Приведены варианты конструкции и принцип действия подшипников. Подшипник – это ротор и датчики положения ротора. Ротор вращается в магнитном поле. Магнитное поле создают электромагниты, они закреплены на статоре. Механический контакт между ротором и статором отсутствует. Различают два конструктивных варианта радиального подшипника: с поперечным и продольным направлением магнитного потока относительно оси ротора. Подшипники с поперечным направлением потока более просты в изготовлении и имеют меньшие продольные размеры. Система управления проще при восьмиполюсной конструкции статора. В случае больших подшипников целесообразно использовать большее число полюсов. Даны пути обеспечения оптимальных технических характеристик: максимальной частоты вращения ротора, несущей способности, габаритов и массы, точности позиционирования оси ротора, потерь на трение, энергопотребления, эксплуатационной надежности. Максимальная частота вращения ротора зависит только от качества конструкционных материалов. Несущая способность подшипника зависит от габаритных размеров и материала конструкции. Жесткость подшипника зависит от параметров системы управления и от частоты возмущения. Точность позиционирования оси ротора определяется качеством сигнала датчика положения и жесткостью подвеса. Потери на трение в подшипнике вызваны потерями на вихревые токи и гистерезис в пакетах ротора. Энергопотребление подшипника обусловлено потерями в электромагнитах и усилителях мощности. Эксплуатационная надежность подшипника определяется надежностью электронной схемы и системы электроснабжения. Активные магнитные подшипники используются в мощных генераторах, в точных измерительных приборах, гироскопах, роботах, а также в космической технике, в газовой промышленности, в энергетике, медицинской, фармацевтической и пищевой промышленности.

Ключевые слова: активный магнитный подшипник; ротор; магнитное поле,; электромагниты; система; управление; частота вращения; несущая способность; размеры; масса; жесткость; точность; регулирование положения; потери,; трение; энергопотребление; надежность,; насосы; миксеры; турбины; промышленность.

Основным элементом многих электрических машин является ротор, вращающийся в подшипниковых опорах. Рост скоростей вращения и мощностей роторных машин при одновременной тенденции к уменьшению массовых и габаритных показателей выдвигает проблему повышения долговечности подшипниковых узлов как первоочередную. Кроме того, в целом ряде областей современной техники требуются подшипники, способные надежно работать в экстремальных условиях: в вакууме, при высоких и низких температурах, сверхчистых технологиях, в агрессивных средах и т. п. Решение указанных проблем может осуществляться как совершенствованием традиционных подшипников качения и скольжения, так и созданием нетрадиционных подшипников, в которых используются иные физические принципы действия [1, 2].

К последним можно отнести активный магнитный подшипник (АМП) – управляемое электромагнитное устройство, которое удерживает вращающуюся часть машины (ротор) в заданном положении относительно неподвижной части (статора). Магнитные силы притяжения, действующие на ротор со стороны электромагнитов, управляются с помощью электронной системы управления. Поэтому конструктивно АМП состоит из двух основных частей (рис. 1): электромеханической части, или собственно подшипника, и электронной системы управления. Подшипник включает в себя ротор, подвешенный в магнитном поле, закрепленные на статоре электромагниты и датчики положения ротора. Механический контакт между ротором и неподвижным статором отсутствует. Смещения ротора из заданного положения равновесия измеряются датчиками положения. Сигнал с датчиков обрабатывается электронной системой управления таким образом, что магнитные силы возвращают ротор в исходное положение.

При отключенном подвесе, а также в случае аварийного сбоя в системе управления ротор опирается на страховочные (или аварийные) подшипники. Эти подшипники (чаще всего это шарикоподшипники) устанавливаются с зазором, поэтому в нормальном режиме они не вращаются.

Электронная система управления включает в себя регулятор и усилители мощности. Используя информацию, поступающую с датчиков положения, эта система управляет положением ротора путем изменения токов в электромагнитах. Соответствующий выбор закона управления токов позволяет обеспечить устойчивое положение ротора и его центровку в зазоре, а также получить желаемые значения жесткости и демпфирования подвеса. Конструктивно электронная система управления оформляется в виде электронного блока, соединенного кабелями с подшипниками и источником электропитания.

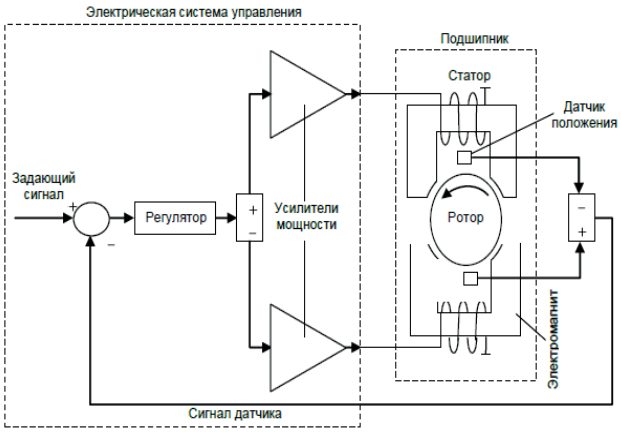


Рисунок 1. Принцип действия активного магнитного подшипника.

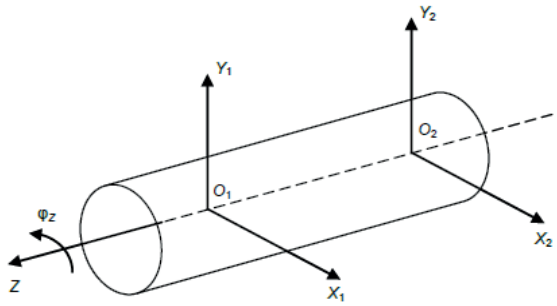


Рисунок 2. Схема ротора как твердого тела.

Ротор как твердое тело имеет шесть степеней свободы. Его перемещения относительно статора могут происходить в четырех радиальных направлениях X_1, Y_1, X_2, Y_2, одном осевом направлении Z и во вращательном движении на угол φ_Z вокруг продольной оси (рис. 2).

Вращение ротора φ_Z является его рабочим движением. Поэтому полный (неконтактный) магнитный подвес ротора должен ограничивать его перемещения и воспринимать нагрузки в пяти направлениях – X_1, Y_1, X_2, Y_2, Z.

Полный магнитный подвес ротора может быть создан при помощи одного осевого и как минимум двух радиальных АМП (рис. 3, *а*) либо при помощи двух конических АМП (рис. 3, *б*). На рис. 3, *в* показан обращенный вариант подвеса, в котором неподвижный статор расположен внутри вращающегося ротора [3].

При создании конкретных устройств всегда имеется возможность для отыскания новых конструктивных решений. Вместе с тем разработаны конструкции радиальных подшипников (их называют классическими), которые с успехом используются в большинстве устройств (рис. 4).

В зависимости от направления магнитного потока в теле ротора относительно его продольной оси возможны два конструктивных варианта радиального АМП: с поперечным направлением потока (рис. 4, *а*) и с продольным направлением потока (рис. 4, *б*).

Подшипники с поперечным направлением потока более просты в изготовлении и имеют меньшие продольные размеры. Для уменьшения потерь на вихревые токи статор и магнитоактивная часть ротора (цапфа) выполняются шихтованными. Данный тип классических подшипников получил наиболее широкое применение.

В подшипниках с продольным направлением потока нет необходимости, чтобы ротор был шихтованным. Такие подшипники применяются главным образом в тех случаях, когда ротор должен быть цельнометаллическим (например, в условиях глубокого вакуума).

Конструктивная схема классического радиального АМП представлена на рис. 5. Подшипник содержит силовую часть, измерительную часть и страховочный (аварийный) подшипник. Силовая часть служит для восприятия нагрузок в радиальных направлениях и состоит из статора и укрепленной на валу *1* цапфы *6*. Цапфа расположена внутри статора с радиальным зазором δ. Статор состоит из многополюсного кольцевого шихтованного пакета железа *4* и обмоток полюсов *5*. Цапфа представляет собой пакет железа в форме полого цилиндра. Пакеты статора и цапфы набираются обычно из листовой электротехнической стали толщиной 0,1–0,5 мм.

Чтобы вызвать силу в любом радиальном направлении, статор должен иметь не менее трех пар полюсов. Обычно используется восьмиполюсная конструкция (четыре пары полюсов), в которой обмотки каждых двух соседних полюсов соединяются между собой и вместе с этими полюсами образуют электромагнит. В результате статор содержит четыре электромагнита: два из них удерживают цапфу по оси *Ox*, два других – по оси *Oy*. Очевидно, что восьмиполюсная конструкция более удобна при решении задачи управления, чем шестиполюсная. В случае больших подшипников целесообразно использовать большее число полюсов (16, 24, 32). Это позволит уменьшить габаритные размеры подшипника. Для уменьшения потерь на гистерезис соседние полюса соседних электромагнитов имеют одинаковую полярность.

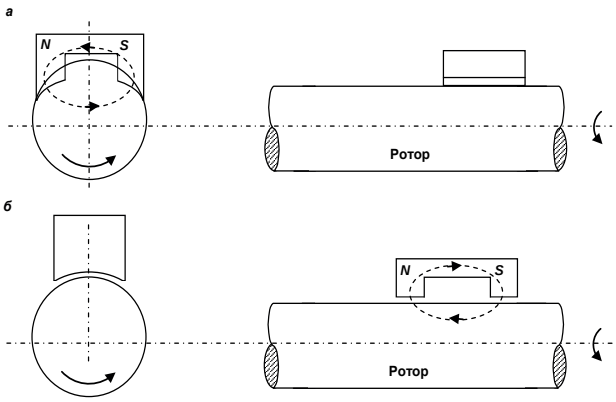


Рисунок 4. Конструктивные варианты радиального подшипника. *а* – с поперечным направлением потока; *б* – с продольным направлением потока.

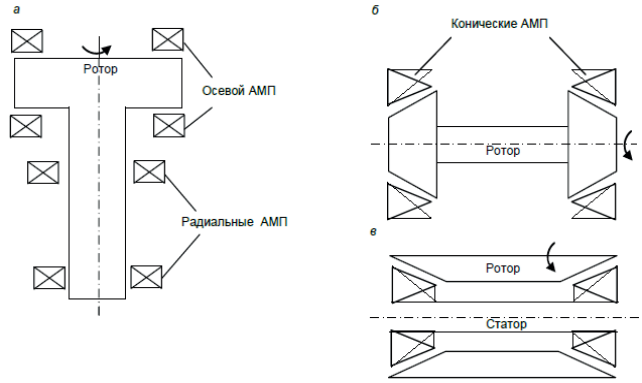


Рисунок 3. Варианты полного магнитного подвеса ротора. *а* – в двух радиальных и одном осевом АМП; *б* – в двух конических АМП; *в* – обращенная конструкция с двумя коническими АМП.

Измерительная часть подшипника содержит датчики перемещений ротора в радиальных направлениях *Ox* и *Oy*. По принципу действия датчики могут быть индуктивными, индукционными (вихревыми), емкостными и оптическими. Чаще других используются индуктивные датчики. Такой датчик состоит из статора *3* и укрепленного на валу мерительного кольца *2*, конструкции которых аналогичны конструкциям силового статора и цапфы соответственно. Разница состоит лишь в значительно меньшей толщине пакетов железа и большем числе полюсов и обмоток.

Страховочный подшипник *7* может быть либо шарикоподшипником, либо подшипником скольжения. Он служит для двух целей: опирания ротора при отключенном АМП и обеспечения выбега ротора кратковременно или до полной остановки в случае аварийного отказа АМП. Зазор в страховочном подшипнике обычно равен половине рабочего зазора в АМП. Шарикоподшипник может закрепляться как на валу, так и в корпусе машины. Подшипник скольжения содержит вкладыш, выполненный из графита, бронзы, фторопласта, тефлона.

Основными техническими характеристиками АМП являются: предельная частота вращения ротора, рабочий зазор, несущая способность, габаритные размеры и масса, жесткость, точность позиционирования оси ротора, потери на трение, энергопотребление, эксплуатационная надежность [1, 4].

Предельная частота вращения ротора зависит только от прочности на разрыв материала цапфы или диска. Известно, что для электротехнических сталей допустимая окружная скорость составляет 200 м/с. Поэтому, например, при диаметре цапфы 20 мм ротор может вращаться с частотой до 200 000 об/мин. Еще большие скорости вращения можно получить за счет использования аморфного железа, допускающего окружную скорость 350 м/с.

Характерные значения радиального зазора: δ = 0,3 мм при диаметре цапфы 70 мм; δ = 0,6 мм при диаметре цапфы 320 мм. В специальных случаях зазор может достигать нескольких десятков миллиметров. Относительно большие зазоры облегчают технологию изготовления и снижают чувствительность подшипника к эксплуатационному загрязнению.

Несущая способность АМП зависит от габаритных размеров и используемого материала и достигает 60 Н на 1 см^2 площади полюса для электротехнических сталей и 100 Н на 1 см^2 – для кобальтовых сталей. В оценочных расчетах можно руководствоваться следующими значениями удельной несущей способности: для радиального АМП – 20 Н на 1 см^2 площади диаметрального сечения цапфы; для осевого АМП – 40 Н на 1см^2 площади полюсов.

Габаритные размеры и масса АМП существенно больше, чем подшипников качения при одинаковой несущей способности. Размеры радиального АМП можно оценить через площадь диаметрального сечения цапфы, равной отношению требуемой несущей способности к удельной несущей способности (20 Н/см^2). Отсюда, зная диаметр цапфы, можно найти ее длину. Наружный диаметр АМП приблизительно вдвое больше диаметра цапфы. Масса АМП примерно равна произведению объема статора АМП на удельную плотность стали.

Жесткость АМП, определяемая как отношение амплитуды реакции подшипника к амплитуде колебаний цапфы, зависит от параметров

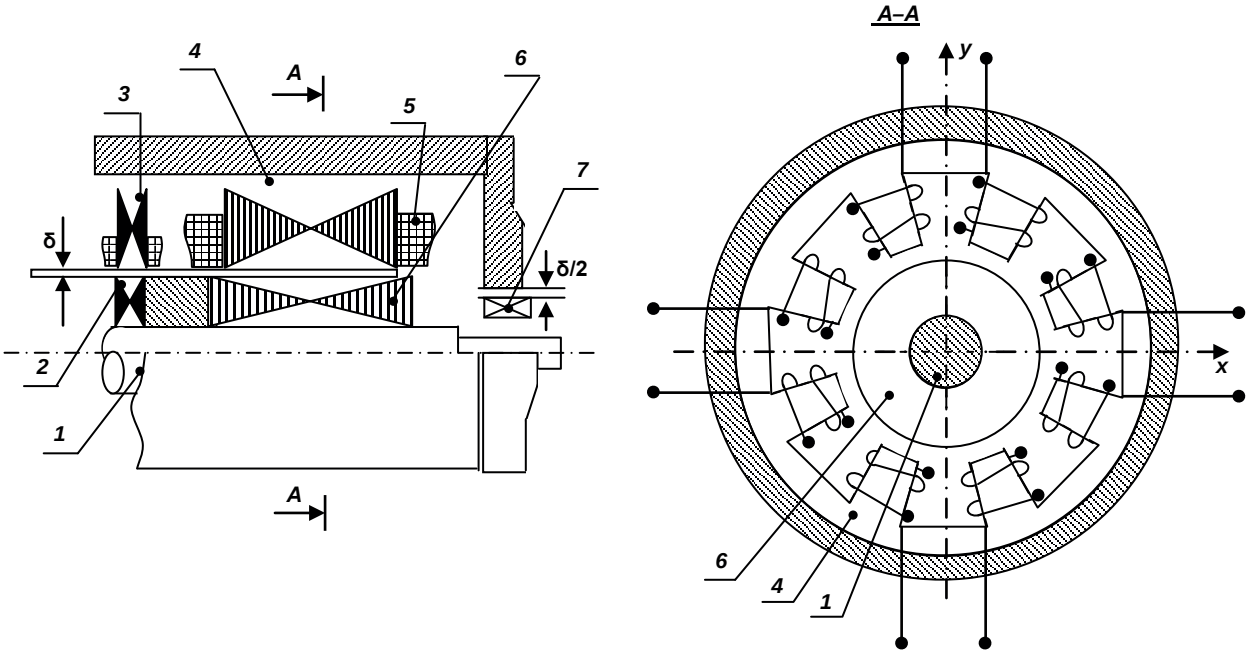


Рисунок 5. Конструктивная схема радиального активного магнитного подшипника.

системы управления и от частоты возмущения. Минимальное значение жесткости имеет место на частоте возмущения, равной собственной частоте подвеса ω_0, и составляет $c_{min} = M\omega_0^2$, где M – масса ротора. Значение ω_0 зависит от параметров системы управления и обычно находится в пределах 50–500 Гц. Статическая жесткость АМП за счет введения в регулятор интегрирующего звена может быть чрезвычайно высокой, в десятки раз превышающей значение c_{min}.

Точность позиционирования оси ротора в АМП относительно статора определяется главным образом качеством сигнала датчика положения и жесткостью подвеса. При использовании индуктивных датчиков может быть достигнута точность до 0,5 мкм.

Важной особенностью АМП является возможность создания контролируемых микроперемещений ротора в зазоре путем подачи в систему управления соответствующего задающего сигнала (рис. 1). Это свойство может быть использовано, например, для микроперемещений режущего инструмента, создания микроосцилляций ротора и т. п.

Потери на трение в АМП вызваны потерями на вихревые токи и перемагничивание в пакетах ротора. Эти потери меньше в 5–20 раз по сравнению с подшипниками качения и в 100–200 раз по сравнению с гидродинамическими подшипниками.

Энергопотребление АМП – это электрическая мощность, потребляемая подвесом от источника электроэнергии и обусловленная потерями в обмотках электромагнитов и усилителях мощности, приблизительно равная $\Delta P = 30\sqrt{M}$, где M – масса ротора, кг. Так, в машине с ротором массой 1000 кг и гидродинамическими подшипниками потребление мощности на трение и снабжение маслом составляет 150 кВт. При использовании АМП эта мощность равна всего 1 кВт.

Энергопотребление АМП зависит также от типа привода вращательного движения ротора. Длительная постоянная нагрузка, как в случае ременной передачи, повышает расход электроэнергии. Наиболее подходящим приводом в этом смысле является асинхронный электродвигатель.

Эксплуатационная надежность АМП определяется прежде всего надежностью электронной схемы и системы электроснабжения. Повышение надежности электронной схемы достигается путем резервирования отдельных электронных элементов и цепей, а также обмоток электромагнитов. При внезапном прекращении электроснабжения питание системы управления может осуществляться либо от запасных аккумуляторных батарей, либо от встроенного в машину специального генератора малой мощности. При повреждении кабеля подвода тока к АМП выбег ротора до полной остановки происходит на страховочных подшипниках. Эксплуатационная надежность АМП с резервным исполнением очень высока и составляет 99 % в течение 10 лет работы.

Несмотря на недостатки АМП, заключающиеся в необходимости во внешнем источнике электроэнергии, сложности электронного блока управления, относительно высокой стоимости из-за отсутствия механического контакта между вращающейся и неподвижной частями машины и наличия электронной системы управления, они находят и будут находить применение там, где возможности традиционных подшипников исчерпаны.

Применение АМП перспективно в космической технике. Подшипники антенн и маховиков гиросиловых стабилизаторов ориентации спутников должны длительное время работать в таких экстремальных условиях, как высокий вакуум, невесомость, переменные температуры. Регулировка и ремонт их, само собой разумеется, невозможны [5].

При создании высоковакуумных турбомолекулярных насосов большой проблемой является борьба с испаряющимися из шарикоподшипников смазочными веществами, которые загрязняют вакуум. Применение АМП позволит достигнуть абсолютно свободного от углеводородов вакуума.

Установка АМП в центробежный электрокомпрессор для обеспечения циркуляции газовой среды в замкнутом контуре газового технологического лазера позволит полностью исключить загрязнение внутренней среды лазера.

С помощью АМП успешно решается задача обеспечения абсолютной стерильности насосов и мешалок для медицинской, фармацевтической и пищевой отраслей техники.

Способность АМП работать при низких температурах позволяет использовать их в криогенных турбинах и насосах.

В шлифовальных и фрезерных шпинделях необходимо обеспечить высокие скорости вращения ротора и большую статическую жесткость подшипников. Этим требованиям вполне удовлетворяют АМП.

В текстильной промышленности очень актуальна проблема снижения уровня шумов. Использование АМП в прядильных веретенах позволяет снизить уровень шумов в прядильных цехах на 15 дБ.

В балансировочных станках необходимы очень точные подшипники. С помощью АМП ось вращения ротора может стабилизироваться с точностью до 0,5 мкм, при этом токи в катушках электромагнитов одновременно содержат информацию об имеющемся дисбалансе.

Малое энергопотребление и способность работать в вакууме при высоких скоростях позволяют использовать АМП в супермаховиках для накопления кинетической энергии.

В больших турбинах важной проблемой является обеспечение перехода ротора через критические резонансные частоты. Использование АМП позволяет успешно демпфировать такие колебания. Кроме того, замена гидродинамических подшипников на АМП позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы за счет экономии энергии.

Насосные станции на газовых магистралях зачастую располагаются в местах, труднодоступных для проведения технического обслуживания насосов (доставки и замены масла в подшипниках, замены изношенных частей и т. д.) Установка АМП в насосах для перекачки газа даст большой экономический эффект за счет отсутствия смазки и износа.

Важным применением АМП из-за малого трения и отсутствия смазки являются опоры подвижных частей в точных измерительных приборах, гироскопах, роботах, испытательных стендах и т. д. При этом подвижная часть, подвешенная в АМП, может совершать как вращательное, так и поступательное рабочее движение [6–8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Активные электромагнитные подшипники для крупных энергетических машин. М.: ВНИИЭМ, 1988. 10 с.

2. Щеклеина И. Л., Горякова В. В. Об истории развития и применения активных подшипников // Энергетика настоящего и будущего: сб. материалов I Евроазиатской выставки и конф. (16–18 февр. 2010 г.). Екатеринбург: УГГУ – УПИ, 2010.
3. Зотов И. В., Лисиенко В. Г. Магнитные подшипники для системы автоматического управления электромагнитным подвесом роторов турбогруппы газотурбинных теплоэлектроцентралей // Электротехника. 2010. № 3. С. 8–14.
4. Kimman M. H., Langen H. H., Munnig Schmidt R. H. A miniature milling spindle with active magnetic bearings // Mechatronics. 2010. Vol. 20, № 2. P. 224–235.
5. Стома С. А., Верещагин В. П., Вейнберг Д. М. Электромеханические исполнительные органы с магнитными опорами для управления ориентацией космических станций // Космический бюллетень. 1995. Т. 2, № 1. С. 5–7.
6. Журавлев Ю. Н. Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение. СПб.: Политехника, 2003. 206 с.
7. Поляхов Н. Д., Стоцкая А. Д. Обзор способов практического применения активных магнитных подшипников // Научное приборостроение. 2012. Т. 22, № 4. С. 5–18.
8. Руковицын И. Г., Сарычев А. П. Применение электромагнитных подшипников в газовой промышленности // Компрессорная техника и пневматика. 2008. № 1. С. 12–14.

REFERENCES

1. 1988, *Aktivnye elektromagintnye podshipniki dlya krupnykh energeticheskikh mashin* [Active electrical magnet bearings for big energy machines]. Moscow, Joint Company “Research and Production Corporation “Space Monitoring Systems, Information & Control and Electromechanical Complexes” named after A. G. Iosifian’. 10 p.
2. Schekleina I. L., Goryakova V. V. 2010, *Ob istorii razvitiya i primeneniya aktivnikh podshipnikov. Energetika nastoyashego i buduschego* [About the history of development and application of active bearings. Energetics of present and future: collection of materials of Ist European Asian Exhibition and conference (16–18th of February 2010)]. Ekaterinburg: Ural State Mining University – Ural Federal University, 2010.
3. Zotov I. V., Lisienko V. G. 2010, *Magnitnye podshipniki dlya sistemy avtomaticheskogo upravleniya elektromagnitnym podvesom rotorov turbogruppy gazoturbinnykh teploelektrotsentraley* [Magnet bearings for system of automatic control of electrical mangetic suspension of thermal station rotors of gas turbine turbo group. *Electrotekhnika* [Russian Electrical Engineering]. 2010. No. 3. pp. 8–14.
4. Kimman M. H., Langen H. H. Munnig Schmidt R. H. A miniature milling spindle with active magnetic bearings. *Mechatronic*s. 2010. Vol. 20, № 2. pp. 224–235.
5. Stoma S. A., Vereschagin V. P., Veinberg D. M. 1995, *Elektromekhanicheskie ispolnitelnye organy s magnitnymi oporami dlya upravleniya orientatsiei kosmicheskikh stantsiy* [Electrical mechanical actuating devices with magnet supports for controlling the orientation of cosmic stations]. *Kosmicheskiy bulleten’* [Space bulletin]. 1995. Vol. 2. No. 1. pp. 5–7.
6. Zhuravlev Yu. N. 2003, *Aktivnye magnitnye podshipniki: teroriya, raschet, primenenie* [Active magnet bearings: theory, calculation, application]. Saint Petersburg. 2003. 206 p.
7. Polyakhov N. D., Stotskaya A. D. 2012, *Obzor sposobov prakticheskogo primeneniya aktivnykh magnitnykh podshipnikov* [Review of methods of practical application of active magnet bearings] *Nauchnoye priborostroeniye* [Scientific Instrumentation]. 2012. Vol. 22. No. 4. pp. 5–18.
8. Rukovitsin I. G., Sarychev A. P. 2008, *Primenenie elektromagnitnykh podshipnikov v gazovoi promyshlennosti* [Application of electrical magnet bearings in gas industry]. *Kompressornaya tekhnika i pnevmatika* [Compressors and pneumatics]. 2008. No. 1. pp. 12–14.

Ирина Леонтьевна Щеклеина,
gmf.et@m.ursmu.ru
Александр Владимирович Угольников,
ugolnikov@yandex.ru
Дмитрий Сергеевич Стожков
gmf.et@m.ursmu.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Irina Leontyevna Schekleina,
gmf.et@m.ursmu.ru
Aleksandr Vladimirovich Ugol’nikov,
ugolnikov@yandex.ru
Dmitriy Sergeevich Stozhkov,
gmf.et@m.ursmu.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338.22:330.3

DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-80-83

ДЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ: ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

Я. Р. Хайрулина, А. В. Душин, Г. А. Ляпцев

Deindustrialization of Russian economy: problems and opportunities

Ya. R. Khairulina, A. V. Dushin, G. A. Lyaptsev

Deindustrialization in Russian Economy is substantiated. Tendency of deindustrialization was analyzed, symptoms and factors that promote the process of deindustrialization that has considerable negative consequences for all economic sectors were determined. Nature of the deindustrialization process considerably influceces the social climate in the society, giving rise to adequate responses to the occurring events. Focus on rebirth of national industry is complicated in XXI century close to new developments and challenges: world financial-economic crisis, entrance of Russia in WTO, sanction war that is pronounced to Russia, falling prices on oil etc. In order to solve this problem we have to carry out complex reindustrialization of economy, which entails coordinated process of forming a new model of national industry, that is implemented simultaneously based on the following directions: creating and developing important fields of new technological modes – bioeconomics, nanoindustry, cognitive technologies; recreating a wide spectrum of knowledge-intensive industries of process industry based on modern techniques; intensive development of mineral resources sector based on advanced technologies. An important question of reindustrialization is a question of financial resources, which requires mobilization of internal sources, refocusing of credit resources for long-term investments, attraction of foreign capital etc.

Keywords: deindustrialization; industrialization; industry; reindustrialization; innovations.

