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

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

ИЗВЕСТИЯ
Уральского государственного
горного университета

Научно-технический журнал

NEWS
of the Ural State
Mining University

Scientific and technical journal

Issue 2(42)

2016

Уральский государственный
горный университет

Известия Уральского государственного
горного университета
2016, вып. 1

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 1

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
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. B. Surnev, Dr, Professor
(Ekaterinburg, Russia, Ural State Mining University)
Luiza Karsten, Dr (Hannover, Germany)
I. A. Sadovenko, Dr, Professor
(Dnepropetrovsk, Ukraine, National Mining University)
Evgeny Stambulchik, PhD
(Rehovot, Israel, Weizmann Institute of Science)
Sergej Filippow, Dr (Hannover, Germany)

СОДЕРЖАНИЕ

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

7 ФЛЮИДНО-ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ РУДООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ КАК ФАКТОР ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РУДОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ УРАЛА
О. Н. Грязнов

13 СТРАТИГРАФИЯ И ЛИТОЛОГИЯ МОРСКИХ МЕЛ-ПАЛЕОГЕНОВЫХ ПЕСКОВ ЗАУРАЛЬЯ
Е. Е. Слободчикова

19 НАДСОЛЕВОЙ КОМПЛЕКС ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЪЕКТ ПОИСКОВ УГЛЕВОДОРОДОВ
А. Н. Бармин, Н. Ф. Федорова, И. В. Быстрова

25 ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА МЕЗОКАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЖАРЛЫ-САТЛИНСКОГО РАЙОНА НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ
В. Ш. Гурбанов, Н. Р. Нариманов, Л. А. Султанов, М. С. Бабаев

28 ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО И ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА
О. Ю. Ширинкин, В. А. Елохин

32 ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ СУЛЬФАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР УРАЛА
О. Я. Червяцова, С. С. Потапов, С. А. Садыков
[In Russian, in English]

42 ТЕОРИЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И ОСНОВАНИЙ. Расчет анизотропных, неоднородных и подработанных откосов
А. В. Жабко

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

47 ИЗЫСКАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ОСВОЕНИЮ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ЗАПАСОВ НАКЛОННОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин, К. В. Барановский, А. А. Рожков

54 SELECTION OF OPTIMAL DEVELOPMENT SYSTEMS FOR “GOSHA” GOLD DEPOSIT IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN
Z. J. Afandiyeva, M. B. Osmanov

CONTENTS

EARTH SCIENCES

7 FLUID-HYDROTHERMAL ORE FORMING PROCESSES AS A FACTOR OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF URAL ORE TERRITORIES
O. N. Gryaznov

13 STRATIGRAPHY AND LITHOLOGY OF THE CRETACEOUS-PALEOGENE SEA SANDS OF TRANSURALS
E. E. Slobodchikova

19 SUPRASALT COMPLEX OF THE SOUTH-WESTERN PART OF THE CASPIAN DEPRESSION – A PROMISING OBJECT OF HYDROCARBONS PROSPECTING
A. N. Barmin, N. F. Fedorova, I. V. Bystrova

25 GEOLOGICAL STRUCTURE AND RESERVOIR PROPERTIES OF MESO-CENOZOIC DEPOSITS OF DZHARLY-SAATLI OIL AND GAS REGION AT GREAT DEPTHS
V. Sh. Gurbanov, N. R. Narimanov, L. A. Sultanov, M. S. Babaev

28 PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF TECHNOGENIC SOILS ON THE TERRITORY OF ELECTROLYSIS AND ALUMINA PRODUCTION
O. Yu. Shirinkin, V. A. Elokhin

32 SULFUR ISOTOPIC COMPOSITION OF SULFUR DEPOSITS IN URAL KARST CAVES
O. Ya. Chervyatsova, S. S. Potapov, S. A. Sadykov
[In Russian, in English]

42 THEORY OF CALCULATION OF THE STABILITY OF SLOPES AND BASES. Calculation of anisotropic, heterogeneous and undermined slopes
A. V. Zhabko

ENGINEERING SCIENCES

47 SURVEY ON UNDERGROUND GEOTECHNOLOGY DURING TRANSITION TO THE DEVELOPMENT OF DEEP RESERVES OF INCLINED COPPER PYRITE DEPOSITS
I. V. Sokolov, Yu. G. Antipin, I. V. Nikitin, K. V. Baranovskiy, A. A. Rozhkov

54 SELECTION OF OPTIMAL DEVELOPMENT SYSTEMS FOR “GOSHA” GOLD DEPOSIT IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN
Z. J. Afandiyeva, M. B. Osmanov

59 К ТЕОРИИ РАСЧЕТА РАДИАЛЬНОГО АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА
И. Л. Щеклеина, А. В. Угольников

63 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА
Н. В. Макаров, В. Н. Макаров, А. А. Солдатенко, Н. Е. Лаврёнов

66 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ НАСТРОЙКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ
Г. А. Килин, И. Р. Зиятдинов, Б. В. Кавалеров

70 РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ПОЛОЧНОГО ФРИКЦИОННОГО СЕПАРАТОРА С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ТРАМПЛИНОМ ПЕРЕМЕННОЙ КРИВИЗНЫ
П. М. Анохин, А. И. Афанасьев, Ю. М. Казаков, В. Я. Потапов

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

73 ДИСПРОПОРЦИИ В ДЕМОГРАФИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН
П. Г. Абдулманапов

78 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ПО РАСЧЕТУ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА
Л. В. Власова, О. В. Косолапов, В. В. Морилов

82 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ПРОЕКТАХ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ
П. Н. Пармузин

86 THE GUIDELINES FOR ECONOMIC VALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES IN REGION
V. V. Yurak

ИСТОРИЯ ГОРНОГО ДЕЛА НА УРАЛЕ

91 ИСТОРИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УРАЛЕ В XVIII–НАЧАЛЕ XX В.
В. В. Филатов

ДИСКУССИЯ

94 ДОЛЖНЫ ЛИ РУССКИЕ НАУЧНЫЕ ЖУРНАЛЫ ПЕЧАТАТЬ СТАТЬИ СВОИХ АВТОРОВ НА ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКАХ?

97 СТАТЬЯ О ПЕТРЕ ПЕТРОВИЧЕ ФОН ВЕЙМАРНЕ ДЛЯ РУССКОЙ «ВИКИПЕДИИ»
А. Г. Шорин

101 ОЧЕРКИ ПО ЭНЕРГЕТИКЕ КУЛЬТУРЫ
П. П. фон Веймарн

110 КОРРЕКТНОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА
К. С. Иванов

РЕЦЕНЗИИ

111 ПЕРЕИЗДАНИЕ АКТУАЛЬНОГО ПОСОБИЯ
О. М. Гуман

113 ПОТЕРИ НАУКИ

114 ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ, ОБЪЯВЛЕНИЯ

59 ON THE THEORY OF CALCULATING OF RADIAL ACTIVE MAGNETIC BEARINGS
I. L. Shchekleina, A. V. Ugol'nikov

63 MATHEMATICAL MODEL OF ENERGY REGULATOR OF RADIAL FAN
N. V. Makarov, V. N. Makarov, A. A. Soldatenko, N. E. Lavrenov

66 USAGE OF NEURAL NETWORK MODEL FOR CONFIGURING OF AUTOMATIC GAS TURBINE POWER REGULATORS
G. A. Kilin, I. R. Ziyatdinov, B. V. Kavalerov

70 OPERATING PROCESS OF SHELVING FRICTION SEPARATOR WITH CURVILINEAR RAMP OF VARIABLE CURVATURE
P. M. Anokhin, A. I. Afanas'ev, Yu. M. Kazakov, V. Ya. Potapov

ECONOMIC SCIENCES

73 DISPROPORTIONS IN DEMOGRAPHIC DEVELOPMENT OF MOUNTAIN AND LOWLAND TERRITORIES OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN
P. G. Abdulmanapov

78 IMPROVING OF METHODICAL TOOLKIT ON THE CALCULATION OF THE ECONOMIC LOSSES
L. V. Vlasova, O. V. Kosolapov, V. V. Morilov

82 DETERMINATION OF ECONOMIC EFFECT IN THE PROJECTS OF DEGASSING OF COAL MINES
P. N. Parmuzin

86 THE GUIDELINES FOR ECONOMIC VALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES IN REGION
V. V. Yurak

HISTORY OF MINING IN THE URALS

91 GEOPHYSICAL STUDIES IN THE URALS IN 18TH–EARLY 20TH CENTURY
V. V. Filatov

DISCUSSION

94 SHOULD RUSSIAN SCIENTIFIC JOURNALS PUBLISH ARTICLES OF THEIR AUTHORS IN FOREIGN LANGUAGES?

97 THE PAPER ABOUT PETR PETROVICH FON WEIMARN FOR THE RUSSIAN WIKIPEDIA
A. G. Shorin

101 ESSAYS ON THE CULTURAL ENERGY
P. P. fon Weimarn

110 CORRECT CALCULATION OF THE DURATION OF HUMAN LIFE
K. S. Ivanov

REVIEWS

111 REISSUE OF ACTUAL TEXTBOOK
O. M. Guman

113 OBITUARIES

114 ANNIVERSARIES, ANNOUNCEMENTS

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 7-12.
УДК 624.131.1+553.24+553.3(553.078) DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-7-12

ФЛЮИДНО-ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ РУДООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ КАК ФАКТОР ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РУДОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ УРАЛА

О. Н. Грязнов

Fluid-hydrothermal ore forming processes as a factor of engineering and geological conditions of Ural ore territories

O. N. Gryaznov

Endogenous deposits of the Urals are located in rock mass that have undergone fluid-hydrothermal conversion. Author gives the definitions of next concepts: metasomatic rock, facies, and formation. The metasomatic rock is an association of metasomatic minerals that are in a regular quantitative, structural and textural relationships and causal dependence from petrogenetic processes that form them. Author suggests an assessment of the extent metasomatic transformation of rocks depending on the number of newly formed minerals. Metasomatic facies (by V. A. Zharikov) refer to a set of rocks of unified metasomatic column. Metasomatic formation is a stable association of metasomatic rocks, occurring as a result of manifestation of Petrogenetic process that is single in time and space. Each formation is characterized by a set of statistically stable signs. The proposed classification of ore metasomatic formations of the Urals includes 33 formations. Study also offers the classification of endogenous ore formations of the Urals, associated with the development of a certain type of ore metasomatic formations that control the formation of fluid-hydrothermal deposits of a particular family of ore formations. The metasomatic rocks of endogenous deposits represent a special group of rocks for engineering and geological characteristics. The presence of deposits with their engineering and geological features largely determines geotechnical conditions of massifs. In this regard, fluid-hydrothermal ore-forming processes, responsible for the formation of endogenous deposits of metallic and non-metallic minerals, act in the Urals as important factors of engineering-geological conditions of ore-bearing areas - ore fields, regions, and metallogenic zones.

Keywords: fluid, hydrothermal, ore-forming process, metasomatic rock, ore deposit, factor, geotechnical conditions.

Эндогенные месторождения Урала локализуются в массивах горных пород, претерпевших флюидно-гидротермальные преобразования. Даны определения понятий: метасоматическая горная порода, фация, формация. Под метасоматической горной породой понимается ассоциация метасоматических минералов, находящихся в закономерных количественных, структурно-текстурных соотношениях и причинной зависимости от формирующих их петрогенетических процессов. Предложена оценка степени метасоматического преобразования горных пород в зависимости от количества новообразованных минералов. Под метасоматической фацией (по В. А. Жарикову) понимается совокупность горных пород единой метасоматической колонки. Метасоматическая формация – устойчивая ассоциация метасоматических пород, возникающая в результате проявления единого во времени и пространстве петрогенетического процесса. Каждая формация характеризуется набором статистически устойчивых признаков. Предложена классификация рудоносных метасоматических формаций Урала, включающая 33 формации. Приведена классификация эндогенных рудных формаций Урала, связанных с развитием определенного типа рудоносных метасоматических формаций, контролирующих формирование флюидно-гидротермальных месторождений конкретного семейства рудных формаций. Метасоматические горные породы эндогенных месторождений представляют особую группу пород по инженерно-геологическим характеристикам. Наличие месторождений с их инженерно-геологическими особенностями во многом определяет инженерно-геологические условия массивов. В связи с этим флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы, ответственные за формирование эндогенных месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых, выступают на Урале в качестве важных факторов инженерно-геологических условий рудоносных территорий – рудных полей, районов, металлогенических зон.

Ключевые слова: флюид; гидротермальный; рудообразующий процесс; метасоматическая горная порода; месторождение; фактор; инженерно-геологические условия.

Урал как опорный край Российской державы знаменит богатством своих недр. По данным Л. Н. Овчинникова (1990), по состоянию на конец 1970-х гг. на Урале было отработано более 200 месторождений полезных ископаемых. На начало XXI в., по В. А. Прокину, в регионе насчитывалось свыше 100 месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Из них часть находилась в стадии активной разработки, часть – в государственном резерве, подготовленная к эксплуатации, часть на стадиях геологоразведочных работ и часть отработана в последние 10–20 лет [1].

Эндогенные месторождения Уральского складчатого пояса принадлежат к 63 рудным формациям, относящимся к 33 рудоносным метасоматическим формациям, объединенным в 3 класса и 4 генетические группы: магматогенные (плутоногенные, плутоногенные-вулканогенные, вулканогенные), метаморфогенные (связанные с плутонометаморфизмом и зональным региональным метаморфизмом) и полигенные формации [2].

Эндогенные месторождения локализуются в массивах горных пород, претерпевших флюидно-гидротермальные метасоматические преобразования. Метасоматическое преобразование пород и рудоотложение – звенья единой цепи событий, связанных с петрорудогенетическим процессом. При этом гидротермальные изменения проявляются несравненно шире, занимая большую часть объема исходных пород, чем рудные тела. Рудоотложение по масштабам существенно уступает «околорудному» преобразованию пород, представляя собой фрагмент общего гидротермального процесса. Вместе с тем определенным метасоматическим формациям свойственны и определенные полезные ископаемые, отражающие их металлогеническую специализацию.

По характеру временных и пространственных взаимоотношений метасоматические формации сопровождаются типами синхронного, сопряженного (или сопутствующего) и наложенного оруденения [3]. Это свидетельствует о необходимости выделения рудно-метасоматических ассоциаций. Последние отвечают генетически или парагенетически (по сопроисхождению или сонахождению) связанным системам гидротермально измененных пород и руд (скарновая железорудная, скарново-полиметаллическая, альбититовая редкометалльная, грейзеновая вольфрам-молибденовая, лиственит-березитовая золото-кварцевая, аргиллизитовая уран-молибденовая и др.). Такие ассоциации могут быть положены в основу весьма прогрессивного направления систематизации эндогенных рудных формаций месторождений и разработки методики количествен-

ного прогнозирования эндогенной минерализации [4].

Предваряя вывод о роли флюидно-гидротермальных рудообразующих процессов как важного фактора инженерно-геологических условий рудоносных территорий (рудных полей, районов, металлогенических зон), полагаем целесообразным рассмотреть ряд основополагающих вопросов: метасоматоз, метасоматическая горная порода, метасоматическая фация, метасоматическая формация, классификация метасоматических формаций, главные типы рудных формаций и их месторождения на Урале, позволяющих раскрыть содержательную сущность поставленной проблемы.

Метасоматоз – петрогенетический процесс, протекающий путем замещения одних минералов другими без изменения твердого агрегатного состояния исходных горных пород независимо от источника вещества. Осуществляется как с перераспределением вещества внутри данного объема пород, с поступлением его извне, так и с выносом вещества. По энергетическому источнику процесс подразделяется на эндогенный (магматогенный-плутоногенный, вулканогенный, метаморфогенный) и экзогенный (гипергенный, литогенный) метасоматоз [4].

Для большинства явлений осадочного, магматического и метаморфического петрогенезиса метасоматоз ограничивается минеральным уровнем реакций, приводя к экстенсивному замещению лишь незначительного количества исходных минералов (не более 10 %). Наиболее полно и интенсивно в эндогенных условиях метасоматоз проявляется при гидротермальном породо- и рудообразовании, обусловливая возникновение совершенно новой горной породы в объеме реагирующей системы. Эти черты метасоматоза определяют его двойственный характер.

Метасоматическая горная порода

Под метасоматической горной породой понимается ассоциация вторичных метасоматических минералов, находящихся в закономерных количественных, структурно-текстурных соотношениях и причинной зависимости от формирующих их петрогенетических процессов [4]. При изучении и выделении метасоматических пород любой фации или формации, по-видимому, необходимо и достаточно учитывать три главных фактора: 1) развитие определенной ассоциации вторичных минералов; 2) их количество; 3) структуру и текстуру пород.

Конкретная ассоциация вторичных минералов, возникшая в результате проявления того или иного петрогенетического процесса, определяет конкретную горную породу, принадлежащую конкретной метасоматической формации (скарновой, грейзеновой, березитовой, аргиллизитовой и т. д.). Применяемая в настоящее время номенклатура формаций обусловливается ассоциацией вторичных минералов (породой) внутренних зон. Однако из-за дифференциальной подвижности компонентов и опережающей волны кислотности [5] при развитии метасоматических процессов возникают зонально построенные ореолы метасоматитов. Для каждой зоны метасоматической колонки характерен свой устойчивый парагенезис минералов. В силу неполного замещения первичных минералов в промежуточных и особенно во внешних зонах возникают смешанные парагенезисы реликтовых и новообразованных (эпипородных) минералов. В связи с этим породы зон следует называть с учетом обоих парагенезисов: хлоритизированный и карбонатизированный гранит, каолинизированный и окварцованный гранит или слабо-, средне-, сильноаргиллизированный гранит применительно к данному примеру и т. д. [4].

Количество вторичных минералов имеет принципиальное значение для выделения метасоматических горных пород. Вопрос о минимальном количестве вторичных минералов, при котором возможно выделение внешних зон ореолов метасоматитов, изучен слабо. Имеющиеся публикации и накопленный опыт позволяют считать, что внешние зоны метасоматических колонок следует диагностировать при количестве новообразованных минералов данной ассоциации более 10 % объема породы. Геологический словарь определяет эпипороду как «…вторичную горную породу с сохранившимися в ней реликтами первичной породы». По В. Гольдшмидту и А. А. Полканову [4], собственное название вторичной метасоматической горной породе присваивается при количестве вторичных минералов соответствующей ассоциации 50 % и более. При меньшем количестве используются термины по минеральному замещению (серицитизированная, окварцованная горная порода) или интенсивности развития данного типа изменений (слабо-, средне-, сильноберезитизированная горная порода).

В общем случае количество новообразованных минералов в зависимости от интенсивности метасоматического преобразования исходных пород можно оценить примерно следующим образом: внешние зоны метасоматических колонок – 10–20 %, промежуточные зоны – 21–50 %, внутренние зоны колонок – 50–100 %, в том числе метасоматиты – 80–100 % [4]. Что касается структур и текстур метасоматических горных пород, то внешним зонам метасоматических колонок обычно свойственны псевдоморфные структуры. По мере усиления интенсивности процесса от внешних зон к внутренним появляются структуры перекристаллизации, которые во внутренних зонах доминируют. Текстуры метасоматических пород внутренних зон обычно однородные. В промежуточных и особенно внешних зонах сохраняются текстуры первичных пород. Ввиду частичной перекристаллизации могут возникать таситовые текстуры.

Метасоматическая фация

Согласно представлениям Д. С. Коржинского [5], метасоматические горные породы, образовавшиеся при одинаковых внешних условиях (при вполне подвижном состоянии одних и тех же компонентов и одинаковой концентрации их в растворе), относятся к одной метасоматической фации. Развивая эти суждения, В. А. Жариков дает следующее определение метасоматической фации: «Под метасоматической фацией понимается совокупность пород, образованных в различных зонах метасоматической колонки в результате комплекса изменений, связанных с воздействием определенного типа растворов на породы одинакового исходного состава при определенных внешних условиях (температура, глубинность, ряд подвижности, концентрация вполне подвижных компонентов». Эти процессы протекают в определенный этап гидротермального цикла. Понятие «фация» может быть трансформировано через минеральный состав и зональность как «… совокупность метасоматических пород, характеризующихся закономерным сочетанием минеральных парагенезисов в единой метасоматической колонке» [3, 6].

Метасоматическая формация

Данное понятие определяется авторами по-разному. Согласно В. А. Жарикову, метасоматическая формация представляет собой совокупность метасоматических пород, возникших в результате одного петрогенетического процесса (или генетически единого геологического процесса). В соответствии с последним определением [6], «…метасоматическую формацию следует обозначать как индивидуализированную естественную совокупность метасоматических фаций, характеризующуюся единым определенным минеральным ансамблем и единой определенной геологической позицией».

Б. И. Омельяненко [3] считает, что в этих формулировках отсутствуют критерии формационной самостоятельности метасоматитов. Им предложено понимать под метасоматической формацией «…совокупность метасоматических пород, характеризующихся рядом устойчивых (статистически устойчивых) признаков, которые выдерживаются в пределах крупных рудоносных провинций и повторяются в сходных геологических условиях в других районах». Предложено шесть таких признаков: место в геологической истории района; связь с определенным типом магматизма; особенности минерального и химического состава; условия локализации; строение метасоматических тел; геохимическая и металлогеническая специализация. Данный перечень признаков следует дополнить связью с региональным метаморфизмом и ультраметаморфизмом; учетом не только типа, но и состава магматических образований; физико-химическими условиями образования. Рассмотренное определение не заменяет формулировки В. А. Жарикова, а по сути дела конкретизирует и дополняет её.

Д. В. Рундквист и И. Г. Павлова [7] рассматривают гидротермально-метасоматическую формацию в качестве разновидности геологической формации, т. е. как «… закономерную статистически устойчивую совокупность горных пород (руд), связанных общей структурой». Подобного мнения придерживаются Е. В. Плющев и О. П. Ушаков [8] применительно к метасоматическим преобразованиям пород регионального распространения.

Разделяя представления В. А. Жарикова и Б. И. Омельяненко, можно предложить ещё одно определение метасоматической формации, уточняющее более ранние формулировки [4]: под метасоматической формацией понимается устойчивая ассоциация метасоматических горных пород, возникающая в результате проявления единого во времени и пространстве петрогенетического процесса. Каждая метасоматическая формация характеризуется генетическими взаимоотношениями с магматизмом или метаморфизмом, конкретными геологическими условиями образования, индивидуальными чертами строения метасоматических тел, устойчивым минеральным и химическим составом, определенными РТХ-условиями развития, геохимической и металлогенической специализацией. Рудоносной является метасоматическая формация, полезные компоненты которой связаны с тем же петро-рудогенетическим процессом.

Термин «метасоматическая формация» обычно употребляется в двух различных, но тесно связанных друг с другом смыслах – абстрактном и конкретном. Абстрактная метасоматическая формация (формационный тип) отражает все черты метасоматической формации, не привязанные к месту и времени в геологической истории. Устойчивая ассоциация метасоматических пород с определенным набором признаков и вызвавший их петрогенетический процесс могут развиваться в однотипных, но разобщенных пространственно геологических структурах и иметь разный возраст. Иными словами, формационный тип – это обобщенный абстрактный образ метасоматической формации (альбититовая, грейзеновая, лиственит-березитовая, аргиллизитовая и т. д.).

Конкретная метасоматическая формация характеризует устойчивую ассоциацию метасоматических пород с признаками формационной самостоятельности, занимающую конкретное, определенное место в пространстве и во времени, имеющую определенные генезис, возраст и по-

ложение в геологических структурах (верхнепалеозойская альбититовая формация Полярного Урала; раннепалеозойская грейзеновая формация Харбейского месторождения Полярного Урала; верхнепалеозойская лиственит-березитовая формация Березовского рудного поля; триас-юрская аргиллизитовая формация Кушмурунской депрессии Тургайского прогиба и т. д.). Конкретные метасоматические формации включают в себя все обобщенные черты абстрактной формации, но в то же время имеют некоторые индивидуальные особенности (определенная геохимическая и металлогеническая специализация и др.). Они реализуются в виде конкретных геологических (метасоматических) тел с соответствующими параметрами [4].

Несмотря на довольно обширную информацию по метасоматически преобразованным породам различных типов эндогенных месторождений Урала, обобщающие работы по их систематизации пока редки. Одна из первых классификаций типов, фаций, ступеней метаморфизма, метасоматических процессов, формаций и изменений зеленокаменной полосы восточного склона Южного Урала разработана В. М. Нечеухиным, В. А. Марксом и В. А. Прокиным. В работах В. А. Прокина [9] и А. И. Кривцова [10] приведены небольшие сводки по эпигенетическим образованиям колчеданных месторождений. А. М. Дымкин и В. М. Щербак систематизировали метасоматиты скарново-магнетитовых месторождений Тургая [11]. А. И. Грабежев и В. Н. Сазонов [12] выполнили классификацию формаций и фаций метасоматитов редкометалльных и золоторудных месторождений. Классификация рудоносных метасоматических формаций Урала на геолого-тектонической основе была предложена авторами в 1976 г. на первом Уральском совещании по метасоматизму. Позднее она была дополнена и переработана.

По устойчивым признакам в структурно-вещественных комплексах Урала в настоящее время с достаточной достоверностью установлено 33 рудоносных метасоматических формации (табл. 1).

Таблица 1. Главные типы рудоносных метасоматических формаций Урала и их металлогеническая специализация [2, 4].