Обосновывается возникновение деиндустриализации в экономике России. Проанализирована тенденция деиндустриализации, определены симптомы и факторы, способствующие процессу деиндустриализации, имеющей значительные негативные последствия для всех отраслей экономики. Характер процесса деиндустриализации заметно влияет на социальный климат в обществе, порождая в нем адекватные реакции на происходящие события. Курс на возрождение отечественной промышленности осложняется в XXI в. рядом новых обстоятельств и вызовов: мировой финансово-экономический кризис, вступление России в ВТО, санкционная война, объявленная России, падение цен на нефть и т. д. Для решения этой проблемы необходимо осуществить комплексную реиндустриализацию экономики, под которой понимается скоординированный процесс формирования новой модели отечественной промышленности, реализуемый одновременно по следующим направлениям: создание и развитие важнейших отраслей нового технологического уклада – биоэкономики, наноиндустрии, когнитивных технологий; воссоздание на современной технологической основе широкого спектра наукоемких отраслей обрабатывающей промышленности; интенсивное развитие отраслей минерально-сырьевого комплекса на основе передовых технологий. Важным вопросом реиндустриализации является вопрос финансовых ресурсов, что требует мобилизации внутренних источников, переориентации кредитных ресурсов на долгосрочные вложения, привлечение иностранного капитала и др.

Ключевые слова: деиндустриализация; индустриализация; промышленность; реиндустриализация; инновации.

В отечественной литературе проблеме промышленной политики посвящены исследования коллективов нескольких институтов, в том числе ИЭ РАН, ИНП РАН, ИПР РАН, ЦЭМИ РАН, ИЭ УрО РАН, НИУ ВШЭ и др., и наибольший вклад в ее решение внесли исследования таких ученых, как А. Г. Аганбегян, А. О. Блинов, С. Ю. Глазьев, С. С. Губанов, В. В. Ивантер, Р. М. Качалов, Г. Б. Клейнер, Н. М. Розанова, О. А. Романова, С. С. Сулакшин, О. С. Сухарев, А. И. Татаркин, А. Ю. Тепляков, С. А. Толкачев, В. А. Цветков и др.

В экономической литературе имеются различные определения деиндустриализации. О. С. Сухарев определяет этот феномен следующим образом: «Под деиндустриализацией следует понимать обратный процесс, когда производство не просто сокращается, а когда оно становится более примитивным, теряет свой технологический уровень, разрушается производственная инфраструктура, сокращаются фонды, снижаются уровень механизации и автоматизации, общий технологический уровень, сложность производственных операций, сокращается интеллектуальная основа производства. Иными словами, происходит не просто сокращение производства и занятости, что было свойственно капитализму в периоды кризисов (но без деиндустриализации), а сокращение самой основы развития индустрии вместе с производством и контролируемыми им рынками. При деиндустриализации простой труд начинает постепенно преобладать над комплексным, сложные операции заменяются более примитивными, доля интеллекта в добавленной стоимости сокращается, производственный аппарат стареет и не возобновляется, простое воспроизводство постепенно вытесняет сложный тип воспроизводства. Результатом этого становятся общий упадок и абсолютная потеря целых направлений производственной деятельности, секторов производства и промышленности, часто без возможности их восстановления» [1].

Качественное развитие экономики зависит, как известно, от ее технико-технологического оснащения, которое создается в процессе промышленного производства, и прежде всего – его высокотехнологичными секторами с центральным ядром – машиностроением. Если говорить о состоянии российской экономики, то ключевая проблема в том и состоит, что последовательный развал отечественной перерабатывающей промышленности привел к деиндустриализации экономики, под которой понимают процесс социальных и экономических изменений, вызванных снижением или полным прекращением индустриальной активности в стране, особенно в тяжелой промышленности. В структуре промышленного производства на машиностроение, представляющее инвестиционно-инновационный сектор, приходится ныне лишь 14,6 %, что в 3–4 раза меньше, чем в индустриально развитых странах [2].

Основные признаки (симптомы) деиндустриализации выделены А. Каинкроссом [3] (табл. 1). Отметим, что в российской экономике наиболее ярко проявились первые три симптома деиндустриализации, действие четвертого пока демпфируется потоком нефтедолларов. Не менее пагубны для российской экономики социальные последствия деиндустриализации. Технологии перераспределения национальных богатств посредством приватизации привели к появлению класса богатых и новому отношению к способам обогащения.

Сырьевая модель и деиндустриализация ведут к множеству тяжелых негативных последствий:

1. Зависимость от импорта уменьшает степень национальной безопасности страны;

2. Падение производства выхолащивает творческий потенциал квалифицированной рабочей силы, спрос на которую снижается;

3. Остановка промышленных предприятий в регионах ведет к деградации населения и миграции его в центральные районы, перенаселенности, тяжелым транспортным, экологическим, градостроительным и другим проблемам;

4. Привычка жить за счет продажи природных ресурсов приводит к негативным изменениям психологии общества, росту потребительской психологии;

Таблица 1. Основные признаки (симптомы) деиндустриализации.

Симптом	Характеристика
Снижение объемов	Последовательное снижение объемов промышленного производства или занятости населения в производственном секторе, отличающееся от процессов затяжных циклических рецессий экономики
Переход от производства товаров к производству услуг	Процесс перехода от производства товаров к производству услуг, при котором в конечном продукте уменьшается доля промышленного производства и увеличивается доля услуг. Это же относится к изменению соотношения количества населения, занятого в производстве товаров и производстве услуг. При этом абсолютный рост производства услуг (или населения, трудоустроенного в этом секторе) при отсутствии снижения объемов производства не означает процесса деиндустриализации
Сокращение объемов промышленного экспорта	Сокращение объемов промышленного производства в структуре экспорта страны или региона
Дефицит торгового баланса	Длительное сохранение дефицита торгового баланса, приводящее к невозможности расплачиваться за импорт и вызывающее новый виток падения промышленного производства

5. Неопределенность будущего страны: что мы будем делать в случае падения спроса на наше сырье (например, в результате технологической революции)? К тому времени производственный, технологический и научный потенциал страны может быть полностью потерян.

Проиллюстрируем некоторые признаки деиндустриализации российской экономики на основе официальной государственной статистики, исследований некоторых специалистов и авторских расчетов. В табл. 2 представлены показатели, характеризующие динамику удельного веса промышленности в экономике РФ в 1990–2013 гг.

Официальная статистика зафиксировала существенное снижение за период рыночных реформ удельного веса промышленности как в национальных ресурсах (занятом населении и основных производственных фондах), так и в составе валового внутреннего продукта. Данные тенденции можно было бы отнести на счет развития признаков постиндустриального общества, опережающего развития сферы услуг, если бы при этом отечественная индустрия не находилась в глубоком кризисе и удовлетворяла бы потребности общества. Но на практике так называемый трансформационный спад затронул прежде всего отрасли отечественной промышленности, и его глубина сопоставима с масштабами Великой депрессии на Западе и падением производства в годы Гражданской войны. Диаграмма на рисунке, построенная на основании приведения ежегодных индексов промышленного производства к уровню 1990 г., наглядно иллюстрирует обвал российской промышленности в 1990-е гг. Данные за 2014 г. и первую половину 2015 г. приведены из материалов мониторинга социально-экономического положения РФ, проводимого Министерством экономического развития.

Сокращение промышленного производства в первое десятилетие экономических реформ сопровождалось и усиливалось еще более глубоким кризисом инвестиционной деятельности. Роли инвестиций в развитии промышленности и ее отдельных видов посвящено немало специальных исследований. Сокращение бюджетных государственных инвестиций не было компенсировано активностью частных инвесторов, в результате чего физический объем инвестиций в основной капитал устойчиво снижался и в 2008 г. составлял всего 17 % уровня 1990 г. Результатом инвестиционной пассивности промышленных предприятий стало не только сужение промышленного потенциала, но и значительное физическое и моральное устаревание материально-технической базы.

Таблица 2. Удельный вес промышленности в экономике РФ, %.

Год	Удельный вес промышленности в ВВП	Удельный вес основных фондов промышленности в основных фондах всех отраслей экономики	Удельный вес занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике
1990	37,8	33,6	30,3
1995	29,0	34,8	25,9
1998	29,9	31,6	22,2
1999	30,8	29,9	22,4
2000	31,7	24,7	22,6
2001	28,8	23,8	22,7
2005	32,7	25,0	21,7
2010	28,2	25,6	19,7
2011	30,1	25,9	19,6
2012	29,3	26,3	19,4
2013	29,0	27,1	19,3

Примечание: составлено на основе статистических сборников «Промышленность России».

Износ основных фондов промышленности только за период с 1995 по 2000 г. увеличился с 43,2 % до 50,4 %, а удельный вес полностью изношенных машин и механизмов увеличился за этот же период с 13,5 % до 18,4 %. Восстановление масштабов промышленной деятельности в 2000-е гг. происходило в условиях оживления государственной промышленной политики. Были разработаны целевые долгосрочные программы развития ряда отраслей, предусматривающие стимулирующие и поддерживающие меры, в том числе направленные на повышение инвестиционной активности отрасли. Вместе с тем темпы прироста инвестиций были недостаточными, чтобы существенно обновить технический парк. Степень износа оборудования в 2000-е гг. оставалась примерно такой же, как и в начале XXI в. [4].

Машиностроение за указанный период сократило свой удельный вес в инвестициях более чем в три раза (с 23,1 % до 6,9 %), легкая промышленность привлекла в 7 раз уменьшившуюся долю инвестиций (она снизилась с 3,3 % до 0,4 %). В XXI в. коренного перелома в направлении инвестиционных потоков не произошло, инвестиции в добывающие производства России росли опережающими темпами по сравнению с вложениями в обрабатывающий сектор промышленности: в сфере добычи топливно-энергетических полезных ископаемых они увеличились в фактически действовавших ценах за 2005–2013 гг. в 4 раза, а в обрабатывающих производствах – в 3,1 раза. В результате к настоящему времени добыча полезных ископаемых получает капиталовложений больше, чем все обрабатывающее производство.

Утяжеленная структура экономики не только не была преодолена в ходе рыночных преобразований, но и получила дальнейшее закрепление и усиление. Легкая промышленность оказалась в наиболее глубоком кризисе, и ее доля в промышленном производстве с 17 % до начала реформ снизилась до 3–4 % в настоящее время. По многим видам товаров потребительского назначения потребности россиян на 70–80 % удовлетворяются за счет импорта. Такая же картина сложилась в сфере продовольствия (в 2010 г. импорт составлял 30 % к собственному производству) и машиностроительной продукции (импортируемые машины составляют половину и более от собственного производства) [5].

Рост доли добывающих отраслей в реформируемой российской экономике происходил во многом в связи с низкой конкурентоспособностью продукции обрабатывающих видов деятельности на мировых рынках и замещением отечественной продукции импортной на внутренних, что и привело к соответствующим сдвигам в соотношении отраслей промышленности и изменению структуры внешнеторгового оборота в пользу экспорта энергоносителей. В научной литературе обсуждаются и другие динамические и структурные проблемы функционирования современной российской промышленности, многие из них не только являются результатом накопившихся инерционных процессов со времени административно-командной системы хозяйствования, но и обусловлены промахами в структурной и промышленной политике России, которая либо отсутствовала (в 1990-е гг.), либо была недостаточно эффективной (в 2000-е гг.). Курс на возрождение отечественной промышленности осложнялся в XXI в. рядом новых обстоятельств и вызовов. Наиболее существенными обстоятельствами, вносившими вклад в динамику российской промышленности в XXI в., выступили, во-первых, мировой финансово-экономический кризис, отрицательное воздействие которого в восстановление отечественной промышленности наглядно иллюстрировала диаграмма на рис. 1. Вторым важным фактором явилось вступление России в ВТО. Как во время подготовительного этапа, так и в первые годы реализации этого акта многие аналитики указывали на неоднозначное влияние членства России в ВТО на развитие различных отраслей промышленности.

Кроме того, жизнь показала, что в реальной действительности политика лидирующих в мире государств может оказаться сильнее рыночных

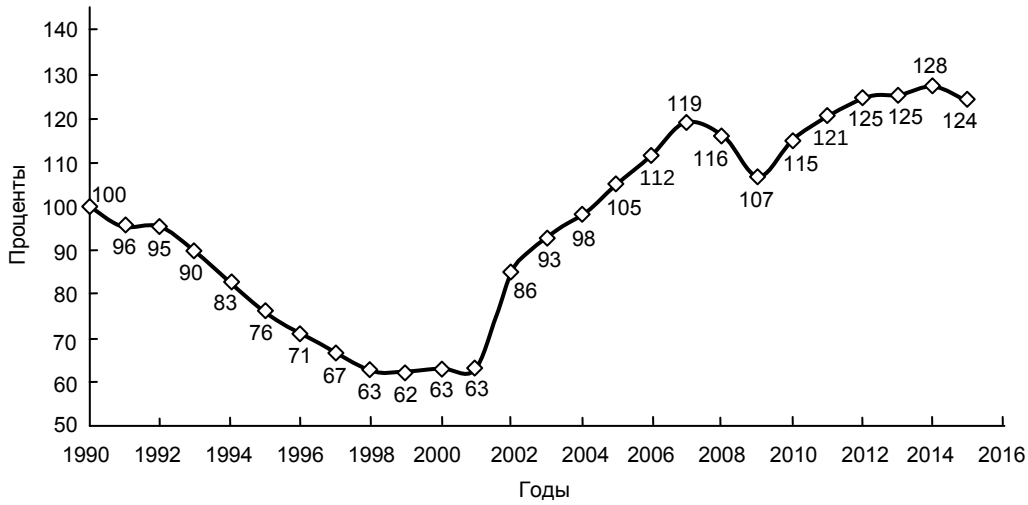


Рисунок 1. Динамика промышленного производства в РФ в 1990–2015 гг.

принципов международных организаций и хозяйственных договоренностей. Санкционная война, объявленная России Западом, падение цен на нефть, необходимость интеграции в единое пространство новых территорий (п-ов Крым и г. Севастополь), борьба с мировым терроризмом потребовали от страны новых напряжений и переориентации ресурсов и географии внешнеэкономических связей. Пройти этот сложный период без потерь стране едва ли удастся. Новая международная экономическая ситуация, связанная с санкциями против России, показала уязвимость экономики, ориентированной на импорт, по многим жизненно важным товарным группам. Это касается и высоких рисков сложившейся экспортной структуры с преобладанием энергоносителей. Экстремальные ситуации актуализируют необходимость решения проблем российской промышленности, развития импортозамещения и оптимизации внешнеэкономических связей и отношений.

Деиндустриализация российской экономики как негативный процесс ее деградации не преодолена и в XXI в. Необходимость глубокой всесторонней модернизации отечественной экономики, переход к инновационному типу развития, пути активизации инвестиционных процессов в промышленности, новые возможности, открываемые формированием информационного общества, регулярно обсуждаются в управленческих структурах и на страницах научных изданий. В последнее время для обозначения необходимых российской экономике процессов стало активно использоваться понятие «реиндустриализация» [1].

Концепция реиндустриализации российской экономики является, по мнению авторов статьи, идеей, синтезирующей разные направления и пути оживления и возрождения российской промышленности с целью придания ей необходимых на современном этапе развития количественных параметров и качественных характеристик, позволяющих удовлетворять национальные потребности и успешно конкурировать на мировых рынках, интегрироваться в международную систему отношений как экономики страны с высокой долей экспорта продукции, создаваемой обрабатывающими производствами. Но политика, направленная на реиндустриализацию, сопряжена с решением ряда проблем и противоречий. Так, например, некоторыми исследователями отмечается, что новая индустриализация возрождает в первую очередь ненаукоемкие отрасли, что в региональном разрезе приводит к разрывам в социально-экономическом развитии региональных субъектов – к концентрации на периферийных регионах технологий устаревших технологических укладов, а в центре наиболее прогрессивных, что предопределяет политическую дилемму поддержания экономически неэффективных производств ради сохранения социальной стабильности в регионах. При проведении политики реиндустриализации одновременное расширенное воспроизводство трех технологических укладов вследствие общих ресурсных ограничений приводит к замедлению темпов роста каждого из них.

Процесс рыночной трансформации и функционирования экономики в условиях слабого государственного регулирования и высокой конкуренции со стороны международного бизнеса, как показал двадцатилетний российский опыт рыночных реформ, запустил процессы деиндустриализации.

Для проведения реиндустриализации необходима новая экономическая политика, представляющая более широкий набор мероприятий, чем стандартные варианты промышленной политики. Она должна быть направлена на восстановление индустриально-технологической основы экономической системы за счет мер макроэкономического, институционально-организационного, правового, структурно-инвестиционного характера, касающихся не только промышленных организаций, но и вспомогательной инфраструктуры, финансовой и банковской системы, социальных секторов хозяйства, науки, образования. Реиндустриализация предполагает переориентацию интересов российских рыночных субъектов с краткосрочных задач максимизации прибыли на долгосрочные ориентиры модернизации и развития бизнеса, что требует соответствующей институциональной, правовой и морально-культурной среды, добросовестной цивилизованной конкуренции, снижения влияния монопольных явлений и административно-коррупционной составляющей российской экономики [4].

В сложившихся условиях в целях успешного преодоления проявлений деиндустриализации российской экономики и обеспечения ее перевода к инновационному типу экономического роста необходима реализация следующих первоочередных направлений в области государственной политики:

1. Формирование технологической модернизации отечественной промышленности, предусматривающей:

– стимулирование развития приоритетных наукоемких производств и технологий (авиационная и ракетокосмическая промышленность, судостроение, радиоэлектронная промышленность, атомный энергопромышленный комплекс, энергетическое машиностроение, информационно-коммуникационные технологии);

– активизация малого инновационного предпринимательства в промышленности;

– создание эффективной национальной и региональных инновационных систем;

– широкое и эффективное применение кластерных технологий [6];

2. Коренная трансформация инвестиционной политики отечественных предприятий, предполагающая рост инвестиций в высокие промышленные технологии и научно-техническую сферу страны, устранение дисбаланса между текущей и долгосрочной деятельностью. Заметим, что стратегия модернизации российской экономики и перехода к инновационному качеству ее роста не может строиться, основываясь на критериях текущей эффективности и исходя из сложившейся конъюнктуры спроса и предложения;

3. Создание благоприятного экономического климата для инвестиционной деятельности с позиции индикаторов финансовой деятельности и предпринимательства:

– стимулирующее, а не поддерживающее инновационно-инвестиционную активность налогообложение (эффект Лаффера; соответствие уровней реального и номинального налогового бремени предприятия);

– соблюдение рекомендуемого теорией экономической безопасности макрофинансового условия функционирования экономики, в соответствии с которым рентабельность > ставки по кредиту > ставки по депозиту > инфляции;

– формирование системы страхования инвестиционной деятельности (мониторинг инвестиционных рисков и факторов, их формирующих);

– проведение протекционистской внешнеэкономической политики (политика валютного курса, ориентирующая на защиту в интересах внутреннего рынка, стимулирующая экспорт конкретной продукции с высокой добавленной стоимостью; гибкая тарифная политика и квотирование импорта продукции для поддержания внутренних цен на уровне мировых и защиты отечественных товаропроизводителей) и др. [5, 6].

Важным вопросом реиндустриализации является вопрос финансовых ресурсов для осуществления этого процесса. Масштабное увеличение инвестиций в реальный сектор экономики требует мобилизации прежде всего внутренних источников, переориентации денежных потоков корпораций и государства, переориентации кредитных ресурсов финансового сектора на долгосрочные вложения. Определенные возможности открывают реэкспорт российского капитала и привлечение иностранного капитала. Более полное использование каждого из названных источников предполагает существенное изменение денежно-кредитной и бюджетно-налоговой политики государства. Выделим наиболее актуальные направления долгосрочного характера, необходимые для активизации процесса реиндустриализации страны:

– комплекс мер амортизационной, бюджетной и фискальной политики, направленных на расширение инвестиционного потенциала российской промышленности;

– создание институциональных, организационно-экономических и правовых предпосылок для повышения инвестиционной привлекательности отечественной промышленности для российских и иностранных инвесторов путем снижения различной природы рисков, предоставления государственных гарантий, приемлемого налогообложения предпринимательства в сфере промышленного производства;

– использование части накопленных государственных финансовых резервов и текущих бюджетных средств и резервов крупных госкорпораций для нужд реиндустриализации на основе различных механизмов, включая государственное кредитование и государственно-частное партнерство в инвестиционной сфере;

– кредитование базовых проектов реиндустриализации путем государственного субсидирования процентных ставок кредитных организаций;

– переориентация системы государственных льгот и преференций на реальную поддержку индустриального развития экономики;

– разработка и осуществление мер по оптимизации экспортно-импортных операций на рынке капитала, возврату в страну части экспортированного капитала;

– деофшоризация экономики;

– снижение стоимости заемного капитала для промышленности путем совершенствования регуляторов Центрального банка с учетом реальной рентабельности отраслей российской промышленности, а в перспективе и с учетом уровня среднемировых кредитных ставок;

– создание преференций финансовым учреждениям, активно кредитующим процессы реиндустриализации;

– освобождение от налогообложения всех расходов на НИОКР, обучение кадров и освоение новой техники;

– использование возможностей международных финансовых организаций в целях реиндустриализации;

– обеспечение сдерживания роста тарифов на энергию посредством более жесткого контроля над естественными монополиями.

В рамках структурных проблем российской реиндустриализации, по мнению авторов, необходимо обеспечить следующие сдвиги:

– опережающее развитие обрабатывающих отраслей при повышении эффективности функционирования добывающего сектора;

– опережающее развитие отраслей, обеспечивающих модернизацию производственного аппарата, замену устаревших технологий, инновационное развитие;

– уменьшение зависимости модернизационных процессов от импорта;

– увеличение в экспорте объема и доли обрабатывающего сектора.

Успешная реализация указанных мер будет способствовать реиндустриализации российской экономики на новой высокотехнологичной основе и созданию реальных возможностей для обеспечения инновационного качества экономического роста на основе максимального задействования потенциала факторов эффективности и конкурентоспособности [5].

Таким образом, реиндустриализация является жизненно важным для российского общества процессом, необходимость которого сложилась в результате деиндустриализации, явившейся негативным следствием проводимой в стране модели рыночных реформ. Внешнеэкономические условия XXI в. и последних лет усложняют условия восстановления и развития отечественного промышленного производства, поэтому требуется сформировать национальную программу реиндустриализации, которая в комплексе смогла бы определить перспективы отраслей промышленности, их структуру и мобилизовать источники и механизмы модернизации отечественной промышленности, оптимизации ее структуры и повышения эффективности внешнеэкономических связей в этом секторе экономики [2].

Статья подготовлена за счет средств проекта № 15-14-7-13 «Сценарные подходы к реализации уральского вектора освоения и развития российской Арктики в условиях мировой нестабильности» программы УрО РАН № 14 «Фундаментальные проблемы региональной экономики».

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухарев О. С. Экономическая политика реиндустриализации России: возможности и ограничения // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013. № 24(213). С. 1–24.
2. Потапенко А. В. Деиндустриализация и источники индустриализации // Наука сегодня: материалы VII междунар. науч.-практ. конф. (Вологда, 28 окт. 2015 г). М.: ООО «Маркер», 2015. С. 86–90.
3. Казначеев А. И. Деиндустриализация как фактор, сдерживающий инновационный экономический рост // Контентус. 2015. № 2(31). С. 59–68.
4. Коновалов В. М. Деиндустриализация и реиндустриализация. URL: http://pandia.ru/text/78/281/14086.php
5. Суслов В. И. От деиндустриализации к реиндустриализации крупномасштабной социально-экономической системы // Управление развитием крупномасштабных систем: сб. науч. статей VIII междунар. конф. М., 2015. С. 152–157.
6. Душин А. В., Соколова О. Г. Новая индустриализация и экономика знаний: основания развития // Изв. УГГУ. 2013. № 4 (32). С. 88–92.

REFERENCES

1. Sukharev O. S. 2013, *Economicheskaya politika reindustrializatsii Rossii: vozmozhnosti I ogranicheniya* [Economic policy of reindustrialization of Russia: opportunities and limitations]. *Natsional'nye interesy: prioritety i bezopasnost'* [National interests: priorities and safety]. 2013. No. 24 (213). pp. 1–24.
2. Potapenko A.V. 2015, *Deindustrializatsiya i istochniki industrializatsii* [Deindustrializaiton and industrialization sources]. *Nauka segodnya: materialy VII mezhdunar. nauchn. prakt. konf.* [Science Today: materials of VII International scientific and practical conference (Vologda, 28 Oct. 2015)]. Moscow, pp. 86–90.
3. Kaznacheev A. I. 2015, *Deindustrializatsiya kak factor, sderzhivayuschiy innovatsionnyi ekonomicheskiy rost* [Deindustrialization as a factor that suppresses economic growth]. *Kontentus* [Contentus]. No. 2 (31). pp. 59–68.
4. Konovalov V. M. *Deindustrializatsiya i reindustrializatsiya* [Deindustrialization and reindustrialization]. URL: http://pandia.ru/text/78/281/14086.php
5. Suslov V. I. 2015, *Ot deindustrializatsii k reindustrializatsii krupnomashtabnoi sotsial'no-ekonomicheskoi sistemy* [From deindustrialization to reindustrialization of large scale socio-economical system]. *Upravleniye razvitiem krupnomashtabnykh sistem: sb. nauch. statey VIII Mezhdunar. konf.* [Controlling the development of large-scale systems: collection of scientific articles of VIII International Conference]. Moscow, pp. 152–157.
6. Dushin A. V. 2013, *Novaya industrializatsiya i ekonomika znaniy: osnovaniya razvitiya* [New industrialization and knowledge economy: bases of the development]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the Ural State Mining University]. No. 4 (32). pp. 88–92.

Яна Рамильевна Хайрулина,
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Алексей Владимирович Душин,
dushin.a@list.ru
Технический университет УГМК
Россия, Верхняя Пышма, Успенский просп., 3

Геннадий Александрович Ляпцев,
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Yana Ramil'evna Khairullina,
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Aleksey Vladimirovich Dushin,
dushin.a@list.ru
Technical University of UMMC
Verkhnyaya Pyshma, Russia

Gennadiy Aleksandrovich Lyaptsev,
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

УДК 622.324.5:330.131.5 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-84-87

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ РАЗРАБОТКИ МЕТАНОУГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

П. Н. Пармузин

Particularities of determining the economic effect from the usage of coal bed methane with various development methods of coal methane deposits

P. N. Parmuzin

The article is concerned with the questions of determining the economic efficiency of methane from coal bed deposits. Demands of national economy in natural gas and products of its processing dictate the need of involvement in the development of non-traditional sources of gas production, which include gas containing coal beds. All projects on extraction of methane from coal beds can be divided on two types: projects of degasification of coal mines and projects on production of methane of coal beds as a self-contained mineral deposit (commercial production). An important difference is that the industrial work with boreholes from the surface allows to extract methane-air mixture with high content of methane. At that unlike degasification the whole methane that was received during commercial production is on spec. Peculiarities of identifying the economic effect from the usage of coal bed methane, during various methods of resources development of coal-gas, additionally methodic approach to selection of one of the directions of developing of coal methane deposits are provided in the article. Additionally the article reviews historical questions of developing the coal methane processing. Main directions of processing of coal methane depending on the content of methane in methane-air mixture. Dependence on the selection of a specific option of methane usage from such economical and organizational factors as cost value on creation of processing plants on corresponding usage direction, size of economic effect from the usage of methane on this direction, organization-economic mechanism of project participants on methane extraction, specific needs of project participators in specific conversion products.

Keywords: non-traditional sources; gas production; degasation; industrial production; economic effect; methane processing.