Формации	Металлогеническая специализация
1. МАГМАТОГЕННЫЕ ФОРМАЦИИ	
1.1. Плутоногенные	
1.1.1. Послеинтрузивные контактовые	
Магнезиальных скарнов	Fe, B, флогопит, Mo, W, Sn, Be, Pb, Zn, Cu, Au
Известковых скарнов	Fe, Cu, Co, As, Au, W, Mo, Pb, U, драгоценные и цветные камни
Фенитовая	TR, Nb, Ta, Zr, U, Th
1.1.2. Послемагматические	
Полевошпатовых метасоматитов	Ta, Nb, Be, Li, Cs, драгоценные и цветные камни
Альбититовая (апогранитная)	Ta, Nb, TR, Zr, Be, Sn, W
Грейзеновая	Mo, W, Sn, Be, Li,Cs, драгоценные камни
Кварц-турмалин-хлоритовых метасоматитов	Sn, Mo, Cu, Au
Серпентинитовая	Хризотил-асбест
Щелочных полевошпатовых метасоматитов	Nb, Ta, TR, Zr
Альбититовая (апомиаскитовая)	Nb, Ta, (TR)
Уралитовая	Fe, Ti, V, Pt, Pd,P, Cu, Ni
1.2. Плутоногенно-вулканогенные послемагматические	
Пропилитовая	Fe, Cu, Mo, Zn
Оксеталитовая	Cu, Mo, Au, Sn, Pb, Zn, Ag
Лиственит-березитовая	Au, U, Mo, Pb, Zn, Ba, Sb, Hg, горный хрусталь, драгоценные и цветные камни
Гумбеитовая	W, Au, U
Эйситовая	Au, U, Pb, Zn, Ba, Pb, Zr
Гидрослюдистых метасоматитов	U, Pb, Zn, Ag
Аргиллизитовая	Au, Ag, U, Mo, W, Be, Hg, Sb, драгоценные и цветные камни
Карбонатитовая	Nb, Ta, Zr, TR, P, Th, U, флогопит (вермикулит), Cu, Mo, Zn
1.3. Вулканогенные послемагматические	
Аргиллизитовая сольфатарно-фумарольная	S, бентонит, каолинит
Вторичных кварцитов	Cu, Mo, S, Al, Au, Sb, Hg
Кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов	Cu, Zn, Pb, S (колчеданы)
2. МЕТАМОРФОГЕННЫЕ ФОРМАЦИИ	
2.1. Формации, связанные с сиалическим плутонометаморфизмом и сопряженным зональным региональным метаморфизмом подвижных поясов	
Мусковит-полевошпатовых метасоматитов	Полевые шпаты, мусковит
Гематит-магнетит-кварцевая	Fe
Кианит- (силлиманит)-мусковит-кварцевая	Al, мусковит
Антофиллитовая	Антофиллит-асбест
Рутил-кварцевая	Ti
Родонитовая	
Тальк-магнезитовая	
Кварцевожильная хрусталеносная	
Углеродистых метасоматитов	Au, Cu, Pb, Zn, Mn, P
Кварц-слюдистых метасоматитов	Au
3. ПОЛИГЕННЫЕ ФОРМАЦИИ	
Железо-магнезиальных карбонатных метасоматитов	Fe, Mg, Cu

Этот перечень охватывает лишь те рудоносные метасоматиты, формационная самостоятельность которых в настоящее время установлена однозначно. Он не включает в себя родингиты (хлорапиты), биотит-амфиболовые метасоматиты, приразломные кварц-серицитовые метасоматиты и ряд других с неясной формационной принадлежностью. Околорудные породы стадии осаждения, синхронные с рудоотложением (полевошпатовые, серицитовые, хлоритовые, кварцевые, карбонатные, флюоритовые и др.), нередко именуемые как «околопрожилковые изменения рудной стадии» [3], сопряжены с той или иной рудоносной метасоматической формацией. Они не автономны в своем развитии, и их не следует выделять в качестве самостоятельных формаций.

Эндогенные месторождения Урала принадлежат к известным на сегодня 63 рудным формациям. Их образование связано с развитием определенного типа рудоносных метасоматических формаций, контролирующих формирование флюидно-гидротермальных месторождений конкретного семейства рудных формаций, что зафиксировано в табл. 2.

Таблица 2. Рудные формации эндогенных месторождений Урала [2, 4].

Рудоносные метасоматические формации (группы и семейства рудных формаций)	Рудные формации	Месторождения
	Плутоногенные	
Магнезиальных скарнов	Магнетитовая магнезиально-скарновая Магнетитовая известково-скарновая	Валуевское, Лебяжинское
Известковых скарнов	Субформации:	
	магнетитовая скарновая	Высокогорское, Соколовское, Сарбайское Качарское
	магнетитовая скаполитовая магнетитовая гидросиликатная (апоскарновая, пропилитовая)	Куржункульское, Североуральские
	Медно-железорудная	Турьинское
	Молибден-вольфрамовая (молибденит-шеелитовая) с золотом	Урал
	Полиметаллическая	Свинцовое
Полевошпатовых метасоматитов	Редкометалльная Камнесамоцветная	Мурзинско-Адуйская группа
Щелочных полевошпатовых метасоматитов	Редкометалльная	Ильменско-Вишневогорская группа
Альбититовая (апогранитовая)	Редкометалльная	Полярный, Средний Урал
Альбититовая (апомиаскитовая)	Редкометалльная	Средний, Южный Урал, Мугоджары
Грейзеновая. Фации:		
мусковит-полевошпатовая, мусковитовая, мусковит-флюоритовая	Редкометалльно-вольфрамитовая (гюбнеритовая)	Боевско-Биктимировская группа
кварц-мусковитовая	Шеелит (вольфрамит)-молибденитовая	Харбейское, Лонготюганское, Южно-Шамейское
мусковит-кварцевая	Молибденитовая (касситерит-молибденитовая)	Восток, Башкироводольское
слюдитовая (флогопитовых слюдитов)	Редкометалльно-изумрудоносная	Мурзинско-Адуйская группа
	Шеелит-молибденитовая	Южно-Шамейское
Гумбеитовая	Шеелитовая (молибденит-шеелитовая)	Гумбейская группа, Кедровское
Серпентинитовая	Хризотил-асбестовая	Баженовское
Уралитовая	Титаномагнетитовая	Качканарское, Первоуральское
	Медно-железо-ванадиевая	Волковское
	Платиновая; платино-палладиевая	Урал
	Медно-никелевая сульфидная	Пай-Хой
	Плутоногенно-вулканогенные	
Пропилитовая	Молибденово-медная прожилково-вкрапленная (бощекульский тип)	Спиридоновское
	Сфалерит-халькопиритовая прожилково-вкрапленная	Малососьвинское
Оксеталитовая	Молибденово-медная порфировая (кальмакырский тип)	Баталинское, Бенкалинские, Лекынтальбейское
	Молибденово-медная прожилково-вкрапленная	Биргильдинское, Салаватское
	Медная прожилково-вкрапленная	
	Полиметаллическая прожилково-вкрапленная	Иссиргужинское
Лиственит-березитовая	Золото-кварцевая	Крылатовское
	Золото-сульфидная	Куросанская группа
	Золото-сульфидно-кварцевая	Березовское
	Золото-сурьмяная	Аятское
	Золото-скарновая	Круглогорское
	Уран-полиметаллическая	Урал
	Медно-кобальтовая	«
	Сурьмяная	Верхнеханмейское
	Барит-полиметаллическая	Саурейское
	Колчеданно-полиметаллическая	Нижнеталотинское
	Кварцево-хрусталеносная	Ватиха
Гидрослюдистых метасоматитов	Уран-сульфидная	Урал

Продолжение табл. 2

Рудоносные метасоматические формации (группы и семейства рудных формаций)	Рудные формации	Месторождения
Эйситовая. Фации:		
кварц-карбонат-кимрит-альбитовая	Полиметаллическая	Саурейское
карбонат-альбитовая	Золото-полевошпатовая	Урал
Аргиллизитовая	Уран-молибденовая	Урал
	Золото-сульфидно-кварцевая	Воронцовское, Светлинское
	Редкометалльная	Урал
	Кварцево-хрусталеносная аметистовая	Ватиха
	Цветных камней (агат-переливт)	Шайтанское
Карбонатитовая	Редкометалльная	Южный, Северный Урал
	Вулканогенные	
Аргиллизитовая сульфатарно-фумарольная	Бентонит-каолинитовая	Южное
Вторичных кварцитов	Серноколчеданная (с наложенной медноколчеданной)	Кабанские
Кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов	Серноколчеданная, медноколчеданная	Дегтярское, Бурибайское
	Медно-цинковоколчеданная	Гайское и др.
Метаморфогенные, связанные с плутонометаморфизмом и зональным региональным метаморфизмом		
Мусковит-полевошпатовых метасоматитов	Керамических (мусковитсодержащих) пегматитов	Уфалейские, Сысертско-Ильменогорские
Гематит-магнетит-кварцевая	Метасоматических железистых кварцитов	Радостное, Малоагардяшское, Маукское и др.
Кианит-(силлиманит)-мусковит-кварцевая	Мусковитовых пегматитов	Слюдяногорское, Шумихинское
	Кианитовая (кианит-силлиманитовая)	Абрамовское, Сосновское, Кумус-Тюбе
Антофиллитовая	Антофиллит-асбестовая	Сысертское
Рутил-кварцевая	Рутиловая	Уфалейская группа
Родонитовая	Родонитовая	Малоседельниковское, Кургановское
Тальк-магнезитовая	Тальковая, тальк-магнезитовая	Сысертское, Шабровское
Кварцевожильная хрусталеносная	Кварцево-хрусталеносная	Приполярный, Южный Урал
	Полигенные	
Железо-магнезиальных карбонатных метасоматитов	Сидеритовая стратиформная	Бакальская группа
	Магнезитовая стратиформная	Саткинская группа

Анализ изложенного материала позволяет сделать ряд важных выводов:

1. Метасоматические горные породы эндогенных (магматогенных, метаморфогенных) месторождений Урала представляют особую группу пород по инженерно-геологическим характеристикам [4, 13].

2. Занимая значительные объемы в околорудном пространстве, они существенно отличаются по своим физическим, механическим и физико-химическим свойствам от неизмененных горных пород рудовмещающего комплекса. Это определяет своеобразие инженерно-геологических условий массивов горных пород эндогенных месторождений [14].

3. Наряду с физико-механическими характеристиками, важное значение при изучении метасоматических горных пород имеет их минеральный и химический состав. Особую роль они играют при вскрытии скальных массивов и развитии процессов выветривания. Наиболее неустойчивы в зоне гипергенеза сульфидизированные метаморфические сланцы и метасоматиты. Окисление сульфидов обусловливает образование агрессивных сульфатных вод, ослабление прочностных характеристик пород оснований инженерных сооружений [14].

4. Наличие месторождений во многом определяет инженерно-геологические условия территорий, во-первых, в связи с их геолого-структурными особенностями, во-вторых, с инженерно-геологическими свойствами рудовмещающих и околорудных пород (рудоносных метасоматитов) и полезных ископаемых, в-третьих, с изменением инженерно-геологических условий вследствие их разработки на стадии горно-промышленного техногенеза (по Н. И. Плотникову, 1989). В связи с этим флюидно-гидротермальные рудообразующие процессы, ответственные за формирование эндогенных месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых, выступают на Урале в качестве важного фактора инженерно-геологических условий рудоносных территорий (рудных полей, районов, металлогенических зон).

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокин В. А. Полезные ископаемые Урала // Природа Урала. Екатеринбург, 2002. Вып. 10. 253 с.

2. Грязнов О. Н., Золоев К. К., Ляхович Э. М. Картирование рудоносных метасоматитов. М.: Недра, 1994. 271 с.

3. Омельяненко Б. И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М.: Недра, 1978. 215 с.

4. Грязнов О. Н. Рудоносные метасоматические формации складчатых поясов. М.: Недра, 1992. 256 с.

5. Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 332–452.

6. Жариков В. А., Омельяненко Б. И. Классификация метасоматитов // Метасоматизм и рудообразование. М.: Наука, 1978. С. 9–28.

7. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / под ред. Д. В. Рундквиста. Л.: Недра, 1986. 751 с.

8. Плющев Е. В., Ушаков О. П., Шатов В. В. и др. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. Л.: Недра, 1981. 261 с.

9. Прокин В. А. Закономерности размещения колчеданных месторождений на Южном Урале. М.: Недра, 1977. 176 с.

10. Кривцов А. И. Палеовулканизм эвгеосинклинальных зон Урала и колчеданообразование. М.: Недра, 1979. 168 с.

11. Дымкин А. М., Щербак В. М. Особенности формирования метасоматических и вулканогенно-осадочных руд Тургая. М.: Наука, 1973. 186 с.

12. Грабежев А. И., Сазонов В. Н. Формации и фации метасоматитов редкометальных и золоторудных месторождений Урала // Вопросы петрологии Урала (магматизм, метаморфизм, литология). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 126–158.

13. Грязнов О. Н. Инженерная петрология метасоматитов // Записки Горного института. 2003. Т. 53. С. 140–143.

14. Грязнов О. Н., Гуман О. М., Ворожев А. В. Инженерная петрология метасоматитов меднокольчеданных и скарново-магнетитовых месторождений Урала // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 8. С. 147–155.

REFERENCES

1. Prokin V. A. 2002, *Poleznye iskopaemye Urala* [Minerals of the Urals]. *Priroda Urala* [Nature of Urals], Ekaterinburg, vol. 10, 253 p.

2. Gryaznov O. N., Zoloev K. K., Lyakhovich E. M. 1994, *Kartirovanie rudonosnykh metasomatitov* [Mapping of mineralized metasomatites], Moscow, 271 p.

3. Omel'yanenko B. I. 1978, *Okolorudnye gidrotermal'nye izmeneniya porod* [Wallrock hydrothermal alteration of rocks], Moscow, 215 p.

4. Gryaznov O. N. 1992, *Rudonosnye metasomaticheskie formatsii skladchatykh poyasov* [Ore-bearing metasomatic formations of fold belts], Moscow, 256 p.

4. Gryaznov O. N. 1992, *Rudonosnye metasomaticheskie formatsii skladchatykh poyasov* [Ore-bearing metasomatic formations of fold belts], Moscow, 256 p.
5. Korzhinskiy D. S. 1953, *Ocherk metasomaticheskikh protsessov* [Sketch of the metasomatic processes]. *Osnovnye problemy v uchenii o magmatogennykh rudnykh mestorozhdeniyakh* [The main problems in the study of magmatogenic ore deposits], Moscow, pp. 332–452.
6. Zharikov V. A., Omel'yanenko B. I. 1978, *Klassifikatsiya metasomatitov* [Classification of metasomatites]. *Metasomatizm i rudoobrazovanie* [Metasomatism and ore formation], Moscow, pp. 9–28.
7. ed. D. V. Rundkvist 1986, *Kriterii prognoznoy otsenki territoriy na tverdye poleznye iskopaemye* [Criteria of forecast evaluation of territories for solid minerals], Leningrad, 751 p.
8. Plyushchev E. V., Ushakov O. P., Shatov V. V. et al. 1981, *Metodika izucheniya gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy* [Methods of study of hydrothermal-metasomatic formations], Leningrad, 261 p.
9. Prokin V. A. 1977, *Zakonomernosti razmeshcheniya kolchedannykh mestorozhdeniy na Yuzhnom Urale* [Patterns of placement of pyrite deposits in the Southern Urals], Moscow, 176 p.
10. Krivtsov A. I. 1979, *Paleovulkanizm evgeosinklinal'nykh zon Urala i kolchedanoobrazovanie* [Paleovolcanism of eugeosynclinal zones of the Urals and pyrite formation], Moscow, 168 p.
11. Dymkin A. M., Shcherbak V. M. 1973, *Osobennosti formirovaniya metasomaticheskikh i vulkanogenno-osadochnykh rud Turgaya* [Features of formation of metasomatic and volcanogenic-sedimentary ores of Turgay], Moscow, 186 p.
12. Grabezhev A. I., Sazonov V. N. 1980, *Formatsii i fatsii metasomatitov redkometal'nykh i zolotorudnykh mestorozhdeniy Urala* [Formations and facies of metasomatites of rare metal and gold deposits of the Urals]. *Voprosy petrologii Urala (magmatizm, metamorfizm, litologiya)* [Questions of Urals petrology (magmatism, metamorphism, lithology).], Sverdlovsk, pp. 126–158.
13. Gryaznov O. N. 2003, *Inzhenernaya petrologiya metasomatitov* [Engineering petrology of metasomatites]. *Zapiski Gornogo instituta* [Proceedings of the Mining Institute]. vol. 53, pp. 140–143.
14. Gryaznov O. N., Guman O. M., Vorozhev A. V. 2013, *Inzhenernaya petrologiya metasomatitov mednokolchedannykh i skarnovo-magnetitovykh mestorozhdeniy Urala* [Engineering petrology of metasomatites in copper pyritic and magnetite-skarn deposits of the Urals]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 8, pp. 147–155.

Олег Николаевич Грязнов,
доктор геолого-минералогических наук, профессор
Gryaznov.O@ursmu.ru
Уральский государственный горный университет,
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Oleg Nikolaevich Gryaznov,
Dr, Professor
Gryaznov.O@ursmu.ru
Ural State Mining University,
Yekaterinburg, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 13-18.
УДК 551.763 + 781 + 552.5 + 910 (470.5) DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-13-18

СТРАТИГРАФИЯ И ЛИТОЛОГИЯ МОРСКИХ МЕЛ-ПАЛЕОГЕНОВЫХ ПЕСКОВ ЗАУРАЛЬЯ

Е. Е. Слободчикова

Stratigraphy and lithology of the Cretaceous-Paleogene sea sands of Transurals

E. E. Slobodchikova

The article describes the outputs of the Cretaceous-Paleogene deposits of the western part of the Transurals within the Northern, Middle and Southern Urals. Author gives the characteristics of the stratigraphic position and lithological composition of sea sand deposits and paleogeographic conditions of their formation. Available for monitoring and developing marine sands are located in rivers Sosva (Krasnoturinsk area) Tagil (Verkhnesaldinsk area), Neiva (near the Upper Sinyachikha village and surroundings of town Alapaevsk), Pyshma (Troitsko-Baynovsk area), Iset (Kamensk-Ural'sk, Sinarsk, Techa and Miass area), and Tobol (Aiat area). Sections, which include marine sands, are disclosed in many places in the slopes of the river valleys and deposits. Most northern manifestations of quartz sand are located in the Basin of Tagil River. Here is the location of deposits Osinovskoye and Basyanovskoe on Tagil River, and Mugayskoe, Mysovskoye and Putichnoe (worked out) on Mugai River. Within the Kamensk-Ural area, sea sand outputs are located in the northwestern outskirts of the Kamensk-Ural town, where molding quartz sands are situated on Kamensk and Pozorihinsk deposits. And on the south-eastern edge (Volkovo village) and 10 km south-east of the city in the slopes of the valley of the Iset River and valley of Kolchedanka stream are building sands at the Kremlin and Kolchedan deposits. This article describes the sands of the inhomogeneous composition by the size of sand particles that make up the Kamyshlov Formation. Author emphasizes that the accumulation of clastic rocks in the conditions of cold sea contributed to the formation in the northern part of the strip of rocks of significant quartz composition, and after connecting the cold northern waters through the Turgai Straits. The warm waters of the southern seas contributed to the accumulation of clastic rocks with significant carbonate impurities. The purpose of this research is determination of the most productive layers of sand, suitable for industrial use.

Keywords: deposits sands; marine; paleogene; origin; formation; section.

Приведено описание выходов мел-палеогеновых отложений западной части Зауралья в пределах Северного, Среднего и Южного Урала. Дана характеристика стратиграфического положения и литологического состава морских песков этих отложений и палеогеографические условия их формирования. Доступные для наблюдения и разработки морские пески описаны в бассейнах рек Сосьва (Краснотурьинская площадь), Тагил (Верхнесалдинская площадь), Нейва (район пос. Верхняя Синячиха и окрестности города Алапаевска), Пышма (Троицко-Байновская площадь), Исеть (Каменск-Уральская, Синарская, Течинская и Миасская площади), Тобол (Аятская площадь). Разрезы, включающие морские пески, описаны во многих местах в склонах речных долин и на месторождениях. Самые северные проявления кварцевых песков описаны в бассейне р. Тагил. Здесь располагаются Осиновское и Басьяновское (на р. Тагил), Мугайское, Мысовское и Путичное (выработанное) месторождения (на р. Мугай). В пределах Каменск-Уральской площади выходы морских песков описаны на северо-западной окраине г. Каменска-Уральского, где располагаются формовочные кварцевые пески на Каменском и Позорихинском месторождениях. А на юго-восточной окраине (пос. Волково) и в 10 км к юго-востоку от города, в склонах долины р. Исеть и в долине ручья Колчеданка – строительные пески на Кремлёвском и Колчеданском месторождениях. В статье описываются пески неоднородного состава по размеру песчаных частиц, входящие в состав камышловской свиты. Подчеркивается, что накопление обломочных пород в условиях холодного моря способствовало формированию в северной части полосы пород существенно кварцевого состава, а после соединения холодных северных вод через Тургайский пролив с теплыми водами южных морей способствовало накоплению обломочных пород со значительной долей карбонатной примеси. Целью данного исследования является определение наиболее продуктивных горизонтов песков, пригодных для промышленного использования.

Ключевые слова: отложения; пески; морские; палеогеновые; происхождение; свита; разрез.

Морские отложения мелового возраста в пределах Зауралья обычно залегают на раннемеловых континентальных образованиях, реже на размытом палеозойском основании. Доступные для наблюдения и разработки проявления и месторождения позднемеловых песков располагаются вблизи границы Зауралья с горным Уралом. Они описаны в бассейнах рек Сосьва (Краснотурьинская площадь), Тагил (Верхнесалдинская площадь), Нейва (район пос. Верхняя Синячиха и окрестности города Алапаевска), Пышма (Троицко-Байновская площадь), Исеть (Каменск-Уральская, Синарская, Течинская и Миасская площади), Тобол (Аятская площадь).

Описываемые кварцевые пески приурочены к камышловской свите позднемелового возраста. Прибрежно-морские осадки камышловской свиты распространены восточнее зоны развития континентальных толщ синарской K_1 и мысовской K_2 свит и трансгрессивно перекрывают их, а местами и более древние палеозойские отложения с развитыми на них корами выветривания или без них. Выходы песчаных осадков свиты на поверхность образуют относительно широкую прерывистую полосу субмеридионального направления, пересекающую восточные части Свердловской и Челябинской областей. Восточнее пески камышловской свиты фациально замещены более глубоководными алевролитами, глинами, опоками, погруженными на большую глубину [1–3].

Преобладающую часть разреза камышловской свиты слагают кварцевые (90–96 % SiO_2), кварц-глауконитовые (глауконита до 25 %) пески и их переходные разности. Среди них отмечаются кварц-полевошпатовые пески с концентрацией полевых шпатов в отдельных прослоях до 18 %, при обычном содержании – не более 7 %. На некоторых участках заметна примесь слюд или темноцветных минералов до 1 %. В небольших количествах в песках встречаются акцессорные и аутигенные минералы. Гранулометрический состав пород свиты неоднороден. Однако его изменение подчиняется четкой закономерности: от крупнозернистых, иногда гравелистых, песков с глинистым и глинисто-песчаным цементом в низах разреза до мелкозернистых и пылеватых песков, алевритов, глин, редко опок в верхней части разреза. С севера на юг крупность песчаного материала по всему разрезу уменьшается, и на юге Свердловской, и в Челябинской области гравийно-галечные отложения уже не встречаются. Зато значительно возрастает роль песчаников и алевролитов. Иногда наблюдается двучленное строение свиты, когда в верхней ее части локализуются песчаники, а в нижней – пески. На разных участках цементом в песчаниках служат опал, сидерит, глинистый материал или карбонат. Изменяется и количество глинистого материала в песках и песчаниках (до 30 %).

Разрезы, включающие морские позднемеловые пески, описаны во многих местах в склонах речных долин и на разведанных и разрабатываемых месторождениях. Самые северные проявления кварцевых песков описаны в бассейне р. Тагил. Здесь располагаются Осиновское и Басьяновское (на р. Тагил), Мугайское, Мысовское и Путичное (выработанное) месторождения (на р. Мугай).

По материалам разведки Г. Н. Матвеевой, Е. А. Житковой, З. И. Малаховой и других геологов [4], Басьяновское месторождение представляет собой пластообразную залежь позднемелового возраста, образовавшуюся в прибрежных морских условиях (рис. 1). Мощность песков до уровня грунтовых вод 12 м, в среднем – 5 м, а средняя мощность обводненных песков равна 7 м. Они подстилаются гравелистыми песками, залегающими на неровной размытой поверхности палеозойских пород. Вскрыша представлена песчано-глинистыми отложениями мощностью от 1 до 12 м, в среднем 4,3 м. Среднее соотношение объемов вскрышных

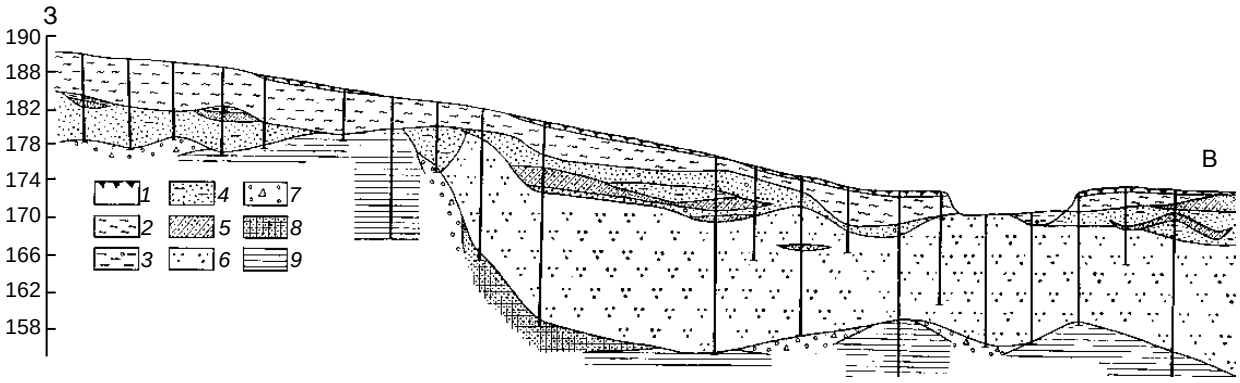


Рисунок 1. Геологический разрез Басьяновского месторождения формовочных песков (по Е. А. Житковой). *1* – почвенно-растительный слой; *2* – суглинки и глины песчаные с обломками кварца; *3* – глины зеленовато-серые с обломками песчаника; *4* – пески кварцевые, мелкозернистые, местами глинистые, иногда с обломками песчаника серого цвета; *5* – песчаники желтовато-серые: *6* – пески кварцевые, мелкозернистые, белого и желтоватого цвета; *7* – гравий и щебень песчаника; *8* – песчаники; *9* – сланцы тальк-хлоритовые / **Figure 1. Geological section of Basyanovsk deposits of molding sands (by Zhitkova E. A.).**

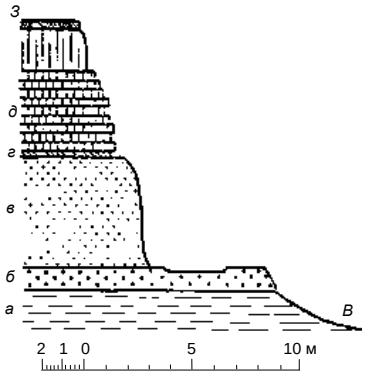


Рисунок 2. Разрез mK_2–mP_1 в районе пос. Верхняя Синячиха [2] / Figure 2. Section mK_2–$mP1$ in the region of the Upper Sinyachikha village [2].