Статья посвящена вопросам определения экономической эффективности использования метаноугольных месторождений. Потребности национальной экономики в природном газе и продуктах его переработки диктуют необходимость вовлечения в разработку нетрадиционных источников добычи газа, к которым относятся газосодержащие угольные пласты. Все проекты по извлечению метана из угольных пластов можно разделить на два вида: проекты дегазации угольных шахт и проекты по добыче метана угольных пластов в качестве самостоятельного полезного ископаемого (промышленная добыча). Важное отличие заключается в том, что промышленная добыча скважинами с поверхности позволяет добывать метано-воздушную смесь с высоким содержанием метана. При этом в отличие от дегазации весь метан, полученный при промышленной добыче, является кондиционным. В статье приведены особенности определения экономического эффекта от использования метана угольных пластов, при различных методах освоения ресурсов угольного газа, а также обоснован методический подход к выбору одного из направлений разработки углеметановых месторождений. Также в статье рассмотрены исторические вопросы развития переработки угольного метана. Приведены основные направления переработки угольного метана в зависимости от содержания метана в метано-воздушной смеси. Выявлена зависимость выбора конкретного варианта использования метана от таких экономических и организационных факторов, как величина затрат на создание перерабатывающего производства по соответствующему направлению использования, размер экономического эффекта от использования метана по данному направлению, организационно-экономический механизм взаимодействия участников проекта по извлечению метана, специфические потребности участников проекта в определенных продуктах переработки.

Ключевые слова: нетрадиционные источники; добыча газа; дегазация; промышленная добыча; экономический эффект; переработка метана.

Потребности национальной экономики в природном газе и продуктах его переработки диктуют необходимость вовлечения в разработку нетрадиционных источников добычи газа, к которым относятся газосодержащие угольные пласты. Все проекты по извлечению метана из угольных пластов можно разделить на два вида: проекты дегазации угольных шахт и проекты по добыче метана угольных пластов (МУП) в качестве самостоятельного полезного ископаемого (промышленная добыча). Для проектов дегазации угольных шахт можно выделить следующие экономические эффекты: эффект от снижения аварийности, связанной с взрывами метана; эффект от улучшения использования фронта горных работ в угольных шахтах, связанного со снижением влияния «газового фактора»; эффект от использования метана, полученного путем дегазации угольных шахт; эффект от снижения выбросов метана в атмосферу; эффект от сокращения затрат на ранее проводимую дегазацию. Проекты по добыче метана угольных пластов в качестве самостоятельного полезного ископаемого в отличие от проектов дегазации направлены исключительно на получение и использование угольного газа. Таким образом, эффект от использования извлекаемого газа должен окупить все затраты на добычу и переработку. С учетом низких дебитов и высоких затрат на интенсификацию притока метана реализация таких проектов сталкивается с серьезными экономическими проблемами [1].

Дегазация угольных шахт является исторически первым методом освоения ресурсов угольного метана. Ведение работ по дегазации изначально было связано с необходимостью обеспечения безопасности труда шахтеров, снижения аварийности в угольных шахтах, увеличения производительности труда вследствие снижения влияния «газового фактора». Впоследствии к этим причинам добавились мотивы повышения экологичности угледобычи и возможности использования получаемого при дегазации угольного метана [2].

На начальных этапах развития работ по дегазации угольных шахт добываемый метан практически не использовался и выбрасывался в атмосферу. Еще в конце 1990-х гг. в России только 10–15 % каптируемого дегазационными системами метана проходило дальнейшую переработку [3]. Угольный метан по аналогии с попутным газом в нефтедобыче рассматривался как помеха для основного производства, а не источник дополнительного дохода. В настоящее время бóльшая часть метана используется для различных нужд.

Выбор конкретного варианта использования метана зависит от таких экономических и организационных факторов, как величина затрат на создание перерабатывающего производства по соответствующему направлению использования, размер экономического эффекта от использования метана по данному направлению, организационно-экономический механизм взаимодействия участников проекта по извлечению метана, специфические потребности участников проекта в определенных продуктах переработки.

Экономический эффект может быть получен от использования МУП в качестве топлива для выработки пара и электроэнергии; для выработки моторного топлива; для бытовых нужд; в качестве теплоносителя на различных заводах, в том числе металлургических; в качестве сырья для химической промышленности; для получения кристаллогидратов [4]. При этом необходимо учитывать, что направление использования зависит от объемов добычи, качества добываемого газа, его содержания в метано-воздушной смеси (МВС) (рис. 1).

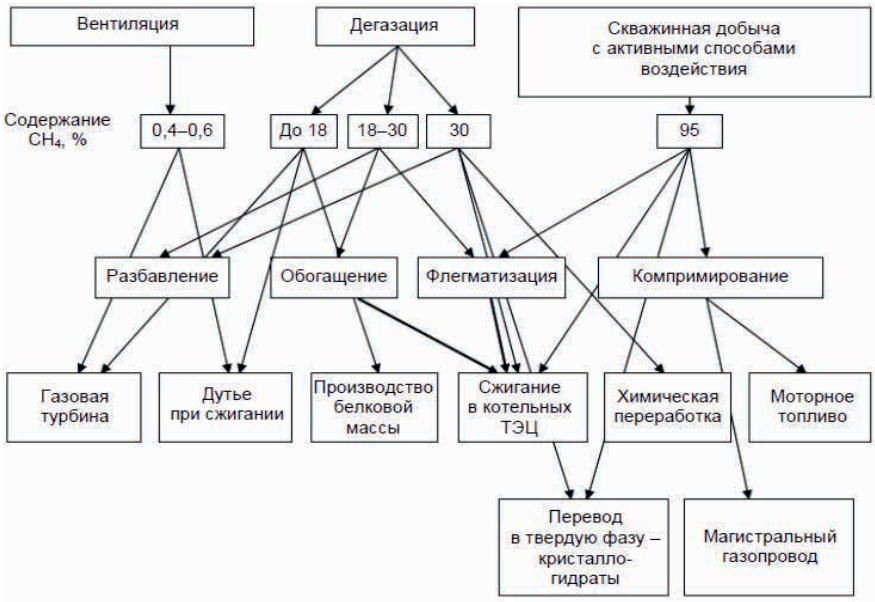


Рисунок 1. Направления использования метана угольных пластов.

Достаточно подробно эффект от использования МУП рассмотрен в работах Н. М. Лобова [5]. В своей диссертационной работе он рассматривает эффект от использования метана угольных пластов по пяти основным направлениям: эффект от продажи части извлекаемого газа потребителям, эффект от переработки газа в электрическую и тепловую энергию, эффект от переработки МВС как химического сырья, эффект от использования метана в качестве моторного топлива, эффект от использования вентиляционной струи в качестве дутья для котельных или рабочего тела в газотурбинных установках. Общий экономический эффект от использования метана $Э_и$ складывается из эффектов от различных направлений его использования $Э_i$, которые определяются выручкой от реализации метана и продуктов, полученных при его переработке, за вычетом эксплуатационных затрат на переработку без амортизационных отчислений и капитальных вложений в создание перерабатывающего производства:

$$Э_и = \sum_{i=1}^{n} Э_i = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{Q_i Ц_i}{q_i} - C_i - K_i \right), \quad (1)$$

где Q_i – объем МВС, перерабатываемой по i-му направлению, м^3; i – направление использования извлеченного метана; q_i – удельный расход МВС на производство единицы продукции i-го направления, м^3/ед. прод. (1000 м^3 метана, 1 кВт · ч электроэнергии, 1 Гкал · ч тепла, 1 т сажи и т. д.); $Ц_i$ – цена реализации метана и(или) продуктов, полученных при его переработке, (руб./1000 м^3, руб./1 кВт · ч электроэнергии, руб./1 Гкал · ч тепла, руб./1 т сажи); C_i – эксплуатационные затраты на переработку МВС без амортизационных отчислений, руб.; K_i – капитальные вложения в создание перерабатывающего производства, руб.

Также необходимо учитывать, что не весь объем извлекаемой дегазацией МВС может быть использован по технологическим причинам, т. е. весь объем извлеченной МВС $Q_д$ необходимо подразделить на пригодную к использованию и некондиционную части, причем последняя может быть уменьшена за счет применения дополнительных технологий по очистке МВС от примесей, повышения концентрации метана в МВС и пр.;

$$Q_д = Q_и + \Delta Q + Q_н, \quad (2)$$

где $Q_д$ – объем извлеченной МВС, м^3; $Q_и$ – объем МВС, пригодной к использованию, м^3; ΔQ – объем МВС, пригодной к использованию, полученной в результате перевода из некондиционного состояния, м^3; $Q_н$ – объем некондиционной части МВС, м^3.

Однако применение этих технологий требует дополнительных капитальных вложений и эксплуатационных затрат, что снижает эффективность их внедрения. Выручка от использования дополнительно полученной МВС в таком случае должна превышать дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты на использование таких технологий, а также эксплуатационные затраты на переработку дополнительной МВС.

В этом случае формула (1) для определения экономического эффекта от использования МВС примет вид:

$$Э_и = \sum_{i=1}^{n} Э_i = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\left(Q_i + \Delta Q\right) Ц_i}{q_i} - C_i - K_i - \Delta C - \Delta K \right), \quad (3)$$

где ΔQ – объем реализации МВС, дополнительно полученной в результате перевода из некондиционного состояния и (или) продуктов, полученных при его переработке, (1000 м^3 метана, 1 кВт · ч электроэнергии, 1 Гкал · ч тепла, 1 т сажи и т. д.); ΔC – дополнительные эксплуатационные затраты на использование технологий, позволяющих использовать некондиционную часть МВС, а также эксплуатационные затраты на переработку дополнительной МВС без амортизационных отчислений, руб.; ΔK – дополнительные капитальные вложения в технологии, позволяющие использовать некондиционную часть МВС, руб.

Также можно отметить, что использование извлеченного метана и соответственно сокращение его выбросов в атмосферу благоприятно сказываются на экологической ситуации в угольных регионах и способствует сокращению платежей предприятий за выбросы метана в атмосферный воздух.

Механизм расчета экономического эффекта от использования метана, полученного путем промышленной добычи, сходен с приведенным ранее расчетом аналогичного эффекта при дегазации шахт. Однако можно выделить некоторые различия при расчете данного эффекта при добыче МУП в качестве самостоятельного полезного ископаемого. Основное отличие заключается в том, что промышленная добыча скважинами с поверхности позволяет добывать МВС с высоким содержанием метана (выше 95 %). Такая концентрация метана при дегазации шахт возможна только при дегазации скважинами с поверхности. В настоящее же время большая часть работ приходится на внутришахтную дегазацию, при которой содержание метана в МВС колеблется от 18 до 30 %. При внутришахтной дегазации общий объем добываемой МВС, как указывалось ранее, включает кондиционную и некондиционную части. В отличие от внутришахтной дегазации весь метан, полученный при промышленной добыче, является кондиционным, т. е. формула (2) для промышленной добычи имеет вид:

$$Q_д = Q_и. \quad (4)$$

Следовательно, при промышленной добыче в отличие от внутришахтной дегазации не требуются дополнительные затраты на перевод некондиционной части МВС в кондиционную, а также исключаются потери метана (некондиционная часть).

Потери некондиционной части метана можно описать отсутствием эффекта от ее использования. Для его расчета сначала необходимо привести суммарный объем некондиционной части МВС к объему МВС с концентрацией метана при промышленной добыче (95 % и более). Эффект от потери некондиционной части метана $\Delta Э_{и1}$ в таком случае можно определить по формуле:

Различия в расчете экономического эффекта от использования МУП при промышленной добыче и при дегазации угольных шахт.

Промышленная добыча МУП	Дегазация угольных шахт	Дополнительный эффект
$Q_д = Q_и$.	$Q_д = Q_и + \Delta Q + Q_н$.	$\Delta Э_{и1} = \sum_{i=1}^{n} Э_i = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_{нi}Ц_i}{q_i} - C_i - K_i\right)$,
Весь добываемый метан является кондиционным	Есть некондиционная МВС $Q_н$, которую невозможно использовать при существующих технологиях	где $\Delta Э_{и1}$ – эффект от потери некондиционной части метана, руб.; $Q_{нi}$ – суммарный объем некондиционной части МВС, приведенный к объему МВС с концентрацией метана при промышленной добыче (95 % и более), перерабатываемой по i-му направлению, м^3
$\Delta Э_и = \sum_{i=1}^{n} Э_i = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_iЦ_i}{q_i} - C_i - K_i\right)$.	$Э_и = \sum_{i=1}^{n} Э_i = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{(Q_i + \Delta Q)Ц_i}{q_i} - C_i - K_i - \Delta C - \Delta K\right)$.	$\Delta Э_{и2} = \Delta C + \Delta K$,
Не требуется дополнительных затрат (ΔC и ΔK)	Требуются дополнительные затраты (ΔC и ΔK) для перевода части некондиционной МВС в кондиционную ΔQ	где ΔC – дополнительные эксплуатационные затраты на использования технологий, позволяющих использовать некондиционную часть МВС, руб.; ΔK – дополнительные капитальные вложения в технологии, позволяющие использовать некондиционную часть МВС, руб.
$Э_{и2} = \left(\frac{Q_2Ц_2}{q_2} - C_2 - K_2\right)$,	$Э_{и1} = \left(\frac{Q_1Ц_1}{q_1} - C_1 - K_1\right)$,	$\Delta Э_{и3} = Э_{и2} - Э_{и1}$,
где Q_2, $Ц_2$, q_2, C_2, K_2 – объем МВС, цена реализации, удельный расход МВС на производство единицы продукции, эксплуатационные и капитальные затраты при использовании МВС с высокой концентрацией метана	где Q_1, $Ц_1$, q_1, C_1, K_1 – объем МВС, цена реализации, удельный расход МВС на производство единицы продукции, эксплуатационные и капитальные затраты при использовании МВС с низкой концентрацией метана	где $Э_{и2}$ – экономический эффект от дополнительных направлений использования МВС с высокой концентрацией метана, руб.; $Э_{и1}$ – экономический эффект от использования МВС с низкой концентрацией метана, руб. Дополнительные направления использования, которые возможны при использовании МВС с высокой концентрацией, позволяют получать продукты переработки с большей добавленной стоимостью

$$\Delta Э_{и1} = \sum_{i=1}^{n} Э_i = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_{нi}Ц_i}{q_i} - C_i - K_i\right), \quad (5)$$

где $Q_{нi}$ – суммарный объем некондиционной части МВС, приведенный к объему МВС с концентрацией метана при промышленной добыче (95 % и более), перерабатываемой по i-му направлению, м^3.

Во-вторых, так как весь метан, полученный при промышленной добыче, является кондиционным? отсутствует необходимость дополнительных затрат ΔC и ΔK для перевода части некондиционной МВС в кондиционную (формула (3)). То есть второй дополнительный эффект при использовании метана промышленной добычи по сравнению с использованием дегазационной МВС $\Delta Э_{и2}$ может быть выражен формулой:

$$\Delta Э_{и2} = \Delta C + \Delta K. \quad (6)$$

Также необходимо учитывать, что при внутришахтной дегазации содержание метана в МВС колеблется от 18 до 30 %. МВС с таким содержанием используется в основном для производства электро- и теплоэнергии. Получение МВС с содержанием метана выше 95 % расширяет возможности ее использования. Как было показано на рис. 1, метан добытый скважинами с поверхности с применением активных способов воздействия кроме производства электро- и теплоэнергии, может быть использован для производства моторного топлива, для производства кристаллогидратов, а также в бытовых условиях.

Если дополнительные направления использования, которые возможны при переработке МВС с высокой концентрацией, дают больший эффект, чем эффект от использования МВС с низкой концентрацией, то можно говорить о третьем дополнительном экономическом эффекте $\Delta Э_{и3}$, который формируется за счет получения продуктов переработки с большей добавленной стоимостью. При этом необходимо учитывать, что затраты на создание продукции с большей добавленной стоимостью (моторное топливо, кристаллогидраты и пр.) могут быть значительно выше.

$$\Delta Э_{и3} = \Delta Э_{и2} = \Delta Э_{и1} = \left(\frac{Q_2Ц_2}{q_2} - C_2 - K_2\right) - \left(\frac{Q_1Ц_1}{q_1} - C_1 - K_1\right), \quad (7)$$

где $Э_{и2}$ – экономический эффект от использования МВС с высокой концентрацией метана, руб.; $Э_{и1}$ – экономический эффект от использования МВС с низкой концентрацией метана, руб.; Q_2, $Ц_2$, q_2, C_2, K_2 – объем МВС, цена реализации, удельный расход МВС на производство единицы продукции, эксплуатационные и капитальные затраты при использовании МВС с высокой концентрацией метана; Q_1, $Ц_1$, q_1, C_1, K_1 – объем МВС, цена реализации, удельный расход МВС на производство единицы продукции, эксплуатационные и капитальные затраты при использовании МВС с низкой концентрацией метана.

Различия в расчете экономического эффекта от использования МУП при промышленной добыче и при дегазации угольных шахт отражены в таблице.

Необходимо отметить, что перечисленные дополнительные эффекты характеризуют различия в использовании МУП при промышленной добыче и при внутришахтной дегазации угольных шахт. В случае сравнения с заблаговременной дегазацией шахт, которая характеризуется высокими концентрациями метана в МВС, перечисленные эффекты не рассчитываются.

Как было показано ранее, существует два основных направления разработки газосодержащих угольных пластов: дегазация шахт и добыча МУП в качестве самостоятельного полезного ископаемого. Различия в расчете затрат, а также разница в экономических эффектах от использования МУП при дегазации шахт и при промышленной добыче позволяют предложить экономический критерий выбора одного из этих направлений. С одной стороны, затраты на промышленную добычу МУП могут быть ниже затрат на дегазацию шахт за счет отсутствия необходимости привязки расположения скважин к схеме разработки угольных пластов. Также экономический эффект от использования МУП может быть выше при промышленной добыче в связи с получением МВС с более высокой концентрацией метана. С другой стороны, при промышленной добыче отсутствуют экономические эффекты, возникающие в угольной промышленности при дегазации шахт (эффект от улучшения использования фронта горных работ, эффект от снижения выбросов метана в атмосферу, эффект от снижения аварийности, связанной со взрывами метана, эффект от сокращения затрат на ранее проводимую дегазацию).

Если сумма экономии затрат и дополнительных эффектов от использования МУП при промышленной добыче больше, чем экономические эффекты, возникающие в угольной промышленности при дегазации шахт, то выбор может быть сделан в пользу промышленной добычи МУП. В противном случае экономически более целесообразно проведение дегазации шахт;

$$\Delta З + \Delta Э_и > Э_{ав} + Э_ш + Э_в + Э_{р.д} \quad (8)$$

или

$$(З_{дег} - З_{пром}) + (Э_{и.\ пром} - Э_{и.\ дег}) > Э_{ав} + Э_{ш} + Э_{в} + Э_{р.\ д}, \quad (9)$$

где ΔЗ – разница между затратами на дегазацию шахт и промышленную добычу МУП, руб.; $ΔЭ_{и}$ – разница между экономическими эффектами от использования МУП при дегазации шахт и при промышленной добыче, руб.; $З_{дег}$ – затраты на дегазацию шахт, руб.; $З_{пром}$ – затраты на промышленную добычу МУП, руб.; $Э_{и.\ пром}$ – эффект от использования МУП, полученного при промышленной добыче, руб.; $Э_{и.\ дег}$ – эффект от использования МУП, полученного при дегазации шахт, руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Liu J., Chen Z., Elsworth D., Miao X., Mao X. Evolution of coal permeability from stress-controlled to displacement-controlled swelling conditions // Fuel. 2011. Vol. 90, No. 10. pp. 2987–2997.
2. Шувалов Ю. В., Павлов И. А., Веселов Л. П. Комплексное использование ресурсов и регулирование газового режима шахт Воркутского месторождения. СПб.: МАНЭБ, 2006. 392 с.
3. Пучков Л. А., Сластунов С. В., Коликов К. С. Извлечение метана из угольных пластов. М.: Изд-во МГГУ, 2002. 383 с.
4. Пармузин П. Н. Определение экономического эффекта в проектах дегазации угольных шахт // Изв. УГГУ. 2016. Вып. 2(42). С. 82–85. DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-82-85.
5. Лобов Н. М. Оценка экономической эффективности комплексного использования углеводородного сырья при подземной разработке угольных месторождений: дис. … канд. экон. наук. СПб., 1999. 130 с.

REFERENCES

1. Liu J., Chen Z., Elsworth D., Miao X., Mao X. Evolution of coal permeability from stress-controlled to displacement-controlled swelling conditions. *Fuel*. 2011. Vol. 90, No. 10. pp. 2987–2997.
2. Shuvalov Yu. V., Pavlov I. A., Veselov L. P. 2006, *Kompleksnoe ispol'zovanie resursov i regulirovanie gazovogo rezhima shakht Vorkutskogo mestorozhdeniya* [Integrated utilization of resources and regulation of gas processes of mines of Vorkutskiy deposit]. Saint Petersburg.
3. Puchkov L. A., Slastunov S. V., Kolikov K. S. 2002, *Izvlechenie metana iz ugolnykh plastov* [Extraction of methane from coal beds]. Moscow, Moscow State Mining University.
4. Parmuzin P. N. 2016, *Opredelenie ekonomicheskogo effekta v proektakh degazatsii ugolnykh shakth* [Determining the economic effect in projects of coal mines degasification]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta* [News of the State Mining University]. Issue 2(42). pp. 82–85.
5. Lobov N. M. 1999, *Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti kompleksnogo ispol'zovaniya uglevodorodnogo syrya pri podzemnoi razrabotke ugolnykh mestorozhdeniy* [Evaluation of economic efficiency of complex usage of hydrocarbon curde during underground development of coal deposits]. Thesis of candidate of economic sciences. Saint Petersburg.

Петр Николаевич Пармузин,
ptr12@mail.ru
Ухтинский государственный технический университет
Россия, Республика Коми, Ухта, ул. Первомайская, 13

Petr Nikolaevich Parmuzin,
ptr12@mail.ru
Ukhta State Technical University
Ukhta, Komi Republic, Russia

УДК 331.1 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-88-93

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ И РАЗВИТИЮ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВОВЛЕЧЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА В ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ

И. А. Кулькова, Н. А. Николаев

Methodical guidelines on evaluation and development of formation factors of personnel involvement in the company activity

I. A. Kul'kova, N. A. Nikolaev

The article substantiates the relevance of the problem of increasing the personnel involvement in conditions of high competition. The purpose of the work is to develop methodical guidelines on evaluation of factors of personnel involvement in conditions of a specific company. The work tasks included: 1. Determining the typology of factors of personnel involvement in the company activity. 2. Development of methods of evaluating the implementation of involvement factors in conditions of a specific company. 3. Proposal of recommendation on development of factors of personnel involvement in the company activity for proprietors and management of modern Russian companies. Analysis of approaches for identifying the personnel's involvement in the company activity are presented in the work. Content of the term involvement of personnel was disclosed with basic concepts of management: motive, stimulus, motivation, stimulation. Factor model of the mechanism of forming the personnel involvement is presented. Primary and secondary factors of involvement of personnel in the writings of national and foreign authors were examined. Typology of factors of personnel involvement was proposed. A complex of methods of analysis of factors of personnel involvement in the company activity was proposed. Methodical conditions to the evaluation of factors of personnel involvement in conditions of a specific company, that include methods of polling the employees and managers of the company, observation over factors in the conditions of the company were developed. Evaluation of satisfaction for factors of personnel involvement in five small companies in Sverdlovskaya oblast' were carried out. Results of researching of the involvement factors of personnel of Sverdlovskaya oblast' companies were presented. Based on the results of researching of involvement factors an analysis of main involvement personnel factors was made. Influence of the working conditions, social-psychological climate in the collective, corporate culture influence on the personnel involvement were reviewed in bigger detail.

Keywords: personnel involvement; essence of personnel involvement; factors of personnel involvement; evaluation of factors of personnel involvement.

Обосновывается актуальность проблемы повышения вовлеченности персонала в условиях высокой конкуренции. Представлен анализ подходов к определению вовлеченности персонала в деятельность предприятия. Раскрыто содержание понятия вовлеченность персонала через термины менеджмента. Рассмотрено соотношение понятия вовлеченность персонала и базовых понятий менеджмента: мотива, стимула, мотивации, стимулирования. Представлена факторная модель механизма формирования вовлеченности персонала. Рассмотрены первичные и вторичные факторы вовлеченности персонала в трудах отечественных и зарубежных авторов. Предложены типология факторов формирования вовлеченности персонала и комплекс методов анализа факторов его вовлеченности в деятельность предприятия. Разработаны методические положения к оценке факторов вовлеченности персонала в условиях конкретного предприятия, включающие в себя методы опроса сотрудников и руководителей предприятия, наблюдение за факторами в условиях предприятия. Проведена оценка удовлетворенности факторами вовлеченности персонала на пяти малых предприятиях Свердловской области. Представлены результаты исследования факторов вовлеченности персонала предприятий Свердловской области. По результатам исследования факторов вовлеченности проведен анализ главных факторов вовлеченности персонала. Подробно рассмотрено влияние содержания труда, социально-психологического климата в коллективе, корпоративной культуры на вовлеченность персонала.

Ключевые слова: вовлеченность персонала; сущность вовлеченности; факторы вовлеченности; оценка.

Введение

В современных условиях высокой конкуренции на уровне стран, корпораций, отдельных предприятий долгосрочная конкурентоспособность предприятия определяется полным использованием менеджментом и персоналом своего интеллектуально-делового потенциала на благо эффективного воспроизводства и устойчивого развития организации. Сотрудники предприятия являются главной движущей силой для достижения целей и реализации стратегии развития. От того, насколько каждый сотрудник компании вовлечен в деятельность предприятия, зависит степень достижения стратегических целей компании, а значит ее долгосрочная конкурентоспособность и развитие в рыночных условиях. Вовлеченность персонала в деятельность предприятия является важнейшим фактором развития любого предприятия в современных условиях жесткой конкуренции. Вопросы создания условий для формирования вовлеченности персонала рассматривались в трудах В. Н. Белкина, Н. А. Белкиной [1], определение групп персонала по уровню вовлеченности рассматривались в трудах Н. Е. Брюховецкой [2], различные подходы к определению вовлеченности сотрудников представлены Р. А. Долженко [3], Е. А. Колосковой [4], Р. Карсана [5], Л. И. Соколовой [6], Й. Хеллевига [7] и др.

В результате изучения научной литературы можно проследить широкий спектр работ по оценке и развитию вовлеченности сотрудников. Однако в результате анализа научной и деловой литературы выяснилось отсутствие методик оценки факторов вовлеченности персонала. Недостаточно исследованными являются знания о генезисе, механизмах формирования вовлеченности, главных факторах, влияющих на вовлеченность персонала. В связи с этим разработка методических положений по оценке и развитию факторов вовлеченности персонала деятельность предприятия является актуальной научно-практической задачей.

В научной, деловой литературе и общественном мнении существует множество определений понятия «вовлеченность персонала». Впервые оно было предложено американской компанией Aon Hewitt в 1994 г., в чьем понимании вовлеченность – это физическое, эмоциональное и интеллектуальное состояние, которое мотивирует сотрудников выполнять свою работу как можно лучше[1]. Специалисты компании предложили три подхода к оценке вовлеченности, основанные на принципах: «говорит», «остается», «стремится».

«Говорит» – сотрудник позитивно отзывается о компании в общении с коллегами, рекомендует ее друзьям и клиентам. «Остается» – человек готов работать в компании длительное время, быть ее частью. «Стремится» – прикладывает дополнительные усилия, чтобы способствовать успеху своего работодателя.

На сегодняшний день понятие «вовлеченность персонала» в научной и деловой среде единого определения не имеет. В широком спектре определений вовлеченности персонала, представленных в отечественной и зарубежной литературе, можно выделить множество различных категорий психологии, психофизиологии, менеджмента, через которые раскрывается понятие «вовлеченность персонала».

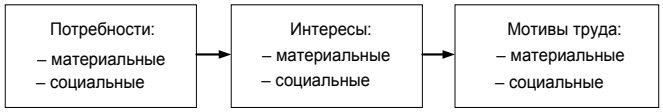


Рисунок 1. Логическая связь потребностей, интересов и мотивов труда работника [1].

[1] Методика исследования вовлеченности Aon Hewitt. URL: http://axesgroup.ru/engagement/metodology/

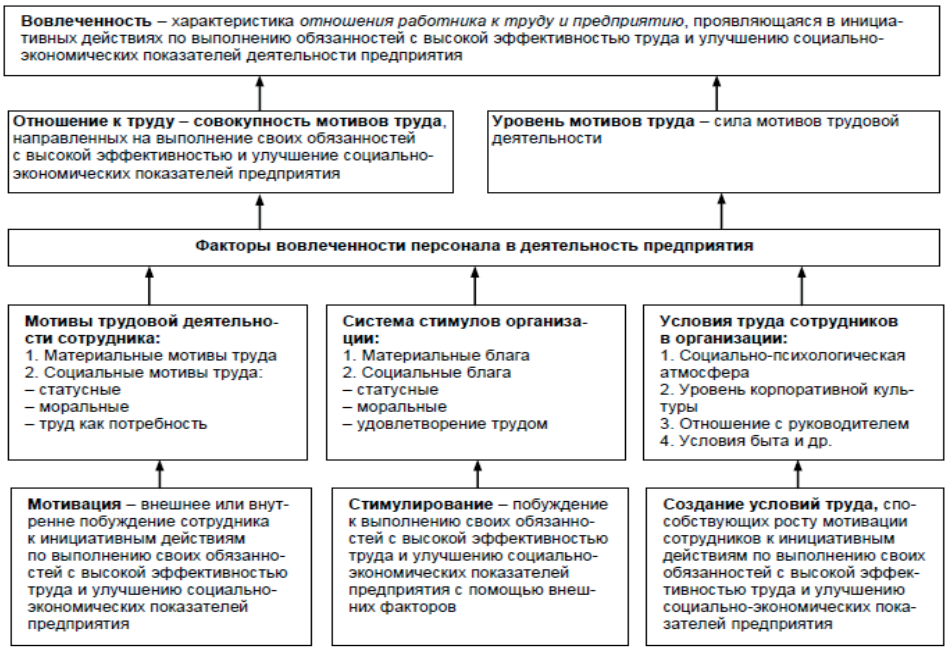


Рисунок 2. Типология факторов вовлеченности персонала в деятельность предприятия.

Этот термин в последнее время широко используется в менеджменте, маркетинге, политике, обществе и быту. Термин «вовлеченность» происходит от слова «вовлекать». В Толковом словаре Ушакова слово «вовлекать» («вовлекаю»», «вовлекаешь») определяется, как:

1. «Соблазнять, склонять к чему-нибудь»;
2. «Привлекать к участию в работе, деятельности (газет.) [8].

В словаре синонимов «вовлеченность» определяется как «втянутость», «соблазненность», «сопричастность».

В маркетинге вовлеченность покупателя в покупку товара – это уровень интереса и внимания покупателя, который он проявляет в процессе принятия решения о покупке. Вовлеченность зависит от субъективной оценки покупателем важности данной покупки и его личного интереса к продуктовой категории. В менеджменте термин «вовлеченность» имеет множество различных определений. Среди современных отечественных исследований следует отметить Р. А. Долженко, который определяет вовлеченность «как устойчивый аттитюд, характерный для работника, который предполагает длительную концентрацию работника на решении задач, приносящих дополнительный эффект для организации, находящий свое выражение в дополнительной эмоциональной привязанности к ценностям и целям организации» [3].

Многие исследователи понимают под вовлеченностью эмоциональное и интеллектуальное состояние. Так, Л. И. Соколова понимает под вовлеченностью долговременное эмоциональное состояние, обусловленное совпадением ценностей сотрудника (его миссии, видения, целей, заинтересованности, удовлетворенности, лояльности, приверженности, ключевых факторов успеха, умонастроения, солидарности, самоуважения, ответственности) с ценностями организации, в результате чего у сотрудника сформированы мотивы полностью посвятить себя деятельности в интересах организации и(или) подразделения, по собственному желанию проявлять инициативу и прикладывать дополнительные усилия для достижения целей организации [6]. С точки зрения целей нашего исследования понятие «вовлеченность» целесообразно раскрывать через категории менеджмента: мотивы, стимулы, отношение к труду, т. е. установить связь понятия вовлеченности с этими понятиями.

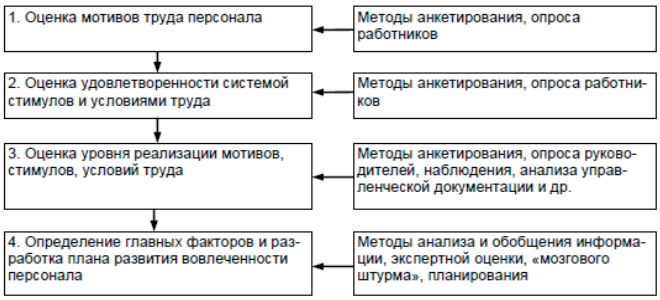


Рисунок 3. Схема анализа факторов вовлеченности персонала в деятельность предприятия.

В ходе предыдущих исследований авторы статьи определили ***вовлеченность как особое отношение работника к труду и предприятию***, субъективной характеристикой которого является совокупность устойчивых *мотивов труда*, а объективной – инициативные действия по выполнению своих обязанностей с высокой эффективностью и улучшению социально-экономических показателей деятельности предприятия [9]. Под отношением к труду традиционно понимается совокупность мотивов трудовой деятельности, внешним проявлением которой является трудовое поведение сотрудника [10]. Для понимания механизма и природы формирования вовлеченности необходимо рассмотреть механизм формирования мотивов труда. Под *мотивами труда* традиционно понимается побудительная причина трудовой деятельности индивида, вызванная его интересами и потребностями, удовлетворение которых возможно посредством получения благ, являющихся жизненной необходимостью, с наименьшими моральными и материальными издержками [11].

Мотивы трудовой деятельности являются частью всей совокупности мотивов человека. Они формируются, когда в распоряжении общества (или субъекта управления) имеется необходимый набор благ, соответствующих социально обусловленным потребностям человека. Для приобретения этих благ нужны трудовые усилия работников. Именно трудовая деятельность открывает возможность работнику получить эти блага с меньшими материальными затратами и моральными издержками, чем другие виды деятельности. Можно выделить несколько групп мотивов труда, образующих в совокупности единую систему: мотивы содержательности труда; мотивы общественной полезности труда; статусные мотивы, связанные с общественным признанием плодотворности трудовой деятельности; мотивы получения материальных благ; мотивы, ориентированные на определенную интенсивность работы [1]. Осознание человеком своих потребностей порождает интересы, в соответствии с которыми он активно действует в разных сферах жизни, в том числе и в сфере труда. Эти интересы в связи с двойственной природой человека также распадаются на материальные и социальные. Преследуя какие-то интересы, человек становится деятельной личностью. Он действует во имя удовлетворения своих потребностей [1].

Мотивы личности многообразны, и далеко не всегда в их числе превалирует мотив труда. Интересы могут быть реализованы без участия в труде, например за счет наследства, иждивенчества, паразитирования, «стрижки купонов» и т. д. Среди мотивов действий человека появляются мотивы труда, если его интересы реализуются через трудовую деятельность. Только при этом условии человек становится работником [1]. Логическая схема формирования мотивов труда представлена на рис. 1.

Учитывая состояние теоретической проработки проблемы и опираясь на опыт авторов статьи по исследованию практики стимулирования и мотивации труда в организациях разных отраслей и форм собственности, можно принять следующие определения понятий «мотив труда» и «стимул труда». Мотив труда – это внутреннее побуждение человека к труду. Стимул труда – это внешнее побуждение человека к труду [1]. Вовлеченность работника в деятельность предприятия, являясь особым видом отношения работника к труду, характеризуется совокупностью

Таблица 1. Шкала оценки мотивов трудовой деятельности персонала.

1. Оцените уровень реализации мотивов труда на вашем предприятии: 1. Полностью удовлетворяются – 2 балла
2. В основном удовлетворяются – 1 балл
3. Не удовлетворяются – 0 баллов

2. Ф.И.О., должность работника

Система мотивов труда	Ранг важности	Фактический уровень	Необходимый уровень
Материальные мотивы			
Уровень заработной платы			
Связь оплаты с результатами труда			
Справедливость системы оплаты труда			
Социальный пакет и обеспечение (оплата медицинской страховки, льготный кредит и др.)			
Стабильность работы предприятия и выплаты заработной платы			
Духовные мотивы			
Моральные			
Моральное поощрение – грамоты, награды, благодарности			
Похвала работников			
Статусные			
Возможности карьерного роста			
Возможности профессионального роста			
Участие в управлении организацией			
Видение перспектив личностного развития			
Труд как потребность и условия труда в организации			
Содержание труда (интересный характер труда)			
Престиж профессии			
Социально-психологический климат в коллективе			
Отношения с руководителем			
Условия быта в организации			
Отношения с коллегами			
Сплоченность коллектива и чувство командной работы			
Чувство лидера в организации			
Возможность гибкого графика работы			
Другие мотивы (какие?)			

мотивов к эффективному труду и улучшению социально-экономических показателей деятельности предприятия. Принимая определение мотива труда, *вовлеченность работника* можно определить как внутреннее побуждение человека к эффективному труду и улучшению социально-экономических показателей деятельности предприятия. Очевидно, что уровень вовлеченности работника определяется силой внутреннего побуждения – мотивов труда. Мотивы труда работника формируются под воздействием внутренних факторов (системы ценностей, природных желаний), системы стимулов (материальных и социальных благ), предоставляемых организацией в обмен на труд, а также условий труда в организации (корпоративной культуры, социально-психологической атмосферы, отношений с руководителем). Факторный анализ механизма формирования вовлеченности сотрудника в деятельность предприятия представлен на рис. 2.

Вовлеченность персонала в деятельность предприятия определяется *первичными факторами*:

– совокупностью мотивов труда – внутренним побуждением к эффективной деятельности на благо организации;

– уровнем мотивов труда – силой внутреннего побуждения к эффективной деятельности на благо организации;

вторичными факторами:

– мотивацией – внутренним или внешним побуждением к эффективной трудовой деятельности;

– стимулированием – побуждением к деятельности с помощью внешних стимулов – материальных и социальных благ;

– условиями труда в организации – факторами, которые непосредственно не направлены на формирование и усиление мотивов труда, но оказывают значительное влияние на эти мотивы.

Таблица 2. Результаты оценки важности и удовлетворенности мотивами труда персонала, %.

Факторы	Доля опрошенных, отметивших пять наиболее важных факторов	Полностью удовлетворены	В основном удовлетворены	Не удовлетворены
Уровень заработной платы	42	5	67	28
Возможности карьерного и профессионального роста	34	12	42	46
Связь оплаты с результатами труда	31	25	42	33
Стабильность работы предприятия и выплаты заработной платы	29	32	28	40
Содержание труда (интересный характер труда)	28	38	43	19
Социально-психологический климат в коллективе	25	13	46	41
Остальные	11	–	–	–

На мотивы трудовой деятельности, которые формируют вовлеченность персонала, оказывают влияние множество внутренних и внешних факторов: система ценностей, система стимулирования, уровень корпоративной культуры, социально-психологическая атмосфера, отношения с руководителем и коллегами, условия быта в организации и многие другие. Практическую ценность представляет знание главных факторов, которые в наибольшей степени оказывают влияние на вовлеченность большинства персонала предприятия. Представления о главных факторах, влияющих на вовлеченность в научной, деловой среде, весьма различны. В американской компании Aon Hewit проводились исследования влияния различных факторов на рост вовлеченности персонала. В ходе проводимых компанией исследований проводились опросы менеджмента и сотрудников относительно изменения их уровня вовлеченности при изменении различных факторов. Недостатками проведенных исследований являются субъективность оценки, двусмысленное понимание персоналом названия таких факторов, как «Зарплата», «Процессы», «Результаты».

Зарубежный исследователь Й. Хеллевиг выделяет общие и индивидуальные факторы («драйверы») вовлеченности.

Общие драйверы:

– доверие, справедливость, уважение;

– согласованность;

– коммуникации;

– полномочия;

– эффективные процессы;

– организационная структура;

– самодисциплина;

– ориентация на качество и удовлетворение потребностей потребителей;

– поведение, требуемое от лидеров и менеджеров.

Индивидуальные драйверы:

– качество жизни;

– содержание работы;

– плата и вознаграждение;

– «мягкие» аспекты корпоративной культуры [7].

Й. Хеллевиг говорит о влиянии этих факторов на вовлеченность сотрудников, однако не приводит исследований относительно степени их влияния.

По мнению российского ученого В. Н. Белкина, к наиболее важным факторам повышения вовлеченности персонала относятся:

– привлечение сотрудников к участию в управлении;

– развитие корпоративной культуры и социально-психологической атмосферы в организации;

– возможное предоставление части прав собственности предприятия;

– материальное и социальное стимулирование сотрудников [12].

В целом можно сделать вывод о недостаточной изученности влияния различных факторов на вовлеченность персонала в деятельность предприятия.

По мнению автора настоящей статьи, анализ факторов вовлеченности сотрудников необходимо проводить как минимум на двух уровнях:

1. На уровне организации (подразделения) – организационный уровень;

2. На уровне каждого сотрудника – индивидуальный уровень.

В первом случае в результате анализа можно получить общие организационные закономерности, во втором – индивидуальные.

Общий анализ необходим в том случае, когда нужно разработать мероприятия среднестатистического роста вовлеченности в организации, т. е. в крупных по численности работников организациях, когда индивидуальный анализ вовлеченности проводить трудоемко и нецелесообразно.

Индивидуальный анализ надо проводить в том случае, когда необходимо повысить вовлеченность конкретного сотрудника, например, менеджера, ключевого специалиста и др. Индивидуальный анализ рекомендуется проводить также на малых предприятиях с небольшой численностью сотрудников, когда руководитель имеет возможность непосредственно взаимодействовать с каждым из них.

По результатам анализа факторов вовлеченности в организации возможна разработка общих и индивидуальных мероприятий по повышению вовлеченности персонала. Влияние факторов на вовлеченность персонала требует дальнейших исследований.

На основании предложенной типологии факторов вовлеченности персонала автором была разработана методика оценки важности и уровня реализации этих факторов. Методика состоит из нескольких этапов и включает в себя:

1. Субъективную оценку мотивов труда работниками методом анкетирования;

2. Субъективную оценку удовлетворенности работниками системой стимулов и условиями труда на предприятии;

3. Объективную оценку уровня реализации факторов вовлеченности персонала методом наблюдения и анализа управленческой документации.

4. Анализ, определение главных факторов вовлеченности персонала и разработку плана формирования и развития вовлеченности персонала (рис. 3).

Оценка мотивов труда персонала проводится методом анкетирования работников в ходе аттестации и индивидуального собеседования.

Оценка мотивов труда включает в себя оценку материальных и духовных мотивов, а также ранжирование важности этих мотивов для работника. В ходе оценки мотивов труда определяются внутренние потребности работников, мотивирующие их на трудовую деятельность. Знание приоритетных потребностей, побуждающих к трудовой деятельности каждого работника и большинства персонала предприятия, позволяет менеджменту создавать усиливающую эти мотивы систему стимулов и условия труда на предприятии. Шкала оценки мотивов труда персонала и их удовлетворенности представлена в табл. 1.

С использованием предложенной шкалы авторами было опрошено 350 работников 9 малых предприятий России в 8 регионах: Торгово-инжиниринговая компания «Вагнер», производственная компания «Айсберг» включая Тюменский, Свердловский, Пермский, Самарский филиал, филиалы в ХМАО – ЮГРА, ЯНАО, мебельная фабрика «Багира» (г. Челябинск), агентство недвижимости «Альтек» (г. Екатеринбург). В результате проведенного опроса удалось установить главные мотивы трудовой деятельности, которые работники считают наиболее важными для эффективной трудовой деятельности.

Результаты оценки важности и удовлетворенности мотивов труда персонала предприятий представлены в табл. 2.

Как видно из анализа мотивов вовлеченности, к наиболее важным материальным факторам вовлеченности сотрудники относят уровень оплаты труда, связь оплаты труда с результатами, стабильность выплаты заработной платы и работы предприятия. К социальным мотивам трудовой деятельности сотрудники относят возможности карьерного и профессионального роста, интересное содержание труда, социально-психологическую атмосферу в коллективе. При этом в наибольшей степени сотрудники удовлетворены содержанием труда, стабильностью выплаты и работы предприятия.

Наибольшую неудовлетворенность связью оплаты с результатами труда отметили сотрудники государственных предприятий (муниципальных образований, силовых ведомств, государственных научно-исследовательских институтов и других). Отсутствие связи оплаты с результатами труда является устоявшейся практикой на большинстве государственных предприятий. При этом зачастую уровень оплаты труда на этих предприятиях зависит от занимаемой должности, квалификации, трудового стажа, распоряжений «сверху» о выдаче премий сотрудникам, профессиональных праздников, отношений с начальством и других факторов, которые напрямую никак не связаны с результатами трудовой деятельности сотрудника. Так, например, в одном из рассмотренных авторами муниципальных образований Свердловской области оплата труда складывалась следующим образом: ежемесячно сотрудники получали оклад согласно занимаемой должности, а также премию, размер которой составлял 50 % от окладной части. Окладная часть начисляется исходя из должности, «классного чина», который присваивался по результатам аттестации и стажа труда. Премиальная же часть начисляется «автоматически» при отсутствии у работников существенных нарушений трудовой дисциплины. То есть значительная часть, которая могла бы оказать существенное влияние на трудовое поведение работников, начисляется «автоматически».

Такое «автоматическое» начисление премий применяется практически повсеместно на государственных предприятиях. Таким образом, работники этих предприятий лишены материальных стимулов к улучшению трудовых показателей своей деятельности. Сотрудники получают премии «автоматически». Все это приводит к отчуждению труда, которое проявляется в отлынивании от работы, безразличии к качеству выполнения своих должностных обязанностей. Результаты и качество труда работников, находящихся в таких условиях, можно повсеместно наблюдать в муниципальных поликлиниках, налоговых инспекциях, полиции и других государственных учреждениях.

Другим важным мотивом трудовой деятельности работника является возможность карьерного и профессионального роста. Отсутствие на многих предприятиях планов карьерного и профессионального роста сотрудников приводит к неопределенности будущего у сотрудников. У сотрудников, которые не имеют представления о том, как будет проходить их профессиональный и карьерный рост, теряет силу мотив будущего карьерного роста. Будущее видится неопределенным и не зависящим от результатов труда, а значит, данного стимула проявлять инициативу и эффективно трудиться нет.

Стабильность выплаты заработной платы и работы предприятия как важный мотив трудовой деятельности отметили 31 % опрошенных.

В рыночных условиях сохранность рабочих мест зависит от конкурентоспособности предприятия, от стратегии собственников, внешних условий и других факторов. Каждый работник должен понимать, что сохранность его рабочего места и стабильность выплаты заработной платы зависят от вовлеченности каждого сотрудника в деятельность предприятия.

Интересное содержание труда в число пяти самых важных мотивов труда отнесли 28 % опрошенных сотрудников. Общеизвестно, что человек занимается с удовольствием тем, что ему интересно. Интерес к содержанию труда, к профессии, безусловно, является важнейшим фактором, который мотивирует работников трудиться с высокой эффективностью, проявлять инициативу. Интерес к содержанию труда особенно проявляют специалисты и руководители творческих профессий, таких, например, как дизайнер, стилист, тренер, учитель и др. При назначении на должность сотрудников руководителям необходимо проводить оценку уровня интереса к содержанию труда у сотрудников. Особенно важным является выявление уровня интереса к содержанию труда и профессии при отборе и адаптации персонала.

В практической деятельности руководителей и специалистов кадровых служб широко распространена оценка квалификации, компетенций, опыта работы сотрудника. Однако многие руководители и специалисты не уделяют должного внимания оценке интереса к содержанию труда – выполнению обязанностей, предусмотренных должностью и регламентированных должностной инструкцией. Очень часто сотрудник отбирается на основании наличия у него опыта работы на аналогичной должности. При этом часто не учитываются мотивы к работе в должности, на которую претендует кандидат. Этим можно объяснить тот факт, что менее опытные сотрудники с низкой квалификацией трудятся более эффективно, чем очень опытные сотрудники с высокой квалификацией, но низкой вовлеченностью. Интерес к профессии особенно важен в профессиях, которые значительно влияют на физическое и психическое здоровье и развитие человека. К этим профессиям относятся: учитель, врач, тренер и другие. Для поддержания уровня вовлеченности персонала менеджменту необходимо проводить непрерывный мониторинг и контроль интереса к содержанию труда среди сотрудников, назначать на должность сотрудников с высоким интересом к профессии.

Как показывают социально-психологические исследования, социально-психологическая атмосфера в коллективе играет важнейшую роль в формировании мотивов к эффективному труду. Социально-психологический климат (атмосфера) трудового коллектива – это социально обусловленная, относительно устойчивая система отношений его членов к коллективу как к целому. Социально-психологический климат всегда строится на межличностных отношениях, поэтому является показателем их состояния. В современном мире возросли требования к уровню психологической включенности индивида в его трудовую деятельность. Совершенствование психологического климата коллектива – это задача развертывания социального и психологического потенциала общества и личности, создания наиболее полнокровного образа жизни людей. Условия, в которых происходит взаимодействие членов рабочей группы, влияют на успешность их совместной деятельности, на удовлетворенность процессом и результатами труда. Можно провести аналогию с природно-климатическими условиями, в которых живет и развивается растение. В одном климате оно может расцвести, в другом – зачахнуть. То же самое можно сказать и о социально-психологическом климате: в одних условиях люди чувствуют себя некомфортно, стремятся покинуть группу, проводят в ней меньше времени, их личностный рост замедляется, в других группа функционирует оптимально и ее члены получают возможность максимально полно реализовать свой потенциал.

Когда ведут речь о социально-психологическом климате коллектива, подразумевают следующее: благоприятный социально-психологический климат характеризуют оптимизм, радость общения, доверие, чувство защищенности, безопасности и комфорта, взаимная поддержка, теплота и внимание в отношениях, межличностные симпатии, открытость коммуникации, уверенность, бодрость, возможность свободно мыслить, творить, интеллектуально и профессионально расти, вносить вклад в развитие организации, совершать ошибки без страха наказания и т. д. Неблагоприятный социально-психологический климат характеризуют пессимизм, раздражительность, скука, высокая напряженность и конфликтность отношений в группе, неуверенность, боязнь ошибиться или произвести плохое впечатление, страх наказания, неприятие, непонимание, враждебность, подозрительность, недоверие друг к другу, нежелание вкладывать усилия в совместный продукт, в развитие коллектива и организации в целом, неудовлетворенность и т. д. [13].

Основными показателями социально-психологического климата трудового коллектива являются стремление к сохранению целостности группы, совместимость, сработанность, сплоченность, контактность, открытость, ответственность. Кратко рассмотрим сущность этих показателей. Сплоченность – один из объединяющих подразделение процессов. Характеризует степень приверженности к группе ее членов. Определяется двумя основными переменными – уровнем взаимной симпатии в межличностных отношениях и степенью привлекательности группы для ее членов. Ответственность – контроль над деятельностью с точки зрения выполнения принятых в организации правил и норм. В подразделениях с положительным социально-психологическим климатом сотрудники стремятся к принятию на себя ответственности за успех или неудачу совместной деятельности. Контактность и открытость определяют степень развития личных взаимоотношений сотрудников, уровень психологической близости между ними. Значимость социально-психологического климата определяется также тем, что он способен выступать в качестве фактора эффективности тех или иных социальных явлений и процессов, служить показателем как их состояния, так и их изменения под влиянием социального и научно-технического прогресса. Социально-психологический климат выступает также в качестве полифункционального показателя уровня психологической включенности человека в деятельность, меры психологической эффективности этой деятельности, уровня психического потенциала личности и коллектива, масштаба и глубины барьеров, лежащих на пути реализации психологических резервов коллектива. Эффективность совместной деятельности во многом зависит от оптимальной реализации личностных и групповых возможностей. Благоприятная атмосфера в группе не только продуктивно влияет на ее результаты, но и перестраивает человека, формирует его новые возможности и проявляет потенциальные. В связи с этим возникает необходимость в оптимизации стиля межличностного взаимодействия [13].

И. А. Кулькова в работе [14] выделяет модели трудового поведения работников в организации и определяет критерии трудовой активности работников, основанные на развитии корпоративной культуры.

Использование предложенного методического подхода к оценке факторов вовлеченности позволяет:

– проводить оценку важности и удовлетворенности мотивами труда персонала;

– проводить оценку уровня реализации системы стимулов и условий труда, влияющих на вовлеченность персонала предприятия;

– определять приоритетные направления повышения вовлеченности в условиях конкретного предприятия.

К преимуществам предложенных методических положений по анализу и оценке факторов вовлеченности персонала можно отнести:

– возможность определения факторов вовлеченности в условиях конкретного предприятия;

– тесное взаимодействие между собственником, менеджментом и персоналом предприятия на каждом шаге оценки и разработки мероприятий повышения вовлеченности.

К недостаткам оценки факторов вовлеченности персонала методом опроса менеджмента и персонала предприятия относится:

– субъективность оценки и, как следствие, риск получить недостоверную картину;

– отсутствие у большинства персонала необходимой квалификации для проведения оценки мотивов труда, из-за чего возможна ложная оценка факторов роста вовлеченности.

По мнению авторов, для точного определения и выбора факторов роста вовлеченности персонала собственникам и руководителям предприятий необходимо в комплексе анализировать факторы вовлеченности, опираясь на результаты:

– опроса персонала и менеджмента;

– анализа управленческой документации;

– экспертной оценки факторов вовлеченности с привлечением специалистов по мотивации персонала;

– научных исследований мотивов трудовой деятельности персонала.

Опираясь на исследования мотивов трудовой деятельности, авторы статьи определили важнейшие факторы роста вовлеченности персонала. По их мнению, к этим факторам относятся:

– развитие корпоративной культуры организации;

– формирование благоприятного социально-психологического климата (атмосферы) в коллективе и организация командной работы;

– разработка системы оплаты труда, в которой уровень оплаты труда значительно зависит от результатов трудовой деятельности;

– привлечение работников к участию в управлении организацией;

– разработка, согласование, реализация планов профессионального, карьерного, личностного роста сотрудников;

– развитие лидерских качеств руководителей;

– создание благоприятных условий быта сотрудников [15].

Вовлеченность персонала как характеристика отношения персонала к труду является важнейшим фактором сохранения его конкурентоспособности, реализации стратегии развития, инновационной активности. Особое значение вовлеченность персонала имеет в функциях, непосредственно направленных на разработку и реализацию стратегии развития предприятия, потому что именно результативность реализации стратегии развития определяет будущее любой организации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин В. Н., Белкина Н. А. Экономическая теория труда. М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2007. 352 с.
2. Брюховецкая Н. Е., Черная А. А. Формирование вовлеченности сотрудников в работу предприятий // Стратегия и механизмы регулирования промышленного развития. 2013. № 5. С. 3–21.
3. Долженко Р. А. Удовлетворенность, лояльность, вовлеченность персонала: уточнение и конкретизация понятий // Вестник АГАУ. 2014. № 9 (119).С. 157–162.
4. Колоскова Е. Вовлеченность и удовлетворенность сотрудников // HeadHunter. Онлайн-справочник «Энциклопедия карьеры». 2008–2014. URL: http://www.ht.ru/cms/pa-tent/101336
5. Карсан Р., Круз К. Компания мечты. Почему в успешных компаниях говорят «мы»: пер. с англ. Е. Вахраневой. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2012. 248 с.
6. Соколова Л. И., Мищенко Е. С., Пономарев С. В. Формирование подсистемы измерения и анализа удовлетворенности и вовлеченности персонала в процессы системы менеджмента качества образовательной организации. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. 124 с.
7. Хеллевиг Й. Вовлеченность персонала в России. Предварительная версия. М.: Гайд Авара, 2012. 118 с.
8. Толковый словарь русского языка / под ред. Д. Н. Ушакова. М.: ООО «Издательство Астрель», 2000. Т. I. 848 с.
9. Николаев Н. А. Алгоритм повышения эффективности труда работников малых предприятий на основе управления вовлеченностью // Вестник СамГУ. 2015. № 5. С. 194–209.
10. Ядов В. А. Отношение к труду: концептуальная модель и реальные тенденции // Социологические исследования. 1983. № 3. С. 17–21.
11. Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 2-е изд., исправл. М.: ИНФРА-М, 1999. 479 с.
12. Белкин В. Н., Безобразова Ю. В. Социально-экономические основы оппортунизма работников российских предприятий. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2011. С. 24–26.
13. Бойко В. В., Ковалев А. Г., Панферов В. И. Социально-психологический климат коллектива и личность. М.: Мысль, 2011. 193 с.
14. Кулькова И. А. Управление трудовым поведением как фактор усиления трудовой мотивации: дис. … д-ра экон. наук. Ижевск, 2009. 312 с.
15. Белкин В. Н. Организационное поведение работников. Челябинск: Энциклопедия, 2015. 116 с.