K_2^{cm-sn1}. *а*. Темно-серый глинистый песок с обугленными растительными остатками и кусками обугленной древесины. Мощность горизонта глинистых песков ..... 2,5 м

б. Грубые охристо-глинистые пески с угловатой кварцевой галькой. Мощность ..... 1,0 м

K_2^{dn}. *в*. Белые кварцевые пески с аутигенными цеолитами и отчетливо выраженной косой слоистостью, обусловленной чередованием мелко- и среднезернистых и нескольких глинистых разностей песков. Мощность ..... 5,0 м

P_1. *г*. Прослоек белого фосфорита, производящего на выходах впечатление вязкой глины. По исследованию Н. В. Ренгартен (1948), основная масса породы состоит из аморфного фосфорита. Примесь зерен кварца и глауконита. Мощность ..... 0,05–0,10 м

д. Свита слоистых светло-серых песчанистых опок. Основная масса породы состоит из тончайшей смеси опалового вещества с глинистым материалом. В ней неравномерно рассеяны песчинки и алевритовые частицы кварца, реже полуразложенного глауконита, слюд и микроклина. Слои слабопесчанистой опоки чередуются с более песчанистой, мягкие прослойки – с более твердыми. Мощность ..... 3,5–4,0 м

пород и песков равно 1 : 3,1. Пески главным образом кварцевые, равномернозернистые, мелко- и среднезернистые.

Пески состоят в основном из зерен кварца округлой и овальной формы, окатанных зерен глауконита (в количестве 0,2–5,7 %), полевых шпатов и слюды. Содержание «тяжелой фракции» в среднезернистых песках не превышает 0,1 %.

В настоящее время на базе запасов песка в Верхнесалдинском районе вблизи пос. Басьяновский работает крупное предприятие – Басьяновский песчаный карьер [5].

Южный участок Мысовского месторождения строительных песков расположен в 1,5 км к западу от железнодорожной станции «Бубчиково», в 40 км севернее города Алапаевска Свердловской области, на правом берегу р. Мугай. Месторождение относится к первой группе крупных пластовых месторождений песка морского происхождения, с выдержанным строением, мощностью и качеством толщи. К Мысовскому месторождению прилегает Мугайское месторождение стекольных песков, расположенное в 4 км к западу от железнодорожной станции «Бубчиково». Пески верхнего слоя Мысовского и Мугайского месторождений, относящиеся к камышловской свите, являются кварцевыми мелкозернистыми с содержанием кварца от 88 до 100 % [6].

Южнее, в бассейне р. Нейва, В. П. Ренгартен описаны несколько разрезов, включающих морские пески [2]. Наиболее представительным является разрез II мел-палеогеновых отложений в районе пос. Верхняя Синячиха (рис. 2).

Следует отметить, что в разрезе I из той же местности верхняя континентальная мысовская свита (слой *а* из приведенного на рис. 2 разреза II) начинается слоем «бирюзового гравия», который с размывом залегает на нижней континентальной синарской свите. В описанном разрезе II слой косослоистых песков *в* по присутствию глауконита и аутигенных цеолитов представляет собой морское образование. В разрезе I этот слой трансгрессивно срезает верхнюю континентальную свиту и непосредственно перекрывает «бирюзовый» гравий [2].

Следующая, расположенная южнее группа выходов позднемеловых песков описана в пределах Троицко-Байновской площади на р. Калиновке (приток р. Пышмы). Разрез меловых и неогеновых отложений, содержащих прослои морских позднемеловых песков, расположен в склоне долины р. Калиновки между селами Троицкое и Байны [2]. Первичное залегание пород нарушено четвертичными нетектоническими дислокациями, связанными с изменением объема пластичных глинистых толщ и с соскальзыванием их по склонам мульд палеозойского рельефа (рис. 3).

В пределах Каменск-Уральской площади, выходы морских песков известны на северо-западной окраине города Каменска-Уральского (формовочные кварцевые пески на Каменском и Позорихинском месторождениях), а на юго-восточной окраине (пос. Волково) и в 10 км к юго-востоку от города – в склонах долины р. Исеть и в долине ручья Колчеданка (строительные пески на Кремлевском и Колчеданском месторождениях) [2].

Наиболее полный разрез мел-раннепалеогеновых отложений на этой площади, вмещающих морские пески, располагается в долине ручья Колчеданка, в 1,5 км выше его устья (рис. 4).

На Синарской площади разрезы меловых отложений с морскими песками встречаются в долине р. Синары напротив с. Потаскуево и у пос. Новый Быт (Пироговское месторождение) [2]. Более полный разрез отложений, хотя и представлен только позднемеловыми породами, наблюдается в склоне долины р. Синара у с. Потаскуево (рис. 5).

В разрезе у пос. Новый Быт датский ярус представлен 4 слоями.

С учетом конкретных выходов пород датского яруса и высоты склона долины р. Синары мощность морских песков достигает 14 м.

В пределах Синарской площади разрабатывают кварцевые пески на месторождении Пироговское, приуроченном к прибрежно-морским осадкам верхнего мела Зауралья [4]. По составу и строению продуктивной толщи оно почти не отличается от выше описанного Басьяновского

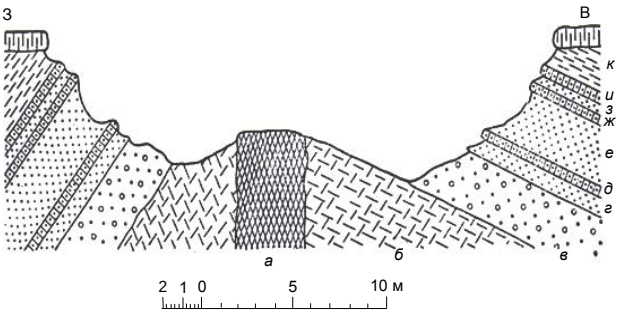


Рисунок 3. Разрез mK_1– N_1 в долине р. Калиновки [2] / Figure 3. Section mK_1–N_1 in the valley of Kalinovka river [2].

K_1^{ap-al}. *а*. Черная сажистая глина с кусками обугленной древесины. Залегание этих глин в ядре антиклинали в виде вертикальной линзы, мощностью до 4 м свидетельствует о сильном смятии пород. В менее смятых участках среди светлых глин бывает не один, а два прослоя углистых глин

б. Каолинитовые глины то чисто белые или слегка сероватые, то серые с включением углистого детритуса и пирита. Мощность ……. 6–10 м

K_2^{cm-sn}. *в*. Желтоватый гравийный песок с неокатанными обломками кварца, слюдистых кварцитов и комочками серых и белых глин. Пылеватые частицы (фракции менее 0,05 мм) присутствуют в количестве около 4 %. По-видимому, эти пески и глины можно рассматривать как отложения второй континентальной свиты. Мощность ….. До 3 м

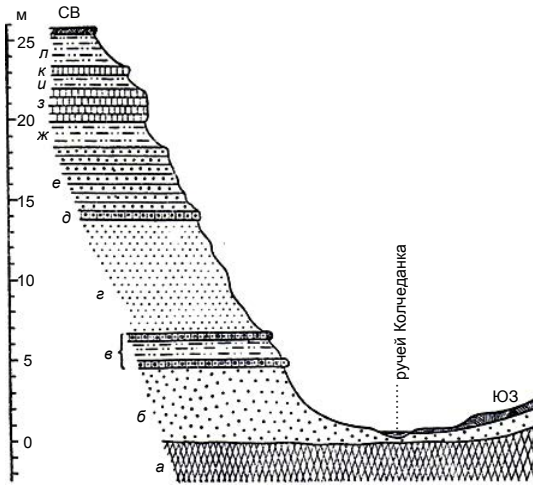


Рисунок 4. Разрез mK_1–mP_1 в долине ручья Колчеданка [2] / Figure 4. Section mK_1–mP_1 in the valley of Kolchedanka stream [2].

K_1^{ap-al}. *а*. Каменистые железистые глины с бобовым строением и выделениями гидраргиллита

K_2^{dn}. *б*. Тонкие светло-серые пески с пятнами бурых гидроксидов железа, то рыхлые, то слегка сцементированные. Преобладает фракция песков размером 0,05–0,025 мм; в ней различаются малоокатанные зерна кварца, полевых шпатов и кремнистых агрегатов и округлые зернышки глауконита. В более мелкой фракции повышается содержание глауконита, а фракция меньше 0,01 мм почти вся состоит из кристалликов цеолита (морденита) с примесью хлорита и глауконита. Слабая сцементированность песков связана с выделениями опокового (опалового) вещества. Мощность ..... 4 м

K_2^{dn}.*г*. Серые с ржавыми пятнами мелкозернистые пески из полуокатанных зерен кварца, кремнистых пород, полевых шпатов и глауконита (в количестве от 2 до 6 %). Местами песчаники сцементированы опоковым веществом и образуют комочки размером до 5мм. Тонкая фракция (менее 0,01 мм) образована тонкочешуйчатым каолинитом и мельчайшими опаловыми частицами. Мощность ….. 1 м

д. Прослой песчаника, отличающегося от песков только наличием опоковой цементирующей массы. Последняя представляет собой тонкую смесь пелитового материала с опалом. Встречаются стяжения опала, напоминающие водоросли. Мощность ……..... 0,5 м

е. Мелкозернистый песок, как в горизонте *г*. Местами наблюдается уплотненный прослой песчаника. Мощность ..... 3 м

ж. Прослой песчаника такого же состава, как в горизонте *д*, но менее крепко сцементированного. Мощность……..... 0,4 м

з. Песок, как в горизонтах *г* и *е*. Мощность ….... 0,5 м

и. Железистый рыхлый песчаник, как в горизонтах *д* и *ж*. Мощность ……..... 0,35 м

N_1. *к*. Серые и палевые глины, иногда песчанистые. Пелитовое вещество имеет разнообразный состав – глинистые минералы, хлорит, слюды, карбонаты, роговая обманка и эпидот. Примешанный песчаный материал, кроме угловатых зерен кварца, содержит также роговую обманку, эпидот и комочки карбонатов и глинистых минералов. Мощность в разных обнажениях ..... 1,5–5 м

Слои *г*–*и* в этом разрезе представлены морскими песками и песчаниками

в. Пачка из двух пластов песчаника мощностью по 0,4 м с разделяющим их слоем рыхлых песков в 1,2 м. Песчаники характеризуются крайне неоднородным составом обломочного материала. Скопления галек неравномерно распределены среди более тонкопесчаного материала. Различаются гальки и зерна кварца, кремнистых пород, глинисто-кремнистых сланцев (с радиоляриями), порфиритов, кварцевых порфиров, кристаллических сланцев и пр. Кроме того, можно отметить окатанные зерна глауконита. Цементирующая очень плотная темно-серая масса состоит из глинистого материала и опалового вещества. Общая мощность пачки …….. 2 м

г. Зеленовато-серые рыхлые глауконитовые пески с прослоем слабо сцементированного песчаника. Песчаный материал очень однообразный – кварц, кремнистые агрегаты и полевые шпаты. Глауконита довольно много. Тонкие фракции, а также цемент слабых песчаников состоят из пылевидных опаловых и глинистых частиц и кристалликов моноклинного цеолита. Мощность……..... 7 м

д. Прослой более крепкого глауконитового песчаника с опоковым (глинисто-опаловым) цементом и мелкими скоплениями цеолита. Мощность ..... 0,5 м

е. Грубоватые пески, подобные горизонту *г*. Местами в породе обнаруживаются прослои слабосцементированных песчаников с опоковой основной массой. Мощность .. 4 м

P_1. *ж*. Рыхлые темно-серые глинистые пески. Песчаный материал мелкий, того же состава, как и нижележащей свите, но фракции менее 0,01 мм играют более заметную роль, выделяясь в виде прослоечков и линзочек. Последние состоят из чешуек хлорита, опаловых и глинистых частиц, глауконита и цеолитов. Мощность ..... 1,5 м

к. Прослой песчанистой опоки, как в горизонте *з*. Мощность ……..... 0,5 м

В этом разрезе к морским пескам относятся горизонты *б*–*е*. Общая мощность……..... 17,5 м

месторождения формовочных песков, но характеризуется небольшими запасами песков (до 980 тыс. т). Мощность полезной толщи до 5–8 м. Пески в основном кварцевые, однородные. В составе их преобладает фракция 0,1–0,8 мм, которая составляет 80–95 %. Высокое содержание оксида железа в песках связано с наличием глинистых примесей, железистых пленок на зернах кварца и рудных минералов [4].

На р. Теча разрезы, содержащие морские пески, встречаются в её среднем течении (ближе к верховьям) на протяжении 24 км между селами Муслюмово и Ветродуйка.

Палеозойский фундамент, представленный в районе р. Течи сильно дислоцированными и рассланцованными кварцитами, контактово-метаморфическими сланцами и другими породами, приподнимается у с. Ветродуйка и с. Муслюмово до 25 м над уровнем р. Течи. На протяжении 20 км между этими селениями субстрат сильно погружается примерно на 100 м в окрестности с. Курманова. Намечающаяся, таким образом, пологая мульда выполнена мезозойскими и кайнозойскими отложениями (рис. 6).

K_2^{cm-sn1}. *а*. Разнозернистые, довольно грубые пески, пропитанные гидроксидами железа, которые обволакивают обломочные зерна и иногда слабо цементируют породу. По составу обломочных материалов эти пески вполне сходны с отложениями Палеосинары, описанными выше в обнажении напротив пос. Новый Быт, и, по-видимому, принадлежат верхним слоям этой свиты. Видимая мощность ……..... 2 м

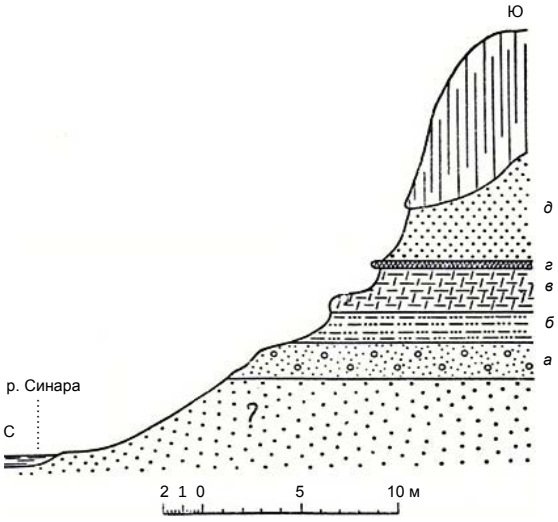


Рисунок 5. Разрез mK_2 в долине р. Синара [2] / Figure 5. Section mK_2 in the valley of Sinara river.

В разрезе у пос. Новый Быт датский ярус представлен 4 слоями:

K_2^{dn}. *а*. Светло-серые мелкозернистые пески с преобладанием (93,6%) фракции 0,05–0,25 мм. Окатанные и полуокатанные зерна кварца, пелитизированного микроклина, альбита, глауконита, обломки криптокристаллической кремнистой массы и мелкие пластинки бесцветной слюды. В рыхлых песках наблюдаются тонкие неправильные прослоечки и линзы более глинистого буроватого песка. Тонкая глинистая фракция в этой разновидности состоит в основном из кристалликов моноклинного цеолита и шарообразных и пластинчатых агрегатов зеленоватого хлорита. Видимая мощность ……. До 4 м

б. Прослой плотного песчаника, состоящего из такого же обломочного материала, как и рыхлые пески. Цементирующая масса представлена аморфным водным кремнеземом и пылеватым глинистым материалом из частичек каолинита и пластинок хлорита. Кроме среднезернистого материала, распределенного весьма неравномерно, в породе встречаются отдельные хорошо окатанные гальки альбитофиров, кристаллических сланцев и кварцитов. Мощность ……..…… 0,5 м

в. Рыхлый буровато-серый глинистый песок, подобный песку горизонта *а*, но с содержанием тонкой фракции (менее 0,01 мм) до 28,9 %. Последняя состоит в основном из изометрических опаловых телец, пластинок каолинита, хлорита и кристалликов цеолита. Мощность ……..... 2,0 м

г. Прослой очень крепкого песчаника, подобного песчанику горизонта *б*. Мощность …… 0,35 м

На крыльях этой мульды наблюдается трансгрессивное залегание верхних членов разреза на палеозойском субстрате с выпадением нижних свит, известных в средней части мульды.

Самые нижние члены разреза были описаны в разрезе в 2 км к югу от с. Курманова. По данным Н. И. Архангельского [7], на глубине от 43 до 57 м здесь залегают песчанистые мергели с характерной маастрихтской фауной. В крыльях этой мульды они на поверхность земли не выступают. То же относится к более древним (континентальным?) отложениям. В бассейне р. Течи эквиваленты нижней и верхней континентальных свит бассейна р. Синары, надо полагать, были целиком уничтожены эрозией еще до начала морской трансгрессии маастрихта.

б. Буроватые глинистые и более яснослоистые пески, заключающие свыше 46 % пылевидного материала (менее 0,01 мм). Здесь, кроме пылинок кварца, много глинистых частиц, пластинок и комочков гидроксидов железа. В «тяжелой фракции» присутствуют также почти исключительно бурые гидроксиды железа. Мощность ……..…… 1,8 м

в. Оранжевые и бурые неслоистые глины, которые можно назвать алевритовыми аргиллитами (или алевропеллитами). Песчаный материал в виде зерен размером от 0,05 до 0,25 мм составляет более 44 %. Более крупных фракций нет, пылеватая же фракция (меньше 0,01 мм) составляет до 50 %. Последняя состоит в основном из тонкочешуйчатого каолинита и бурых оксидов железа; в меньшем количестве присутствуют пылинки кварца и пластинки аллофана. В среднезернистом песчаном материале, неравномерно распределенном в породе, кроме кварца и редких зернышек полевых шпатов, встречаются зеленоватые пластинки слюд. Глины содержат немного гидраргиллита, причем последний цементирует скопления алевритовых частиц. В верхних слоях количество гидраргиллита постепенно увеличивается. Здесь также появляются бобовины бурого железняка. Мощность ……..…… 2,5 м

г. Пласт несколько более твердой глинистой породы с обильными бобовинами бурого железняка и более значительным содержанием гидраргиллита. Мощность……..... 0,25 м

д. Пылеватые слоистые светло-серые пески с глауконитом. Преобладают окатанные и полуокатанные зерна кварца и полевых шпатов размерами 0,05–0,25 мм. В тонкой фракции, а особенно в слегка более глинистых прослоечках отмечается присутствие цеолитов и зеленого хлорита. Это характерные морские пески датского яруса. Мощность ..... До 3 м

В данном разрезе слой *д* представлен морскими позднемеловыми песками

На крыльях этой мульды они на поверхность земли не выступают. То же относится к более древним (континентальным?) отложениям. В бассейне р. Течи эквиваленты нижней и верхней континентальных свит бассейна р. Синары, надо полагать, были целиком уничтожены эрозией еще до начала морской трансгрессии маастрихта.

Наиболее представительные обнажения с позднемеловыми морскими песками описаны в 2 км выше с. Курманова в обоих склонах долины р. Течи[2] (рис. 7).

В бассейне р. Тобол мел-палеогеновые отложения широко представлены в долине р. Аят. На протяжении 60 км между селами Николаевским и Аятским описано более 15 обнажений, которые вскрывают разные части разреза меловых и палеогеновых отложений и выясняют взаимоотношения между ними [2]. Полная последовательность горизонтов выше коры выветривания палеозоя здесь следующая:

I. Нижнемеловая континентальная свита. Белики и аналогичные им делювиально-пролювиальные глинистые отложения.

II. Верхнемеловая континентальная свита.

III. Верхнемеловая морская свита:

1) кампанский ярус (?);

2) маастрихтский ярус.

IV. Палеогеновая морская свита.

Отложения каждой из этих свит (I–IV) отделяются от выше- и нижележащих перерывом и даже фазой размывания. В связи с этим в одних разрезах выпадают одни горизонты, в других – другие.

Наиболее полный разрез позднемеловых-раннепалеогеновых морских отложений описан в склоне долины р. Аят у с. Аятского [2] (рис. 8).

Анализ рассмотренного материала по всем площадям развития мел-палеогеновых отложений Зауралья позволяет сделать вывод о цикличности денудационно-седиментационного процесса, приведшего к их образованию. Каждый цикл начинается с процессов денудации,

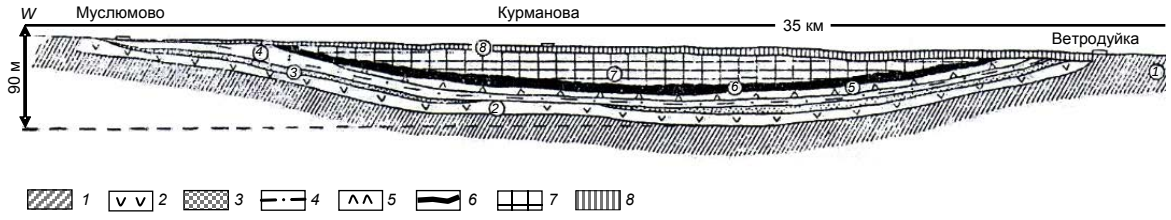


Рисунок 6. Схематический геологический разрез по р. Тече [7]. *1* – Pz-осадочные и изверженные породы палеозоя; *2* – элювий-делювий пород Pz; *3* – K_2^{Cnm2}-кварцевые пески и кварцитовидные песчаники; *4* – $K_2^{Snt+Cmp}$-опоки и песчаники; *5* – K_2^{Mst1}-мергели; *6* – $K_2^{Mst2+Dan}$– опоки и песчаники; *7* – $\square_{I+2}$-опоки и песчаники; *8* – Kz-песчано-глинистые породы / **Figure 6. A schematic geological section by Techa river.**

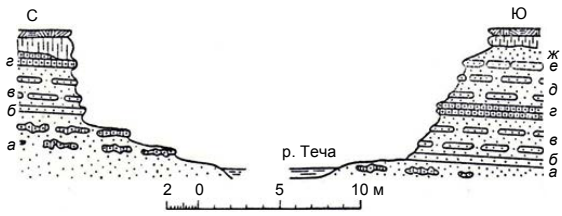


Рисунок 7. Разрез mK_2 у с. Курманова [2] / Figure 7. Section mK_2 near Kurmanova village [2].

K_2^{dn}.*а*. Зеленые глауконитовые пески с караваями и прихотливой формы стяжениями плотных песчаников. Песчаный материал хорошо отсортирован с преобладанием (72,1 %) фракции размером 0,05–0,25 мм, состоящей из кварца (45 %), глауконита (40 %), полевых шпатов (6 %), глинистых и кремнистых агрегатов (9 %). В более крупной фракции (размером более 0,25 мм) преобладают комочки глинистых агрегатов. В тонких фракциях – глинистые агрегаты, кварц, глауконит и хлорит. Глауконит аутигенный, нередко выполняющий трещинки в кварцевых зернах. В тяжелой фракции, кроме 76,2 % рудных зерен, обычные разнообразные акцессорные минералы. Караван твердого песчаника состоит из того же песчаного материала, сцементированного изотропным опоковым веществом. Мощность ..... До 3 м

б. Слой плотного кремнистого мелкозернистого песчаника, тождественного с породой караваев в слое *а*. Мощность ..... 0,35 м

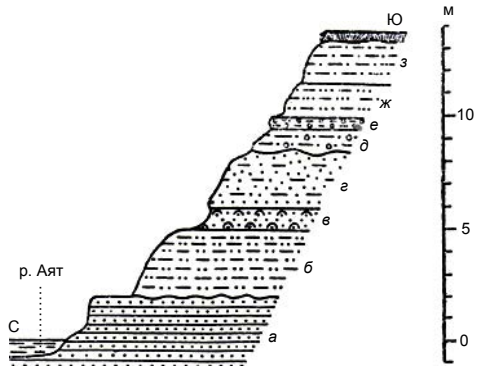


Рисунок 8. Разрез mK_2–mP_1 у с. Аятского [2] / Figure 8. Section mK_2 near Aiatskoye village [2].

K_2^{cmp}(?).*а*. Желтый и бурый, слабо сцементированный среднезернистый песок, пронизанный обильными ходами фолад в виде цилиндрических стержней из более светлого мергелистого песка. Песок хорошо отсортированный, среднезернистый, с зернами диаметром от 0,05 до 1 мм (почти 93 %). Более тонкие фракции содержатся в ничтожном количестве; сравнительно редки также зерна диаметром от 1 до 2 мм. Обломочный материал представлен окатанными зернами кварца и кремния, сильно ожелезненными с поверхности. В ничтожном количестве присутствуют мелкие листочки бесцветных слюд. Бурые гидроксиды железа составляют также до 70 % фракции. Видимая мощность ..... 2 м

K_2^{mct1}.*б*. На размытой, по-видимому, поверхности предыдущих бурых песков залегают серые с желтыми и оливковыми пятнами мергелистые крупнозернистые пески. Крупный песок и галечки (от 0,25 до 5 мм) составляют более 46 %. Материал окатанный, представлен кварцем, кремнием и кремнисто-глинистыми агрегатами. Зерна кварца зеленоватой окраски благодаря присутствию на них пигментного глауконита. В более мелких песчаных и алевритовых фракциях (0,01–0,25 мм) глауконит составляет 10 %, в пелитовой фракции (менее 0,01 мм), кроме пылинок кварца, альбита и кремнистых агрегатов, присутствуют чешуйки глинистых минералов, глауконит и карбонатная пыль. Мощность ..... 3,0 м

K_2.*в*. Буровато-зеленые крупнозернистые пески, отличающиеся от нижних песков*а* присутствием мелких галечек. Песчаные частицы принадлежат кварцу, глаукониту, комочкам опоки, а в более тонких фракциях – также микроклину, хлориту и мельчайшим частичкам глинистого и опалового вещества. Но самое существенное отличие песков этого горизонта от нижележащих – обилие в тяжелой фракции роговой обманки (31,6 %), эпидота и цоизита (17,0%); рудные минералы составляют только 39,7%. Остальное распределяется между обычными акцессорными минералами. Местами пески сцементированы опоковым веществом и в обнажениях правого берега выделяются в виде прихотливой формы сростков и линз. Мощность ..... 2 м

г. Прослой твердого песчаника из песчаного материала того же состава, как и в слое *в*. Цементом служит аморфная масса опала. Мощность ..... До 0,60 м

д. Пачка рыхлых песков такого же состава, как и в слое *в*. Хорошо окатанные галечки кварцитов, кремнистых пород, кварцевых алевритов, кварца и зерна серицитизированных кислых плагиоклазов, микроклина и тонкоагрегатного глауконита. Сцементированные опокой участки песка рисуются в виде линз, лепешек и сростков. Мощность ..... 2,0 м

е. Песчаник, как в слое *г*, но не сплошной, а в виде ряда сближенных караваев. Мощность..... 0,2 м

ж. Пески с неправильными конкрециями, как в слоях *в* и *д*. Мощность ..... 1,0 м

Слои *а* и *б* этого разреза представлены позднемеловыми морскими песками.