REFERENCES

1. Belkin V. N., Belkina N. A. 2007, *Ekonomicheskaya teoriya truda* [Economic history of the labour]. Moscow. 2007. 352 p.
2. Bryukhovetskaya N. E., Chernaya A. A. 2013, *Formirovanie vovlechennosti sotrudnikov v rabotu predpriyatiy* [Formation of involvement of employees in the company work]. *Strategiya i mekhanizmy regulirovaniya promyshlennogo razvitiya* [Strategy and mechanisms of adjusting the industrial development. Collection of scientific materials]. 2013. No. 5. pp. 3–21.
3. Dolzhenko R. A. 2014, *Udovletvorennost', loyalnost', vovlechennost' personala: utochneniei konkretizatsiya ponyatiy* [Contentment, loyalty, personnel involvement: specification and concretization of notions]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agricultural University]. 2014. No. 9 (119). pp. 157–162.
4. Koloskova E. 2008–2014, *Vovlechennost' i udovletvorennost' sotrudnikov* [Involvement and satisfaction of employees]. HeadHunter. Online-guidebook "Encyclopedia of career". URL: http://www.ht.ru/cms/pa-tent/101336
5. Karsan R., Kruz K. 2012, *Kompaniya mechty. Pochemu v uspeshnykh kompaniyakh govoryat "my"* [Dream Company. Why do they say "we" in successful companies]. Moscow. 2012. 248 p.
6. Sokolova L. I., Mishenko E. S., Ponomarev S. V. 2009, *Formirovanie podsistemy izmereniya i analiza udovletvorennosti i vovlechennosti personala v processy sistemy menedzhmenta kachestva obrazovatel'noi organizatsi* [Formation of subsystem and analysis of satisfaction level and personnel involvement in processes of management system of education organization]. Tambov, Tambov State Technical University. 2009. 124 p.
7. Hellevig I. 2012, Vovlechennost'personala v Rossii. Predvaritelnaya versiya [Involvement of personnel in Russia. Preliminary version]. Moscow. 2012. 118 p.
8. 2000, *Tolkovyi slovar' russkogo yazyka* [The Explanatory Dictionary of Russian language]. Ed. by D. N. Ushakov. Vol. 1. Moscow, 848 p.
9. Nikolaev N. A. 2015, *Algoritm povysheniya effektivnosti truda rabotnikov malykh predpriyatiy na osnove upravleniya vovlechennost'u* [Algorithm of increasing labor productivity of small companies based on controlling involvement]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University]. 2015. No. 5. pp. 194–209.
10. Yadov V. A. 1983, *Otnoshenie k trudu: kontseptual'naya model i real'nye tendentsii* [Labour ethic: conceptual mode and real tendencies]. *Sotsiologicheskiye issledovaniya* [Sociological studies]. 1983. No. 3. pp. 17–21.
11. Raizberg B. A., Lozovskiy L. S., Starodubtseva E. B. 1999, *Sovremennyi ekonomicheskiy slovar'*. [Modern economical dictionary, 2d corrected edition]. Moscow. 479 p.
12. Belkin V. N., Bezobrazova Y. V. 2011, *Sotsial'no-ekonomicheskie osnovy opportunizma rabotnikov rossiyskikh predpriyatiy* [Socioeconomic basis of opportunism of employees of Russian companies]. Ekaterinburg, Ural Department of Russian Academy of Sciences. pp. 24–26.
13. Boiko V. V., Kovalev A. G., Panferov V. I. 2011, Sotsial'no-psikhologicheskiy klimat kollektiva I lichnost' [Social-psychological climate of the collective and personality]. Moscow, 193 p.
14. Kul'kova I. A. 2009, *Upravlenie trudovym povedeniem kak factor usileniya trudovoi motivatsii* [Management of working behavior as a factor of reinforcing work motivation. Thesis of doctor of economical sciences. Izhevsk, 312 p.
15. Belkin V. N. 2015, *Organizatsionnoe povedenie rabotnikov* [Organizational behavior of employees]. Chelyabinsk, 116 p.

Инна Анатольевна Кулькова,
i.a.koulkova@mail.ru
Николай Алексеевич Николаев,
wagner83@mail.ru
Уральский государственный экономический университет
Россия, Екатеринбург, ул. 8 Марта/Народной воли, 62/45

Inna Anatol'evna Kul'kova,
i.a.koulkova@mail.ru
Nikolay Alekseevich Nikolaev,
wagner83@mail.ru
Ural State University of Economics
Ekaterinburg, Russia

УДК 334.012.23:316 DOI 10.21440/2307-2091-2016-4-94-96

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

Ю. Н. Зеленов, О. В. Косолапов

Environmental responsibility of enterprises at the Earth using

Yu. N. Zelenov, O. V. Kosolapov

There is substantiated the necessity of social responsibility of the Earth users during the development of subsurface resources, trade-off between making a profit and meeting the needs of society. In the paper we expand social responsibility content of subsoil users on the basis of the level of development of the latter. In particular, the first (base) level includes the need for timely payment of wages and the payment of taxes, compliance with labor and environmental legislation and others, the second level involves the development of social partnership and the greening of production, the third level reflects the orientation of the external forms of social responsibility, its manifestation outside the enterprise. Also we consider the responses of respondents regarding the mining complex environmental responsibility. As follows from the responses, most of them consider environmental pollution, and consider your company as one of the sources of pollution. All respondents evaluated the solution environmental issues at all levels of government is not effective. Despite the negative assessment of the environment, they do not recognize the environmental activities a priority and do not consider it necessary to spend a significant share of the profits on the greening of production. At the same time, most respondents recognize the need to take account of environmental factors in management decisions, especially because mining companies have a negative impact on all elements of the environment. The importance of environmental factors is evidenced by the fact that most of the respondents are familiar with environmental legislation, the reason for the low cleaner production they see a lack of financial security of enterprises, low liability for violation of environmental legislation and the insufficient level of environmental awareness. From the answers respondents shows that they support the implementation of social responsibility initiative, from which they expect to receive appropriate effects, and strategic benefits.

Keywords: social and environmental responsibility; liabilities; survey; results; ecologization.

Обосновывается необходимость социальной ответственности недропользователей при освоении ресурсов недр, компромисса между получением прибыли и удовлетворением потребностей общества. Раскрывается содержание социальной ответственности недропользователей исходя из уровня развития последней. В частности, если первый (базовый) уровень предусматривает необходимость своевременной выплаты заработной платы и уплаты налогов, соблюдение норм трудового и экологического законодательства и др., второй уровень предполагает развитие социального партнерства и экологизацию производства, то третий уровень отражает направленность внешних форм социальной ответственности, ее проявление за пределами предприятия. Рассматриваются мнения респондентов предприятий горнопромышленного комплекса относительно экологической ответственности. Как следует из них, большинство респондентов считают окружающую среду загрязненной и рассматривают свое предприятие в качестве одного из источников загрязнения. Все опрошенные оценивают решение проблем экологического характера на всех уровнях управления как неэффективное. При отрицательной оценке состояния окружающей среды в целом они не признают экологическую деятельность приоритетной и не считают нужным тратить существенную долю прибыли на экологизацию производства. В то же время большинство опрошенных признают необходимость учета экологического фактора при принятии управленческих решений, тем более что горные предприятия оказывают негативное воздействие на все элементы окружающей среды. О важности экологического фактора свидетельствует и тот факт, что в основном анкетируемые знакомы с экологическим законодательством, а причину низкой экологизации производства видят в недостаточной финансовой обеспеченности предприятий, низкой ответственности за нарушение экологического законодательства и недостаточном уровне экологической сознательности. Из ответов анкетируемых следует, что они поддерживают инициативу внедрения социальной ответственности, от которой ожидают получения соответствующих эффектов и стратегических выгод.

Ключевые слова: социальная и экологическая ответственность; обязательства; анкетирование; результаты; экологизация.

Важным условием, которое обеспечивает экологически устойчивое недропользование, является социально ответственный подход к освоению ресурсов недр. Факт наличия взаимосвязи между экономической эффективностью и социальной справедливостью на сегодня является общепризнанным, так как повышение качества и уровня жизни населения становится возможным при экономическом росте, в то же время именно человек обусловливает развитие экономики, являясь одним из ее важнейших ресурсов [1–3].

Для современного периода характерно усиление социальной ориентации, увязка социальных установок с экономическими. Признание тесных взаимосвязей между обществом и предприятием составляет суть концепции социальной ответственности, которая требует от предприятий ответственности перед обществом, компромисса между получением прибыли и удовлетворением потребностей общества, в том числе обязательств, связанных с экологической ответственностью – обеспечением экологической безопасности условий жизни, недопущением истощения природных ресурсов, сохранением «здоровья» экосистем. Социально ответственные предприятия успешно интегрируются в повседневную жизнь общества, решая проблемные вопросы, связанные с развитием социальной инфраструктуры, медобслуживанием и образованием, сохранением качества окружающей среды и др. При этом исполнение экологических обязательств способствует экологически устойчивому развитию эколого-экономической системы горного предприятия.

Этапность развития социальной ответственности в рамках предприятия находит отражение в ее разноуровневом содержании (табл. 1).

В целях выявления проблем формирования социально-ответственного бизнеса в отношениях недропользователей, их готовности брать на себя дополнительные экологические обязательства в период 2014–2015 гг. был проведен анкетный опрос менеджеров предприятий горнопромышленного комплекса. Из ответов респондентов следует, что большинство опрошенных оценивает экологической ситуации, как загрязненную (табл. 2).

Около половины сотрудников считают окружающую среду загрязненной, при этом большинство (60,7 %) рассматривает свое предприятие в качестве одного из существенных загрязнителей. Лишь 3,6 % из опрошен-

Таблица 1. Содержание социальной ответственности.

Уровень	Характеристика содержания
1 уровень	Удовлетворенность норм трудового законодательства Своевременность выплаты заработной платы Производство качественной продукции Своевременность выплаты налогов Наличие лицензий и разрешений на пользование природными ресурсами и загрязнение окружающей среды Соблюдение требований хранения, транспортировки опасных отходов Соблюдение норм экологического законодательства
II уровень	Вклад социальных инвестиций в человеческий капитал Профилактическое медицинское обслуживание Улучшение условий труда Организация культурного отдыха Экологический аудит Учет экологического фактора при принятии управленческих решений Внедрение системы материального стимулирования ресурсосбережений и снижения загрязнения окружающей среды Экологическое образование
III уровень	Реализация социальных проектов, сфера действия которых выходит за рамки предприятия Инвестиции в реализацию экологических программ регионального и местного уровня Подготовка отчетов, отражающих показатели по социальному, экологическому и экономическому развитию

Составлено по [4, 5].

Таблица 2. Оценка экологической ситуации.

Оценка экологической ситуации окружающей среды	Ответы, %	Оценка вклада предприятия	Ответы, %
Очень загрязненная	14,3	Очень большой	10,7
Загрязненная	57,1	Большой	60,7
Буферная	28,6	Средний	25,0
Незначительно загрязненная	–	Небольшой	3,6
Чистая	–	Несущественный	–

ных признают вклад предприятия в ухудшение экологической ситуации как небольшой. Неблагоприятная экологическая ситуация увязывается анкетируемыми с ухудшением здоровья. Согласно оценке результатов, 53,4 % считают, что среди факторов, обусловливающих состояние здоровья человека, качество окружающей среды играет существенную роль – 20–30 %. Остальные ответы распределились равномерно: 21,4 % оценивают роль этого фактора в 30–50 % и более, 25,2 % – в 20 % и менее. Все опрошенные считают, что на федеральном, как и на региональном и муниципальном уровнях, эта проблема решается неэффективно, реальных сдвигов в улучшении экологической ситуации не наблюдается (табл. 3).

Таблица 3. Оценка результатов экологической деятельности.

На федеральном и региональном уровне	Ответы, %	На муниципальном уровне	Ответы, %
Очень доволен	7,2	Очень доволен	10,7
Доволен	25,0	Доволен	21,4
Не совсем доволен	46,4	Не совсем доволен	50,0
Недоволен	21,4	Недоволен	17,9

В целом число неудовлетворенных решением экологических проблем на всех уровнях управления составляет соответственно 67,8 % и 67,9 %, т. е. больше двух третей. Однако при всей отрицательной оценке состояния окружающей среды опрошенные не считают экологическую деятельность приоритетной и не считают нужным тратить существенную долю прибыли на реализацию мероприятий, ориентированных на экологизацию производства (табл. 4).

Приоритетной экологическую деятельность признают лишь 14,3 % опрошенных, остальные считают ее либо равноправной с экономической, либо второстепенной по отношению к экономической. В соответствии с бытующим отношением к экологической деятельности распределяются и ответы

Таблица 4. Оценка значимости экологической деятельности.

Приоритетность экологической деятельности по сравнению с экономической	Оценка, %	Доля прибыли на реализацию мероприятий экологической деятельности, %	Оценка, %
Считаю приоритетной	14,3	< 1	10,7
Равноправны	35,7	1–5	32,1
Не считаю приоритетной	28,6	5–15	32,1
Затрудняюсь ответить	21,4	> 15	25,1

Лишь 7,1 % из анкетируемых вообще не знакомы с подобными нормативно-законодательными актами. Остальные в той или иной степени ознакомлены с ними. Основную причину низкой экологизации производства 52 % опрошенных видят в недостаточной финансовой обеспеченности предприятия; недостаточной ответственности за нарушение экологического законодательства; низкой экологической сознательности персонала (недостаточной социальной ответственности). С этой точки зрения объяснимы ответы опрошенных, которые считают, что модель социальной ответственности должна внедряться на предприятии и необходимо усиление ее экологического аспекта (табл. 5).

Таблица 5. Оценка необходимости внедрения модели социальной ответственности.

Необходимость внедрения модели СО	Ответы, %	Необходимость усиления экологического аспекта	Ответы, %
Необходимо и срочно	14,3	Необходимо в существенном масштабе	14,3
Необходимо в течение 4–5 лет	64,3	В среднем масштабе	57,1
В долгосрочной перспективе	10,7	Частичное усиление	21,4
Не обязательно	10,7	Не обязательно	7,2

относительно возможной доли прибыли на реализацию мероприятий экологической деятельности: почти половина сотрудников ограничивают эту долю 5 % и считают ненужным тратить усилия и средства на подготовку экологической отчетности. В то же время большинство опрошенных (71,4 %) считают необходимым учет экологического фактора при принятии управленческих решений, тем более что горные предприятия оказывают негативное воздействие на все компоненты окружающей среды, лишь 14,3 % не считают подобную процедуру необходимой.

О важности экологической деятельности свидетельствует и тот факт, что большинство сотрудников знакомы и достаточно осведомлены о законодательных документах, касающихся охраны окружающей среды.

Экологические эффекты	Социальные эффекты
Повышение уровня использования отходов Снижение объема размещения отходов Снижение энергопотребления Снижение риска техногенных аварий Снижение выбросов загрязняющих веществ Снижение сбросов загрязняющих веществ Своевременность рекультивации Экономия водных ресурсов Экономия минеральных ресурсов Экономия земельных ресурсов Снижение загрязнения почв Повышение экологичности производства	Снижение уровня заболеваемости и смертности персонала Улучшение отношений с населением Повышение уровня экологического образования Снижение уровня заболеваемости населения Повышение уровня экологической культуры
Экономические эффекты	**Стратегические выгоды**
Снижение себестоимости в связи с экономией ресурсов Уменьшение платежей за размещение отходов Снижение размера штрафов Снижение размера ресурсных налогов Уменьшение размера платежей за загрязнение окружающей среды Уменьшение компенсационных выплат Уменьшение расходов на хранение и размещение отходов Рост капитализации компании Снижение расходов из-за уменьшения текучести кадров Повышение рентабельности производства	Повышение производительности труда Привлекательность имиджа предприятия Продление срока отработки запасов Улучшение экологической ситуации на территории Упрощение процедуры получения кредитов Приоритетность а получении господдержки Гармонизация взаимоотношений работников и работодателей

Рисунок 1. Результаты анкетирования.

Наибольшая доля опрошенных (89,3 %) считают необходимым социально ответственное поведение при освоении ресурсов недр и 92,8 % признают необходимость усиления экологического аспекта. От внедрения модели СО опрашиваемые ожидают получения экологического, социального и экономического эффектов и рассчитывают на получение стратегических выгод. Результаты анкетирования в виде ранжированных ответов приведены на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что опрашиваемые достаточно хорошо представляют себе возможные эффекты, которые могут быть получены при изменении отношения к персоналу, населению, вопросам экологической деятельности и, соответственно, поддерживают внедрение модели социальной ответственности, что служит одним из необходимых условий обеспечения экологической устойчивости эколого-экономической системы предприятий, осваивающих ресурсы недр.

В реальной жизни формирование социально ответственного подхода к освоению ресурсов недр требует поддержки как со стороны гражданского общества, так и со стороны государства. Экологически устойчивое недропользование требует совместных усилий власти, бизнеса и общества. От власти зависит создание необходимых базовых условий для развития социально ответственного недропользования: От гражданского общества ожидаются предпочтения в отношении приобретения товаров, вклада инвестиций, связи трудовой деятельности с предприятиями, которые квалифицируются как социально ответственные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благов О. Е. Корпоративная социальная ответственность: эволюция концепций. СПб.: Высшая школа менеджеров. 2011. 272 с.
2. Петросян Д. С. Экологическая эффективность и социальная ответственность // Общество и экономика. 2006. № 11/12. С. 37–47.
3. Игнатьева М. Н., Косолапов О. В., Гиренко-Коцуба А. Н. Социально активные предприятия: реализация экологической и социальной ответственности Екатеринбург: УГГУ, 2013. 144 с.
4. Соболева И. В. Социальная ответственность бизнеса: глобальный контекст и российские реалии // Вопросы экономики. 2005. № 10. С. 90–102.
5. Стровский В. Е., Косолапов О. В. Социально-ориентированный подход к освоению ресурсов недр // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 38–43.

REFERENCES

1. Blagov O. E. 2011, *Korporativnaya sotsial'naya otvetstvennost': evolutsiya kontseptsiy* [Corporate social responsibility: evolution of concepts]. Saint Petersburg, 272 p.
2. Petrosyan D. S. 2006, *Ekologicheskaya effektivnost' I sotsial'naya otvetstvennost'* [Ecological efficiency and social responsibility]. *Obschestvo i ekonomika* [Society and economics]. No.11/12, pp. 37–47.
3. Ignat'eva M. N., Kosolapov O. V., Girenko-Kotsuba A. N. 2013, *Sotsial'no aktivnye predpriyatiya: realizatsiya ekologicheskoy i sotsial'noy otvetstvennosti* [Social-active enterprises: the implementation of environmental and social responsibility]. Ekaterinburg, Ural State Mining University, 144 p.
4. Soboleva I. V. 2005, *Sotsialnaya otvetstvennost' biznesa: global'nyi kontekst i rossiyskie realii* [Corporate social responsibility: global context and Russian reality]. *Voprosy ekonomiki* [Voprosy Ekonomiki]. No. 10, pp. 90–102.
5. Strovskiy V. E., Kosolapov O. V. 2015, *Sotsial'no orientirovannyi podkhod k osvoeniyu resursov nedr* [Socially-oriented approach to the development of subsurface resources]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal]. No. 2, pp. 38–43.

Юрий Николаевич Зеленов,
Министерство образования и науки РФ
Россия, Москва, ул. Тверская, 11

Олег Вениаминович Косолапов,
Управление Росприроднадзора по Республике Хакасия
Россия, Республика Хакасия, Абакан, ул. Хакасская, 21

Yuriy Nikolaevich Zelenov,
Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Moscow, Russia

Oleg Veniaminovich Kosolapov,
Russian Environmental Control
Abakan, Khakassia, Russia

Научные конференции

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

На научной конференции с таким названием были определены первые лауреаты медалей им. С. Н. Иванова

К. С. Иванов

Весной 2016 г. Союз ученых Урала и Фонд развития наук о Земле объявили об учреждении Почетной медали имени члена-корреспондента С. Н. Иванова «За выдающиеся результаты в области наук о Земле и достоинство» (см. Известия УГГУ, вып. 2 (42), стр. 114). В сентябре Институтом геологии и геохимии УрО РАН и Уральской секцией Научного Совета по проблемам тектоники и геодинамики ОНЗ РАН была проведена научная конференция «Чтения памяти члена-корреспондента РАН С. Н. Иванова «Современные проблемы геологии и геофизики», посвященные 105-й годовщине со дня его рождения». Конференция была проведена в форме заказных докладов и открылась вступительным словом нового директора Института геологии и геохимии В. В. Масленникова, затем он сделал доклад «С. Н. Иванов и развитие теории колчеданообразования». В докладе А. И. Русина, В. А. Коротеева, Е. И. Богдановой и Е. Н. Волчек были показаны основные этапы творческого пути С. Н. Иванова (см. также [1]). Доклад К. С. Иванова был посвящен развитию идей С. Н. Иванова в геологии и геофизике.

Затем прошло вручение медалей имени члена-корреспондента РАН С. Н. Иванова «За выдающие результаты в области наук о Земле и достоинство» четырем первым лауреатам и состоялись обстоятельные доклады самих лауреатов.

В номинации **«Геофизика и глубинное строение земной коры»** почетная медаль имени члена-корреспондента С. Н. Иванова «За выдающиеся результаты в области наук о Земле и достоинство» была присуждена заведующему кафедрой геоинформатики Уральского государственного горного университета доктору геолого-минералогических наук, профессору **Владимиру Борисовичу Писецкому за разработку и внедрение флюидодинамического метода поисков нефти (ДФМ)** на основе переобработки сейсмического сигнала [2–13].

Основные достижения В. Б. Писецкого состоят в следующем.

1. Им теоретически и экспериментально обоснованы физическая и формальная структуры связей между параметрами сейсмических волн и упругими модулями в моделях дискретных неоднородно-напряженных сред;

2. Обоснована идея о природе сейсмических границ первого рода как поверхностей скольжения с разрывом непрерывности напряжений в рамках ротационной гипотезы формирования и эволюции современного напряженного состояния слоистой Земли;

3. Разработаны методология и технология выявления схемы блоковой динамики осадочного бассейна по геолого-геофизическим данным с опорой на специализированную интерпретацию сейсмических материалов;

4. На основе многочисленных результатов применения данной методологии более чем в 20 бассейнах мира доказана практическая возможность относительной оценки сверхлитостатических давлений, проницаемости и вектора течения флюида в интервалах осадочного чехла и фундамента.

5. Обоснованы принципиально новые возможности и эффективность прогноза параметров флюидодинамики в задачах разведки и разработки месторождений нефти и газа, что существенным образом расширяет рынок геолого-геофизических услуг.

В. Б. Писецкий работал над совместными научными проектами с Французским институтом нефти (Париж, 1992–1995 гг.), Стэнфордским университетом (1995 г.), Мичиганским технологическим университетом (1996–2002 гг.), научными центрами ряда российских и иностранных нефтяных и газовых компаний. Имеет 3 международных патента на технологию поиска нефти. Им опубликовано более 80 научных трудов, подготовлено 16 кандидатов наук. В. Б. Писецкий является отличником разведки недр, заслуженным геологом РФ, членом Общества разведочной геофизики США (SEG).

В номинации **«Геотектоника и геодинамика»** почетной медалью награжден член-корреспондент РАН, директор Института геологии Уфимского НЦ РАН **Виктор Николаевич Пучков за цикл работ по геологии батиальных комплексов и их реликтов в палеозоидах Лавразии.**

Первые лауреаты Почетной медали имени члена-корреспондента С. Н. Иванова «За выдающиеся результаты в области наук о Земле и достоинство». Слева направо: В. А. Волков, В. Б. Писецкий, В. Н. Пучков.

В номинации «**изучение месторождений**» медаль присуждена заместителю директора по науке и производству Научно-аналитического Центра рационального недропользования им. В. И. Шпильмана (Тюмень–Ханты-Мансийск) кандидату геолого-минералогических наук **Владимиру Андреевичу Волкову за цикл работ по геологии и нефтеносности Западной Сибири, а также по разработке и внедрению математических методов в нефтяной геологии.**

В номинации «**Геология и геологическое картирование**» медалью награжден главный научный сотрудник Института минералогии УрО РАН (г. Миасс) доктор геолого-минералогических наук **Виктор Григорьевич Кориневский за цикл публикаций по геологии, стратиграфии и минералогии Южного Урала и Мугоджар.**

Итак, присуждение профессиональным сообществом Почетной медали имени члена-корреспондента С. Н. Иванова «За выдающиеся результаты в области наук о Земле и достоинство» становится ежегодным.

В соответствии с научными интересами и областями знаний, в которые один из лучших геологов XX в. Святослав Несторович Иванов (1911–2003 гг.) внес свой вклад, медаль будет ежегодно присуждаться российским ученым за исследования в областях:

1. Геологии и геологического картирования;
2. Изучение месторождений и открытие новых;
3. Геотектоники и геодинамики;
4. Геофизики и глубинного строения земной коры;
5. Охраны природы и гидрогеологии.

А также за стойкость и верность науке.

Начиная с 2017 г. медали будут присуждаться ежегодно в День геолога (первое воскресенье апреля), подача заявок – до 11 февраля (день рожденья С. Н. Иванова). Кандидатов на получение Почетной медали могут выдвигать научные и научно-технические советы организаций, а также лауреаты прошлых лет. Возможно и самовыдвижение. В случае выдвижения исследователя лауреатом прошлых лет от кандидата достаточно письменного согласия баллотироваться. Материалы на конкурс присылать в электронном виде (ivanovks55@ya.ru) и в качестве исключения на адрес ИГГ УрО РАН (620016, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15, Институт геологии и геохимии, Иванову К. С.). Материалы не рецензируются и не возвращаются. Результаты голосования (в случае если тот или иной претендент медаль не получил) не разглашаются. Возможно их участие в конкурсе в последующие годы.

Детальнее – см. Известия УГГУ, 2016, вып. 2 (42), стр. 114.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов К. С., Иванов Н. С., Богданова и др. Выдающийся геолог – Святослав Несторович Иванов // Уральский геологический журнал. 2013. № 2 (92). С. 55–82. URL: http://www.ural-geol-j.net/#!2013-n2/vedmg
2. Кормильцев В. В., Нургалиев Д. К., Писецкий В. Б. и др. Моделирование флюидодинамических систем, охватывающих осадочный бассейн и фундамент // Георесурсы. 2001. № 2. С. 35–42.
3. Писецкий В. Б. Дислокационно-флюидная модель седиментационных сред // Горный журнал. 1994. № 9/10. С. 34–50.
4. Писецкий В. Б., Муслимов Р. Х., Милашин В. А. Перспективы нефтеносности Татарстана с позиции активных флюидных процессов // Георесурсы. 2000. № 3. С. 40–48.
5. Писецкий В. Б. Прогноз флюидодинамических параметров нефтегазоносных бассейнов по сейсмическим данным: дис. … д-ра геол.- минерал. наук. Екатеринбург, 2005. … с.
6. Писецкий В. Б. Механизм разрушения осадочных отложений и эффекты трения в дискретных средах // Изв. вузов. Горный журнал. 2005. № 1. С. 48–65.
7. Писецкий В. Б., Крылатков С. М. О коэффициенте Пуассона нефтяных коллекторов с дискретной структурой // Изв. вузов. Горный журнал. 2005. № 1. С. 115–121.
8. Писецкий В. Б. О выборе парадигмы в методах прогноза флюидных параметров по сейсмическим данным // Технологии сейсморазведки. 2006. № 3. С. 19–24.
9. Писецкий В. Б., Рещиков Д. Г. О некоторых особенностях современного геодинамического состояния земной коры Урала и Западной Сибири // Изв. вузов. Горный журнал. 2008. № 8. С. 184–187.
10. Писецкий В. Б., Рещиков Д. Г. Принципиальные элементы в схеме блоковой динамики Западно-Сибирского мегабассейна // Литосфера. 2009. № 3. С. 87–90.
11. Pisetski V.B. Dynamic fluid method // Leading Edge (Tulsa, OK). 1999. T.18. № 9. P. 1084–1093.
12. Pisetski V. Method for Determining the Presence of Fluids in a Subterranean Formation. US Patent. 1998. № 5.796, 678.
13. Pisetski, V., Kormilcev V., Ratushnak A. Method for predicting dynamic parameters of fluids in a Subterranean reservoir. US Patent. 2002. № 6. 498, 989 B1.

Кирилл Святославич Иванов,
ivanovks55@ya.ru
Институт геологии и геохимии УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул Академика Вонсовского, 15

История горного дела на Урале

П. К. СОБОЛЕВСКИЙ – ОСНОВОПОЛОЖНИК УРАЛЬСКОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ*

В. В. Филатов

П. К. Соболевский.

Уральская геофизическая среда, закономерно развивавшаяся на протяжении полутора столетий, к 1920 г. созрела для репродукции. Оплодотворенная в 1917 г. Уральским горным институтом, она дала великолепный побег, из которого предстояло сформировать научно-педагогическую школу. Вскоре появился и «садовник», который начал умело, терпеливо и бережно, но настойчиво и упорно выращивать это экзотическое растение. 1920 год стал второй важной вехой в истории уральской геофизики.

Кто же стал создавать геофизическую школу? Ортенберг? Нет. Он только обозначил ее на уровне предчувствия. Большего он сделать бы не смог. «Садовником» стал другой человек – Петр Константинович Соболевский.

В Москве на Введенском (бывшем Немецком) кладбище в окружении надгробий, под которыми похоронены советские генералы, стоят рядом две скромные плиты с закругленными верхами – одна повыше и побольше, другая – пониже и поменьше. На той, что побольше, сверху выбито: «Профессор Соболевский Пётр Константинович 1868–1949»; ниже, на пластине из того же камня, что и плита, прикрепленной к плите, – «Заслуженный артист РСФСР Соболевский Пётр Станиславович 1904–1977». Еще ниже изображение кинопленки. И в самом низу пластины – «Соболевская Манефа Владимировна 1920–1992». На плите меньшего размера в верхней ее части выбито «Соболевская Ольга Мартыновна 1879–1947»; ниже надпись – «и сын её Костя 1911–1942».

Это семейное захоронение Соболевских. Пётр Станиславович – средний сын Петра Константиновича и Ольги Мартыновны – популярный артист кино, друг С. А. Герасимова (1906–1985); Манефа Владимировна – жена Петра Станиславовича, тоже киноактриса. Для Константина – одаренного художника-графика, младшего сына Соболевских, это захоронение кенотаф – пустая могила. Поскольку он был репрессирован и умер в лагере, и где похоронен – неизвестно. В этом захоронении нет старшего сына Петра Константиновича Юрия, родившегося в 1896 г. от брака с первой женой – англичанкой, танцовщицей, дочерью сотрудника Пулковской обсерватории Малгорджатой (Маргаритой) Рудольфовной Сток, на которой он женился в начале февраля 1892 года. Юрий был кадровым офицером. Во время Гражданской войны он служил в колчаковской армии. Красные его пленили и жестоко казнили: привязали к пушечному стволу и выстрелили. Единственная дочь Соболевских Ольга Станиславовна, оперная певица и ученица К. С. Станиславского, умершая в 94 года в 1994 г., была похоронена, как мне сообщили родственники, на новом Донском кладбище при Донском монастыре, ведь, как поется в известной песне «а в Донском монастыре сладко спится на заре русскому дворянству», а она была дворянкой.

Петр Константинович Соболевский родился 7(19) октября 1868 г. в городе Бяла Седлецкой губернии Царства Польского (ныне г. Бяла-Подляска Люблинского воеводства). По католическому обряду новорожденному дали длинное имя – Станислав-Петр-Сигизмунд, от которого впоследствии осталось только короткое Петр. А вот его дети предпочли в качестве отчества взять Станиславович.

Отец Петра Константиновича – Константин Адольф – был потомственным дворянином Гродненской губернии и служил в уездном казначействе. Был он по провинциальным меркам образован, вольнодумен и вольнолюбив, как всякий польский шляхтич. Мать – Мария, девичья фамилия которой Зариясова, знала иностранные языки и давала уроки, чтобы укреплять семейный бюджет. Петр Константинович был разносторонне одарен. У него были способности к языкам, к музыке. С помощью матери и самостоятельно он в совершенстве освоил немецкий, французский, итальянский, белорусский и украинский языки, о польском и русском уж и говорить нечего.

Материальный достаток семьи был невелик, но чувство собственного достоинства образованных и культурных родителей позволило преодолеть его, и в 1881 г. они устроили Петра на учебу в Курское реальное училище. Дальше все зависело от него. И он не оплошал. Учась в третьем классе, стал давать уроки неуспевающим ученикам, а с четвертого уже стал воспитателем группы иногородних учеников, живших на частных квартирах. С этого времени он стал содержать себя сам и перестал быть обузой для родителей.

Рано обозначившийся педагогический дар, стимулировал его к самосовершенствованию и саморазвитию. В годы учебы в училище он самостоятельно занимался изучением таких разделов физики, математики и астрономии, которые были за рамками учебных программ, по книгам и брошюрам, купленным на заработанные деньги.

Книги он очень ценил и берег. К концу жизни в его библиотеке было около 20 тысяч книг и журналов по геологии, физике, горному делу и другим отраслям знаний на русском и иностранных языках. После его смерти дочь Ольга Станиславовна большую часть библиотеки отца передала по просьбе президента АН КазССР К. И. Сатпаева (1899–1964) в библиотеку академии, а меньшую (книги на иностранных языках) – в библиотеку иностранной литературы в Москве. Соболевский и Сатпаев были знакомы со времени работы Петра Константиновича в Томске. Сатпаев высоко ценил Соболевского, и 1 июня 1946 г. на торжестве открытия Академии наук Казахской ССР среди почетных гостей в составе московской академической делегации присутствовал и Соболевский.

Что побудило Петра Константиновича поступить после окончания училища в 1889 г. в Петербургский горный институт, неизвестно. Как будто бы он с детства был увлечен изучением земных недр. Может быть, это и так. Но проучившись два года, он убедился, что его физико-математическая подготовка неудовлетворительна. Тогда он прервал учебу в Горном институте и занялся основательным изучением астрономии, физики, математики, а также иностранных языков в столичном университете и в Пулковской астрономической обсерватории. Это был поступок сильного, смелого, критически относящегося к себе человека, стремящегося постичь в совершенстве то дело, которым он собирался заниматься.

* Продолжение статьи «История геофизических исследований на Урале в XVIII–начале XX века». Начало в № 2(42), 2016.

Астрономию он изучал под руководством выдающегося ученого А. А. Белопольского (1854–1934), геодезию ему преподавал профессор Академии Генерального штаба В. В. Витковский (1856–1924). Желание как можно больше познать было у Петра Константиновича неуемным: кроме физико-математических дисциплин он изучал основы научной системы физического воспитания на курсах знаменитого П. Ф. Лесгафта (1837–1909), брал уроки композиции у выдающихся композиторов А. К. Лядова (1855–1914) и Н. А. Римского-Корсакова (1844–1908), совершенствовался в игре на фортепьяно в столичной консерватории, где и познакомился со своей второй женой Ольгой Мартыновной фон Гибшман, учившейся там камерному пению у педагога Н. А. Ирецкой.

Чем он зарабатывал на жизнь? Музыкой, играя на балах, свадьбах и похоронах. Он был крепок и силен физически, упорен и настойчив; обликом – могучей фигурой, пышными усами, короткой стрижкой «ежиком» – напоминал двух великих русских борцов, двух Иванов – Заикина (1880–1948) и Поддубного (1871–1949).

В 1895 г. Петр Константинович вернулся в институт и через три года стал горным инженером, уверенный в том, что теперь он вполне готов к самостоятельной работе и не в качестве исполнителя. Эту его уверенность разделял и работавший в институте профессор Леонид Иванович Лутугин (1864–1915) – основоположник отечественной школы геологов-угольщиков, исследователь угольных бассейнов России и особенно Донецкого, изучению геологии которого он посвятил более 20 лет. По рекомендации Лутугина Соболевский поехал работать в Донбасс.

О том, чем занимался Соболевский после окончания института, он подробно описал в 1930 г. в автобиографии:

«После окончания Горного Института я поступил на службу в Донецкий бассейн, а в 1899 г. был приглашен в только что открывшееся в бывшем г. Екатеринославе Высшее Горное Училище (ныне Национальный горный университет в Днепропетровске. – *В. Ф.*) в качестве преподавателя маркшейдерского искусства и геодезии.

Состоя преподавателем… я одновременно продолжал мою практическую деятельность в Донецком бассейне в качестве заведующего различными горнозаводскими работами, а затем и в качестве управляющего Троицким рудником Харцизско-Донецкого Горнопромышленного товарищества.

В… Высшем Горном Училище пробыл до 1903 г. За это время побывал за границей (Швеция, Германия), изучал там разработанные шведами магнитометрические методы разведок железных руд, ознакомился с постановкой германской практической геодезии… изучал германское инструментоведение. В тот же период времени ввел впервые в русскую Высшую школу курс практической магнитометрии (в 1901/02 уч. году), положив начало специальным лабораториям – геодезической, маркшейдерской и магнитометрической, каковых в Высших школах до этого вовсе не было.

В 1903 г. получил приглашение на аналогичную кафедру в Томский Технологический Институт. Центр внимания моей научно-педагогической и научно-практической… деятельности был направлен на создание прочного фундамента для маркшейдерской специальности в Высшей Горной школе, которая в половине прошлого… столетия была организована в Германии. Дело это было совершенно новое, не имевшее за собой никакого практического опыта, и мне самому пришлось быть и его организатором и преподавателем по всем астрономо-геодезическим дисциплинам, входившим в учебный план вновь утвержденной специальности, а также и единственным (вначале) руководителем всех лабораторно-практических, наблюдательных и вычислительных работ… Главнейшие моменты моей деятельности в Томске… сводятся к следующему:

а) мною была впервые в русской Высшей Горной школе организована (1903/04 уч. год), официально проведена (1905/06 г.) маркшейдерская специальность на горном отделении… Томского Технологического Института, так что горное отделение… института было разбито на 4 специальности – рудничную, металлургическую, геологическую и маркшейдерскую. Таким образом, мною было положено начало высшему маркшейдерскому образованию в СССР.

б) организовал первую в… Высшей русской Горной школе геодезическую и маркшейдерскую лабораторию с отделениями – астрономическим, картографическим, фотограмметрическим. До этого… не только не было подобных лабораторий, но и не было самой идеи специальной лаборатории… В 1906 г. по моему проекту был построен… специальный 4-х этажный геодезический корпус подо все намеченные и организованные… лаборатории… (которые. – *В. Ф.*) въехали в новый корпус в 1907 г.

в) при лаборатории… были организованы прецизионная мастерская и фотография».

В автобиографии Соболевский описал не все из того, что он сделал, работая в Томске, и что успешно потом продолжил делать на Урале, добившись там выдающихся результатов. Но идейное начало многому было положено еще в Екатеринославе и в Донбассе.

В Томске он продолжил развивать «курс практической магнитометрии»: читал по новой дисциплине систематический курс лекций, издал в виде учебного пособия лекционные записки по вопросам определения относительной точности магнитометрических измерений с магнитометрами различных типов и руководство по изучению магнитных свойств руд и теории земного магнетизма, осуществил впервые в России магнитную съемку на Алтае на месторождении Темир-Тау с целью определения его запасов; студенты под его руководством разрабатывали различные вопросы методики и техники применения магнитометрии для изучения месторождений железа; по программе Академии наук он занимался изучением геомагнитного поля в Восточной Сибири и был одним из инициаторов исследований сейсмичности Сибири, результаты которых были им опубликованы в Трудах Центрального бюро постоянной сейсмической комиссии при Академии наук в статье «Томская сейсмическая (геофизическая) станция в 1911–1914 гг.».

Эти работы, исследования и их результаты стали его вкладом в развитие и формирование новой науки о Земле – геофизики.

Если в истории геофизики Пётр Константинович Соболевский является одним из ее создателей, то идеи о геометрических принципах описания строения и свойств месторождений полезных ископаемых целиком принадлежат ему. Эти идеи родились у него из потребности простого и наглядного изображения многочисленных и разнородных данных о форме и условиях залегания угольных пластов, о структурных формах угольных месторождений Донбасса и о результатах, проводившихся на них горных работ.

Соболевский решил эту сложную задачу гениально просто. Как инженер, хорошо знавший математику, он предложил графический способ представления угольных залежей в виде гипсометрических планов и в 1901 г. продемонстрировал, как это можно сделать, построив план изогипс рельефа поверхности угольных пластов месторождения Нижняя Кринка.

В Сибири он применил, развивая и совершенствуя, методику геометризации для изучения Анжеро-Судженского месторождения угля, строение которого из-за тектоники было значительно сложнее, чем донецких месторождений.

Так, обобщая опыт геометризации различных месторождений и опираясь на геометрические принципы, он заложил основы еще одной научной дисциплины – геометрии и геометризации месторождений, о которой его уральский ученик профессор Г. И. Вилесов (1902–1979) сказал, что: «Петр Константинович рассматривал геометризацию как научный метод познания различных явлений недр… Многие тела и явления, связанные с горной практикой, он начал рассматривать как материальные тела в состоянии, аналогичном физическому полю. В связи с этим им были разработаны вопросы о геометрической интерпретации некоторых свойств физического поля и дана теория геометрии поля, геометрии потока и предложены приборы для их автоматической регистрации», названные Соболевским деформатографами.

Нет, он не жалел, что уехал из Екатеринослава. Почти все, что он задумывал сделать, он сумел сделать в Сибири. Его идеи, планы и предложения поддерживал декан горного отделения института, выдающийся геолог Владимир Афанасьевич Обручев – будущий академик АН СССР и Герой Социалистического Труда, помогавший ему отстаивать в Министерстве торговли и промышленности маркшейдерскую специальность, приобретать в Германии приборы и оборудование для оснащения лабораторий, строить геодезический корпус, представлять к званиям и наградам: в 1905 г. Петр Константинович был награжден орденом Св. Станислава 3-й степени, в 1911 – был избран экстраординарным профессором, в 1913 – награжден медалью «В память 300-летия Дома Романовых», в 1917 – вторым орденом Св. Станислава, на этот раз, 2-й степени. Уже в советское время Соболевский был награжден двумя орденами «Знак Почёта». Оба ордена вместе с лентами траурных венков, переданные мне Ольгой Станиславовной, хранятся в Музее истории Уральского горного университета.

По свидетельству томских краеведов, Соболевский 20 марта 1917 г. был уволен в отставку по распоряжению Временного правительства. Чем была вызвана отставка, они умалчивают. После «отставки» самого Временного правительства, он вернулся в институт. Но в 1920 г., как мне рассказывала Ольга Станиславовна, отец, по распоряжению органов Советской власти, был уволен из института и ему приказали в пятидневный срок освободить квартиру в профессорском доме. Почему? Видимо, потому что его сын Юрий воевал против этой самой Советской власти. Нужно было искать новое место службы. В это время Петр Константинович по рекомендации В. И. Баумана и получил приглашение из Уральского горного института занять кафедру маркшейдерского искусства и астрономии.

Так, в 1920 г. и в статусе Горного института, вошедшего в этот год в состав Уралуниверситета, и в жизни Соболевского почти одновременно произошли существенные перемены – и для института и для профессора завершился один период и наступил другой, историю которого они начали писать уже на одном листе. Надолго ли?

Соболевский относится к редкому типу ученых, которых называют идеенoсителями: он одним из первых в России осознал необходимость высшего маркшейдерского образования; ему принадлежит идея, теоретическое обоснование и практическое применение в горном деле нового научного направления – геометрии и геометризации недр; по его мнению, недра Земли – это продукт сложных физико-химических процессов и явлений, которые отражаются не только в геометрических свойствах геологических объектов, но и в их физических полях. Поэтому для него маркшейдерия, геометрия недр и геофизика составляли естественный и органичный комплекс методов изучения геологической среды.

Любая наука, особенно молодая, движется людьми неординарными, пассионарными, бескорыстными энтузиастами, не обремененными путами догм и традиций, эрудированными и разносторонне образованными. Таким был Соболевский. Как бы развивалась геофизика на Урале, если бы ее идеологом был не Соболевский? Отличалась бы она от других геофизических школ или нет? Хорошо это было бы или плохо? На эти риторические вопросы ответили сам Петр Константинович и время.

Вот как он формулировал свою точку зрения: «Наши уральские геофизические разведочно-исследовательские работы существенно отличаются от таковых Москвы и Ленинграда – именно наш, Уральский ВТУЗ, наша геофизическая лаборатория Уральского горного института проводила и проводит иной подход к делу геофизических разведок… Наша точка зрения заключается в том, что геофизик-разведчик – это не только физик-геофизик. Чтобы характеризовать нашу точку зрения, недостаточно сказать и что это геофизик-геолог – это сочетание необходимо, но, по-нашему, должно быть дополнено сочетанием с разрабатываемой в нашем институте геометрией недр. По существу своих работ разведчик должен рассматривать недра как следствие физико-химических процессов жизни Земли в минувшие геологические эпохи. И для понимания общей картины недр разведчик пользуется всеми доступными ему средствами – геофизикой, геохимией и геологией, относя результаты наблюдений к определенным координатам пространства и времени, другими словами, подчиняя геометрии недр». Ибо все связано со всем.

«На Урале условия советской действительности, – говорил он, – направили мою деятельность в сторону рационализации и соответствующей реконструкции промышленной разведки, созданию необходимых уральской горной промышленности кадров горных геометров и разведчиков-геофизиков и широкого развертывания учебных и научно-исследовательских горно-геометрических и геофизических лабораторий».

Схема развития уральской геофизики в общих чертах представляет собой кальку со схемы развития геофизики в масштабах страны. «Планомерная и систематическая работа по геофизике, – докладывал в 1932 г. на I-й Всесоюзной геофизической конференции сотрудник геофизического сектора ЦНИГРИ П. Т. Соколов, – началась только при советской власти; развертывание ее нужно отнести к эпохе восстановления; в среднем дату ее начала нужно считать с 1924 г. … Всю эпоху можно разбить на две части: от 1924 до 1929 гг. … и затем 1930 и 1931 гг. Этот интервал, от 1924 до 1929 гг., можно характеризовать как стадию развертывания метода. Действительно, это была бурная и увлекательная страница в истории геологоразведочной техники, ибо каждый год приносил… если не два-три, то, во всяком случае, один метод. Эти методы сразу же… приносили определенный результат, и темпы работ, количество партий, объемы работ непрерывно росли… *Геофизические методы были начаты с Урала, здесь мы имели платформу для своего развития и роста (курсив В. Ф.)*... Период 1930–1932 гг. имеет несколько другой **оттенок – полоса бурного роста геофизических методов… затухает…** Если, скажем, 7 лет назад это дело было начато трудами одиночек-ученых, одиночек-геологов, которые рискнули… пуститься на какие-то новые методы, где… таились опасности… и неудачи, то теперь мы имеем уже целые учебные заведения».

Чем Урал заслужил такую высокую оценку в развитии геофизики? Во-первых, уникальным геологическим строением и большим разнообразием месторождений, ставших своеобразными лабораториями, в которых опробовались, совершенствовались и развивались геофизические методы. С Урала опыт их производственного применения распространялся на другие регионы.

Во-вторых, Уралу к концу 20-х годов вернули утраченное им к началу XX века значение в экономике страны. Начиная с середины 20-х годов, когда правительственные органы приступили к разработке первого пятилетнего плана, между экономистами и хозяйственниками развернулась жесткая полемика о том, в развитие каких регионов целесообразно вкладывать средства: в Украину, Центр или Урал. Точку в этих спорах поставил И. В. Сталин (1878–1953 гг.): «Я думаю, что при выработке строительных программ новых заводов следовало бы учесть, кроме принципа приближения заводов к сырью и топливу, еще… и географически-стратегическое положение… заводов. Наш основной тыл Урал, Поволжье, Черноземный юг… представляют наиболее удобный тыл… в случае военных осложнений. Поэтому именно в этих районах надо развивать… строительства».

В «осуществление исторических решений» пленумов ЦК и XVI съезда ВКП (б) о создании Урало-Кузнецкого угольно-металлургического комплекса правительство, начиная с 1930 г., стало существенно увеличивать ассигнования на геологоразведочные работы в Свердловской, Челябинской и Обь-Иртышской областях. Только в 1930–1933 гг. геологами было освоено для поисков и разведки месторождений, млн руб.: черных металлов – 47; угля – 38; цветных металлов – 26; золота и платины – 19; нефти – 18; горнорудного и химического сырья – 14; строительных материалов – 7; редких металлов – 2; на геологическую съемку – 3; на гидрогеологические и инженерно-геологические работы – 7.

Первым после военных и социально-политических потрясений, пережитых страной, заговорил о необходимости геофизических исследований на Урале «одиночка-геолог» А. Н. Заварицкий (1884–1952). Выступая в 1922 г. в Москве на I-м Всероссийском съезде по горной промышленности, он сказал: «Переходя к задачам геологоразведочных работ на Северном и Среднем Урале, прежде всего, приходится обратиться … к месторождениям платины». В то время Заварицкий был увлечен изучением геологии Платиноносного пояса. «Мы хорошо знаем, – продолжал он, – что представляют (коренные месторождения. – *В. Ф.*)… – это очень небольшие гнезда хромистого железняка, рассеянные в массе дунита … Наши… представления… заставляют предположить, что в наиболее благоприятных условиях будет нижняя часть дунитового массива, поэтому (необходимо. – *В. Ф.*)… выяснение формы залегания дунита и отыскание постели, на которой покоится его масса. Эта задача может быть решена путем… изучения… аномалий силы тяжести».

Спустя два года Заварицкий опубликовал в «Горном журнале» статью о «Задачах гравиметрических исследований в Н.-Тагильском районе на Урале», в которой обосновал методику гравиметрических исследований и сформулировал точное соотношение между геологией и геофизикой: «Я думаю … если… работа геофизиков будет тесно связана с исследованием геологов, мы с большей уверенностью будем двигаться вперед по пути разрешения интересующей нас проблемы».

В 1924 г. по инициативе Заварицкого на Урал была направлена гравиметрическая экспедиция, работу которой финансировали Правление треста «Уралплатина» и администрация прииска «Красный Урал». Возглавлял экспедицию сотрудник Института прикладной геофизики (ИПГ) П. М. Никифоров (1884–1944). Заварицкому необходимо было установить на основании гравиметрических данных форму дунитового массива и выделить в теле массива участки, обогащенные платиной; Никифоров же был заинтересован в опробовании сконструированных им первых отечественных гравитационных вариометров. Геологические результаты исследований оказались скромными. Гравиметрия еще не готова была решать такие сложные задачи. И все же Никифоров чувствовал себя именинником, написав в отчете, что «впервые построенные в СССР гравитационные вариометры… вполне оправдали свое назначение».

Более успешным стал опыт применения гравиметрии в Прикамье. Там в октябре 1925 г. было открыто месторождение калийных и калийно-магниевых солей. Результаты бурения первых скважин показали, что площадь распространения продуктивной толщи огромна, а в распоряжении первооткрывателя месторождения П. И. Преображенского (1874–1944) было только три буровых станка. Разведать с их помощью гигантское месторождение в короткие сроки, не нарушив целостность водозащитной толщи, было невозможно. Поэтому Преображенский применил для изучения строения месторождения гравиметрию. Исследования начались в 1926 г. Руководил ими известный астроном и гравиметрист Б. В. Нумеров (1891–1941). Характеризуя их итоги, один из производителей работ сказал, «что гравиметрия достаточно хорошо выявила геологическую структуру и тектонику… месторождения… Произведенные работы оказались очень ценными для дальнейшей промышленной разведки. Результаты… работ Союзкалий использовал и будет использовать при выборе рудников и при заложении шахт».

Отечественная геофизика набирала на Урале опыт не только при изучении месторождений различных руд, но и при проведении региональных исследований. Летом 1930 г. по инициативе Нумерова и Преображенского были выполнены маятниковые измерения силы тяжести на двух широтных профилях: Златоуст–Челябинск–Курган–Петропавловск и Свердловск–Камышлов–Тюмень–Омск. На следующий год было запланировано провести такие же исследования по заказу Уральского отделения ГГРУ и Нефтяного института уже на десяти региональных профилях в пределах огромной территории: от широты Сарапула до широты Орска и от долготы Уфы до долготы Кокчетава, т. е. в пределах будущей гигантской нефтегазовой провинции – Второго Баку.

А Заварицкого на Урале интересовали не только коренные месторождения платины, но и месторождения магнитного железняка, «в деле изучения которых, по его мнению, нужны магнитометрические работы для оконтуривания отдельных залежей и в целях рациональной постановки… разведочных работ бурением и для выяснения распределения залежей». С 1920 по 1926 г. партиями Геолкома были проведены магнит-

ные съемки в районах гор Высокой и Благодати, на Осокинском и Александровском месторождениях.

Пионерским стал опыт измерения метода потенциала естественного электрического поля, обусловленного залежью магнетита с большим содержанием пирита на месторождении горы Благодать в 1923 г. Впервые контактную разность потенциалов измерил Р. Фокс на одном из медных рудников Англии в 1830 г. Потом изучением естественных электрических токов, названных французом Е. Блаве «теллурическими», занимались Барлоу, тот же Блаве, русские физики Г. И. Вильд (1833–1902), Рогозин и другие. Рогозин в 1903 г. опубликовал книгу «О применении электричества к исследованию рудных залежей», в которой теоретически обосновал возможность использования результатов измерения потенциала естественного электрического поля для решения геологических задач. Спустя 93 года после открытия Фокса сотрудники отдела электрических методов разведки ИПГ под руководством А. А. Петровского (1873–1942) доказали практически целесообразность изучения естественного электрического поля, положив начало развитию ондометрических методов электроразведки.

На следующий год сотрудники геофизического отдела Геологического Комитета и ИПГ провели на Урале на Белоусовском руднике опытно-производственные работы методом Лундберга – методом картирования эквипотенциальных линий электрического поля переменного тока звуковой частоты. Результаты их удовлетворили: изолинии хорошо оконтуривали неглубокозалегающие сульфидные рудные тела. В 1925, 1926 и 1927 гг. работы этим методом были продолжены; с каждым годом увеличивалось количество партий и объектов, на которых они вели исследования; в 1927 г. электроразведчики работали на Богомоловском, Калатинском, Кухторском, Шайтанском Уфалейском рудниках, в Каслинской даче, в Шуваловском и Челябинском золотоносных районах.

Зарубежный опыт стимулировал разработку собственных оригинальных методов. Один из них, метод градиента, созданный Петровским, был, опробован в 1926 г. на Урале на Аршинском руднике при разведке медноколчеданного месторождения и благодаря хорошим результатам был рекомендован для промышленного применения.

В начале 20-х годов геофизические исследования на Урале проводили главным образом сотрудники московских и ленинградских институтов и организаций, решавших свои научные проблемы при выполнении заданий промышленных предприятий и различных государственных органов. Роль уральской геофизики, становившейся в это время на ноги, была пока незначительной, и питательной средой для нее была местная промышленность. «Мы, в сущности, рождены самой уральской промышленностью, – говорил Соболевский. – Слившись с нею с 1922 г., мы ярко почувствовали ее нужды и готовы были пойти к ней навстречу всеми доступными нам средствами». Но в начале 20-х годов этих средств было немного и у промышленности, и у геофизики.