K_2^{mst2}.*в*. Зеленовато-серый мергелистый, загипсованный песок с частыми стяжениями фосфорита. Гипс цементирует отдельные участки песка. Грубые фракции (от 0,25 до 5 мм) все еще присутствуют в заметном количестве (23,1 %), но за счет агрегатов кварцевых песчинок, сцементированных гипсом. Преобладающая (47 %) средняя фракция (0,05–0,25 мм) кроме зерен кварца и кислых плагиоклазов, содержит тонкозернистые агрегаты карбоната кремнистых агрегатов, гипса и глауконита. Пелитовая фракция в основном состоит из карбонатной и глауконитовой пыли. Мощность ..... 1,0 м

г. Желто-бурые слабосцементированные мергелистые песчаники и пески с обильным раковинным детритусом и многочисленными и довольно крупными стяжениями черного фосфорита. Грубость обломочного материала постепенно убывает кверху, причем фракции от 1 до 5 мм состоят в основном из обломков раковин пелециопод. Зерна кварца, кремния и глауконита в преобладающих фракциях (от 0,01 до 0,25 мм) окатаны. В пелитовой фракции (менее 0,01 мм), довольно обильной (30,6 %), в основном присутствуют пылевидный карбонат и тонкий глинистый материал. Мощность ..... 2,5 м

K_2^{dn}. *д*. Темно-серый песок с галькой кварца, кремния и кремнисто-глинистых пород. Преобладает (84,1 %) среднезернистый материал (от 0,05 до 0,50 мм). Глауконит присутствует в виде окатанных зерен. В тонких фракциях (менее 0,05 мм) преобладают глинистые, слюдистые и хлоритовые частицы, затем пылевидный кварц и глауконит. В «тяжелой фракции» 76 % приходится на рудные минералы. Карбонаты полностью отсутствуют. Мощность ..... 1 м

K_1. *е*. Слой еще более грубого гравия с песком и желвачками фосфорита. Состав песков тот же, что в слое *д*. Мощность ..... 0,5 м

ж. Глинистые пески с ржавыми пятнами гидроксидов железа. Размеры зерен довольно разнообразные. Более или менее равномерно представлены все фракции – от 0,01 до 2 мм. Преобладает все же (47,5 %) фракция от 0,05 до 0,25 мм. Обломочный материал представлен зернами кварца, кремния, глинистыми комочками, глауконитом и частицами кислых плагиоклазов. Пелитовая фракция (меньше 0,01 мм) составляет 13,8 %. В «тяжелой фракции», кроме 64 % рудных минералов, характерно повышенное содержание эпидота (21 %). Карбонатов нет. Мощность ..... 1,5 м

з. Серая песчанистая глина, отличающаяся от предыдущего горизонта только присутствием большего количества глинистого материала. Мощность ..... 2,0 м

Мощность морских песчаных отложений в этом разрезе составляет 9,5 м. В других разрезах их мощность составляет от 3,5 до 8,0 м

производящих целую гамму эрозионных, делювиальных, озерных и, наконец, морских осадков. Новый цикл прерывает предыдущий на любом этапе и может привести к смыву части слоев. Важно то, что на протяжении всей описанной субмеридиональной полосы длиной около 1000 км проявление циклов было синхронным.

Для описанной полосы можно выделить четыре основных денудационно-седиментационных цикла, обусловивших формирование четырех крупных стратиграфических единиц:

– раннемеловая континентальная толща – нижний мел;

– позднемеловая континентальная толща – сеноман, турон и нижний сенон;

– позднемеловая морская толща – кампан (?) и маастрихт;

– датско-палеогеновая морская толща – датский ярус верхнего мела, палеогеновый и эоценовый ярус палеогена.

Из указанных четырех денудационно-седиментационных циклов два последних привели к формированию морских песков различного состава.

Это было обусловлено наступлением моря в маастрихтское время с севера вдоль горного Урала на опускающуюся Западно-Сибирскую

равнину. Накопление обломочных пород в условиях холодного моря способствовало формированию в северной части полосы пород существенно кварцевого состава. Соединение холодных северных вод через Тургайский пролив с теплыми водами южных морей способствовало накоплению обломочных пород со значительной долей карбонатной примеси. Трансгрессия датско-палеоцен-эоценового времени снова началась со стороны северных морей и привела к формированию существенно кремнистых пород с примесью кремнистого органогенного материала. В палеогеновое время трансгрессия характеризовалась пульсационностью, что обусловило частое чередование мелководных и глубоководных фаций.

Наиболее продуктивные горизонты кварцевых песков характерны для маастрихтских и датских толщ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Формовочные и стекольные пески СССР / А. В. Кузнецов [и др.]. М.: Недра, 1981. 192 с.
2. Ренгартен В. П. Стратиграфия меловых и третичных отложений Восточного Приуралья // Тр. ИГН. Сер.геол. 1951. Вып. 133. № 54. 135 с.
3. Ренгартен Н. В. Минералого-петрографическое исследование меловых и палеоценовых отложений восточного склона Урала // Тр. ИГН. Сер. геол. 1950. Вып. 117. № 41. 67 с.
4. Геология СССР. Т. 12. Кн. 3. М.: Недра, 1973. 632 с.
5. Муниципальное образование Верхнесалдинский район. Историческая справка. URL: http://www.uralstars.com/ex/vsalda
6. Эколого-гидрогеологическое предприятие «Экомониторинг». Кварцевые материалы Урала. URL: http://eggp.narod.ru/spravka/Ural_Kvarzy.html
7. Архангельский Н. И. Мезозойские отложения восточного склона Среднего Урала / Тр. Урал. геолог. управления. Свердловск, 1941. 96 с.

REFERENCES

1. Kuznetsov A. V. et al. 1981, *Formovochnye i stekol'nye peski SSSR* [The molding and glass sands of USSR], Moscow, 192 p.
2. Rengarten V. P. 1951, *Stratigrafiya melovykh i tretichnykh otlozheniy Vostochnogo Priural'ya* [Stratigraphy of the Cretaceous and Tertiary sediments of the Eastern Urals]. *Trudy Instituta geologicheskikh nauk, Seriya geologiya* [Proceedings of the Institute of Geological Sciences. Geology Series], vol. 133, 135 p.
3. Rengarten N. V. 1950, *Mineralogo-petrograficheskoe issledovanie melovykh i paleotsenovykh otlozheniy vostochnogo sklona Urala*. *Trudy Instituta geologicheskikh nauk, Seriya geologiya* [Proceedings of the Institute of Geological Sciences. Geology Series], vol. 117, 67 p.
4. 1973, *Geologiya SSSR* [Geology of the USSR], Moscow, vol. 12, no. 3, 632 p.
5. *Munitsipal'noe obrazovanie Verkhnesaldinskiy rayon. Istoricheskaya spravka.* [Municipal formation of Verkhnaya district. Historical reference]. Available at: http://www.uralstars.com/ex/vsalda
6. *Ekologo-gidrogeologicheskoe predpriyatie «Ekomonitoring». Kvartsevye materialy Urala* [Environmental and hydro-geological enterprise «Environmental monitoring». Quartz material of Urals]. Available at: http://eggp.narod.ru/spravka/Ural_Kvarzy.html
7. Arkhangel'skiy N. I. 1941, *Mezozoyskie otlozheniya vostochnogo sklona Srednego Urala* [Mesozoic deposits of the eastern slope of the Middle Urals], Sverdlovsk, 96 p.

Елена Евгеньевна Слободчикова,
аспирант
lena–09.10@ya.ru
Уральский государственный горный университет,
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Elena Evgen'evna Slobodchikova,
postgraduate researcher
lena–09.10@ya.ru
Ural State Mining University,
Yekaterinburg, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 19-24.
УДК 622.276
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-19-24

НАДСОЛЕВОЙ КОМПЛЕКС ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ОБЪЕКТ ПОИСКОВ УГЛЕВОДОРОДОВ

А. Н. Бармин, Н. Ф. Федорова, И. В. Быстрова

Suprasalt complex of the south-western part of the Caspian Depression - a promising object of hydrocarbons prospecting

A. N. Barmin, N. F. Fedorova, I. V. Bystrova

The subject of research are suprasalt deposits of the sedimentary cover of the southwestern part of the Caspian Depression. The main tectonic events of this region in the Alpine orogeny phase relate to the formation of salt structures in the Upper Cretaceous and Paleocene rocks. Hence, salt tectonics determine the structure of salt and suprasalt structural complexes.
Suprasalt structural complex consists of two structural floors. The lower of these (Upper-Eocene) fills interdome compensation basins, the upper (Miocene-Quaternary) is generally characterized by cloak shaped bedding. The main volume of interdome basins is filled with the Upper-Middle Jurassic deposits, which are leaning against relatively steep slopes of salt domes and flatten out to the centers of basins.
Suprasalt complex is well studied in Astrakhan' arch, where the depth of basins interdome reaches 3000 m. The marks on the base of the Upper Cretaceous carbonates therein range from minus 1200 to minus 2000 m. Above the salt domes in some places persist thin (up to 300–100 m) deposits of Permo-Triassic, Jurassic and lower Cretaceous. The base of the Lower Cretaceous of the salt domes rises to marks of minus 800–1000 m and carbonates of the Upper Cretaceous to minus 500–700 m.
Caspian basin is one of the most important oil and gas regions, which has enormous potential resources of hydrocarbons. Influence of tectonic and paleotectonic factors on the formation of oil deposits and gas of Caspian depression took place under favorable combination of lithofacial, geochemical, hydrogeological, and thermobaric conditions that control oil and gas formation and oil and gas accumulation in sedimentary basins.
The goal was to identify and trace the regional oil and gas complexes of the suprasalt section within the southwestern part of the Caspian Depression.
Within this depression borders, there are the Upper-Triassic, Jurassic and Lower Cretaceous oil and gas complexes, which are associated with the main productive horizons in the southwestern, southeastern and eastern parts of Caspian depression.
The paper gives a full description of all the deposits and oil and gas producing complexes. In the Mesozoic complex of the studied region, authors trace the regional oil and gas complexes, various by the nature of saturation, characteristics of structure and the depths of their occurrence.
Search for hydrocarbons in suprasalt complex of southwestern part of the Caspian Depression is currently very relevant. The deposits occur at affordable depths and have a wide variety of different types of oil and gas traps.
Keywords: Caspian depression; suprasalt deposits; oil and gas complexes; hydrocarbon deposits.

Предметом исследований являются надсолевые отложения осадочного чехла юго-западной части Прикаспийской впадины. Основные тектонические события данного региона в альпийскую фазу складчатости связаны с формированием соляных структур в верхнемеловых и палеоценовых породах. Отсюда строение солевого и надсолевого структурных комплексов определяется соляной тектоникой. Надсолевой структурный комплекс состоит из двух структурных этажей. Нижний (верхнепермский-эоценовый) заполняет межкупольные компенсационные мульды, верхний (миоцен-четвертичный) характеризуется в целом плащеобразным залеганием. Основной объем межкупольных мульд заполнен верхнепермскими-среднеюрскими отложениями, которые прислоняются к относительно крутым склонам соляных куполов и выполаживаются к центрам мульд. Надсолевой комплекс хорошо изучен на Астраханском своде, где глубина межкупольных мульд достигает 3000 м. Отметки подошвы карбонатов верхнего мела в них составляют от –1200 до –2000 м. Над соляными куполами местами сохраняются маломощные (до 300–100 м) отложения пермо-триаса, юры и нижнего мела. Подошва нижнего мела над соляными куполами поднимается до отметок –800–1000 м, а карбонатов верхнего мела – до –500–700 м. Прикаспийская впадина относится к числу важнейших нефтегазоносных регионов, где сосредоточены огромные потенциальные ресурсы углеводородов. Влияние тектонических и палеотектонических факторов на формирование месторождений нефти и газа Прикаспийской впадины происходило при благоприятном сочетании литолого-фациальных, геохимических, гидрогеологических и термобарических условий, которые контролируют нефтегазообразование и нефтегазонакопление в седиментационных бассейнах. Цель работы – выделить и проследить региональные нефтегазоносные комплексы надсолевой части разреза в пределах юго-западной части Прикаспийской впадины. В её пределах выделяются верхнепермско-триасовый, юрский и нижнемеловой нефтегазоносные комплексы, с которыми связаны основные продуктивные горизонты в юго-западной, юго-восточной и восточной частях Прикаспийской впадины. В работе приведено полное описание отложений и нефтегазоносности всех продуктивных комплексов. В мезозойском комплексе исследуемого региона прослеживаются региональные нефтегазоносные комплексы, различные по характеру нефтегазонасыщения, особенностям строения и глубинам залегания. Поиск залежей углеводородов в надсолевом комплексе юго-западной части Прикаспийской впадины в настоящее время весьма актуален. Месторождения залегают на вполне доступной глубине и отличаются широким разнообразием типов нефтяных и газовых ловушек.

Ключевые слова: Прикаспийская впадина; надсолевые отложения; нефтегазоносные комплексы; залежи углеводородов.

Прикаспийская впадина – один из крупнейших геологических объектов мира. В её осадочном чехле сосредоточены огромные скопления углеводородов, что и определяет стратегию поисково-разведочных работ на нефть и газ на юге России в XXI в. Прикаспийская впадина является юго-восточной окраиной докембрийской Восточно-Европейской платформы. Это крупнейшая надпорядковая отрицательная структура. Она характеризуется устойчивым и длительным прогибанием земной коры с накоплением мощных толщ осадочных образований большого стратиграфического диапазона.

Весь ход геологического развития данной территории обусловил своеобразное строение платформенного чехла, формирование в разрезе мощной толщи сульфатно-галогенных отложений кунгурского возраста и, как следствие, присутствие двух крупных структурных этажей. Нижний, подсолевой, сложен карбонатно-терригенными отложениями палеозойского возраста, а верхний, надсолевой, представлен галогенными и преимущественно терригенными отложениями кунгурско-четвертичного возраста. В пределах юго-западной части Прикаспийской впадины выделяются такие структуры, как Астраханский свод, Карасальская моноклиналь, Сарпинский и Заволжский прогибы, Каракульско-Смушковская зона поднятий (рис. 1).

До первой половины 1960-х гг. геолого-геофизическое изучение юго-западной части Прикаспийской впадины производилось эпизодически. Оно было связано в основном с надсолевым мезозойским комплексом пород. Поисковыми работами в надсолевом комплексе был выявлен ряд месторождений газа (Бугринское, Шаджинское, Пустынное, Совхозное и др.). В период 1991–1996 гг. велось изучение мезокайнозойского комплекса сейсморазведкой МОВ-ОГТ повышенного разрешения. Был выявлен ряд структур на Каракульско-Смушковской зоне поднятий и дан прогноз зон развития нефтегазоносных коллекторов. Планомерные исследования территории начались только после подтверждения сейсморазведкой МОВ Астраханского свода. Выполнялось поисковое бурение на подсолевые отложения на Астраханском своде и примыкающей с юга Каракульско-Смушковской зоне поднятий.

В 1976 г. в центральной части свода было выявлено крупнейшее по запасам и уникальное по составу пластового газа Астраханское газоконденсатное месторождение в башкирских карбонатных отложениях, а затем Алексеевское и Табаковское газоконденсатные месторождения. В последние десятилетия ученых и геологов интересуют в основном глубокопогруженные отложения подсолевого комплекса Прикаспийской впадины.

В пределах территории юго-западной части Прикаспийской впадины на сегодняшний день фактический геологический материал неравномерно характеризует разрез по вертикали и латерали.

Анализ обширного геологического материала, полученного в процессе производства геологоразведочных работ, связанных с изучением подсолевой части Прикаспийской впадины, позволяет восстановить

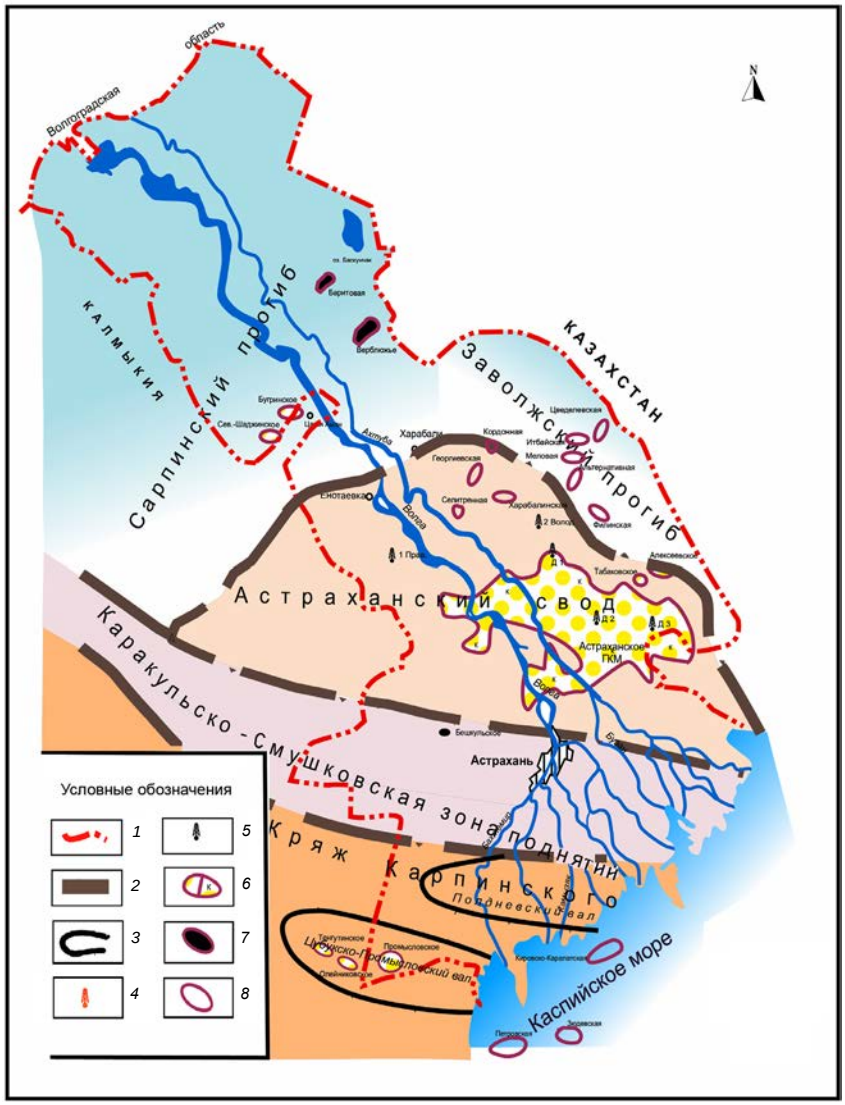


Рисунок 1. Тектоническая схема юго-западной части Прикаспийской впадины. *1* – административные границы; *2* – границы крупных тектонических элементов; *3* – тектонические элементы 2-го порядка; *4* – проектные сверхглубокие скважины на девонские отложения; *5* – в бурении сверхглубокие скважины на девонские отложения; *6* – газовые/газоконденсатные месторождения; *7* – нефтяные месторождения; *8* – локальные структуры, перспективные на нефть и газ / **Figure 1. Tectonic scheme of southwestern part of the Caspian Basin.** *1* – administrative boundaries; *2* – boundaries of major tectonic elements; *3* – tectonic elements of 2nd order; *4* – project ultra deep wells in the Devonian deposits; *5* – drilling ultradeep wells in the Devonian deposits; *6* – gas and gas condensate fields; *7* – oil fields; 8 – local structures, prospective for oil and gas.

ход накопления осадков и выявить закономерности распределения залежей углеводородов и в надсолевой части данной территории. Влияние тектонических и палеотектонических факторов на формирование месторождений нефти и газа Прикаспийской впадины происходит при благоприятном сочетании литолого-фациальных, геохимических, гидрогеологических и термобарических условий, которые контролируют нефтегазообразование и нефтегазонакопление в седиментационных бассейнах [1].

При решении проблемы образования и размещения залежей углеводородов помимо тектонического фактора большое значение приобретает изучение литологических особенностей отложений, определение закономерностей их формирования и распределение в пространстве и во времени. Ряд советских ученых-геологов в своих работах писали, что выяснение этих закономерностей наиболее объективно возможно на историко-генетической основе, позволяющей раскрыть процесс формирования и консервации залежей нефти и газа на протяжении всей истории геологического развития [2].

В истории формирования рассматриваемого района можно выделить несколько тектонических рубежей. Первый связан с окончанием формирования кристаллического фундамента, второй – с формированием карбонатного подсолевого комплекса, третий – с формированием соленосной толщи в мезокайнозойском осадочном разрезе. В кунгурском веке ранней перми у Прикаспийской впадины начался этап развития, сопровождавшийся формированием солеродного бассейна и накоплением специфических для таких эпох осадков – галогенной формации. В процессе формирования галогенной формации наступали непродолжительные по времени периоды, когда проявившиеся тектонические подвижки приводили к изменению высотного положения базиса эрозии. Это сопровождалось увеличением интенсивности эрозионного процесса и привносом в солеродный бассейн водными потоками эродированного материала.

В пределах юго-западной части Прикаспийской впадины не менее распространенной является красноцветная формация, непосредственно связанная с галогенной формацией, поверхность которой служит основанием для перекрывающих красноцветных толщ. В стратиграфическом отношении красноцветная формация относится к верхней перми и триасу и знаменует собой начало нового крупного цикла в геологическом развитии территории. Большая по площади распространения, преимущественно континентального генезиса ассоциация отложений явилась своеобразным нивелиром последующих стадий формирования соляно-купольной тектоники. Красноцветная формация заканчивается красноцветными терригенными породами верхнего триаса и, возможно, нижней юры, хотя последняя на территории юго-западной части Прикаспийской впадины точно не датируется, а лишь предполагается по спорово-пыльцевым комплексам на Маячной площади. Самыми распространенными породами красноцветной формации являются глины, мелкозернистые пески и алевролиты.

Формирование галогенной и красноцветной формации разделило геологическую историю осадконакопления на две крупные по продолжительности эпохи: докунгурскую и мезозойско-кайнозойскую с харак-

терными для каждой из них чертами развития и условиями формирования формаций. Мезозойско-кайнозойская эпоха исследуемого региона характеризовалась многократным чередованием различных по знаку геотектонических движений, что обусловило многочисленные трансгрессии. В результате этого изменялись условия осадконакопления, часто перемещались береговые линии, возникали перерывы и несогласия [3].

На начальной стадии мезозойского осадконакопления происходило формирование терригенной сероцветной формации в условиях морского бассейна с нормальной соленостью. Стратиграфически данная формация охватывает среднюю юру. В верхнеюрское время начался новый этап геологического развития территории не только юго-западной части Прикаспийской впадины, но и граничащей с ней всей эпигерцинской Скифской платформы. Этот этап сопровождался формированием терригенно-галогенной формации. Залегающая выше нижнемеловая терригенная формация имеет региональное распространение по всему югу России.

Начавшиеся в позднепермскую эпоху и продолжавшиеся в течение всего триаса процессы проявления солянокупольной тектоники предопределили распределение верхнепермских и триасовых образований по площади и разрезу. Основной объем межкупольных мульд заполнен верхнепермскими-среднеюрскими отложениями, которые прислоняются к относительно крутым склонам соляных куполов и выполаживаются к центрам мульд [4]. Глубина межкупольных мульд на Астраханском своде достигает 3000 м. Отметки подошвы карбонатов верхнего мела в них составляют от –1200 до –2000 м. Над соляными куполами местами сохраняются маломощные (до 300–100 м) отложения пермо-триаса, юры и нижнего мела. Подошва нижнего мела над соляными куполами поднимается до отметок –800–1000 м, а карбонатов верхнего мела – до –500–700 м (рис. 2). Особый структурный этаж составляют неоген-четвертичные отложения. Они залегают плащеобразно, с размывом перекрывая все нижележащие структуры. Отметки их подошвы составляют –500 м и менее над соляными куполами и более –600 м в межкупольных мульдах и возрастают восточнее Астрахани до –700–800 м.

В юго-западной части Прикаспийской впадины третья часть разреза надсолевого комплекса представлена триасовыми отложениями, которые распространены повсеместно, за исключением центральной части Астраханского свода и высокоподнятых соляных гряд и куполов. Развитие триаса представляет собой классический пример для синклинальных областей. В краевых частях этих структур прослеживаются более древние отложения, а при движении к центральной части синеклизы увеличивается стратиграфическая полнота разреза [3].

Формирование залежей углеводородов обусловливается наличием в том или ином комплексе отложений ловушек и надежных покрышек. Регион исследования в триасовое время имел благоприятный палеотектонический режим длительного устойчивого прогибания, в результате чего нефтегазоматеринские толщи испытали интенсивное погружение с амплитудой, достаточной для возникновения необходимых для нефтегазообразования термобарических условий.

Для территории юго-западной части Прикаспийской впадины были выполнены палеотектонические реконструкции мезокайнозойского комплекса. На основе анализа литолого-фациальных особенностей разреза изучаемой территории были определены пять реперов. Это (снизу вверх) – кровля песчано-алевролитового пласта байосского яруса юрской системы, кровля нижнеаптской песчано-алевролитовой толщи нижнемеловой системы, кровля нижнеальбских песчаных отложений нижнемеловой системы, перекрытых глинистой пачкой в подошве, подошва нижнесантонских известняков верхнего мела, подошва акчагыльских отложений палеогенового возраста. Это позволило восстановить палеотектоническую ситуацию основных нефтегазоносных толщ к различным этапам развития, включая и современный, и определить рубежи формирования и переформирования структур, а также возможность реализации нефтегазоматеринского потенциала пород, что делает возможным проследить основные направления путей миграции углеводородов и аккумуляции их в ловушках [5].

В надсолевом комплексе на соляных куполах обнаружено несколько месторождений газа, стратиграфически приуроченных в основном к нижнему триасу, а также залежи нефти в юрских и меловых отложениях. Практически не исследованными остаются соляные гряды и межкупольные зоны, в которых возможно обнаружение погребенных межкупольных поднятий. В надсолевой части разреза выделяются верхнепермско-триасовый, юрский и нижнемеловой нефтегазоносные комплексы, с которыми связаны основные продуктивные горизонты в юго-западной, юго-восточной и восточной частях Прикаспийской впадины и Скифско-Туранской платформы (рис. 3).

В верхнепермских отложениях промышленные залежи установлены в восточной части Прикаспийской впадины на куполах Кенкияк и Каратюбе. Продуктивные горизонты сложены пластами песчаников и алевролитов мощностью 25–37 м [6]. В юго-западной части Прикаспийской впадины верхнепермско-триасовый нефтегазоносный комплекс сложен терригенными породами. Разрез верхнепермских отложений характеризуется довольно слабым развитием пород-коллекторов.

При опробовании верхнепермских пород в интервале 3750–3693 м эксплуатационной скв. 59 Астраханского ГКМ был получен промышленный приток нефти. Нефть малосернистая, малосмолистая, парафинистая, легкая, плотностью 820 кг/м^3, без сероводорода. Притоки газа дебитом 18,6 тыс. м^2/сут получены из пород верхней перми в интервале 3157–3122 м скв. 2 Бугринской площади; 10,2 тыс. м^2/сут – на Заволжской структуре в интервале 2606–2557 м в скв. 1.

Разрез триасовых отложений сложен мощной (до 3000 м) терригенно-карбонатной толщей, в которой выделяется нижний, средний и верхний триас (рис. 4). Верхний триас сложен глинами. В южном направлении возрастают количество и толщина песчаных прослоев, а также улучшаются коллекторские свойства песчаников (пористость 12–20 %, проницаемость 0,2–0,3 · 10^{-12} м^2); встречающиеся в разрезе известняки замещаются песчаниками [7, 8].

Промышленные притоки получены на Шаджинском, Северо-Шаджинском и Бугринском месторождениях (рис. 1). Состав газа преимущественно метановый (CH_4 – 96,88 %) с небольшим содержанием азота и углекислого газа (N_2 – 2,52; CO_2 – 0,06 %) (табл.).

Второй газоносный пласт залегает в основании баскунчакской серии оленекского яруса. Это также песчано-алевролитовый пласт.

На Шаджинском месторождении при испытании скв. 2 в интервале 2679–2682 м из этого пласта был получен фонтан газа дебитом 472 тыс. м^3/сут на штуцере 14,4 мм. Этот пласт продуктивен и на Совхозном, Бугринском и Пустынном месторождениях.

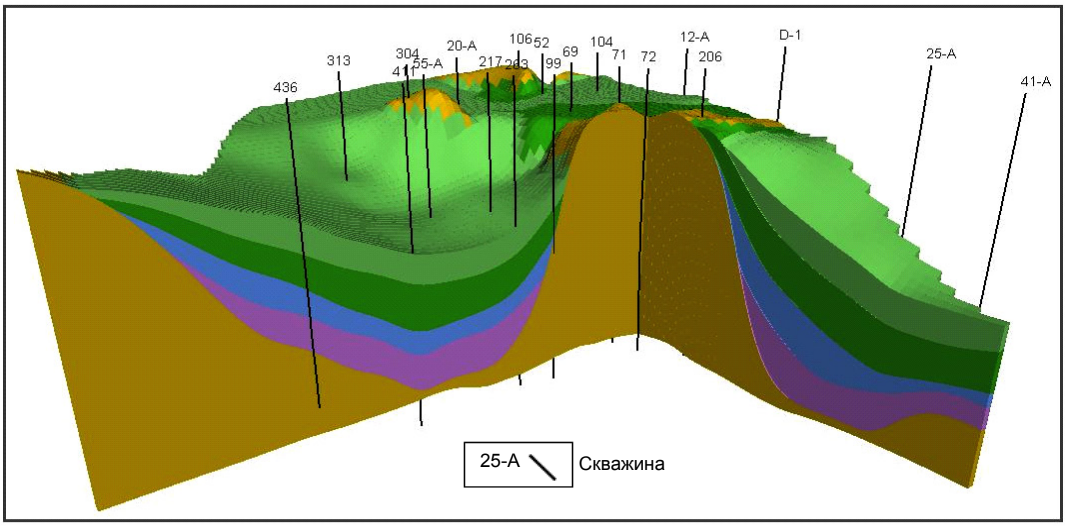


Рисунок 2. Схематический профиль надсолевого комплекса юго-западной части Прикаспийской впадины / Figure 2. Schematic profile of suprasalt complex of southwestern part of the Caspian Basin.

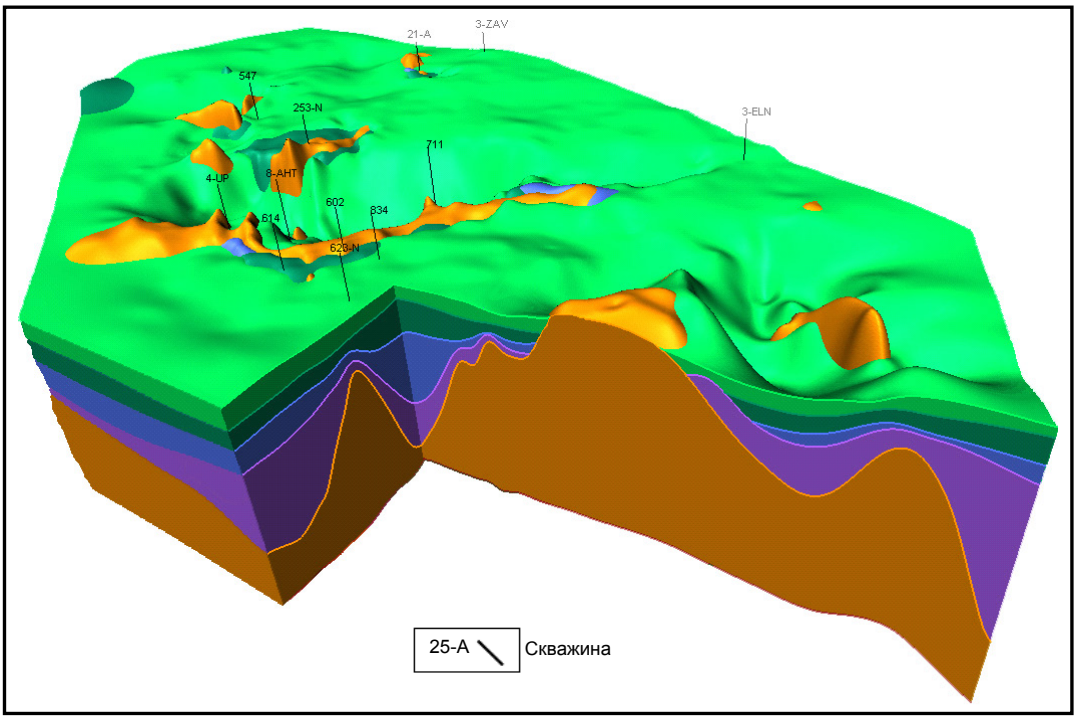


Рисунок 3. Структурные поверхности отложений надсолевого комплекса юго-западной части Прикаспийской впадины / Figure 3. Structural surface of suprasalt complex sediments of southwestern part of the Caspian Basin.

Характеристика компонентного состава газа надсолевого комплекса юго-западной части Прикаспийской впадины.

Площадь	Номер скважины	Интервал глубины залегания продуктивного горизонта, м	Компонентный состав газа, % об.						Дебит, тыс. м³/сут	Диаметр штуцера, мм
			CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	N_2	CO_2		
Шаджинская	2	2724–2730	96,88	0,50	–	–	2,52	0,06	822	Свободный дебит
Шаджинская	2	2679–2682	96,90	0,40	–	–	1,50	1,20	1658	Свободный дебит
Бугринская	2	2614–2620	95,90	0,65	–	–	0,50	2,90	450	15,80
Пустынная	12	2470–2481	98,00	0,40	–	–	0,96	0,65	59,40	10,30
Пустынная	13	2398–2402	97,77	2,20	–	–	0,02	1,10	222	12,50
Пустынная	11	2579–2586	98,00	1,40	0,20	0,08	0,05	0,25	436	Свободный дебит
Совхозная		2638–2642	98,80	0,80	0,12	–	0,30	–	–	При опробовании испытателем пластов получены газовые фонтаны
Совхозная		2691–2708	98,90	0,50	0,13	0,20	0,17	–	–	

Третий газоносный пласт приурочен к баскунчакской серии оленекского яруса.

На Чапаевской соляно-купольной структуре газовая залежь обнаружена в нижнетриасовых, значительно опесчаненных известняках. Здесь происходит фациальное замещение известняков песчаниками. На Чапаевском месторождении получены промышленные притоки из этого пласта. Выявленные в триасовых отложениях месторождения газа находятся в смещенном фазовом равновесии газ–вода.

Также получены непромышленные притоки газа в юго-западной части Прикаспийской впадины на Бугринской и Заволжской площадях. На Бугринском поднятии при испытании скв. 2 получен приток газа дебитом 18,6 тыс. м³/сут, а на Заволжской площади в скв. 1 – 10,2 тыс. м³/сут.

При разведке Астраханского газоконденсатного месторождения в Ширяевской мульде были получены нефтегазопроявления при бурении скважин 12 Астраханской, 23 Ахтубинской, скважин 53, 54, 60, 63, 70, 109 эксплуатационных. Мульда выполнена мощной толщей (около 3000–3600 м) пермо-триасовых отложений, слагающих красноцветную формацию, объем которых превышает 100–150 км² [9].

Характерной особенностью этой мульды является наличие значительного количества на склонах соляных структур карнизов, козырьков. Борта мульды характеризуются довольно крутыми углами, отмечаются заливообразные участки, в пределах которых при наличии в разрезе платов-коллекторов и надежных покрышек могли формироваться ловушки с залежами углеводородного сырья. Всё это свидетельствует о том, что газовые залежи нижнего триаса вторичны и сформированы, возможно, за счет перетоков углеводородов из подсолевого комплекса. Последнее подтверждается приуроченностью всех открытых газовых месторождений к периферийной части обширных межкупольных мульд, в которых соль практически полностью отжата, а изотопные составы углерода триасового и углерода подсолевого газа весьма близки.

Таким образом, при анализе пространственного размещения триасовых месторождений и нефтегазопроявлений намечается связь с характером проявления соляной тектоники.

Все залежи приурочены к зонам с максимальной дифференциацией соли, где по сейсмогравитационным данным прогнозируется разрыв солевого экрана. Большое значение при фильтрации газа из глубоко залегающих горизонтов в структуры – ловушки триасовых отложений – имели зоны интенсивной тектонической трещиноватости, сформировавшиеся в точках экстремумов на сопряжении структур положительного (Астраханский свод) и отрицательного (Сарпинский и Заволжский прогибы) знаков, – региональные флексуры. При формировании залежей газа подобные зоны играли роль подводящих каналов [10].

Подземные воды здесь характеризуются низкой газонасыщенностью, в водорастворенном газе преобладает азот. Вмещающие нижнетриасовые отложения накапливались преимущественно в континентальных, лагунно-континентальных условиях с окислительной обстановкой и характеризуются низким содержанием $C_{орг}$ (0,09–0,18 %), ХБ (0,0018–0,006 %) и УВ (менее $3 \cdot 10^{-3}$ %). Такова же геохимическая характеристика и верхнепермских отложений, что позволяет отнести их к негенерировавшим УВ комплексам.

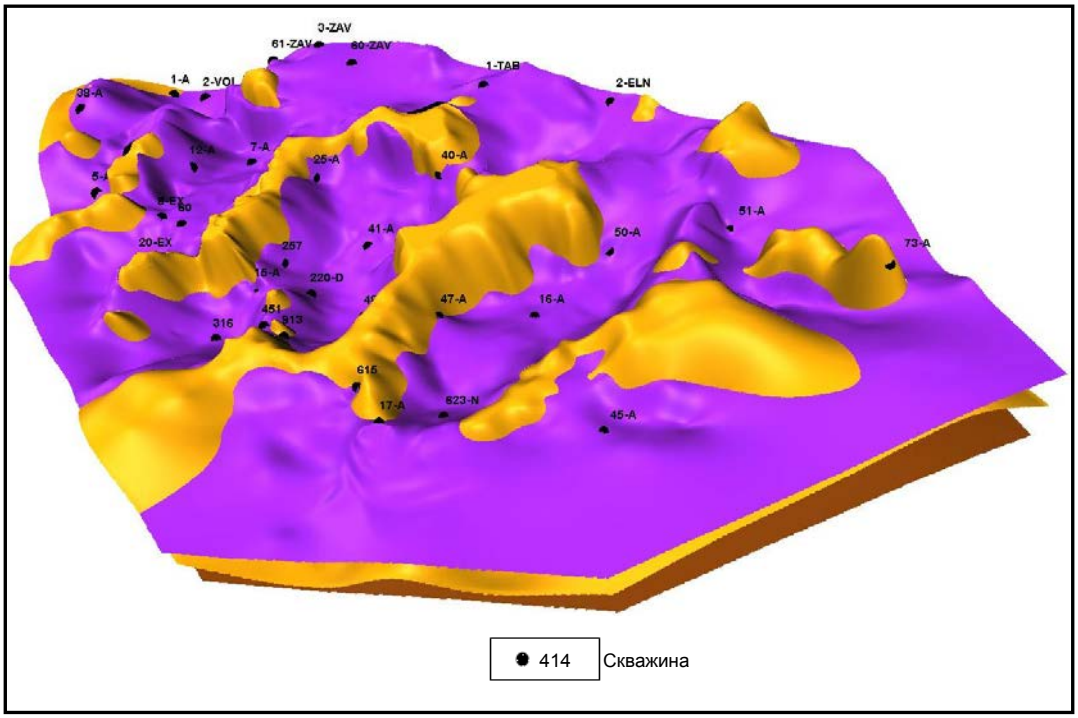


Рисунок 4. Структурная поверхность верхнепермско-триасовых отложений юго-западной части Прикаспийской впадины / Figure 4. Structure surface of Upper Permian the Triassic deposits of south-west part of the Caspian Basin.

Юрский нефтегазоносный комплекс является региональным продуктивным горизонтом не только в Прикаспийской впадине, но и на территории кряжа Карпинского, Восточного Предкавказья, Южно-Эмбинского района, Южного Мангышлака. Данный комплекс на территории исследования приурочен в основном к отложениям средней юры (рис. 3). Породы-коллекторы представлены пористыми разностями песчаников и алевролитов с невысокими фильтрационно-емкостными свойствами. Поиски нефти и газа в среднеюрских образованиях юго-западной части Прикаспийской впадины проводились длительное время на Бешкульском, Тинакском, Разночиновском, Замьяновском, Лебяжинском, Таловском и других поднятиях.

Продуктивный горизонт на Бешкульском месторождении сложен песчаниками. Коллекторские свойства пласта характеризуются открытой пористостью 15 % при проницаемости 0,223 мкм^2. Нефть имеет плотность 0,919 г/см^3, сернистость составляет 1,16–1,57 %, содержание парафина – 2,6 %, выход светлых фракций до 300 °С – 32 %. Температура застывания нефти 10–18 °С [3].

Нефтегазопроявления отмечались также и на Кирикилинской, Тинакской, Разночиновской площадях, где при испытании среднеюрских отложений была получена пластовая вода с плёнками и сгустками нефти. В отложениях средней юры открыто месторождение на Верблюжьей площади. К среднеюрским отложениям приурочен ряд месторождений нефти в юго-восточной и восточной частях Прикаспийской впадины. По продуктивности отложения средней юры стоят на первом месте среди других нефтегазоносных комплексов надсолевой толщи. На многих структурах установлены нефтяные залежи и в верхнеюрских породах.

Нижнемеловой нефтегазоносный комплекс, как и юрский, имеет региональное распространение и представлен породами, сложенными терригенными разностями. Основными нефтегазоносными горизонтами в нижнем мелу являются нижнеаптский и нижнеальбский (рис. 3).

Покрышками для пород-коллекторов служат глинистые отложения, развитые в основном в верхней части этих горизонтов. Породы-коллекторы представлены песчаными и алевролитовыми разностями, пористость которых меняется от 10–20 до 25 %. В основном преобладают коллекторы с достаточно низкой проницаемостью до 0,05 мкм^2.

Породы нижнеаптского подъяруса имеют гораздо лучшие фильтрационно-емкостные свойства. Пористость песчаников-коллекторов преимущественно 15–20 %, а проницаемость – от десятых долей до нескольких единиц мкм^2.

В юго-западной части Прикаспийской впадины продуктивность нижнемеловых отложений установлена на Верблюжьем, Разночиновском месторождениях, Халганском м Маячном соляных куполах (рис. 1). На Верблюжьем месторождении в нижнемеловых песчаниках выявлены четыре нефтяные залежи, приуроченные к тектоническому блоку в северо-восточной части купола.

В южной и восточной частях Прикаспийской впадины в нижнемеловых отложениях установлены три нефтеносных горизонта и открыт ряд месторождений. Нижнеаптские и нижнеальбские песчано-алевролитовые пласты являются основными продуктивными горизонтами мегавала Карпинского, в пределах которого выявлен ряд нефтяных, газонефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений.

Таким образом, в мезозойском комплексе исследуемого региона прослеживаются региональные нефтегазоносные комплексы, различные по характеру нефтегазонасыщения, особенностям строения и глубинам залегания, что подтверждается палеотектоническими исследованиями, полевыми геофизическими работами и поисково-разведочным бурением. Месторождения залегают на вполне доступной глубине и отличаются широким разнообразием типов нефтяных и газовых ловушек.

Мировая практика поисков и разведки углеводородов в аналогичных по своему геологическому строению нефтегазоносных провинциях показала перспективность подобных исследований. Так, нефтегазоносность Северо-Германской впадины, которая по своему строению сравнима с Прикаспийской впадиной, охватывает широкий стратиграфический интервал. Нефтегазоносны палеогеновые, меловые, юрские, триасовые, пермские и каменноугольные отложения. Газовые скопления приурочены в основном к пермским и триасовым отложениям.

Центральноевропейский нефтегазоносный бассейн представляет собой пример широкой нефтегазоносности крупной впадины. В его пределах выявлено свыше 450 месторождений нефти и газа, в том числе более 220 газовых. Основные запасы нефти (свыше 95 %) находятся в мезозойских и кайнозойских отложениях, газа – в пермских и триасовых отложениях (90 %). Коллекторами для нефти и газа служат преимущественно терригенные породы. Формы залежей весьма разнообразны [11].

Обобщенный геологический материал по надсолевому комплексу юго-западной части Прикаспийской впадины позволит нефтегазогеологическим компаниям обратить внимание на данный геологический объект; используя довольно объемный фактический материал, расширить диапазон исследований, провести доразведку открытых ранее структур, используя при этом современные методы изучения, и наметить перспективные площади для первоочередного проведения геологоразведочных работ.

Мезозойский комплекс ещё не исчерпал полностью своих потенциальных возможностей. Поиск залежей углеводородов в надсолевом комплексе юго-западной части Прикаспийской впадины в настоящее время весьма актуален, если учесть небольшие глубины залегания нефтегазоносных комплексов и современное состояние экономики страны.

ЛИТЕРАТУРА
1. Воронин Н. И. Палеотектонические критерии прогноза и поиска залежей нефти и газа. М.: Геоинформмарк, 1999. 288 с.
2. Бакиров А. А. Геологические основы прогнозирования недр. М.: Недра, 1973. 344 с.
3. Федорова Н. Ф. Формации и нефтегазоносность осадочного чехла юго-западной части Прикаспийской впадины: обзор. информ. Сер. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. С. 4–52.
4. Федорова Н. Ф., Григоров В. А. Цикличность осадконакопления и нефтегазоносность отложений осадочного чехла Астраханского свода: обзор. информ. Сер. Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений. М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. 64 с.
5. Bystrova I. W., Fedorova N. F., Smirnova T. S. and others. The paleotectonics and the oil and gas potential of the Jurassic-cretaceous sediments of the north-west Pricaspy // International Conference on European Science and Technology. Munich, Germany. 2013. P. 101–107.
6. Воронин Н. И. Особенности геологического строения и нефтегазоносность юго-западной части Прикаспийской впадины. Астрахань: АГТУ, 2004. 163 с.
7. Воронин Н. И., Федоров Д. Л. Геология и нефтегазоносность юго-западной части Прикаспийской синеклизы. Саратов: СГУ, 1976. 190 с.
8. Кулаков С. И., Серебряков О. И. Газоносность триасовых отложений юго-западной части Прикаспийской впадины // Нефтегазовая геология и геофизика. 1971. № 9. С.12–15.
9. Григоров В. А., Ушивцева Л. Ф. Предпосылки поисков залежей углеводородов в пермских отложениях Ширяевской мульды // Проблемы освоения Астраханского газоконденсатного месторождения: науч. труды АНИПИгаз. Астрахань, 1999. С. 28–29.
10. Федорова Н. Ф., Быстрова И. В. Формации осадочного чехла Прикаспийской впадины. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 195 с.
11. Высоцкий И. В., Высоцкий В. И., Оленин В. Б. Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран. М.: Недра, 1990. 405 с.

REFERENCES
1. Voronin N. I. 1999, *Paleotektonicheskie kriterii prognoza i poiska zalezhey nefti i gaza* [Paleotectonic criteria of forecasting and search of oil and gas deposits], Moscow, 288 p.
2. Bakirov A. A. 1973, *Geologicheskie osnovy prognozirovaniya nedr* [The geological foundations of subsoil prediction], Moscow, 344 p.
3. Fedorova N. F. 2005, *Formatsii i neftegazonosnost' osadochnogo chekhla yugo-zapadnoy chasti Prikaspiyskoy vpadiny* [Formations and petroleum potential of sedimentary cover of southwestern part of the Caspian depression]. *Obzor. inf. Ser. Razrabotka i ekspluatatsiya gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy* [Review of information Series Development and exploitation of gas and gas condensate fields], Moscow, pp. 4-52.
4. Fedorova N. F., Grigorov V. A. 2004, T*siklichnost' osadkonakopleniya i neftegazonosnost' otlzheniy osadochnogo chekhla Astrakhanskogo svoda* [The cyclicity of sedimentation and oil and gas deposits of the sedimentary cover of Astrakhan Arch]. *Obzor. inf. Ser. Geologiya i razvedka gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy* [Review of information. Series Geology and exploration of gas and gas condensate fields], Moscow, 64 p.
5. Bystrova I. W., Fedorova N. F., Smirnova T. S., Fedorova A. A. 2013, The paleotectonics and the oil and gas potential of the Jurassic-cretaceous sediments of the north-west Pricaspy, International Conference on European Science and Technology, Munich, Germany, pp. 101–107.
6. Voronin N. I. 2004, *Osobennosti geologicheskogo stroeniya i neftegazonosnost' yugo-zapadnoy chasti Prikaspiyskoy vpadiny* [Features of a geological structure and petroleum potential of southwestern part of the Caspian depression], Astrakhan', 163 p.
7. Voronin N. I., Fedorov D. L. 1976, *Geologiya i neftegazonosnost' yugo-zapadnoy chasti Prikaspiyskoy sineklizy* [Geology and petroleum potential of southwestern part of the Caspian syncline], Saratov, 190 p.
8. Kulakov S. I., Serebryakov O. I. 1971, *Gazonosnost' triasovykh otlozheniy yugo-zapadnoy chasti Prikaspiyskoy vpadiny* [Gas-bearing of Triassic deposits of south-western part of the Caspian depression]. *Neftegazovaya geologiya i geofizika* [Petroleum geology and geophysics], no. 9, pp. 12–15.
9. Grigorov V. A., Ushivtseva L. F. 1999, *Predposylki poiskov zalezhey uglevodorodov v permskikh otlozheniyakh Shiryaevskoy mul'dy* [Background of searches of hydrocarbon deposits in the Permian deposits of Shiryaevo basin]. *Problemy osvoeniya Astrakhanskogo gazokondensatnogo mestorozhdeniya: nauch. trudy ANIPIgaz* [Problems of the Astrakhan gas condensate field: scientific. Astrakhan Research and Design Institute of Gas Industry works], Astrakhan', pp. 28–29.
10. Fedorova N. F., Bystrova I. V. 2012, *Formatsii osadochnogo chekhla Prikaspiyskoy vpadiny* [Formation of the sedimentary cover of the Caspian Basin]. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 195 p.
11. Vysotskiy I. V., Vysotskiy V. I., Olenin V. B. 1990, *Neftegazonosnye basseyny zarubezhnykh stran* [Oil and gas basins of foreign countries], Moscow, 405 p.

Александр Николаевич Бармин,
доктор географических наук, профессор
abarmin60@mail.ru
Надежда Федоровна Федорова,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент
nadezhda.fedorova.59@ inbox.ru
Инна Владимировна Быстрова,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Астраханский государственный университет,
Россия, Астрахань, ул. Татищева, 20а

Aleksandr Nikolaevich Barmin,
Dr, Professor
abarmin60@mail.ru
Nadezhda Fedorovna Fedorova,
PhD, Associate Professor
nadezhda.fedorova.59@ inbox.ru
Inna Vladimirovna Bystrova,
PhD, Associate Professor

Astrakhan State University,
Astrakhan', Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 25-27.
УДК 553.982
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-25-27

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА МЕЗОКАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЖАРЛЫ-САТЛИНСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЙОНА НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

В. Ш. Гурбанов, Н. Р. Нариманов, Л. А. Султанов, М. С. Бабаев

Geological structure and reservoir properties of meso-cenozoic deposits of Dzharly-Saatli oil and gas region at great depths

V. Sh. Gurbanov, N. R. Narimanov, L. A. Sultanov, M. S. Babaev

The paper presents the results of comprehensive petrophysical studies of rock samples, Meso-Cenozoic sediments taken from drilled exploratory wells and geological material of areas of Dzharly-Saatli oil and gas region, with widespread productive strata deposits (PT-Lower Pliocene) that have defined reservoir properties. Authors conducted the studies in the atmospheric and thermodynamic conditions and carried out an analysis of the interpretation of reservoir properties of sedimentary and igneous rocks from the deep exploration wells of areas of Dzharly-Saatli petroleum district. The analysis and interpretation of geological, geophysical and petrophysical materials established that oil and gas bearing reservoirs are mainly related to fractured, by volcanic-sedimentary and carbonate rocks. These brief petrophysical rocks characteristics of the crust sections in Dzharly-Saatli oil and gas region show that all kinds of rocks are characterized by an identical composition, the same degree of metamorphism. Based on the tabulation authors has prepared petrophysical graph showing the change in porosity of the section. The graph shows that with depth, rock porosity decreases with the increase of density and velocity of propagation of ultrasonic waves. The study established dependencies between the physical parameters for individual rocks species, depending on the physical properties and material composition of the rock. *Keywords:* deposits sands, marine, paleogene, origin, formation, section.

Keywords: rocks; formation; porosity; depth; slit; density; petrophysics; horizon; drilling; geophysics; petroleum accumulation.

В работе приведены результаты комплексных петрофизических исследований образцов пород мезокайнозойских отложений, взятых из пробуренных поисково-разведочных скважин и геологического материала площадей Джарлы-Саатлинского нефтегазоносного района, где широко распространены отложения продуктивной толщи (ПТ-нижний плиоцен), и определены их коллекторские свойства. Исследования проводились в атмосферных и термодинамических условиях. Осуществлен также анализ интерпретации коллекторских свойств осадочных и магматических пород из глубоких разведочных скважин площадей Джарлы-Саатлинского нефтегазоносного района. В результате анализа и интерпретации геолого-геофизических и петрофизических материалов установлено, что к нефтегазоносным коллекторам относятся в основном трещиноватые вулканогенно-осадочные и карбонатные породы. Приведенные краткие петрофизические характеристики пород разреза земной коры в Джарлы-Саатлинском нефтегазоносном районе показывают, что все разновидности пород характеризуются идентичным составом, одинаковой степенью метаморфических преобразований. На основании составленной таблицы был подготовлен петрофизический график, отражающий изменение пористости пород по разрезу. Как видно из графика, с глубиной пористость пород уменьшается с повышением плотности и скоростей распространения ультразвуковых волн. Установлены зависимости между физическими параметрами для отдельных разновидностей пород, в зависимости от физических свойств и вещественного состава породы. Исследования проводились в атмосферных и термодинамических условиях.