В 1924 г. Петру Константиновичу удалось оборудовать на руководимой им кафедре маркшейдерии лабораторию магнитометрии. Потом к ней добавились небольшие лаборатории ферромагнетизма, микромагнетизма, электрометрии, гравиметрии и сейсмометрии. Каково было оборудование этих лабораторий, неизвестно. Да и можно ли их было тогда назвать лабораториями? Тем не менее директор института в отзыве о работе Соболевского охарактеризовал их как первые в стране учебные и научно-исследовательские лаборатории прикладной геофизики, являющиеся лучшими по полноте и совершенству оснащения. Только летом 1928 г. Соболевский выполнил со своими учениками первые полевые вариометрические и магнитометрические исследования на месторождении хромистого железняка Лешачьи Лога вблизи Верх-Нейвинского завода.

Трудности, какими бы они ни были, даже беспросветные, когда не виден свет в конце тоннеля, все равно преодолеваются. К 1929 г. многолетние небольшие количественные изменения, происходившие в уральской геофизике, как капли воды проточили глыбу препятствий и привели к существенным качественным изменениям. 26 ноября 1929 г. состоялось расширенное совещание Правления горного факультета Уральского политехнического института, в составе которого тогда находился Горный институт в статусе факультета, с участием представителей промышленных предприятий и организаций Урала, на котором было принято решение об открытии геофизического и горно-геометрического отделения – кафедры геофизики во главе с Соболевским. Две группы студентов-маркшейдеров первого и второго курсов положили начало ее будущим выпускникам.

На том же совещании Соболевский высказал идею о необходимости открыть на базе руководимой им лаборатории Научно-исследовательский геофизический и горно-геометрический институт, мотивируя это тем, что на Урале до сих пор нет НИИ геолого-геофизического профиля; что при решении сложных и масштабных задач по развитию минерально-сырьевой базы региона вряд ли целесообразно опираться лишь на сезонные исследования, проводимые московскими и ленинградскими организациями; что природу Урала должны изучать прежде всего сами уральцы. Убеждать коллег пришлось недолго. Сильнее аргументов Петра Константиновича на них подействовали результаты начавшейся в том же 1929 г. децентрализации геологоразведочной службы: центральные институты, такие как ЦНИГРИ, ИПГ, Институт прикладной минералогии и другие, сохранили свои кадры, не отдав ни одного сотрудника на периферию даже временно. А год спустя идею Соболевского поддержал и научно-технический совет ИПГ.

«Весьма скромное оборудование и недостаточность кадров заставили меня, – вспоминал Петр Константинович, – воздержаться от дальнейшего продвижения решения… совещания. Постановление совещания заставило меня направить все усилия в сторону создания кадров и приобретения… оборудования… Первым откликнулся на наш зов трест… Востокруда и Востоксталь». Управляющий трестом «Востокруда» Маврин нашел деньги (золотые червонцы) для покупки в Германии 2 маятников Штюкрата, более 20 вертикальных и горизонтальных весов Шмидта, 2 гравитационных вариометров Этвеша, 2 сейсмографов Швейдера, 2 магнитовариационных станций и много другого оборудования.

С этого события начался следующий период уральской геофизики, а 1929 год стал третьей вехой в ее истории.

Владимир Викторович Филатов,
filatov47@bk.ru
Владимирский государственный университет
Россия, Владимир, ул. Горького, 87

История УГГУ

«ЗДАНИЕ ОЧЕНЬ КРАСИВОГО И ВЕЛИЧЕСТВЕННОГО ВИДА С НАДПИСЬЮ «ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ»

(взгляд на нас из XIX века)

От редакции

В канун Нового года мы решили под обычной нашей рубрикой «История УГГУ» опубликовать совершенно необычную статью. Эта статья, вышедшая впервые в новогоднем номере екатеринбургской газеты «Урал» в январе 1898 года под заголовком «Через сто лет», написана в очень редком жанре «аллюзий». Ее автор (статья не подписана, но, судя по всему, это был сам редактор издания Петр Певин) написал фантазию о том, как будет выглядеть Екатеринбург через сто лет – в 1998 году. То есть нам с вами сегодня представляется уникальная возможность узнать, как представлял автор, живший в конце XIX века, то время, в котором мы живем сегодня. В статье, выдержки из которой мы публикуем, много любопытных заблуждений, и размышления автора выглядят порой наивными и даже смешными, но кое-что ее автору все-таки удалось предсказать. Например, тот факт, что первым высшим учебным заведением в Екатеринбурге будет Горный институт. Что, в свою очередь, говорит о том, что история УГГУ в Екатеринбурге началась задолго до официального открытия нашего вуза. Надеемся, что наши примечания к тексту помогут современному читателю лучше установить «связь времен». А порой и улыбнуться. С Новым годом!

Путешествие во времени[1]

Вчера под Новый год приехал ко мне старый товарищ, с которым я давно не виделся. Он очень обрадовал меня, мы с удовольствием вспоминали дни нашей юности и на радостях осушили не одну бутылку старого бургундского, а когда пробило 12 часов, мы не забыли старушку Клико[2]...

Сегодня я проспал и, вероятно, спал бы еще дольше, если бы меня не разбудил ряд звонков на крыльце. Это звонили почтальон и разносчики газет. Когда мне подали газету, то я был удивлен штемпелем на письмах и на газетах – там значилось 31 декабря 1997 г.[3]

Я изумился рассеянности здешних почтовых чиновников, зная их всегдашнюю аккуратность, предполагая, что святочные праздники не прошли для них даром. Но каково же было мое удивление, когда, развернув «Урал», я прочитал на его первой странице «1 января 1998 года. Год издания сто второй, №1». Что за мистификация? Развернув «Рудокоп», я прочел на нем: «Год издания сто первый», а на «Деловом корреспонденте» – «Год издания сто тринадцатый»[4].

Очевидно, тут какое-то недоразумение. Я немедленно подошел к телефону, чтобы вызвать центральную телефонную станцию[5]. На мой звонок немедленно (прежде это бывало редко) ответили, и вот какой диалог произошел между нами.

Вопрос:

– Скажите пожалуйста... мне бы нужно знать... давно ли здесь установлен телефон?

Ответ:

– О, давно, больше ста лет.

Вопрос:

– Не помните ли, примерно, в каких годах он был установлен?

Ответ:

– В 90-х, в прошлом столетии.

Сомнений не было, я проспал сто лет, и сегодня 1 января 1998 года.

Прогулка по Екатеринбургу будущего

Только я вышел на улицу, как ко мне подошел изящно одетый господин. На шляпе его я прочел надпись: «Извозчик № 526»[6].

Такая предупредительность меня несколько удивила. Извозчики нашего времени обращались с нами несколько иначе; очевидно, что название «извозчик» сохранилось только по традиции. Я отказался и от велосипеда, и от экипажа[7].

Я не раскаялся, что пошел пешком, на улице было что посмотреть. Дома выросли в 6–8-этажные хоромины[8], широкие и ровные тротуары из асфальта шли со стороны улицы, а вся середина улицы была покрыта цементом[9], и гладко, как скатерть, на ней лежал чистый снег. Через каждые десять саженей висел электрический фонарь[10], и бесчисленные проволоки отходили от каждого дома – это были телефонные, телеграфные, фонографные и другие[11] проволоки, соединяющие каждый дом с прочими.

Когда я подошел к плотине, то глазам моим представилась странная картина. Вместо длинной каменной стены бывших железнодорожных мастерских[12] возвышалось шестиэтажное здание очень красивого и величественного вида. На двух крыльях этого здания я прочитал надписи: «Техническое училище» и «Горный институт»[13]. Я подошел к привратнику, и у меня невольно вырвался вопрос: «Скажите, пожалуйста, это высшее учебное заведение?». Он удивленно посмотрел на меня и в свою очередь сказал:

– В 1910 году наши богачи, как всегда отзывчивые на дело просвещения, собрали между собой пять миллионов и устроили эти прекрасные здания[14].

– А скажите, пожалуйста, где же теперь гранильная фабрика? – спросил я, заинтересованный всем этим.

– О, это вы, вероятно, говорите о той допотопной фабрике, которая работала еще на воде и о которой писал Немирович-Данченко в прошлом столетии? Ее давно нет, да в ней нет никакой надобности, потому что теперь вся работа производится электромоторами. Нужно всего два часа, чтобы приготовить какую угодно вазу, и все это делается на месте, где добываются камни[15].

Я невольно проникся уважением к современному гению, вспоминая, что прежде вазы делались по десять лет, и пошел дальше. Между Ко-

[1] Статья печатается с сокращениями. Все подзаголовки, разделяющие статью, подготовлены специально для этой публикации. Примечания здесь и далее – редактора, готовившего этот текст к современной публикации.

[2] Хочется порадоваться за журналиста: нынешняя цена на шампанское «Вдова Клико» в Екатеринбурге – от 4000 рублей за бутылку, поэтому мы, как правило, открываем «Российское».

[3] Можете вы себе сейчас представить почтальона и разносчиков газет, работающих в праздники?

[4] Увы! Газета «Урал» прекратила существование в 1908 году, «Рудокоп» – в 1904-м, а «Деловой корреспондент» – уже в 1898-м.

[5] Напомним, что в то время телефонные звонки соединяли телефонистки, они же и отвечали абоненту.

[6] Автору так хочется, чтобы все было так, как ему привычно, но лучше по качеству: телефонная станция отвечает немедленно, извозчик изящно одет и предупредителен. . .

[7] Во времена, когда жил автор этих строк, никому и в голову бы не пришло ездить на велосипеде зимой, так что налицо элемент предвидения.

[8] Вспомним: помимо множества стандартных 9- и 16-этажек, в 1997 году в Екатеринбурге уже был 23-этажный «Дом Советов», но вот небоскребный бум 2000-х еще не начался.

[9] Любопытное решение, не правда ли?

[10] Сажень – 2,13 м; между прочим, интервал автор угадал.

[11] Интернет-кабель?

[12] На их месте сейчас Музей архитектуры и промышленной техники Урала.

[13] В нынешней реальности главное здание Горного института, ныне УГГУ, находится на улице Куйбышева, 30.

[14] Почти так все и было, только в реальности окончательно проект Горного института был утвержден лишь в 1914 году, а первых студентов принял в 1917-м.

[15] В реальности гранильная фабрика преобразовалась в объединение «Уральские самоцветы», прекратившее свое существование в 2003 году.

Дом П. Н. Певина в Екатеринбурге, где с ним случились его аллюзии (ныне пр. Ленина, 40).

Екатеринбургская гранильная фабрика

лобовской и Вознесенской улицами[16] я увидел нечто замечательное. На месте бывшего театра и конторы Давыдова возвышалось громадное здание, на фронтоне которого красовалась надпись: «Народный театр». Это был целый Колизей. Стройные и могучие колонны украшали вестибюль, по сторонам его возвышались громадные и изящные статуи, на дощечке у входа можно было прочесть: «Построен в 1925 году на средства города». А несколько пониже: «5000 мест». Мне с грустью вспомнилось состояние городской кассы в наше доброе время[17]…

Выпить? Только по рецепту!

Однако я был уже утомлен всем виденным, время приближалось к полудню, и захотел позавтракать. Но старой памяти я направился к гостинице Холкина с его пресловутой «ямкой». Здесь стоял прекрасный отель, и не было уже сомнительной вывески «буфет». Первым долгом мне хотелось выпить водки, но представьте мое смущение, когда человек спросил меня рецепт. Я бы совсем его не понял, если бы он не сообщил мне следующее:

– И водку, и вино теперь можно получать по рецептам докторов, потому что эти напитки были признаны очень вредными и в употребление допускаются только больным[18].

Так как я чувствовал себя совершенно здоровым, то и не мог найти, что мне ответить. Пришлось ограничиться закуской...

Подготовил Александр Шорин

Александр Георгиевич Шорин,
sandy_blood@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

[16] Ныне – Толмачева и Карла Либкнехта.
[17] В реальности Новый театр, ныне Екатеринбургский театр оперы и балета, был построен в 1912 году на Дровяной площади, сейчас – площадь Парижской Коммуны.
[18] До этого не дошло, но попытки борьбы с пьянством, согласитесь, были...

ДВА ГОДА, О КОТОРЫХ МЫ ЗАБЫЛИ

(Уральский горный институт в 1917–1919 гг.)

А. Г. Шорин

10 (23) октября 1917 года начались занятия в первом вузе Урала – Уральском горном институте. Несмотря на то что в советское время именно 1917-й считался годом рождения Горного, первые годы его деятельности старательно обходились стороной. Причина проста: институт открылся еще ДО революции, и своим открытием обязан еще старой власти, поэтому в истории вуза удобнее всего было называть годом его основания революционный 1917-й – без указания дат и подробностей. Сейчас годом основания современного вуза, Уральского государственного горного университета, принято считать 1914-й – год, когда высочайше (то есть императором Николаем II) Уральский горный институт был учрежден – то есть был подписан указ о его основании. Тем самым вуз подчеркивает свое дореволюционное происхождение. Однако много ли мы и сейчас знаем о первых годах работы вуза? В течение всего 2016 года мы на страницах «Известий УГГУ» много рассказывали о первом ректоре института – Петре Петровиче фон Веймарне, который по совместительству был также первым главным редактором нашего журнала. Теперь пришла пора рассказать о деятельности вуза в те годы, когда его возглавлял Веймарн.

Предыстория

Еще в 1898 году журналист газеты «Урал», фантазируя о будущем Екатеринбурга, предрекал открытие именно Уральского горного института[1], что говорит о том, что эта идея «витала в воздухе» задолго до ее реализации. Мало того: к моменту его реального основания проект открытия в Екатеринбурге Горного института не просто «назрел», а даже «перезрел».

Однако для того чтобы пояснить, почему этот проект «перезрел» и был реализован с сильным опозданием, нужно сначала ответить на несколько других «почему»: «Почему на Урале?», «Почему именно Горный институт?» и «Почему именно в Екатеринбурге?».

Ответ на первый вопрос, несмотря на кажущуюся простоту (Урал, начиная с XVIII века, стал ведущим индустриальным районом страны), при ближайшем рассмотрении несколько сложнее. В 1773 году по указу Екатерины II в Санкт-Петербурге было открыто Горное училище – позже Санкт-Петербургский горный университет, и есть мнение[2], что его недостаток – удаленность от Урала, то есть от реального применения полученных знаний. Между тем логично, что первые высшие учебные заведения начинают открываться в столице страны, и лишь затем – в других регионах.

Второй вопрос – «Почему Горный?» – имеет ответ действительно простой: потому что Урал – центр горнодобывающей промышленности, и первый вуз должен отражать нужды этой промышленности. Необходимость в собственных образовательных учреждениях понимал еще Василий Татищев, в начале XVIII века открывавший на Урале первые школы (о большем тогда и речи не могло быть).

Третий вопрос – «Почему в Екатеринбурге?» – более сложен и требует особого пояснения. Василий Татищев был отправлен Петром I на Урал, чтобы открывать государственные заводы, но к тому времени (1720 год) эта территория уже почти два десятка лет была вотчиной Демидовых (с центром в Невьянске) – частных заводчиков, которые также поднимали там заводы по воле Петра I. Возник конфликт интересов, и Татищев, не ужившийся с Демидовыми, по их жалобе попал под следствие. На смену ему на Урал был отправлен Вильгельм де Геннин – горный инженер и военный. Любопытно, что Екатеринбург – плод именно его амбиций. На Исети, где Татищев запланировал заложить город-завод (скорее всего, получивший бы скромное название Исетск), де Геннин решил основать крепость – столицу уральских заводов, назвав его в честь жены Петра I Екатерины «Катаринбурхом» (Екатеринбургом). Проект удался. И несмотря на то, что де Геннин потом уехал с Урала, а Татищев, оправданный от обвинений, снова стал начальником над уральскими заводами, Екатеринбург так и остался в особом статусе местной «столицы». С годами этот статус так и не был утрачен.

В 1781 году Екатерина II провела новую административную реформу, в результате которой поселок при Егоршинском заводе был назван Пермью, а на Урале появилась Пермская губерния, в которую вошел и Екатеринбург. И в 1914 году, когда был основан Горный институт, Екатеринбург официально именовался «уездным городом Пермской губернии», однако он так и не потерял «столичных» амбиций: все эти годы он или оставался городом, который управлял всеми государственными заводами Урала, находясь в особом статусе («горного города»), или отчаянно боролся за независимость от губернской Перми. Накануне открытия первого вуза противостояние Екатеринбурга и Перми достигло своеобразного апогея, так как каждый из этих городов считал, что именно он достоин такой чести. Наглядной иллюстрацией этого противостояния может служить тот факт, что в 1910 году, когда в Екатеринбурге проездом побывал председатель Совета министров Российской империи Петр Столыпин, совершавший поездку в Сибирь, то он за три часа успел получить статус почетного гражданина города – все ради того, чтоб иметь больше шансов на открытие Горного института именно здесь!

И вот теперь, ответив на предыдущие вопросы, мы можем обсудить, почему к 1914 году вопрос об открытии вуза на Урале уже «перезрел». К концу XVIII века на Урале было около 200 горных заводов, благодаря которым страна вышла в мировые промышленные лидеры. Причина была в том, что Урал идеально подходил для заводов, построенных по схеме «плотина–пруд», где энергию для переработки руд (которые тоже были «под боком») давали водобойные колеса. Все изменилось кардинальным образом к началу XIX века, когда в Европе (начиная с Британии) началась научно-техническая революция паровых машин. Вот именно в это время и нужно было открывать на Урале собственное учебное заведение, выпускники которого стали бы проводниками прогресса в производство. Однако вместо этого была выбрана модель прямо противоположная: горную промышленность с центром в Екатеринбурге объявили «горнозаводской державой», с армейскими порядками, собственным войском и судом. Дисциплина, подменившая прогресс, дала лишь временное улучшение ситуации. В 1861 году в России было отменено крепостное право для крестьян, в 1864-м – для рабочих. И горнозаводская держава рухнула. Знаменитый русский ученый Дмитрий Менделеев, отправившийся в 1899 году на Урал специально для того, чтобы выяснить причины промышленного кризиса на местных предприятиях, смог только констатировать, что «старое здесь не старится»: заводы пытались и в канун XX века работать по дедовским технологиям!

Так что вопрос об открытии на Урале Горного института – это прежде всего вопрос обучения собственных горных инженеров – специалистов, которые стали бы опорой для новой индустриализации Урала. И решение этого вопроса, как показала история, очень сильно запоздало. Индустриализацией Урала на новом уровне уже занялась только советская власть. И это еще одна из причин, почему начало деятельности Горного института в Екатеринбурге осталось сейчас забытым – как своеобразная «тупиковая ветка» развития.

Тем не менее именно первые годы существования Горного института в Екатеринбурге заложили основы высшего образования на Урале, в том числе и вложили свою толику в образование тех инженеров, которые уже в советское время реализовывали на Урале новую индустриальную стратегию.

Кто создал Уральский горный институт?

После подписания 3-го (16-го по нынешнему стилю) июля 1914 года императорского указа об учреждении в Екатеринбурге Горного института самыми важными стали три проблемы: финансы, ректор и строительство здания института[3]. Точная дата подписания очень важна, так как уже в августе Россия ввязалась в мировую войну, и если бы по каким-то причинам это подписание отложилось хотя бы на месяц, то скорее всего документ вообще не был бы подписан. Однако и при подписанном указе возникли проблемы почти неодолимые: например, закрывались уже одобренные кредиты на открытие и содержание института…

В общем вполне могло случиться, что учрежденный указом Горный институт мог так и остаться лишь проектом.

Теперь о персоналиях. Кому именно мы обязаны созданием первого вуза на Урале? Можно ли их перечислить поименно? Вопрос этот достаточно сложен. Дело в том, что, как мы уже говорили, идея создания этого вуза «витала в воздухе» давно, и только «финальный этап», когда проект удалось «пробить», затянулся на целых 18 лет – с 1896 по 1914 г. На «финальном» этапе, т. е. в 1914 году, в Екатеринбурге «двигателем» этого проекта был в первую очередь городской глава А. Е. Обухов, а в Санкт-Петербурге – член Государственного Совета Ф. А. Иванов. В итоге в Строительную комиссию вошли Н. А. Арнольдов, С. А. Бибиков, С. Ф. Злоказов, П. В. Иванов, Н. Н. Ипатьев (тот самый, дом которого потом печально прославился как место расстрела Николая II), И. Ф. Круковский, Н. Ф. Магнитский, Я. М. Питерский, А. И. Фадеев, А. Н. Щипачев

[1] Здание очень красивого и величественного вида с надписью «Горный институт» // Изв. УГГУ. 2016. № 4(44).
[2] Филатов В. В. «Быть по сему». Екатеринбург: УГГУ, 2014. С. 36.
[3] Там же. С. 116.

и уже упоминавшийся Ф. А. Иванов. Однако надо понимать, что состав Строительной комиссии – это результат политического компромисса: туда вошли не только представители Екатеринбурга, а также губернского и уездного земств, некоторые из которых участвовали в комиссии лишь формально. В ней, например, не было одного из главных «идеологов» проекта, члена городской думы А. М. Симанова, который позже был избран почетным членом Уральского горного института – вместе с Е. Д. Калугиным, Н. Ф. Магницким, а также первым ректором П. П. фон Веймарном.

Подробный разбор заслуг всех этих людей выходит за рамки статьи и может стать темой для отдельного исследования. А здесь важно отметить, что главным «двигателем» всего проекта начиная с 1915 года стал будущий первый ректор Уральского горного института, возглавивший эту Строительную комиссию, – Петр Петрович фон Веймарн.

Здесь мы не будем подробно останавливаться на биографии П. П. фон Веймарна – это мы уже сделали в одной из предыдущих публикаций[4]. Заметим только, что несмотря на то что Веймарн в Екатеринбурге был «варягом» – т. е. человеком из Санкт-Петербурга, назначенным на должность ректора, сам он стал считать именно это назначение главным своим делом, которому отдавал все время и силы. Если же говорить коротко о нем, то к моменту назначения это был ученый-химик, известный не только в России, но и во всем научном мире, а также талантливый организатор и педагог, который как раз искал возможность применения своих талантов и начал их реализовывать именно в Екатеринбурге. Результатом всех этих усилий и стал Уральский горный институт к концу 1918–1919 учебного года.

И уже перед Веймарном, который возглавил в Екатеринбурге Строительную комиссию, к двум основным проблемам – финансов и строительства здания института – добавилась третья, еще более сложная: подобрать преподавательский коллектив, с помощью которого создать институт как учебное заведение высшей школы.

Забегая вперед, можно отметить, что проблема финансов так и оставалась больной все те годы, что Веймарн занимался Горным институтом, – здание института так и не было достроено, но вот создание вуза как самобытной научной школы к концу 1918–1919 учебного года можно считать состоявшимся.

Влияние исторических событий на формирование института

Когда мы говорили о том, что проект открытия вуза на Урале запоздал, имелся в виду именно тот факт, что формирование Уральского горного института пришлось на переломные годы в истории нашей страны, которые не могли не повлиять на этот процесс. Мало того: можно сказать, что институт создавался вопреки всему. И лишь благодаря энергии и самоотдаче своего руководителя – П. П. фон Веймарна, а также поддержке всех уральцев, которые мечтали об открытии этого учебного заведения, его вообще удалось открыть.

Судите сами: менее чем через месяц после подписания указа о создании института Россия вступила в мировую войну. Несмотря на это, проект удалось сохранить, но реализовывался он в военное время, когда подобные вещи не могли оставаться приоритетными.

Уже в процессе создания приходилось буквально «на ходу» неоднократно менять стратегию. Ярко это можно проиллюстрировать таким примером. В Российской империи было принято многие учебные заведения называть в честь царствующих особ. В 1915 году было предложено Горный институт в Екатеринбурге назвать в честь императрицы Елизаветы Петровны (дочери Екатерины I, имя которой носит Екатеринбург). Однако к концу 1916 года решение поменяли – было подано ходатайство о присвоении институту имени Императора Николая II. Причина ясна: институт, который никак не мог получить нужного финансирования для достройки собственного здания, таким образом попадал под покровительство Николая II, что должно было помочь с решением многих насущных проблем. В январе 1917 года ходатайство было удовлетворено, и институт действительно официально стал носить имя Николая II. Однако вскоре случилась Февральская революция, Николай II отрекся от престола, и все вопросы с продолжением строительства нужно было вести с Временным правительством. И из всех документов тут же ушло новое название.

Примеры можно продолжать. Уральский горный институт начал занятия 10 октября 1917 года, а 25 октября (7 ноября) – через две недели – власть в стране снова поменялась. И руководству института, позиционировавшему свое учебное заведение «вне политики», пришлось сотрудничать уже с большевиками.

А к окончанию первого учебного года поменялась власть в Екатеринбурге: в июле 1918 года большевики вынужденно покинули Екатеринбург (предварительно расстреляв здесь вместе со всей семьей Николая II, бывшего покровителя института), а власть захватили войска Чехословацкого корпуса. И снова пошла чехарда: сначала на Урале было создано собственное правительство, а затем его сменила власть адмирала Колчака… И все это время в институте шел второй учебный год, а руководство пыталось договориться о собственном здании.

И, наконец, аккорд, ставший для Веймарна на Урале финальным: в июле 1919 года Красная Армия выбила колчаковцев из Екатеринбурга. Перед этим был подписан приказ об эвакуации всего института во Владивосток. Приказ был выполнен не всеми, часть студентов и преподавателей во главе с самим Веймарном действительно выехали во Владивосток, а часть остались в Екатеринбурге. И создалась совершенно уникальная ситуация, когда Уральский горный институт буквально раздвоился, причем в обеих своих ипостасях продолжил работу. О работе Горного во Владивостоке мы тоже уже писали[5], а Горный в Екатеринбурге претерпел серьезные изменения, перейдя в 1920 году в состав вновь созданного Уральского государственного университета (ныне – УрФУ). Но это тоже уже другая история.

В целом мы хотим отметить, что и годы формирования, и первые два года работы Уральского горного института проходили в крайне сложных условиях. И тем не менее именно тогда и был создан уникальный Горный институт, который сумел выжить несмотря ни на что.

Каким был Уральский горный институт в 1917–1919 годах?

Здание. Начнем с того, что к октябрю 1917 года, т. е. к началу занятий, собственное здание институту так и не удалось построить. Оно было заложено, строительство его продолжалось (отнимая время и силы, в том числе и руководства института), но занятия пришлось начинать в съемных помещениях: для лекций использовался читальный зал библиотеки им. В. Г. Белинского на Вознесенском проспекте (ныне – ул. К. Либкнехта), для практических занятий (черчение, гимнастика) использовался зал мужской гимназии (ныне – гимназия № 9). Канцелярия, библиотека и мастерские располагались в Вознесенской школе. Кроме того, практические занятия проходили в золотосплавочной лаборатории, а дешевая гостиница на Покровском проспекте (ныне – ул. Малышева) использовалась под общежитие (маленькая, она и близко не могла вместить всех желающих). Здание, которое проектировалось и строилось специально для Горного, так никогда и не было достроено (в советское время его в итоге снесли), и на протяжении двух первых лет работы института он функционировал исключительно в съемных помещениях.

Студенты. Веймарн планировал, что в УГИ ежегодно будет обучаться от 500 до 1000 студентов. По факту в 1917 году число зачисленных оказалось 306. В первый учебный год к сдаче экзаменов было допущено еще 62 студента из других высших учебных заведений, пожелавших учиться в Екатеринбурге. Однако следующий учебный год пришлось все начинать буквально «с нуля»: так как летом власть в городе поменялась. Профессор Н. П. Горин (преподаватель высшей математики) и часть студентов покинули город вместе с большевиками[6], некоторые из них вступили в Красную Армию.