Ключевые слова: породы; свита; пористость; глубина; скважина; плотность; петрофизика; горизонт; бурение; геофизика; нефтегазонакопление.

Южно-Каспийская мегавпадина (ЮКВ), в состав которой входит большая часть территории Азербайджанской Республики, является одной из потенциально богатейших нефтегазоносных территорий региона. Освоение нефтегазовых ресурсов этих территорий может оказать весьма существенное влияние на дальнейшее развитие экономики не только Азербайджана, но и ряда европейских государств.

Изучение вещественного состава, строения и коллекторских свойств пород на различных глубинах с помощью сверхглубинного бурения открывает широкие перспективы для разработки методов надежной геологической интерпретации результатов сейсмических и других методов геофизических исследований с целью выявления скоплений нефти и газа.

В геологическом строении Джарлы-Саатлинского нефтегазоносного района Средне-Куринской впадины принимают участие отложения четвертичной системы, апшерона, акчагыла, продуктивной толщи (верхний плиоцен ПТ), сармата, чокрака, майкопской серии, меловые породы и вулканогенные образования мелового возраста.

Установлено, что с юго-запада на северо-восток происходит постепенное уменьшение мощностей отдельных стратиграфических подразделений, последовательное выклинивание более нижних горизонтов олигоцен-миоцена. Мезозойская структура облегания Кюрдамирского выступа кристаллического основания подвергалась длительному размыву (от апта до сармата) в повышенной её части, что способствовало разрушению и переформированию содержащихся в них скоплений нефти и газа [1, 2].

Как показали данные бурения скважин, площади Сор-сор и Караджалы, расположенные на северо-западном продолжении Кюрдамирского выступа, имеют геологическое строение, идентичное всей этой тектонической зоне. Однако при этом геологическое строение структурной зоны Джарлы–Сор-сор–Караджалы существенно отличается от Мурадханлинского поднятия, а вулканогенные образования на площадях Джарлы и Сор-сор не имеют непосредственного контакта с нефтегазопроизводящими свитами палеоген-неогеновой системы.

Перспективы дальнейших поисков залежей нефти и газа связаны с северо-восточным склоном выступа, где при благоприятных структурно-фациальных условиях могут быть обнаружены залежи в коре выветривания, а также и литологические и стратиграфические залежи в большом диапазоне осадочных мезокайнозойских образованиях, облегающих выступ.

Результаты интерпретации материалов, петрофизических данных ГСЗ, КМПВ и гравиметрии показали, что строение земной коры в пределах Кюрдамирского выступа может быть представлено в виде приподнятого блока с глубиной залегания поверхности кристаллических пород в 7–8 км и с граничной скоростью от 6,0 до 7,3 км/с. Как следует из глубины залегания поверхности кристаллического фундамента, мощность осадочной толщи в пределах Кюрдамирского выступа изменяется в пределах 7–8 км.

Результаты изучения коллекторских характеристик более чем в тысяче образцов керна в этом районе, увязанные с данными промысловой геофизики, были ранее довольно подробно описаны [3].

Изучены физические свойства (плотность, пористость, магнитная восприимчивость, скорость распространения упругих волн и др.) порфиритов, андезитов, базальтов и других пород из разных стратиграфических подразделений и в различных условиях (табл.) [4, 5].

Таким образом, эксперименты показали, что в центральной части Куринской впадины на глубине 8–10 км приподнятый блок земной коры по вещественному составу может быть представлен андезитами, не подвергшимися изменениям.

В основном изучена центральная часть Куринской впадины на примере Саатлинской и других сверхглубоких скважин; результаты приво-

Изменение физических свойств пород со стратиграфической глубиной Джарлы-Саатлинского района.

Стратиграфическое подразделение	Интервал глубины, м	Литология	Карбонатность,%	Пористость,%	Проницаемость, 10^{-15} м^2	Плотность σ, г/см^3	Скорость распространения упругих волн, *v*, м/с
Древний Каспий	2100–2585	Песчано-глинистый алевролит	–	15,0–30,0 22,5(2)	Н/п	2,2–2,3 2,25(2)	2000–2300 2100
Апшерон	2590–2595	Глинистый алевролит	–	11,0	–	2,40	2800
Акчагыл	2700–2720	Глинисто-песчанистый алевролит	–	20,0	Н/п	2,30	2200
Продуктивная толща	2710–2874	Алевритовый песчаник	8,6–24,6 15,8(8)	11,2 – 24,6 17,9(8)	0,6–444,1 150,0(4)	2,01–2,28 2,19	1900–2050 1950(4)
Миоцен	2879–2971	Аргиллитовый песчаник	17,8–98,5 77,2(6)	5,7– 29,8 19,7(4)	Н/п	2,08–2,30 2,22	2100–2300 2100
Эоцен	2780–2925	Известковый песчаник	–	4,0–14,0 8,6(7)	Н/п	2,2–2,7 2,5(7)	4000–5000 4660(3)
Маастрихт	3033–3138	Песчанистый известняк Андезитовый порфирит	87,6–99,0 93,9(3)	0,9–4,4 2,65(2)	Н/п	2,48–2,76 2,68	3200–3800 3500
Коньяк	3174–3178	Андезитовый порфирит	96,9	5,3	Н/п	2,65	3300
Сеноман	3271–4609	Андезитовый порфирит	1,2–75,2 26,1(5)	1,2–17,7 6,3(10)	Н/п	2,68	3500
Верхний мел	2950–5965	Алеврито-известняковый андезитобазальт	–	1,0–14,0 4,9(39)	Н/п	2,4–2,9 2,7(38)	3000–5000 4300(26)

Примечание: в числителе – экстремальные значения, в знаменателе – средние значения; н/п – непроницаемые.

дятся на основании комплексного изучения керновых материалов, отобранных в процессе бурения до глубины 8267 м.

Исследования физических свойств вскрываемого сверхглубоким бурением разреза земной коры комплексом методов геофизических исследований скважин (ГИС) и петрофизики дали возможность выявить важные закономерности между вещественным составом осадочных и вулканогенных образований, вскрытых скважиной, и их физическими свойствами [5].

Главный фон составляют кислые эффузивы с подчиненным количеством андезитов, среди которых залегают, по-видимому, согласные и секущие тела базальтов.

Приведённые в таблице краткие петрофизические характеристики пород разреза земной коры в Джарлы-Саатлинском нефтегазоносном районе показывают, что все разновидности осадочных пород от эоцена до древнекаспийских представлены терригенными разностями за исключением эоцена, содержащего также известняки. В свою очередь, верхнемеловые породы сложены в основном эффузивами андезитового, базальтового состава, чередующимися с песчаниками, алевритами и известняками.

Установлено, что все разновидности эффузивов относятся к средним и основным породам нормальной щелочности.

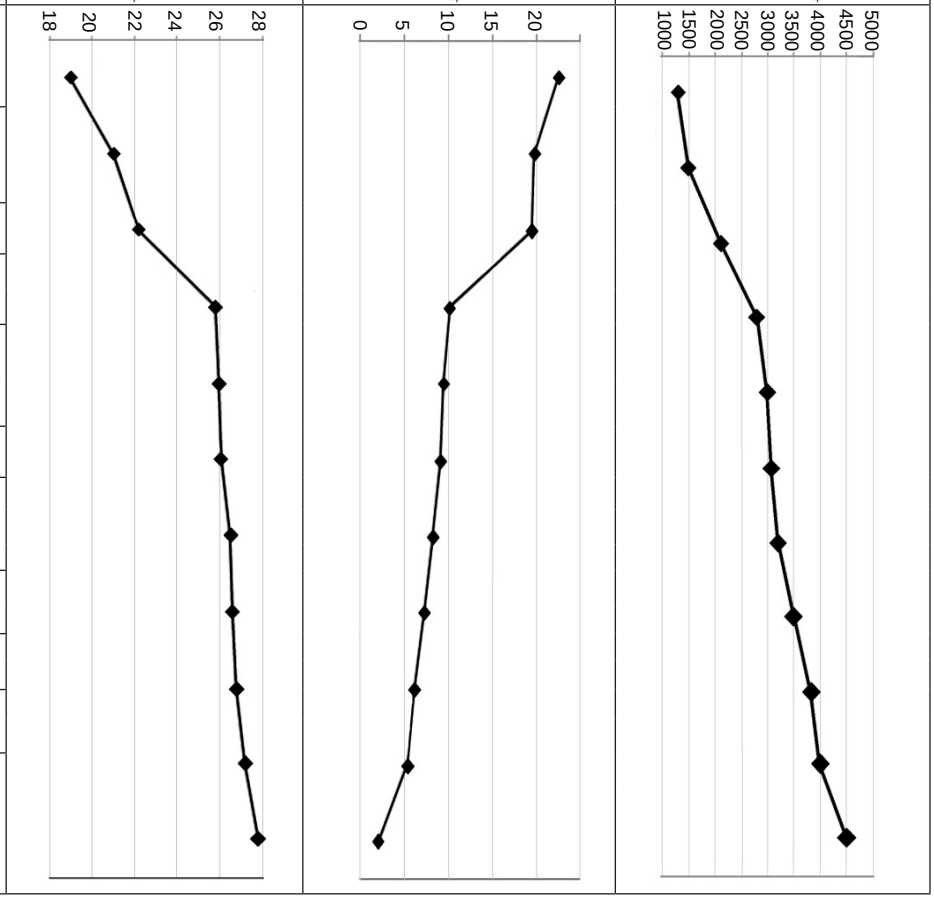
Исследования показывают, что физические особенности одновозрастных и одноименных пород изменяются в результате геолого-физических процессов, приводя к разным результатам. Были изучены коллекторские свойства пород ПТ. Данные, отражающие физические свойства Джарлы-Саатлинского нефтегазоносного района во времени и пространстве, а также геологические особенности различного типа пород-коллекторов и закономерности их распространения приведены в таблице. На основании этих данных была построена петрофизическая модель (рис.), отражающая коллекторские свойства участка. Как следует из модели, в коллекторских свойствах пород с глубиной создаётся определенное напряжение, то есть повышение плотности и скорости распространения ультразвуковых волн сопровождается понижением пористости. Это является следствием того, что коллекторские свойства пород в глубоких слоях по сравнению с верхними слоями уменьшаются.

Как следует из графиков (рис.), происходит возрастание плотности пород с глубиной. Этот процесс происходит относительно интенсивно в апшерон-миоценовых отложениях, представленных терригенными разностями, и более интенсивно в альб-аптских породах, состоящих из песчаников и известняков. Далее с глубиной от баррема до верхней юры разрез представлен карбонатно-терригенными толщами, а юрский разрез представлен исключительно эффузивами, состоящими из андезитов и базальтов. Несмотря на такую разнотипность пород, их плотность относительно равномерно и весьма слабо возрастает с глубиной. С плотностью пород хорошо коррелируется скорость распространения сейсмических волн, судя по параллельности их графиков. В целом в обоих случаях происходит нарастание рассматриваемых параметров с глубиной почти с одинаковой геометрией графиков. В свою очередь, график изменения пористости с глубиной является зеркальным отражением ранее рассмотренного, т. е. наблюдается обратная зависимость между плотностью пород, скоростью сейсмических волн и пористостью пород независимо от типа пород и глубины их залегания.

Известно, что горные породы в естественных условиях на больших глубинах подвергаются действию сил, вызванных различными физическими и химическими явлениями. Основными из них являются геостатическое давление, возникающее в поровом пространстве пород, и температура, возрастающая с глубиной.

На основании обобщения полученных экспериментальных данных по ГИС и петрофизике вулканогенную толщу до глубины 8000 м можно расчленить на несколько интервалов [6] в соответствии с вещественным составом пород.

Глубина *H*, м	Стратиграфия и интервал глубины	Литология	Плотность, $\sigma_{ср}$, г/см³	Пористость, $m_{ср}$,%	Скорость распространения упругих волн $v_{ср}$, м/с
0 850	Постплиоцен (0–850)	Аргиллит, глина			
860 2700	Апшерон-акчагыл (860–2700)	Глина, песчаник			
2800	Миоцен (2700-2828)	Песчаник			
2900 3000	Альб-апт (2828–3048)	Песчанистый известняк			
3100 3200	Баррем (3048–3157)	Известковый песчаник			
	Кимеридж (3157–3200)	Песчанистый известняк			
3300 3400	Верхний Оксфорд (3207–3445)	Песчаник			
3500 3600	Нижний Оксфорд (3445-3540)	Песчаник			
3600 3700 3800 3900	Средняя и верхняя юра (3540-8267)	Андезит Базальт			
4000 4000 8000		Базальт, андезит			



Графики изменения пористости и скорости упругих волн в зависимости от литологического состава, плотности и глубины залегания / Graphs of changes of porosity and velocity of elastic waves depending on the lithological composition, density and depth.

По результатам статистической обработки определены закономерности распространения и количественная оценка отдельных параметров, а также проведено сопоставление физических и геохимических параметров отдельных разновидностей пород и стратиграфических подразделений и изучена их выдержанность по региону. Установлены парные зависимости между физическими параметрами для отдельных разновидностей пород, зависимости между физическими свойствами и вещественным составом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмедов А. М., Гусейнов А. Н., Ханларова Ш. Г. Новые данные глубокого бурения на площади Джарлы // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1973. № 12. С. 9–13.
2. Салманов А. М., Сулейманов А. М., Магеррамов Б. И. Палеогеология нефтегазоносных районов Азербайджана. Баку, 2015. 470 с.
3. Суваров Д. Г., Султанов Л. А. Результаты петрофизических исследований Куринской впадины // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 2008. № 3. С. 1–6.
4. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых / под ред. Н. Б. Дортман. М.: Недра, 1976. 527 с.
5. Составление каталога коллекторских свойств мезокайнозойских отложений месторождений нефти-газа и перспективных структур Азербайджана: отчет о НИР / Науч.-исслед. ин-т геофизики. Баку, 2010.
6. Салехли Т. М., Султанов Л. А. Характеристика физических свойств коллекторов нефти и газа глубоких скважин Среднекуринской впадины при различных термодинамических условиях // Доклад Всесоюз. семинара. М.: МИНХиГП им. И. М. Губкина, 1975. С. 71–74.

REFERENCES

1. Akhmedov A. M., Guseynov A. N., Khanlarova Sh. G. 1973, *Novye dannye glubokogo bureniya na ploshchadi Dzharly* [New data on the deep drilling of Dzharly area]. *Azerbaydzhanskoe neftyanoe khozyaystvo* [Azerbaijan oil economy], no. 12, pp. 9–13.
2. Salmanov A. M., Suleymanov A. M., Magerramov B. I. 2015, *Paleogeologiya neftegazonosnykh rayonov Azerbaydzhana* [Paleogeology of oil and gas regions of Azerbaijan], Baku, 470 p.
3. Suvarov D. G., Sultanov L. A. 2008, *Rezul'taty petrofizicheskikh issledovaniy Kurinskoy vpadiny* [The results of petrophysical studies of Kura depression]. *Azerbaydzhanskoe neftyanoe khozyaystvo* [Azerbaijan oil economy], no. 3, pp. 1–6.
4. ed. Dortman N. B. 1976, *Fizicheskie svoystva gornykh porod i poleznykh iskopaemykh* [The physical properties of rocks and minerals], Moscow, 527 p.
5. 2010, *Sostavlenie kataloga kollektorskikh svoystv mezokaynozoyskikh otlozheniy mestorozhdeniy nefti-gaza i perspektivnykh struktur Azerbaydzhana: otchet o NIR* [Making of the catalog of reservoir properties of Meso-Cenozoic deposits of oil and gas and perspective structures of Azerbaijan: research report], Baku.
6. Salekhli T. M., Sultanov L. A. 1975, *Kharakteristika fizicheskikh svoystv kollektorov nefti i gaza glubokikh skvazhin Srednekurinskoy vpadiny pri razlichnykh termodinamicheskikh usloviyakh* [Characterization of the physical properties of oil and gas reservoirs of deep wells of Middle Kur depression at different thermodynamic conditions]. *Doklad Vsesoyuznogo seminara* [All-Union Seminar Report], Moscow, pp. 71–74.

Гурбанов Вагиф Шыхы оглы,
доктор геолого-минералогических наук, профессор
vagifqurbanov@mail.ru
Нариманов Нариман Рустам оглы,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Султанов Латиф Агамирза оглы,
научный сотрудник
Бабаев Маис Саркер оглы,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Азербайджан, Баку, пр-т Азадлыг, 20

Gurbanov Vagif Shykhy ogly,
Dr, Professor
vagifqurbanov@mail.ru
Narimanov Nariman Rustam ogly,
PhD, Associate Professor
Sultanov Latif Agamirza ogly,
Research Associate
Babaev Mais Sarker ogly,
PhD, Associate Professor
Azerbaijan State University of Oil and Industry,
Baku, Azerbaijan

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 28-31.
УДК 624.131.43+669.712
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-28-31

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО И ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

О. Ю. Ширинкин, В. А. Елохин

Physical and mechanical properties of technogenic soils on the territory of electrolysis and alumina production

O. Yu. Shirinkin, V. A. Elokhin

The subject of research are technogenic soils. The objective is to study physical and mechanical properties of soils, and, using methods of mathematical statistics, to identify patterns in the distribution of the studied parameters. Territory of research is in the southeastern part of the Kamensk-Ural'sk town and includes the territories of the alumina and electrolysis production. Stratum of foundation soils is inhomogeneous, within it are allocated 14 engineering-geological elements (EGE). Bulk soil represents dumps of natural soils and waste products (slag, concrete, construction waste). This study presents the main statistical indicators of physical and mechanical properties of anthropogenic soils tQ. In order to identify links between the studied parameters and determine the factors that affect their distribution, we performed correlation, cluster and factor analysis. Correlation analysis revealed that in technogenic soils the strongest positive correlation is between such parameters as yield strength – limit lamination (r = 0,83) and yield strength – plasticity (r = 0,84), at the critical value of correlation coefficient equal to 0.36. The revealed correlations allowed us to compile the regression equations. According to the results of cluster analysis, we grouped related pairs of indicators into clusters. The studies revealed that salination of soils of industrial site develops unevenly over the area and depth. Correlation analysis revealed that in technogenic soils tQ the strongest relationship is between the contents of hydrocarbonate and sodium (r = 0,75), in addition, hydrogen has a direct positive relation to sodium and hydrogen index (r = 0.56 and r = 0,51, respectively), and sodium is linked with sulfate (r = 0,62) and chlorine (r = 0,48) at a critical value of the correlation coefficient of 0.48. According to the results of cluster analysis, authors grouped all the components into several clusters. The research of physical and mechanical properties of technogenic soils of basements and foundations of buildings and structures of electrolysis and alumina production of Ural aluminum factory allows us to conclude that the physical and mechanical properties are determined by the composition of soils. Mainly, argillaceous rocks are exposed to salinity, and to a lesser extent – sand and gravel residuals.

Keywords: soil; physical and mechanical properties of soils; electrolytic and alumina production; methods of mathematical statistics.

Предметом исследования являются техногенные грунты. Цель работы – изучить физико-механические свойства грунтов и с помощью методов математической статистики выявить закономерности в распределении исследованных параметров. Участок исследований, включающий территории глиноземного и электролизного производства, расположен в юго-восточной части города Каменска-Уральского. Толща грунтов оснований является неоднородной, в её пределах выделяется 14 инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Насыпной грунт представляет собой отвалы естественных грунтов и отходов производства (шлаки, бетон, строительный мусор). В работе приведены основные статистические показатели физико-механических свойств техногенных грунтов *tQ*. С целью выявления связей между исследованными параметрами и определения факторов, влияющих на их распределение, выполнены корреляционный, кластерный и факторный анализы. Корреляционный анализ позволил установить, что в техногенных грунтах наиболее сильная положительная связь отмечается между такими параметрами, как предел текучести – предел раскатывания (r = 0,83); предел текучести – число пластичности (r = 0,84) при критическом значении коэффициента корреляции, равном 0,36. Выявленные корреляционные связи позволили составить уравнения регрессии. В ходе исследований установлено, что засоление грунтов промплощадки развивается неравномерно по площади и глубине. Корреляционный анализ позволил установить, что в техногенных грунтах *tQ* наиболее сильная связь отмечается между содержаниями гидрокарбоната и натрия (r = 0,75), кроме того, гидрокарбонат имеет прямую положительную связь с натрием и водородным показателем (r = 0,56 и r = 0,51 соответственно), а натрий связан с сульфатом (r = 0,62) и хлором (r = 0,48) при критическом значении коэффициента корреляции 0,48. По результатам кластерного анализа все компоненты сгруппировались в несколько кластеров. Проведенные исследования физико-механических свойств техногенных грунтов оснований и фундаментов зданий и сооружений электролизного и глиноземного производства Уральского алюминиевого завода позволяют сделать вывод, что физико-механические свойства определяются составом грунтов, а засолению подвержены главным образом глинистые породы и в значительно меньшей степени – песчано-гравийные разности.

Ключевые слова: грунты; физико-механические свойства грунтов; электролизное и глиноземное производство; методы математической статистики.

Участок исследований, включающий территории глиноземного и электролизного производства, расположен в юго-восточной части города Каменска-Уральского и приурочен к зоне развития эффузивных пород андезибазальтового состава среднедевонского возраста. Коренные породы в верхней части разреза разрушены до состояния дресвяно-щебенистого и глинистого материала, образуя соответственно обломочную и глинистую зоны коры выветривания материнских пород. На образованиях древней коры выветривания с угловым несогласием залегает толща гравийно-галечниковых и песчано-глинистых пород нижнемелового возраста, перекрытых маломощным чехлом аллювиально-делювиальных четвертичных отложений, скрывающихся под слоем современных техногенных образований.

Инженерно-геологический разрез площадки до глубины 20 м слагают следующие разновидности грунтов (сверху вниз).

Техногенные образования tQ представляют собой планомерные насыпи естественных грунтов (щебень, песок, глина, почва) и производственных отходов (шлаки, металл, строительный мусор), а также асфальтобетонное дорожно-площадное покрытие; распространены на всей территории с поверхности до максимальной глубины 6,0 м.

Аллювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста adQ представлены глинами, реже суглинками коричневого цвета от твердой до тугопластичной консистенции, с карбонатными стяжениями, редкими включениями гравия и гальки кварца, участками – с примесью органики. Имеют площадное распространение с глубины 0,2–2,5 м мощностью слоя от 0,5 до 5,5 м.

Аллювиальные песчаные и гравийно-галечниковые отложения нижнемелового возраста aK_1 залегают под четвертичными глинами. Верхняя часть разреза представлена песками желто-коричневого и серого цвета, полимиктового и кварцевого состава, от гравелистых до средней крупности. Отложения неоднородные, влажные и водонасыщенные. Залегают выдержанным слоем мощностью от 0,3 до 0,7 м. В нижней части разреза пески подстилаются гравийно-галечниковыми грунтами желтовато-коричневого цвета полимиктового состава, слабоокатанными, влажными и водонасыщенными. Мощность слоя от 1,0 до 5,0 м.

Аллювиальные глинистые отложения нижнемелового возраста aK_1 представлены глинами и суглинками желтовато-коричневого, охристого цвета, пестроцветными, от твердой до тугопластичной консистенции, с тонкими прослоями мелких и пылеватых песков, с включениями гальки кварца и конкреций лимонита. Подстилают (иногда замещают) песчано-гравийные разности с глубины 2,4–7,0 м, мощность слоя от 0,4 до 9,1 м.

Элювиальные образования дисперсной зоны коры выветривания eMZ представлены глинами и суглинками серо-голубого, синего, вишневого цвета, твердой и полутвердой (редко тугопластичной) консистенции, с дресвой и щебнем порфиритов от 10 до 40 %. Обнаружены на глубине от 4,5 до 13,0 м, вскрытая мощность достигает 15,5 м.

Элювиальные образования обломочной зоны коры выветривания eMZ представлены дресвяно-щебенистыми обломками порфиритов зеленовато-серого цвета с глинистым заполнителем от 20 до 40 %; обнаружены на глубине от 6,0 до 12,0 м, вскрытая мощность составила 1,5–5,0 м.

Скальные породы представлены порфиритами среднедевонского возраста D_2 темно-зеленого цвета, порфировой структуры, массивной

текстуры, выветрелыми, трещиноватыми, обводненными; залегают в основании разреза, обнаружены на глубине от 8,5 до 15,0 м, вскрытая мощность 16,0 м.

На протяжении 80-летнего периода инженерного освоения территории и эксплуатации завода на промплощадке развивались физико-геологические процессы техногенного характера.

Планировка территории: выемка, перемещение, обратная засыпка грунтов – привели к изменению природного рельефа, образованию мощной толщи насыпных грунтов, ликвидации естественных дрен и, как следствие, к нарушению условий поверхностного стока, образованию техногенной верховодки.

Площадное асфальтирование и бетонирование территории привели к снижению величины испарения и, как следствие, к подъему уровня грунтовых вод [1].

Технологический процесс электролизного производства изменил тепловой режим и температуру грунтов и, как следствие, повлиял на физические свойства грунтов оснований.

«Мокрый» технологический процесс глиноземного производства за счет инфильтрации сточных вод привел к изменению режима и химического состава подземных вод, образованию техногенной верховодки и также повлиял на физико-химические свойства грунтов оснований [2].

В результате многолетнего развития перечисленных процессов естественные инженерно-геологические условия изучаемой территории были нарушены, грунты оснований приобрели новые, специфические свойства, не учитывавшиеся в расчетной схеме «сооружение-основание» («фундамент-основание») [3].

Насыпной грунт представляет собой отвалы естественных грунтов (почва, песчано-глинистые, крупнообломочные породы) и отходов производства (шлаки, бетон, строительный мусор), а также участками – асфальтобетонное покрытие заводской территории.

Грунты отсыпаны сухим способом, по степени уплотнения от собственного веса – слежавшиеся. Техногенные образования характеризуются неоднородным составом и сложением, неравномерной плотностью и сжимаемостью, в качестве оснований сооружений не используются.

Основные статистические оценки распределения показателей физико-механических свойств техногенных грунтов *tQ* приведены в табл. 1.

С целью выявления связей между исследованными параметрами и определения факторов, влияющих на их распределение, выполнены корреляционный, кластерный и факторный анализы.

Корреляционный анализ (табл. 2) позволил установить, что в техногенных грунтах наиболее сильная положительная связь отмечается между такими параметрами, как предел текучести – предел раскатывания (r = 0,83); предел текучести – число пластичности (r = 0,84) при критическом значении коэффициента корреляции, равном 0,36.

Принято считать, что при $r \le 0{,}25$ корреляция слабая; при $0{,}25 < r \le 0{,}75$ – умеренная, при $r > 0{,}75$ – сильная [4].

Из табл. 2 следует, что кроме значимых положительных связей отмечаются значимые отрицательные связи. В целом значения предела текучести, предела раскатывания и числа пластичности определяются содержанием тонкой фракции Ф. В то же время количество тонкой фракции имеет отрицательную корреляцию с содержанием крупной фракции.

Таблица 1. Статистические показатели физико-механических свойств техногенных грунтов *tQ*.

Параметр		Количество проб	Среднее	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
Природная влажность, доли ед.		5	0,174	0,137	0,192	0,022354
Предел текучести, доли ед.		30	0,352	0,231	0,536	0,079404
Предел раскатывания, доли ед.		30	0,216	0,131	0,345	0,046507
Число пластичности, доли ед.		30	0,136	0,042	0,273	0,048669
Показатель текучести, доли ед.		8	–0,330	-0,94	0,041	0,312128
Плотность грунта, г/см³		8	1,80	1,72	1,87	0,048088
Плотность частиц грунта, г/см³		8	2,67	2,61	2,69	0,025635
Пористость, %		8	44,46	40,40	49,00	2,916425
Коэффициент пористости, доли ед.		8	0,81	0,678	0,962	0,094740
Коэффициент водонасыщения, доли ед.		8	0,720	0,435	0,879	0,142714
Относительное содержание органического вещества, доли ед.		16	0,092	0,063	0,140	0,023064
Степень засоленности, %		12	0,47	0,20	1,30	0,296444
Гранулометрический состав, %	< 0,005 мм	30	11,38	2,20	34,40	7,553400
	0,005–0,01 мм	30	7,46	0,50	17,60	4,264568
	0,01–0,05 мм	30	16,77	7,00	32,40	6,793421
	0,05–0,1 мм	30	13,33	5,60	28,80	5,554194
	0,1–0,25 мм	30	10,98	6,80	22,90	3,838049
	0,25–0,5 мм	30	10,72	3,80	26,90	4,741773
	0,5–2,0 мм	30	11,47	4,50	23,10	4,505654
	2,0–10,0 мм	30	11,94	0,00	40,80	9,798511
	> 10,0 мм	30	5,96	0,00	21,70	6,587903

Таблица 2. Матрица парных коэффициентов корреляции физико-механических характеристик техногенных грунтов.

1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	
1,00	**0,83**	**0,84**	0,25	0,31	**0,36**	**0,57**	0,11	–0,27	–0,30	–0,47	–0,29	**1**
	1,00	**0,39**	0,14	0,08	0,26	**0,38**	0,18	–0,32	–0,22	–0,27	–0,12	**2**
		1,00	0,28	**0,43**	0,34	**0,57**	0,01	–0,14	–0,29	**–0,52**	**–0,36**	**3**
			1,00	**0,56**	0,21	0,17	0,03	–0,12	**–0,68**	**–0,57**	**–0,48**	**4**
				1,00	0,34	0,09	-0,07	–0,16	**–0,59**	**–0,48**	**–0,45**	**5**
					1,00	0,03	-0,09	–0,12	**–0,49**	**–0,46**	–0,35	**6**
						1,00	**0,36**	–0,15	–0,16	**–0,46**	**–0,43**	**7**
							1,00	0,15	–0,15	**–0,40**	–0,19	**8**
								1,00	0,28	–0,18	–0,23	**9**
									1,00	**0,43**	**0,38**	**10**
										1,00	**0,40**	**11**
											1,00	**12**

1 – предел текучести; **2** – предел раскатывания; **3** – число пластичности; **4–12** – гранулометрический состав: **4** – < 0,005; **5** – 0,005–0,01; **6** – 0,01–0,05; **7** – 0,05–0,1; **8** – 0,1–0,25; **9** – 0,25–0,5; **10** – 0,5–2,0; **11** – 2,0–10,0; **12** – >10,0.

Выявленные корреляционные связи позволили составить уравнения регрессии, основными из которых являются:

Предел раскатывания = 0,04586 + 0,48368 · предел текучести (при $r = 0,83$).

Число пластичности = 0,51632 · предел текучести – 0,0459 (при $r = 0,84$).

Предел текучести = [Ф(0,05–0,1) + 0,6808] / 39,768 (при $r = 0,57$).

Ф(0,5–2,0) = 16,111 – 0,4079 · Ф(< 0,005) (при $r = -0,68$).

Из полученных уравнений следует, что, определив один из параметров (например, предел текучести), другие можно рассчитать с меньшими затратами.

Выполненный корреляционный анализ отражает только наличие связей между парами показателей и не даёт представление о картине в целом. Поэтому дополнительно был выполнен кластерный анализ, позволивший сгруппировать взаимосвязанные пары показателей в кластеры и построить дендрограмму (рис.), на которой по оси абсцисс показаны исследованные параметры, а по оси ординат – значения 1 – r. По результатам кластерного анализа выявилось несколько групп (кластеров) взаимосвязанных параметров. Наиболее сильную связь имеют такие показатели, как предел текучести, число пластичности и предел раскатывания. Эта группа параметров связана с фракцией 0,05–0,1 мм, а все вместе они связаны с самыми тонкими фракциями.

Факторный анализ, выполненный на основе корреляционной матрицы, позволил выделить четыре фактора, влияющих на распределение показателей (табл. 3), два из которых являются значимыми.

Значительный вклад в фактор 1 с суммарной дисперсией 37,96 % вносят предел текучести, число пластичности и фракция частиц размером 2,0–10 мм, причем последний показатель имеет отрицательное значение. Следует отметить, что вклад таких показателей, как крупность зёрен размером от < 0,005 мм до 0,1 мм, близок к критическому значению 0,7, в то время как вклад крупнозернистой фракции 0,5–2,0 мм и > 10,0 мм также находится на уровне, близком к значимому. Исходя из этого, можно предположить, что в качестве фактора 1 выступают условия образования данных грунтов.

Значимый вклад в фактор 3 с суммарной дисперсией 13,3 % вносит такой параметр, как размер частиц 0,25–0,5 мм.

На территории электролизного производства грунты под воздействием технологических процессов подвержены значительному прогреву. Непосредственно под корпусами температура грунтов достигает +70 °С.

По результатам термокаротажных работ в скважинах наиболее интенсивному тепловому воздействию подвержены грунты, залегающие в интервале глубин 6,0–10,0 м, т. е. ниже глубины заложения фундаментов корпусов и технологического оборудования, где температура грунтов превышает +40 °С.

В ходе исследований установлено, что засоление грунтов промплощадки развивается неравномерно по площади и глубине. Основные статистические оценки распределения содержаний легкорастворимых солей, мг/дм^3, и водородного показателя в техногенных грунтах на участке глиноземного производства приведены в табл. 4.

Корреляционный анализ позволил установить, что в техногенных грунтах *tQ* наиболее сильная связь отмечается между содержаниями гидрокарбоната и натрия ($r = 0,75$), кроме того, гидрокарбонат имеет прямую положительную связь с натрием и водородным показателем ($r = 0,56$ и $r = 0,51$ соответственно), а натрий связан с сульфатом ($r = 0,62$) и хлором ($r = 0,48$) при критическом значении коэффициента корреляции 0,48. По результатам кластерного анализа все компоненты сгруппировались в несколько кластеров. В первый кластер вошли натрий и гидрокарбонат, которые связаны с сульфатом. В свою очередь, эти три компонента имеют связь с хлором.

Общего засоления грунтов не наблюдается, выявлены лишь отдельные участки засоленных грунтов на территории глиноземного производства.

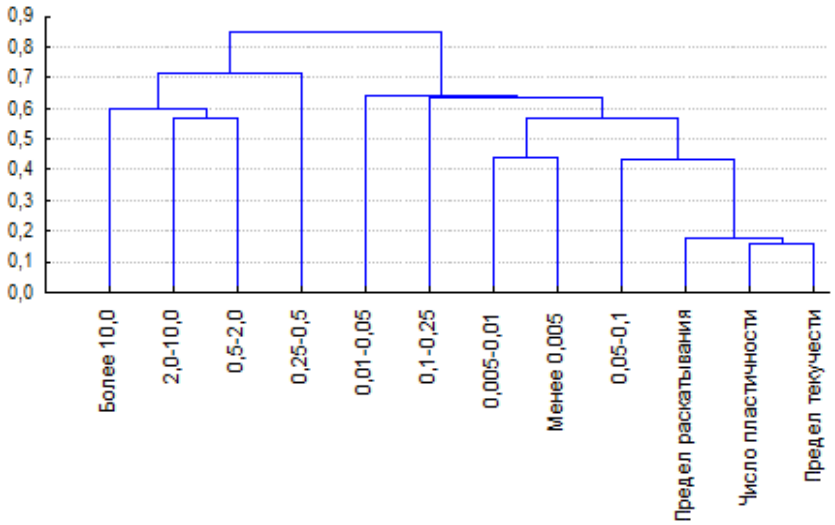
Таким образом, проведенные исследования физико-механических свойств техногенных грунтов оснований и фундаментов зданий и сооружений электролизного и глиноземного производства Уральского алюминиевого завода позволяют сделать вывод, что физико-механические свойства определяются составом грунтов, а засолению подвержены главным образом глинистые породы и в значительно меньшей степени песчано-гравийные разности.

Таблица 3. Матрица значений факторных нагрузок переменных на основные показатели.

Параметр		Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
Предел текучести		**0,797547**	–0,525930	–0,137550	–0,162127
Предел раскатывания		0,561545	–0,593970	–0,181044	0,098661
Число пластичности		**0,764608**	–0,290477	–0,051412	–0,358790
Гранулометрический состав, %	< 0,005 мм	0,644791	0,503776	–0,054038	0,272009
	0,005–0,01 мм	0,642461	0,479616	–0,217921	–0,047428
	0,01–0,05 мм	0,553489	0,214709	–0,252012	–0,326797
	0,05–0,1 мм	0,596063	–0,459162	0,346545	0,097806
	0,1–0,25 мм	0,236681	–0,175489	0,674653	0,537999
	0,25–0,5 мм	–0,199355	0,275463	**0,730250**	–0,457919
	0,5–2,0 мм	–0,683893	–0,423245	0,232960	–0,360446
	2,0–10,0 мм	**–0,766891**	–0,152587	–0,367153	0,030116
	>10,0 мм	–0,614482	–0,304257	–0,361450	0,188999
Вклад в общую дисперсию		4,555373	1,856199	1,596492	1,023032
Суммарная дисперсия, %		37,96	15,47	13,30	8,53

Таблица 4. Статистические оценки распределения содержаний легкорастворимых солей, мг/дм^3, и водородного показателя в техногенных грунтах на участке глиноземного производства

Параметр	pH	Na^+	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
Количество анализов	18	18	18	18	18	18
Среднее	8,14	133,83	16,46	20,96	100,76	241,36
Минимум	7,20	52,00	0,0001	5,70	32,90	12,20
Максимум	9,50	358,00	96,20	49,60	422,20	683,40
Стандартное отклонение	0,7114	79,64	21,027	13,88	91,47	173,58



Дендрограмма парных коэффициентов корреляции / Dendrogram of pairwise correlation coefficients.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ширинкин О. Ю., Елохин В. А. Оценка воздействия электролизного и глиноземного производства на качество подземных вод и физические свойства грунтов оснований и фундаментов // Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (19–20 марта 2015 г.). М.: РУДН, 2015. Вып. 17. С. 391–396.
2. Елохин В. А., Ширинкин О. Ю. Оценка степени засоленности грунтов оснований и фундаментов зданий и сооружений на территории глиноземного производства // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 5. С. 81–87.
3. Ширинкин О. Ю., Елохин В. А. Факторы деформаций оснований зданий и сооружений на территории глиноземного и электролизного производства // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 7. С. 61–67.
4. Халафян А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных. М.: Бином-Пресс, 2007. 512 с.

REFERENCES

1. Shirinkin O. Yu., Elokhin V. A. 2015, *Otsenka vozdeystviya elektroliznogo i glinozemnogo proizvodstva na kachestvo podzemnykh vod i fizicheskie svoystva gruntov osnovaniy i fundamentov* [Assessment of the impact of electrolysis and alumina production on groundwater quality and physical properties of the soils of basements and foundations]. *Inzhenerno-geologicheskie i geoekologicheskie problemy gorodskikh aglomeratsiy. Sergeevskie chteniya: materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoy geologii i gidrogeologii (19–20 marta 2015 goda)* [Engineering-geological and geo-ecological problems of urban agglomerations. Sergeev lections: materials of annual session of Science Council of RAS on the problems of geoecology, geology and hydrogeology (19–20 March 2015)], Moscow, vol. 17, pp. 391–396.
2. Elokhin V. A., Shirinkin O. Yu. 2015, *Otsenka stepeni zasolennosti gruntov osnovaniy i fundamentov zdaniy i sooruzheniy na territorii glinozemnogo proizvodstva* [Assessment of soil salinity of basements and foundations of buildings and structures on the territory of alumina production]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 5, pp. 81–87.
3. Shirinkin O. Yu., Elokhin V. A. 2015, *Faktory deformatsiy osnovaniy zdaniy i sooruzheniy na territorii glinozemnogo i elektroliznogo proizvodstva* [Factors of deformations of buildings bases and structures on the territory of alumina and electrolysis production]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7, pp. 61–67.
4. Khalafyan A. A. 2007, *Statistica 6. Statisticheskiy analiz dannykh* [Statistics 6. Statistical analysis of the data], Moscow, 512 p.

Олег Юрьевич Ширинкин,
ведущий гидрогеолог
shirinkin_ku@mail.ru
ООО НПФ “ГеоС”
Россия, Екатеринбург, ул. Основинская, 7
Елохин Владимир Аскольдович,
доктор геолого-минералогических наук, профессор
elokhin.v.a@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Oleg Yur’evich Shirinkin,
leading hydrogeologist
shirinkin_ku@mail.ru
GeoS LLC
Ekaterinburg, Russia
Vladimir Askol’dovich Elokhin,
Dr, Professor
elokhin.v.a@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 32-36.
УДК 54.027:546.22:549.76:551.44
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-32-41

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ СУЛЬФАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР УРАЛА

О. Я. Червяцова, С. С. Потапов, С. А. Садыков

Предметом изучения является изотопный состав серы сульфатных отложений (минералов) пещер. Целью исследования является построение модели минерало- и спелеогенеза на основе изучения изотопии серы первичных и вторичных минеральных отложений. Отбор образцов и проб сульфатных минеральных образований для исследований проводился в Кунгурской и Киндерлинской пещерах. Минералогические и изотопные исследования выполнены в Институте минералогии УрО РАН (город Миасс). Диагностика минералов выполнена на дифрактометре ДРОН-2.0, CuK_{α}-излучение. Определение изотопного состава серы проведено на масс-спектрометре Delta^{Plus} Advantage производства фирмы Thermo Finigan, сопряженном с элементным анализатором EA Flash1112 и интерфейсом ConFlo III. Погрешность анализа равна 0,27 ‰ CDT. Изучен изотопный состав серы вторичных сульфатных минералов, образующихся в двух пещерах Урала – Кунгурской сульфатного карста и Киндерлинской карбонатного карста. Первичные хемогенно-осадочные породы (гипс и ангидрит) в Кунгурской пещере имеют изотопный состав $\delta^{34}S$ от +10,09 ‰ до +12,32 ‰ CDT, что соответствует типичному составу для нижнепермских морских эвапоритов. У новообразованных сульфатных минералов (гипса, мирабилита) не установлено достоверного изменения изотопного состава серы по сравнению с сульфатами коренных пород, что свидетельствует об их образовании в процессе растворения и переотложения первичной осадочной толщи. В Киндерлинской пещере новообразованные сульфатные минералы характеризуются более легким изотопным составом серы $\delta^{34}S$, варьирующим от –23,51 до –15,288 ‰ CDT. Подобный более легкий изотопный состав серы характерен для минеральных образований, являющихся продуктами бактериальной сульфатредукции. Предполагается формирование вторичного гипса из соединений органически связанной серы битумного вещества вмещающих известняков, которая может окисляться в кислородных условиях до сульфатов с участием сероокисляющих (тионовых) бактерий.

Ключевые слова: изотопы серы; сульфаты; вторичные минеральные образования; пещеры карбонатного и сульфатного карста; сульфатредукция; сернокислотный спелеогенез; генезис минералов.

Введение в проблематику

Занимаясь изучением минералогии спелеологических объектов [1–6], рано или поздно приходишь к необходимости решения генетических задач как в части минерало- и кристаллогенеза, так и в части спелеогенеза. Решение этих задач возможно с применением методов изотопной геохимии [7–9], которые использовались для двух объектов (пещер) – Кунгурской сульфатного карста и Киндерлинской карбонатного карста. Изучение спелеогенеза важно не только в фундаментальном смысле, но и в прикладном, поскольку со спелеогенезом нередко сопряжено формирование минеральных месторождений [10].

Как известно, есть несколько агентов спелеогенеза, одним из которых является серная кислота. Роль серной кислоты, образующейся за счет окисления сероводорода и сульфидных минералов, в растворении карбонатных пород хорошо известна [11, 12]. Впервые модель сернокислотного спелеогенеза была предложена С. Эгемейром в 1981 г. [13] для объяснения генезиса и эволюции пещеры Нижний Кейн в штате Вайоминг, США. В настоящее время для ряда крупных пещерных систем доказано преимущественно сернокислотное происхождение: это пещера Вилла Луз в Мексике [14] и пещеры Гваделупских гор в штате Нью-Мексико, США [15], пещерная система Фразасси в Италии [16], пещера Краусхёлле в Австрии [17], пещеры долины Черна в Румынии [18]. Под сернокислотным спелеогенезом (*SAS – sulfuric acid speleogenesis*) обычно понимают формирование полостей при массированном растворении карбонатных пород серной кислотой, образующейся при окислении сульфидных вод в зоне аэрации. Причиной появления H_2S обычно являются процессы бактериальной сульфатредукции, анаэробно протекающие в нижней гидродинамической зоне при наличии в разрезе морских эвапоритов (гипса, ангидрита) и углеводородов [10]. В пещерах, имеющих преимущественно эпигенное происхождение (формирующихся при растворении метеорными водами с угольной кислотой биогенного происхождения), элементы сернокислотной коррозии могут присутствовать при окислении зерен сульфидов (главным образом пирита), содержащихся во вмещающих породах, но этому процессу обычно отводят второстепенную роль в спелеогенезе [18, 19]. Однако в некоторых случаях предполагается значительная роль этого фактора (иногда называемого пирит-эффектом) в генезисе полостей и их дальнейшей эволюции [20]. Основным продуктом сернокислотного растворения и переотложения известняка является гипс – $CaSO_4 \times 2H_2O$. Поэтому в полостях карбонатного карста наличие гипса можно рассматривать в качестве потенциального индикатора процесса сернокислотного спелеогенеза.

Сульфатные минералы в пещерах карбонатного карста имеют один из четырех возможных источников: окисление сульфидов и сульфидных вод, переотложение из морских эвапоритов в области питания, разложение гуано летучих мышей, миграция глубинных газов при поствулканической активности [21]. Достоверно определить источник гипса в некоторых случаях бывает проблематично. При диагностике сернокислотной коррозии необходимо исключить возможность переотложения гипса из морских сульфатов в разрезе вмещающих пород (которые не всегда могут быть отображены на имеющихся в распоряжении исследователя геологических картах и разрезах, особенно в районах со сложным тектоническим строением).

Одним из наиболее информативных методов для установления источника сульфатов является изучение изотопного состава серы [18, 19, 22]. Сера имеет девять изотопов, четыре из которых являются стабильными (^{32}S, ^{33}S, ^{34}S, ^{36}S). Они отличаются друг от друга числом нейтронов в ядре, которое соответственно определяет их массу, вызывая тонкие различия в физическом и химическом поведении. Большинство стабильных изотопов в соединениях серы представлены ^{32}S (95 %) и ^{34}S (4,22 %), два других изотопа менее распространены и редко используются в анализе [23]. Изотопный состав образца приводится в единице $\delta^{34}S$ и выражается как соотношение ^{34}S и ^{32}S в ‰, нормированное на универсальный стандарт (троилит из железного метеорита каньона Дьябло, Canon Diablo Troilite: CDT).

Средний изотопный состав для различных серосодержащих минеральных образований представлен на рис. 1 [24]. В целом средние значения $\delta^{34}S$ изменяются в широких пределах: от $\delta^{34}S$ –50 до +35 ‰. Сера магматического, вулканического и гидротермального происхождения обычно незначительно утяжелена относительно CDT (то есть близка к сере метеоритов). Остаточные нередуцированные сульфаты в океанических водах и, как следствие, формировавшиеся из них эвапориты имеют более тяжелый изотопный состав серы, который в геологической истории Земли значительно варьировал в широких диапазонах с максимумом $\delta^{34}S$ +30...+35 ‰ в кембрии и ордовике и минимумом $\delta^{34}S$ +9...+13 ‰ в пермское время. Изотопный состав серы современных морских сульфатов составляет $\delta^{34}S$ +21,0 ± 0,2 ‰ [22]. Наиболее значительным фактором, ответственным за фракционирование стабильных изотопов серы, является бактериальная сульфатредукция, имеющая отрицательный «сдвиг» около $\delta^{34}S$ –30 ‰ для получаемого сероводорода. Физическая суть этого явления заключается в том, что легкий изотоп ^{32}S имеет менее прочные химические связи в сульфате, чем тяжелый изотоп ^{34}S, поэтому такие связи разрушаются в первую очередь (при этом резервуар остаточного сульфата обогащается тяжелым изотопом). Изотопный состав сульфидов и серы, образованных при процессах биологической редукции, широко варьируется, в среднем составляя $\delta^{34}S$ –12 ‰ [24].

Рассмотрим особенности изотопного состава серы в первичных осадочных сульфатах (гипсе и ангидрите) и во вторичных спелеотемах (новообразованных минеральных сульфатных минералах) на примере двух пещер – Кунгурской и Киндерлинской.

Методы исследований

Сбор образцов и проб сульфатных минеральных образований проводился в рамках экспедиционных работ в 2008, 2012–2013 гг. в Кунгурской и Киндерлинской пещерах. Минералогические и изотопные исследования выполнены в Институте минералогии УрО РАН (город Миасс). Диагностика минералов выполнена на дифрактометре ДРОН-2.0, $Cu\text{-}K_{\alpha}$-излучение (оператор Е. Д. Зенович). Определение изотопного состава серы проведено на масс-спектрометре Delta^{Plus} Advantage производства фирмы Thermo Finigan, сопряженном с элементным анализатором EA Flash1112 и интерфейсом ConFlo III (аналитик С. А. Садыков). Погрешность анализа равна 0,27 ‰ CDT. Результаты исследований включают 19 анализов изотопного состава серы сульфатных минералов из пещер.

Кунгурская пещера: переотложение из морских эвапоритов

Кунгурская пещера (Пермский край, г. Кунгур) расположена в Среднем Предуралье. Основная часть полостей заложена в ледянопещерской пачке иренского горизонта кунгурского яруса нижней перми ($^{ir}_{ld}P_{1K}^{ir}$). В её составе преобладают ангидриты, менее распространены гипсы [25].

Это одна из крупных карстовых пещер европейской части России, заложенная в гипсах и ангидритах, которая располагается на контакте нижнего (филипповского) горизонта кунгурского яруса, сложенного

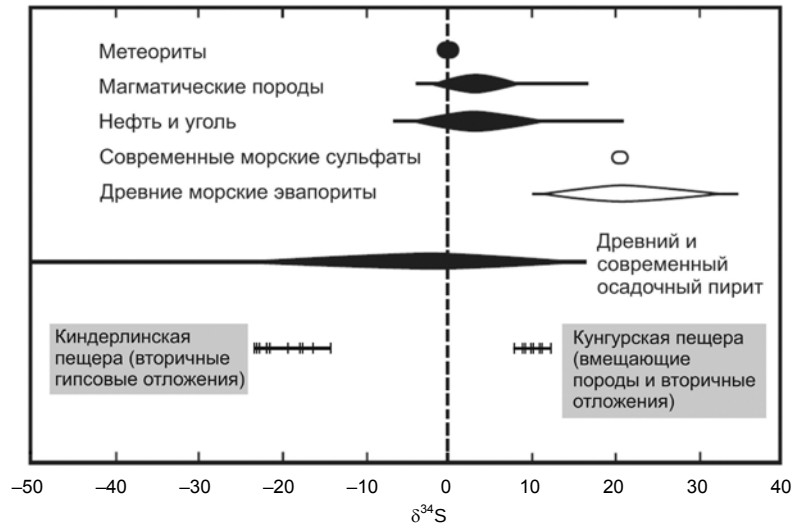


Рисунок 1. Вариации $\delta^{34}S$ для различных минеральных образований по R. R. Seal [24] и данные авторских исследований изотопного состава серы сульфатных минералов Кунгурской и Киндерлинской пещер.

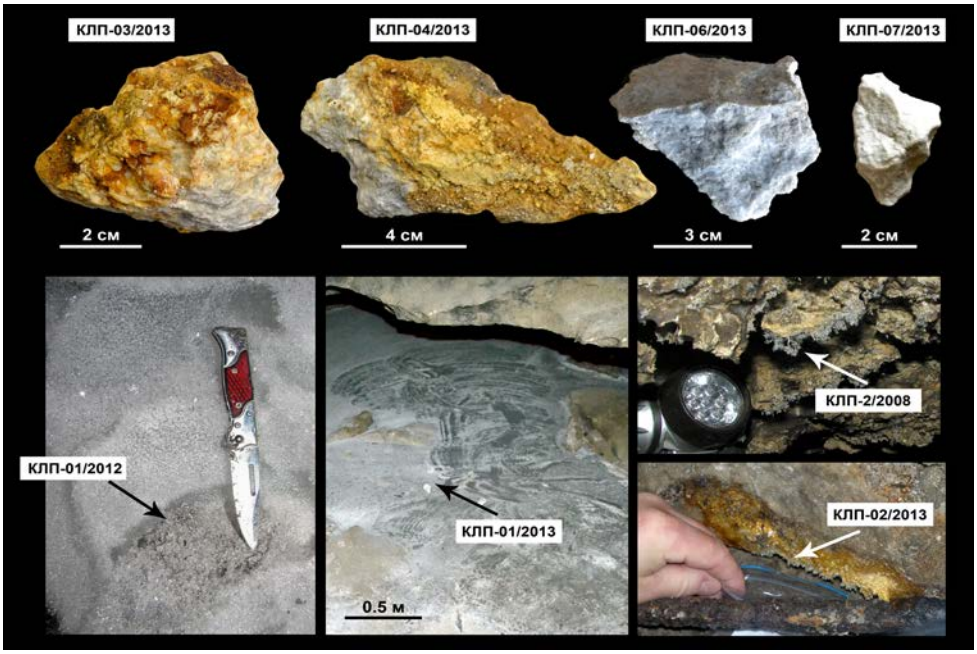


Рисунок 2. Первичные эвапориты – гипсовые и гипс-ангидритовые породы (верхний ряд) и вторичные сульфатные минеральные образования (криогенная гипсовая мука, мирабилит-гипсовый «пух» и современные кристаллы гипса) Кунгурской пещеры (нижний ряд).