Сколько студентов училось в 1918–1919 годах? По воспоминаниям одной из студенток Н. И. Кудриной, на втором году работы института «студентов старого приема почти не осталось», так что первый курс снова работал, а второй с трудом был сорганизован из нескольких человек[7]. Однако официальные сведения слова Кудриной не подтверждают: в журнале «Известия Уральского горного института»[8] общее число студентов на 1 июля 1919 года указано 666, из них студентов 1-го курса – 380, 2-го курса – 286.

Преподаватели. «Костяк» преподавателей УГИ состоял из профессоров, приглашенных Веймарном – как правило, из Санкт-Петербурга. Помимо самого Веймарна (который, будучи ректором, также был профессором двух кафедр – дисперсологии (коллоидной химии) и аналитической химии) и упомянутого уже Н. П. Горина, который преподавал высшую математику в 1917–1918 годах, на 1 июля 1919 года профессорско-преподавательский состав был следующим.

Профессора – С. Н. Петров (декан, профессор кафедры горнозаводской механики), Н. И. Морозов (секретарь Ученого совета, профессор кафедры неорганической химии), Н. В. Галли (кафедра физики), Я. А. Шохат (кафедра высшей математики), Н. Г. Келль (кафедра геодезии), М. К. Елиашевич (кафедра кристаллографии), В. А. Овсянников (кафедра дендрологии), Д. В. Кутырин (кафедра металлургии), К. Д. Луговкин (кафедра аналитической химии), Е. И. Любарский (кафедра органической химии), Т. Т. Усенко (кафедра прикладной механики), А. М. Янек (кафе-

[4] Шорин А. Г. Статья о Петре Петровиче фон Веймарне для русской «Википедии» // Изв. УГГУ. 2016. № 2(42). С. 97–101.
[5] Хисамутдинова Н. В. Уральский горный институт во Владивостоке // Известия УГГУ. 2016. № 3(43). С. 123–127.
[6] Масленникова В. М. Создание Горного института // Известия УГГУ. 2013. № 4(32). С. 103.
[7] Там же.
[8] Личный состав Уральского горного института // Изв. Уральского горного института. 1920. № 1. Отдел IV. С. 21.

дра физической химии), М. О. Клер (кафедра палеонтологии), Н. Е. Скаредов (кафедра металлургии), К. К. Матвеев (кафедра минералогии) и А. И. Крылов (кафедра горного искусства). Доценты – А. М. Титов (кафедра физики), С. В. Дудин (кафедра высшей математики), А. О. Рейн (кафедра прикладной механики), М. А. Павлов (кафедры петрографии и минералогии). Приват-доценты – В. К. Малинин (кафедра неорганической химии), Е. П. Сысоева (кафедра аналитической химии), В. Я. Шнейдер (кафедра высшей математики) и С. М. Бучельников (кафедры кристаллографии и минералогии). Помимо этого, были еще два руководителя черчения – Г. И. Котов (академик архитектуры) и Г. Г. Абельс (инженер-технолог), а также лекторы иностранных языков – З. Э. Келлер (английский и французский) и А. В. Томсон (немецкий).

В июле 1919 года, после приказа об эвакуации института, в Екатеринбурге осталась лишь часть преподавателей. Матвеев (исполнял обязанности ректора), Шохат, Галли (кстати, Надежда Васильевна Галли была доктором философии Геттингенского университета и единственной на тот момент женщиной-профессором в Горном), Крылов, Дудин, Титов, Абельс, Шнейдер, Гусарский (Э. Р. Гусарский – делопроизводитель канцелярии института) и Гадд (Мария Георгиевна Гадд – библиотекарь). Остальные в большинстве своем добрались, как и предписывалось, до Владивостока и продолжили работать под руководством Веймарна там.

Судьбы многих (и тех, и других) сложились причудливо, часто трагично. В Екатеринбурге исследованием судеб этих людей занимался В. В. Филатов[9], во Владивостоке – Н. В. Хисамутдинова[10].

Из всех прочих выделяется, пожалуй, своей необычностью судьба Модеста Онисимовича Клера («дедушки Мо», как его ласково потом называли студенты) – он оказался единственным профессором, который уехал в эвакуацию, но после этого вернулся в Екатеринбург и работал в Горном (хотя, к слову, получил тюремный срок, но отбывал его здесь же, без отрыва от основной деятельности – в 1920-е годы такое было возможно). Именно благодаря Клеру в Екатеринбург попал (и сохранился) первый номер журнала «Известия Горного института» (ныне – «Известия УГГУ»), который Веймарн выпустил уже во Владивостоке в 1920 году.

Уральский горный институт как педагогический эксперимент

П. П. фон Веймарн приехал из Санкт-Петербурга на Урал, чтобы возглавить здесь новый институт, не случайно. Этот ученый-химик имел собственный взгляд на систему образования, был педагогом-новатором, создателем собственной педагогической системы, которую излагал в теоретических трудах и реализовывал на практике. Он ставил себе цель не просто открыть новое учебное заведение, а построить новую образовательную модель.

Теоретический труд на эту тему Веймарн начал писать еще в Санкт-Петербурге, а затем опубликовал его под названием «Очерки по энергетике культуры» в первом номере журнала «Известия Уральского горного университета»[11]. К сожалению, были опубликованы лишь два очерка, остальные утрачены. Однако и опубликованного достаточно для того, чтобы понять – перед нами стройная концепция, достойная пристального внимания.

Здесь мы рассмотрим только основные элементы этой концепции. В основе ее – теория Вильгельма Оствальда (лауреата Нобелевской премии по химии 1909 года) об «энергетизме». По Оствальду, «энергетизм» мог стать альтернативой как материализму, так и идеализму, так как и материя, и дух – формы проявления энергии. Веймарн же попытался приложить энергетические принципы к рациональной постановке образования.

Обращаясь к рационализму, Веймарн считал, что современная ему высшая школа заставляет человека запоминать, например, сложные доказательства, которые через неделю все равно забываются, а в итоге к 30 годам ученые в большинстве своем становятся или «добросовестными ремесленниками» или «подмастерьями». Тогда как максимумом энергии по Веймарну обладают люди 25–28-летнего возраста. Поэтому он предлагает сократить как среднее, так и высшее образование, чтобы человек мог становиться «творцом» уже к 19–20 годам. Вместо детальных подробностей опытов или доказательств он предлагает излагать студентам суть учений и «обобщающие» точки зрения, избегая догматических утверждений, таким образом, стимулируя у учеников творческое начало.

Свою точку зрения Веймарн имел и по отношению к преподавателям. Он предлагал оценивать их заслуги не по выслуге лет, а по качеству научных достижений. Например, каждый доцент мог занять должность профессора, но сохранял ее через три года только в том случае, если защищал диссертацию. И это он не только излагал в теории, но и реализовывал на практике: решением Совета Уральского горного института «заслуженными профессорами» (с повышенной не менее чем на 50 % зарплатой) становились лишь те, чья научная деятельность была отмечена почетными наградами научных обществ и учреждений.

Итог нововведений ректора был таким:

«Государственная Дума и Государственный Совет при прохождении через них законопроекта об Уральском горном институте, составленного в «общегосударственном масштабе», внесли в этот законопроект изменения именно в сторону уклонения от этого масштаба, дав Уральскому горному институту те же права, что и Петроградскому, распространив все законоположения последнего и на Уральский горный институт».

Нет никаких сомнений, что за два академических года (1917–1918 и 1918–1919) Уральский горный как учебное заведение не только успел приобрести собственное, неповторимое лицо, но и обогатил педагогическую науку экспериментом, который до сих пор в должной степени не изучен и не оценен по достоинству.

Издания Уральского горного института

Основным источником информации о первых годах работы вуза следует считать первый номер «Известий Уральского горного института» – журнала, который Веймарн сумел выпустить уже во Владивостоке и который мы сегодня считаем родоначальником нашего журнала «Известия УГГУ». Об этом номере мы уже писали очень подробно[12]; кроме этого, сейчас номер целиком можно посмотреть на сайте нашего журнала (http://iuggu.ru/) в разделе «Архив».

Однако кроме «Известий» в УГИ печатался еще один журнал – студенческий – «Сборник литературный, публицистический и научный» под названием «Молодая Русь». Так же, как и в случае с «Известиями Уральского горного института», вышел всего один номер этого издания, но вышел еще в Екатеринбурге в мае 1919 года. Расскажем о нем чуть подробнее.

В этом 32-страничном сборнике, издаваемом «Правлением Екатеринбургского Союза учащихся в высших учебных заведениях», поместилось 18 публикаций: от политических («Путь русского студенчества») до чисто научных (там публиковался первый из «Очерков по энергетике культуры» П. П. фон Веймарна, о котором мы уже рассказывали, а также его научный труд по коллоидной химии). Печатались стихи и художественные рассказы, многие из которых отражают реалии разрухи и Гражданской войны.

Журнал «Молодая Русь» отражал все аспекты жизни: от творческих до бытовых, от политических до научных[13].

Признание заслуг П. П. фон Веймарна

В 1918 году в Уральском горном институте было принято решение о праздновании 10-летия профессорской деятельности Петра Петровича фон Веймарна. Об этом остались публикации как в журнале «Молодая Русь», так и в первом номере «Известий», откуда мы сегодня можем почерпнуть информацию об этом.

Поздравляя его, студенты писали[14]:

«В качестве ректора института вы сумели с самых первых дней занятий уничтожить преграду, всегда отделявшую профессоров от студентов, и создать одну семью, руководимую общим желанием, вооружившись знаниями, принести посильную помощь измученной Родине. Внимательным отношением к запросу и нуждам студентов и защитой их интересов вы заслужили уважение окружающих и нашу любовь».

В научном плане Веймарну ставилось в заслугу открытие новой научной дисциплины – дисперсологии (раздела коллоидной химии[15]) и организация Уральского горного института.

Как следствие признания этих заслуг можно упомянуть тот факт, что во Владивостоке Веймарн стал ректором всего Владивостокского государственного политехнического института, в состав которого вошла и та часть Уральского горного института, которая функционировала во Владивостоке.

---

[9] Владимир Викторович Филатов – доктор геолого-минералогических наук, профессор Владимирского государственного университета. Будучи долгие годы профессором УГГУ, написал множество книг и статей по истории УГГУ, продолжает активно публиковаться в нашем журнале.

[10] Наталья Владимировна Хисамутдинова – доктор исторических наук, профессор Владивостокского университета экономики и сервиса. Помимо публикаций в нашем журнале, можно порекомендовать ее книги на эту тему: «Дальневосточные профессора. Четыре портрета на фоне эпохи. П. П. фон Веймарн, А. П. Георгиевский, М. К. Елиашевич, Б. П. Пентегов». (Владивосток: Изд. ВГУЭС, 2011) и «Энергетика культуры Петра Веймарна» (Владивосток: Изд. ВГУЭС, 2013).

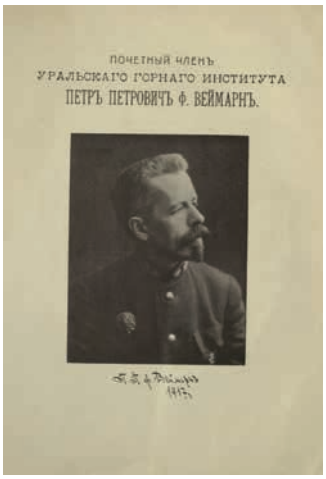
[11] «Очерки по энергетике культуры» П. П. Веймарна мы вновь опубликовали в № 2 (42) журнала «Известия УГГУ» за 2016 г. (с. 101–109).

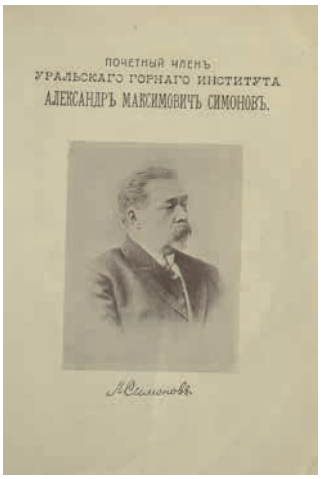
[12] Шорин А. Г. История журнала «Известия Уральского государственного горного университета // Изв. УГГУ. 2016. № 1(41). С. 152–158; Хисамутдинова Н. В. Уральский горный институт во Владивостоке // Изв. УГГУ. 2016. № 3(43). С. 123–127.

[13] Экземпляр журнала «Молодая Русь» хранится в фонде научного отдела библиотеки УГГУ.

[14] К десятилетию профессорской деятельности П. П. Веймарна // Молодая Русь. С. 30.

[15] Подробнее см. П. П. фон Веймарн. Новый мир химических соединений // Изв. УГГУ. 2016. № 1(41). С. 7–16, а также А. Янек «Характеристика научной деятельности П. П. Веймарна» (в журналах «Молодая Русь», и «Известия Уральского горного института»).





Почетные члены УГИ.

Закладка здания Уральского горного института (1916 год).

Проект фасада здания Уральского горного института.

Здание Горного, которое так и не было достроено (снимок 20-х годов).

... И то, что от него сталось (руины недостроенного здания УГИ).

Однако с приходом Советской власти во Владивосток политехнический институт (а с ним и Горный институт, возглавляемый Веймарном) прекратили свое существование, а сам Веймарн уехал в эмиграцию, прожив остаток жизни в Японии, где преподавал химию.

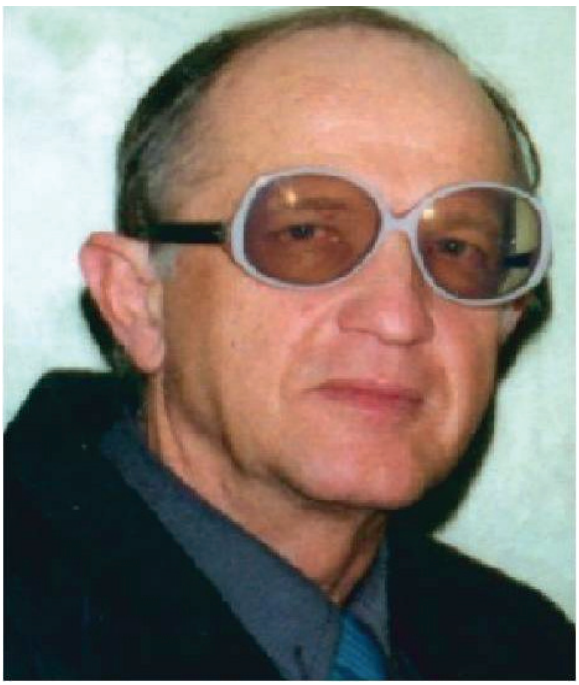
Имя Петра Петровича фон Веймарна в Советском Союзе было практически под запретом (как белоэмигранта), память о нем начала возрождаться лишь в современной России – с начала 1990-х годов, лишь совсем недавно о нем появились сведения в русской Википедии[16].

Александр Георгиевич Шорин,
sandy_blood@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

[16] Шорин А. Г. Статья о Петре Петровиче фон Веймарне для русской «Википедии» // Изв. УГГУ. 2016. №2(42). С. 97–100.

Потери науки

Памяти Юлия Борисовича Давыдова



20 октября 2016 г. на 79-м году ушел из жизни Юлий Борисович Давыдов – доктор физико-математических наук, профессор кафедры геофизики Уральского государственного горного университета, создатель и директор Института геофизики Российской инженерной академии, действительный член Инженерной академии СССР, Российской инженерной академии, Международной инженерной академии, член-корреспондент Международной академии минеральных ресурсов, лауреат премии Ленинского комсомола Забайкалья, известный специалист в области ядерно-геофизического опробования месторождений твердых полезных ископаемых.

Родился Ю. Б. Давыдов 4 июля 1938 года в Уфе. Окончил Ленинградский горный институт им. Г. В. Плеханова (1961) по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений редких и радиоактивных элементов», горный инженер-геофизик. В 1968 г. окончил Уральский государственный университет им. А. М. Горького по специальности «Математика», математик-вычислитель. После окончания университета работал в Кольцовской и Степной экспедициях 1-го Главного управления Мингео СССР. С 1966 г. – в Свердловском горном институте: 1985–1987 гг. – заведующий кафедрой высшей математики, 1988–1995 гг. – заведующий кафедрой рудной геофизики, в последнее время – профессор кафедры геофизики УГГУ.

Его научные разработки: бета-каротаж скважин; гамма-градиентометрия скважин; аксиально, азимутально и радиально направленные гамма-измерения в скважинах; двухзондовая гамма-гамма-кавернометрия и плотнометрия буровых скважин; определение параметров переноса ядерного излучения методом моментов; разработки в области теории переноса естественного, наведенного и захватного гамма-излучения пород в условиях скважины; в области теории каротажа нейтронов спонтанного и вынужденного деления ядер урана; методы дифференциальной интерпретации результатов каротажа естественного и наведенного гамма-излучения горных пород; импульсные и спектрометрические модификации каротажа; каротаж мгновенных нейтронов деления ядер урана (КНД-М); исследование величины пересчетного коэффициента для интерпретации результатов КНД-М; эффективные технологии оценки состава урановых руд, медистых песчаников, медноколчеданных и железных руд, хризотил-асбеста, угля, горно-металлургического сырья карбонатного состава; разработки в области теории геофизических исследований скважин и др.

Ю. Б. Давыдов участвовал в научно-технических работах, в республиканских, международных научных конференциях. Подготовил 15 кандидатов наук. Автор более 280 научных публикаций, 19 монографий. Имеет 27 авторских свидетельств на изобретения.

Светлая память о Юлии Борисовиче навсегда сохранится в памяти и сердцах близких ему людей.

Уважаемые авторы!

Журнал «Известия УГГУ» публикует результаты научных исследований российских и зарубежных авторов на русском или английском языках.

К публикации принимаются статьи, снабженные следующими необходимыми компонентами.

1. Текст статьи на русском или английском языке (либо двуязычный) в электронном виде. Статьи принимаются на электронную почту редакции: **iuggu-journal@yandex.ru.** Не допускается направление в редакцию статей, уже публиковавшихся или посланных на публикацию в другие журналы. Необходимо указывать номер УДК.

2. Список литературы на русском и английском языках. Ссылки на источники должны идти в тексте по порядку – 1, 2, 3. В тексте ссылки заключаются в квадратные скобки. Количество ссылок в тексте должно соответствовать количеству источников литературы в списке. Упоминания ГОСТ, СНиП, правил безопасности, нормативных, законодательных и других документов рекомендуется приводить в тексте статьи, не вынося в список литературы. Обязательно отражение в статье мирового опыта по рассматриваемому вопросу, список литературы должен содержать современные зарубежные статьи (не ранее 2010 года издания). Самоцитирование не приветствуется, список литературы должен содержать не более 2–3 собственных работ автора. Наличие в списке литературы учебных пособий не допускается.

3. Аннотация и ключевые слова. Объем аннотации должен составлять 200–250 слов. По аннотации читатель должен определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации. Стоит воздержаться от второстепенной информации и выражать мысли возможно более лаконично.

В аннотации должны быть отражены: предмет, тема, цель работы; метод или методология проведения работы; результаты работы и область их применения; выводы. Перевод аннотации, ключевых слов и списка литературы на английский язык осуществляется авторами, только если они уверены в качестве перевода, если же нет – перевод осуществляется редакцией. Перевод с помощью электронных переводчиков не рекомендуется.

4. Сведения об авторах. Необходимо указать на русском и английском языках ФИО, должность, ученую степень и звание, место работы (учебы) с указанием полного почтового адреса, контактный e-mail, контактный телефон.

5. Рекомендация кафедры, или члена редколлегии, или редактора по разделу (в случае, если автор не имеет ученой степени).

6. Экспертное заключение о возможности опубликования.

Статью необходимо по возможности структурировать (разбивать на отдельные разделы) для более удобного восприятия материала. Объем статьи вместе с иллюстрациями не должен превышать 10 стр.

Плата за публикацию с авторов научно-технических статей, включая аспирантов, в порядке общей очереди не взимается.

Оформление статей

1. Редактор Microsoft Word, гарнитура Times New Roman. Поля документа: левое 3 см, остальные – 2,5 см. Кегль 11, одинарный интервал. Абзацный отступ 0,63. Страницы нумеруются. Не допускаются пробелы между абзацами.
2. В тексте допускаются только общепринятые сокращения слов. Все сокращения в тексте, рисунках, таблицах должны быть расшифрованы.
3. Формулы должны быть набраны в редакторе Microsoft Equation и пронумерованы, если в тексте имеются ссылки на них. При наборе формул и текста латинские буквы выделяют курсивом, а русские, греческие и цифры – прямым шрифтом. Кегль шрифта в формулах должен совпадать с кеглем шрифта основного текста. Тригонометрические знаки (sin, cos, tg, arcsin и т. д.), знаки гиперболических функций (sh, ch, th, cth и т. д.), обозначения химических элементов (Al, Cu, Na и т. д.), некоторые математические термины (lim, In, arg, grad, const и т. д.), числа или критерии (Re – Рейнольдса и т. д.), названия температурных шкал (°C – градусы Цельсия и т. д.) набираются прямым шрифтом.
4. Физические единицы приводятся в системе СИ.

Графический материал

Рисунки, карты, чертежи предоставляются в электронном и бумажном виде, в цветном и/или черно-белом исполнении. Изображения должны быть четкими, контрастными. Таблицы и схемы должны быть пригодными для правки. Таблицы и схемы, сканированные как изображения, не принимаются.

На картах обязательно указывается масштаб. На чертежах, разрезах, картах должно быть отражено минимальное количество буквенных и цифровых обозначений, а их объяснение – в подрисуночных подписях. Ксерокопии и сканированные ксерокопии фотографий не принимаются. Рисунки с нечитаемыми или плохо читаемыми надписями, с подписями «от руки», слишком тонкими линиями не принимаются.

Подрисуночная подпись должна быть набрана 7 кеглем, основной текст в таблице – 7 кеглем, шапка таблицы – 7 кеглем. Гарнитура текста в рисунках и таблицах – Arial, кегль 7.

Все статьи подлежат рецензированию, мнение рецензента всегда доводится до сведения автора.

Примеры оформления библиографического списка

Монографии

Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. 280 с.

Статьи в периодических изданиях

Абатурова И. В., Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия месторождений Урала в скальных массивах // Изв. вузов. Горный журнал. 2014. № 6. С. 160–168.

Авторефераты, диссертации

Овечкина О. Н. Оценка и прогноз изменения состояния геологической среды при техногенном воздействии зданий высотной конструкции в пределах города Екатеринбурга: автореф. … дис. канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2013. 24 с.

Сушко А. Е. Разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированной диагностики сложных систем: дис. … канд. техн. наук. М.: МИФИ, 2007. 170 с.

Зарубежные исследования

Hudson J. A. The Scattering of Elastic Waves by Granular Media // Quart Journal Mech. and Applies Math. 1968. Vol. XXI. Pt. 4. pp. 487–502.

Rudd K. Paris Can›t Be Another Copenhagen. New York Times. Retrieved 26 May 2015.

Сетевые источники

Биржевой навигатор. URL: http://stock-list.ru/natural-gas.html

Нововведения для авторов журнала

Научный журнал не может (и не должен) развиваться только силами редакции. Поэтому, предъявляя новые требования к себе, мы предъявляем их и к авторам, которые хотят публиковаться в нашем журнале.

Требования к оформлению высылаемых рукописей мы публикуем на нашем сайте, а также на последней странице каждого нового выпуска. Здесь мы не будем повторять все это, лишь расскажем о нововведениях, которые нам представляются наиболее важными.

Аннотация. Как на русском, так и на английском языках аннотации сейчас принимаются только расширенные – не менее 200 слов. Делается это для того, чтобы читатель (в том числе иностранный) мог в считанные минуты понять, о чем данная статья и представляет ли она для него интерес.

Список литературы. К сожалению, публикации в советских журналах традиционно отличались от иностранных меньшим числом источников. Кроме того, отечественные ученые зачастую не утруждают себя изучением иностранных публикаций на интересующую тему. Также часты использования в качестве источников различных учебников, методичек и пр. Все это значительно снижает уровень публикаций. Поэтому мы взяли за правило рекомендовать авторам расширять список литературы до 10–15 источников с обязательным использованием зарубежных публикаций. Исключения возможны, но они должны быть обоснованными.

DOI. Помимо ставшего уже привычным для авторов присваиваемого каждой статье номера УДК, начиная со второго номера нынешнего года (№ 2 (42), 2016) каждой статье в обязательном порядке присваивается номер DOI.

DOI (*англ.* Digital object identifier) – классификатор цифрового объекта для создания постоянных гиперссылок, которые позволяют сохранять информацию о конкретной статье в сети Интернет, даже если изменилась структура сайта, где эта статья изначально была сохранена.

Проще говоря, номер DOI позволяет научной статье гарантированно открываться и быть доступной для поиска в сети, что совершенно необходимо для того, чтобы статья могла цитироваться с помощью Интернета, не затрудняя авторов поисками ее в библиотеках и архивах – своего рода дань современным IT-технологиям.

Редакцией «Известий УГГУ» заключен договор с Некоммерческим партнерством «Национальный Электронно-Информационный консорциум» (НП НЭИКОН), которое предоставляет в России посреднические услуги по присвоению DOI от регистрационного агентства (DOI Registration Agency) CrossRef. Это самый современный центр регистрации Международной организации документации, основной задачей которого является организация доступа пользователей к первичным публикациям, содержащим научный контент, и содействие коллективной работе издателей по всему миру. Эту кооперативную справочную систему сейчас используют большинство научных журналов в мире.

DOI обязательно указывается при цитировании статьи. В журнале «Известия УГГУ» DOI сейчас присваивается каждой вновь вышедшей статье. Также номер DOI может быть присвоен любой из статей, которые ранее публиковались в нашем журнале – но уже не в обязательном порядке, а по желанию авторов. Для желающих достаточно сделать заявку в редакцию.

Качество перевода. Нас не устраивает перевод аннотаций (и уж тем более – статей) с помощью электронных переводчиков. Если вы не уверены в своем переводе, лучше обратитесь за помощью в редакцию. Лучше не предоставить никакого перевода, чем перевод низкого качества.

Качество рисунков. Рисунок должен оставаться качественным при увеличении. Не забывайте о том, что статья будет опубликована не только в бумажной, но и в электронной версии.

Качество текстов. При рассмотрении рукописи авторитет и заслуги автора статьи во внимание не принимаются – только качество присланного текста. Для этого введено двойное слепое рецензирование.

Слепое рецензирование. Два рецензента оценивают качество статьи, не зная, кто ее автор. В случае, если рецензент узнает автора, то рукопись автоматически передается другому рецензенту – из числа экспертов, сотрудничающих с журналом. Делается это для того, чтобы личные отношения не влияли на качество рецензии. Автор также не знает своего рецензента.

Помимо этого, правила публикации текстов предполагают их разнообразие. Поэтому **недопустима публикация двух статей одного автора в одном номере журнала.** То же правило распространяется и на соседние номера. Так мы поддерживаем разнообразие тем и авторов, исключая превращение журнала в издание, где постоянно публикуется десяток одних и тех же авторов. Исключение составляют статьи вне научных разделов, а также статьи, продолжающиеся из номера в номер. В качестве альтернативы публикации в нашем журнале мы можем предложить автору опубликоваться в другом журнале, с которым у нас заключен договор по обмену статьями.

Очередь. Сроки публикации зависят от количества (и качества) статей, предложенных редакции. Если статей много, они публикуются в порядке очередности, однако редакция оставляет за собой право печатать вне очереди те из них, которые считает наиболее значимыми.

Ответственный секретарь Шорин А. Г.
Перевод Шиварёва Е. П.
Редакторы Шорина Э. В., Безруких А. П.
Верстка, корректура Пихтовниковой О. Г.

Подписано в печать 1.12.2016. Формат 60 × 84/8. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 15,5. Тираж 500. Заказ № 19.

Почтовый адрес редакции: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,
Уральский государственный горный университет, к. 3142.
Тел.: (343)251-15-95
E-mail: iuggu-journal@yandex.ru
http://iuggu.ru

Отпечатано в типографии
ООО Универсальная Типография «Альфа Принт»
620030, г. Екатеринбург, ул. Карьерная, д. 14