Таблица 1. Изотопный состав серы в образцах сульфатов из Кунгурской пещеры.

Номер пробы	Год отбора	Местонахождение	Описание, минеральный состав	$\delta^{34}S$, ‰ CDT
		Вмещающие горные породы $^{ir}_{Id}P_{1K}^{ir}$ (гипсы и ангидриты)		
КЛП-2/2012	2012	Грот Бриллиантовый	Гипс	+10,09
КЛП-03/2013	2013	Грот Колизей	Гипс	+11,87
КЛП-04/2013	2013	Грот Колизей	Гипс	+12,26
КЛП-06/2013	2013	Грот Колизей	Гипс и ангидритовая порода	+11,37
КЛП-07/2013	2013	Грот Колизей	Белая гипсовая оторочка вокруг блока гипс-ангидритовой породы	+12,32
		Вторичные сульфатные отложения		
КЛП-1/2012	2012	Грот Бриллиантовый	Чёрная криогенная мука (загрязнение сажей?)	+9,40 +9,57
КЛП-01/2013	2013	Грот Крестовый	Белая криогенная мука	+10,32
КЛП-2/2008 (ПОЛ-2)	2008	Грот Полярный	Белые игольчатые пушистые образования мирабилита с примесью гипса на кровле грота	+8,62
КЛП-02/2013	2013	Грот Колизей	Новообразованные современные кристаллы гипса на подпорной стене	+10,97

Примечание: при измерениях был использован стандарт NBS-123. Ошибка измерений в серии равна 0,27 ‰ CDT.

известняками и доломитами, и верхнего (иренского) горизонта, сложенного в основном гипсами и ангидритами. Закарстованность сульфатных пород резко возрастает на границе с карбонатными толщами. Усиление закарстованности объясняется поступлением слабоминерализованных гидрокарбонатно-кальциевых вод из карбонатных толщ в легкорастворимые сульфатные породы. В результате деятельности метеорных вод происходит растворение осадочных пород (известняков, доломитов и гипс-ангидритовых пород эвапоритовой толщи) и их переотложение с образованием новообразованных сульфатных минералов – гипса, мирабилита, блёдита, ярозита.

Типичные изученные авторами образцы первичных осадочных эвапоритов и новообразованных сульфатных минералов в Кунгурской пещере показаны на рис. 2.

Изотопный состав серы сульфатов (гипса, ангидрита, мирабилита) Кунгурской пещеры представлен в табл. 1. Изотопный состав серы сульфатов Кунгурской пещеры вынесен и на рис. 1.

Вмещающие породы (гипс и ангидрит), отобранные в гротах Бриллиантовый и Колизей, имеют изотопный состав $\delta^{34}S$ от +10,09 ‰ до +12,32 ‰, что соответствует типичному для нижнепермских морских эвапоритов составу [26]. Не установлено достоверного изменения изотопного состава серы между сульфатами коренных пород и вторичными отложениями, образованными за счет вымораживания растворов (тонкозернистая криогенная «мука» в гротах Бриллиантовый и Колизей) и относительно равновесной кристаллизации из инфильтрационных вод (кристаллы гипса из грота Колизей). Это согласуется с данными о незначительном фракционировании изотопов серы при кристаллизации из водных растворов [22]. Более легкий состав ($\delta^{34}S$ +8,62 ‰) отмечался для игольчатых кристаллов мирабилита и гипса из грота Бриллиантовый.

Обогащение легким изотопом серы в мирабилите относительно гипса также отмечалось и для канадской пещеры Кастлегард [19]. Можно предположить, что это явление связано с особенностью кристаллизации этих агрегатов из капиллярных растворов, где создаются анаэробные условия, благоприятствующие развитию сульфатредуцирующих бактерий.

Киндерлинская пещера: предполагаемая сернокислотная коррозия

Пещера Киндерлинская (Республика Башкортостан, Гафурийский район) расположена в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости, заложена в западном крыле Ташастинской синклинали, в известняках фаменского яруса верхнего девона (D_3fm) [27], который в районе пещеры представлен слоистыми битуминозными серыми и темно-серыми известняками с кремнистыми прослойками.

Для Киндерлинской пещеры характерно аномально широкое, по сравнению с другими известными карбонатными пещерами Урала, распространение гипсовых отложений, хотя в стратиграфическом разрезе вмещающих и перекрывающих пород отложения сульфатов неизвестны. Наиболее гипсоносные участки приурочены к сухим, интенсивно проветриваемым полостям. Типичные формы гипса в Киндерлинской пещере показаны на рис. 3. Это кристаллически-зернистые корочки на стенах (мощностью до нескольких сантиметров), гипсовый заполнитель трещин, волокнистые кристаллические агрегаты («каменные цветы» или антолиты), таблитчатые и удлиненно-призматические кристаллы (выросшие предположительно в субаквальных условиях), различные морфологически сложные кристаллические агрегаты внутри суглинков. Особенностью большинства отложений (коры, антолиты, агрегаты в глинах) является их формирование из капиллярных вод на испарительном барьере.

Изотопный состав серы в образцах гипса, отобранных в 2012–2013 гг., представлен в табл. 2 и на рис. 1. Они характеризуются более легким изотопным составом серы, являющимся обычным для серы, прошедшей через бактериальную сульфатредукцию (средний отрицательный «сдвиг» около $\delta^{34}S$ –30 ‰).

Таблица 2. Изотопный состав серы в образцах вторичного гипса из Киндерлинской пещеры.

Номер пробы	Год отбора	Описание, минеральный состав	δ ^{34}S, ‰ CDT
К-2/2012	2012	Антолиты гипса	–22,31
К-3/2012	2012	Гипсовая кора	–23,25
К-4/2012	2012	Антолиты гипса	–23,03
К-5/2012	2012	Гипс – заполнитель трещин	–23,51
К-13/2012	2012	Коричневые корочки гипса	–22,22
К-21/2012	2012	Корочки гипса	–19,64
К-22/2012	2012	Белые гипсовые наросты	–17,28
К-5/2013	2013	Корки гипса	–13,85
К-7/2013	2013	Гипс	–16,49
К-8/2013	2013	Антолиты гипса	–15,288

Примечание: При измерениях был использован стандарт NBS-123. Ошибка измерений в серии равна 0,27 ‰ CDT.

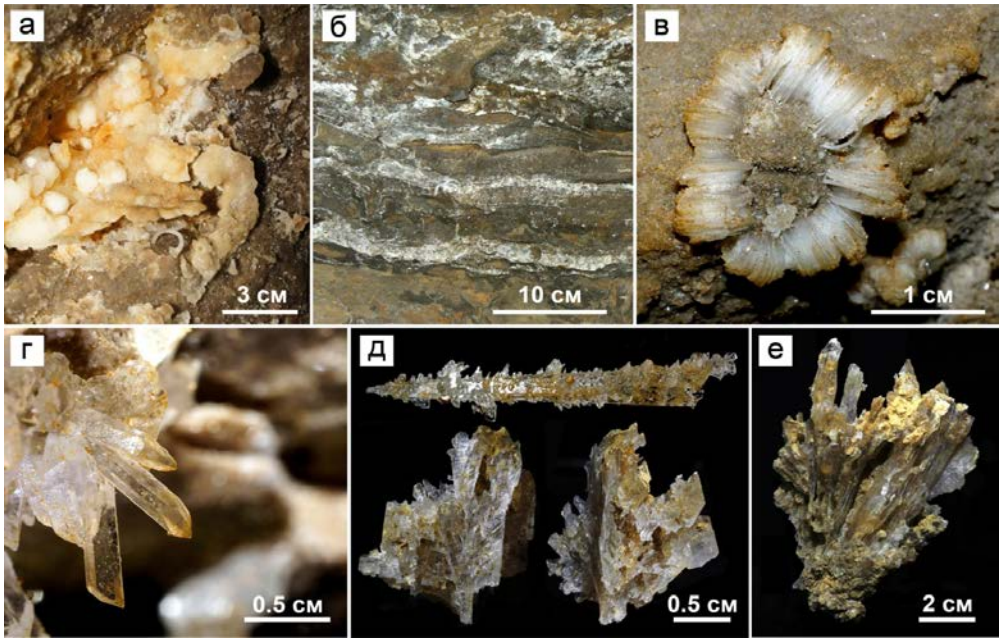


Рисунок 3. Различные типы вторичных гипсовых отложений Киндерлинской пещеры. *а* – мелкозернистые гипсовые корочки; *б* – прослои по трещинам; *в* – волокнистые агрегаты «каменные цветы» (антолиты); *г* – удлиненно-призматические кристаллы; *д* – поликристаллические агрегаты, растущие в приповерхностном слое; *е* – крупнокристаллические сростки внутри суглинков.

Таблица 3. Изотопный состав серы вторичных сульфатов из различных пещер карбонатного карста (по литературным данным).

Объект	$\delta^{34}S$, ‰ CDT	Заложение полостей	Предполагаемый авторами источник сульфатов	Ссылка
		Пещера Ogof y Daren Cilau, Южный Уэльс, Великобритания		
Кристаллы гипса	–30,3 –31,6 –33,3	Каменноугольные известняки	Окисление диагенетического пирита	Bottrell, 1991 [28]
Гипсовые коры	–26,3			
		Пещера Brujas Cave, Аргентина		
Гипсовые пузыри	+5,4 +5,8	Юрские известняки	Окисление пирита в юрских известняках и переотложение из вышележащих эвапоритов юры–триаса. Морские эвапориты в разрезе $\delta^{34}S$ +16,6 ‰ CDT	Sancho e.a., 2004 [29]
Гипсовые коры	+9,7 +9,6			
		Пещера Corkscrew, Аризона, США		
Гипсовые коры замещения	–8,1 –8,7	Карбонатные брекчии обрушения, нижнекаменноугольные породы	Окисление глубинных теплых сульфидных вод (SAS)	Onac e.a., 2007 [30]
Гипсовые цветы (антолиты)	–10,2			
Баритовые коры	–9,3 –9,0			
		Cerna Valley, Румыния (8 пещер)		
Гипс (коры, антолиты), тамаругит-$NaAl(SO_4)_2 \times 6H_2O$ (антолиты), алунит и алюминит (агрегаты)	Первая группа ср. –25 Вторая группа ср. +17 Третья группа ср. –7	Мергелистый известняк нижнего мела	Активные гидротермальные SAS-пещеры с выходом пара, обогащенного H_2S. Предполагаемый источник H_2S – эвапориты ниже (бактериальная редукция сероводорода с метаном в качестве донора электронов). Для объяснения тяжелого состава серы в одной из групп предполагается сульфатредукция при избытке доноров электронов (метана) и дефиците сульфат-ионов в растворе	Onac e.a., 2011 [18]
		Пещера Kraushöhle, Австрия		
Гипс (кристаллы, коры)	От –15,8 до –23,1	Известняки нижней юры	Окисление сульфидных вод (SAS). Источник сероводорода – расположенные ниже в разрезе гипсоносные породы верхнепермского возраста	Puchelt и Blum (1989), цитата по Plan e.a., 2012 [17]
		Пещера Provalata, Македония		
Гипс	–2,1 –2,2	Кембрийские мраморы	Окисление сульфидных вод (SAS). Источник сероводорода – угольные месторождения, где известны включения пирита, органической серы, гипса	Temovski e.a., 2013 [31]
		Пещера Castleguard, Канада		
Гипс (коры, антолиты)	От +14,2 до +22,6	Среднекембрийские известняки	Окисление пирита во вмещающих породах ($\delta^{34}S$ +15,5 ‰) и переотложение из эвапоритов (ангидрит, $\delta^{34}S$ +15,5 ‰)	Yonge, Krouse, 1987 [19]
Мирабилит	+7,8			
		Пещерная система Buso della Rana-Pisatela, Италия		
Гипс (антолиты, коры)	От –29,5 до –33,2	На контакте между эоценовыми базальтами и эоцен-олигоценовыми мергелями и калькаренитами	Окисление диагенетического пирита из вмещающих пород	Tisato e.a., 2012 [20]
		Пещерная система Frasassi, Италия		
Мелкозернистый гипс	От –7,82 до –24,24	Известняки юрского возраста	Активная в настоящее время SAS-пещера, окисление сульфидных вод. Источник сероводорода – расположенные ниже в разрезе эвапориты верхнего триаса	Galdenzi, Maruoka, 2003 [16]
Кристаллы гипса	От –7,53 до –22,52			

Обсуждение результатов и литературный обзор

Сравнение полученных результатов с литературными данными по изотопии серы во вторичном гипсе различных пещер карбонатного карста (табл. 3) показывает, что гипс Киндерлинской пещеры довольно близок к гипсу как «классических» полостей сернокислотного спелеогенеза: Краусхёлле в Австрийских Альпах (согласно Puchelt и Blum (1989) – цитата по [17]), пещеры долины Черна в Румынии [18], Фразасси в Центральной Италии [16], так и к гипсу, полученному путем окисления сульфидов во вмещающих породах для пещер, имеющих преимущественно эпигенное происхождение – таких, как Кастлегард в Канаде [19] и Бузу дела Рана-Писателя в Италии [20]. Тем самым можно исключить отложение гипса в Киндерлинской пещере с прямым участием сульфатов морского происхождения, имеющих более тяжелый изотопный состав серы.

Киндерлинская пещера заложена в органогенных битуминозных известняках. Такие известняки обладают повышенным содержанием серы. Наличие серы в сульфидной форме во вмещающих породах напрямую не подтверждено, но широкое развитие ожелезнения и находки гётита в пещере [5] указывают на возможность существования диагенетического пирита в виде включений в осадочной толще. Однако наиболее вероятным источником является органически связанная сера, содержащаяся в битумном веществе, которая может окисляться в кислородных условиях до сульфатов с участием сероокисляющих (тионовых) бактерий. Сам процесс бактериального окисления серы вызывает незначительное фракционирование изотопов серы [24], поэтому состав образуемого гип-

са наследует состав исходного вещества. Однако органически связанная сера в битумах, как правило, является восстановленной (т. е. прошедшей через сульфатредукцию на этапе диагенеза), поэтому для неё тоже характерен более легкий изотопный состав [32], что может объяснить формирование гипса с более легким изотопным составом серы.

Можно предположить, что сернокислотная коррозия играла определенную роль в генезисе полостей Киндерлинской пещеры. Ранее отмечалось [33], что имеющийся набор характерных морфологических элементов (напорные купола и ниши, каскады изометричных восходящих шахт-каминов, обилие «слепых» восходящих ходов, скальные «мосты» и «подвески», элементы крупноячеистых лабиринтов) при слабом развитии над ней поверхностных питающих карстовых форм даёт основание предположить заложение полостей по модели гипогенного (артезианского) спелеогенеза в условиях восходящего водообмена по модели А. Б. Климчука [12]. При появлении в системе кислорода или кислородных вод началась деятельность сероокисляющих бактерий, которая могла способствовать поддержанию растворяющей способности воды в закрытых от прямого притока экзогенной почвенной углекислоты условиях.

Заключение

На примере пещер сульфатного (Кунгурская, Пермский край) и карбонатного карста (Киндерлинская, Башкортостан) показаны особенности формирования изотопного состава серы во вторичных сульфатных отложениях.

В первом случае (Кунгурская пещера) вмещающие породы (гипс и ангидрит) имели изотопный состав $\delta^{34}S$ от +10,09 ‰ до +12,32 ‰, что типично для нижнепермских морских эвапоритов. В системе [вмещающие породы => инфильтрационные воды => вторичные сульфатные отложения] какого-либо заметного изменения изотопного состава не наблюдалось, что согласуется с литературными данными о незначительном фракционировании при кристаллизации из водных растворов [22]. Немного более легкий состав ($\delta^{34}S$ +8,62 ‰) отмечался для мирабилита из грота Бриллиантовый, что может быть связано с частичной сульфатредукцией в капиллярных растворах.

Во втором случае (Киндерлинская пещера) отмечался более легкий изотопный состав серы во вторичных гипсовых отложениях ($\delta^{34}S$ от −23,25 ‰ до −13,85 ‰). Такой состав характерен для бактериально восстановленных соединений серы и позволяет исключить отложение гипса с прямым участием сульфатов морского происхождения (тяжелых по изотопному составу). Наиболее вероятным источником является органически связанная сера, содержащаяся в битумном веществе во вмещающих породах, которая может окисляться в кислородных условиях до сульфатов с участием сероокисляющих (тионовых) бактерий. Ранее отмечалось [33], что Киндерлинская пещера имеет набор морфологических элементов, характерных для гипогенного (артезианского) спелеогенеза по модели А. Б. Климчука [12]. На этом этапе сернокислотная коррозия могла играть определенную роль в формировании полостей, поддерживая растворяющую способность воды в закрытых от прямого притока экзогенной почвенной углекислоты условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапов С. С., Паршина Н. В., Потапов Д. С., Кадебская О. И., Сивинских П. Н. Спелеоминералогия (на примере Кунгурской ледяной пещеры) // Теория, история, философия и практика минералогии: аатериалы IV Междунар. минералогич. семинара. (17–20 мая 2006 г.). Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 71–74.
2. Максимович Н. Г., Потапов С. С., Мещерякова О. Ю. Натечные техногенные минеральные образования // Пещеры: сб. науч. тр. Пермь: ПГУ, 2010. Вып. 33. С. 72–81.
3. Потапов С. С. Спелеокриоминералогенез (введение в проблематику, минералогия, кристалломорфология, условия кристаллогенеза на примере уральских пещер карбонатного и сульфатного карста) // Минералогические перспективы: материалы симпоз. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 256–260.
4. Потапов С. С., Паршина Н. В., Червяцова О. Я. К минералогии пещеры Шульган-Таш (Башкортостан) // Минералогия техногенеза-2013. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2013. С. 91–105.
5. Потапов С. С., Паршина Н. В., Червяцова О. Я., Кузьмина Л. Ю. К минералогии пещеры Киндерлинская (Башкортостан) // Минералогия техногенеза-2013. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2013. С. 106–119.
6. Потапов С. С., Паршина Н. В., Садыков С. А. Современное минералообразование в Кунгурской ледяной пещере // Комплексное использование и охрана подземного пространства: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь: Горный ин-т УрО РАН, 2014. С. 81–91.
7. Садыков С. А., Потапов С. С. Изотопный состав углерода в карбонатных спелеотемах // Литосфера. 2011. № 5. С. 102–110.
8. Белогуб Е. В., Матур Р., Садыков С. А., Новосёлов К. А. Первые данные об изотопном составе меди и серы в минералах из руд Удоканского месторождения медистых песчаников (Забайкалье) // Металлогения древних и современных океанов. 2015. С. 39–42.
9. Целуйко А. С., Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Садыков С. А. Изотопный состав серы сульфидов продуктов разрушения палеокурильщиков Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Минералогия. 2015. № 4. С. 103–111.
10. Климчук А. Б. Роль спелеогенеза в формировании серных месторождений Предкарпатья. Симферополь: ДИАЙПИ, 2007. 64 с.
11. Forti P., Galdenzi S., Sarbu S. M. The hypogenic caves: a powerful tool for the study of seeps and their environmental effects // Continental Shelf Research. 2002. № 22. pp. 2373–2386.
12. Климчук А. Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста. Симферополь: ДИАЙПИ, 2013. 180 с.
13. Egemeier S. J. Cavern development by thermal waters // NSS Bulletin. 1981. № 43. P. 31–51.
14. Hose L. D., Pisarowicz J. A. Cueva de Villa Luz, Tabasco, Mexico: reconnaissance study of an active sulfur spring cave and ecosystem // Journal of Cave and Karst Studies. 1999. № 61. pp. 13–21.
15. Hose L. D., Palmer A. N., Palmer M. V., Northup D. E., Boston P. J., DuChene H. R. Microbiology and geochemistry in a hydrogen-sulphide-rich karst environment // Chemical Geology. 2000. T. 169. № 3. pp. 399–423.
16. Galdenzi S., Maruoka T. Gypsum deposits in the Frasassi Caves, central Italy // Journal of Cave and Karst Studies. 2003. T. 65, № 2. C. 111–125.
17. Plan L., Tschegg C., De Waele J., Spötl C. Corrosion morphology and cave wall alteration in an Alpine sulfuric acid cave (Kraushöhle, Austria) // Geomorphology. 2012. Vol. 169.pp. 45–54.
18. Onac B. P., Wynn J. G., Sumrall J. B. Tracing the sources of cave sulfates: a unique case from Cerna Valley, Romania // Chemical Geology. 2011. Vol. 288, № 3. pp. 105–114.
19. Yonge C. J., Krouse H. R. The origin of sulphates in Castleguard cave, Columbia icefields, Canada // Chemical Geology: Isotope Geoscience section. 1987. Vol. 65, №. 3. pp. 427–433.
20. Tisato N., Sauro F., Bernasconi S. M., Bruijn R. H., De Waele J. Hypogenic contribution to speleogenesis in a predominant epigenic karst system: a case study from the Venetian Alps, Italy // Geomorphology. 2012. Vol. 151. pp. 156–163.
21. Hill C. A., Forti P. Cave minerals of the world (2nd ed.). National Speleological Society, Huntsville Alabama, 1997. 463 p.
22. Holser W. T., Kaplan I. R. Isotope geochemistry of sedimentary sulfates // Chemical Geology. 1966. Vol. 1. pp. 93–135.
23. Eckardt F. The origin of sulphates: an example of sulphur isotopic applications // Progress in physical geography. 2001. Vol. 25, № 4. pp. 512–519.
24. Seal R. R. Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals // Reviews in mineralogy and geochemistry. 2006. Vol. 61, № 1. pp. 633–677.
25. Кунгурская ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / под ред. В. Н. Дублянского. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 375 с.
26. Scholle P. A. Carbon and sulfur isotope stratigraphy of the Permian and adjacent intervals // The Permian of Northern Pangea. Springer Berlin Heidelberg, 1995. pp. 133–149.
27. Гидрогеология СССР. Т. XV. Башкирская АССР. М.: Недра, 1972. 344 с.
28. Bottrell S. H. Sulphur isotope evidence for the origin of cave evaporites in Ogof y Daren Cilau, South Wales // Mineralogical Magazine. 1991. Vol. 55, №. 2. P. 209–210.
29. Sancho C., Peña J. L., Mikkan R., Osácar C., Quinif Y. Morphological and speleothemic development in Brujas Cave (Southern Andean range, Argentine): palaeoenvironmental significance // Geomorphology. 2004. Vol. 57, № 3. pp. 367–384.
30. Onac B. P., Hess J. W., White W. B. The relationship between the mineral composition of speleothems and mineralization of breccia pipes: evidence from Corkscrew Cave, Arizona, USA // The Canadian Mineralogist. 2007. Vol. 45, №. 5. C. 1177–1188.
31. Temovski M., Audra P., Mihevc A., Spangenberg J. E., Polyak V., McIntosh W., Bigot J. Y. Hypogenic origin of Provalata Cave, Republic of Macedonia: a distinct case of successive thermal carbonic and sulfuric acid speleogenesis // International Journal of Speleology. 2013. Vol. 42, № 3. pp. 235–246.
32. Dinur D., Spiro B., Aizenshtat Z. The distribution and isotopic composition of sulfur in organic-rich sedimentary rocks // Chemical Geology. 1981. Vol. 31. pp. 37–51.
33. Червяцова О. Я., Потапов С. С. Гипсовые отложения Киндерлинской пещеры (Южный Урал) как возможный признак сернокислотного спелеогенеза // Спелеология и карстология. 2014. № 13. С. 17–30.

Ольга Яковлевна Червяцова,
инженер-исследователь
kittary@ya.ru
Государственный заповедник «Шульган-Таш»
Россия, Республика Башкортостан, дер. Иргизлы

Сергей Сергеевич Потапов,
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник spot@ilmeny.ac.ru
Сергей Ахматович Садыков,
кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник
sadykov@mineralogy.ru
Институт минералогии УрО РАН
Россия, Челябинская область, Миасс

For citation:
Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta [News of the Ural State Mining University]. 2016. Issue 2. pp. 37-41.
УДК 54.027:546.22:549.76:551.44 DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-32-41

Sulfur isotopic composition of sulfur deposits in Ural karst caves

O. Ya. Chervyatsova, S. S. Potapov, S. A. Sadykov

The subject of the study is the sulfur isotopic composition of sulfate deposits (minerals) of caves. The purpose of the study is the construction of mineral and speleogenesis model based on sulfur isotope study of primary and secondary mineral deposits. Authors conducted sampling of sulfate mineral formations for research in the Kungur and Kinderlinsk caves. Mineralogical and isotopic studies were done at the Institute of Mineralogy, Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Miass). Diagnosis of minerals was made on diffractometer DRON-2.0, CuKα-emission. Determination of the isotopic composition of sulfur was carried out on a mass spectrometer DeltaPlus Advantage, manufactured by Thermo Finigan, and linked to the elemental analyzer EA Flash1112 with interface ConFlo III. The analysis error is 0,27 ‰ CDT. Authors studied the isotopic composition of sulfur of secondary sulfate minerals formed in two caves of the Urals – sulfate karst in the Kungur cave and carbonate karst in Kinderlinsk cave. Primary chemogenic-sedimentary rocks (gypsum and anhydrite) in the Kungur cave have the isotopic composition $\delta^{34}S$ ranging from 10.09 ‰ to +12,32 ‰, CDT, which corresponds to a typical composition for the Lower Permian marine evaporites. In the newly formed sulfate minerals (gypsum, mirabilite) were no significant changes in the isotopic composition of sulfur in comparison to sulfate of bedrock, which indicates their formation in the process of dissolution and re-deposition of primary sedimentary sequence. In the Kinderlinsk cave newly formed sulfate minerals are characterized by a slight sulfur isotopic composition $\delta^{34}S$, ranging from –23,51 ‰ to –15,288 ‰ CDT. A similar lighter sulfur isotopic composition is typical for mineral formations that are products of bacterial sulfate reduction. Authors assume formation of secondary gypsum from compounds of organically bound sulfur of bituminous substance of accommodating limestone, which oxidizes in oxygen conditions to sulfates with participation of sulfur-oxidizing (thionic) bacteria.

Keywords: isotopes of sulfur; sulfates; secondary mineral formations; carbonate and sulfate karst caves; sulfate reduction; sulfuric acid speleogenesis; genesis of minerals.

Introduction to the problematics

During studying the mineralogy of speleological objects [1–6], one eventually comes to the necessity of solving the genetic problems both in terms of mineral and crystallogenesis and in terms of speleogenesis. Solving these problems is possible with the use of isotope geochemistry methods [7–9], which we used for two objects (caves) – sulfate karst of the Kungur cave and carbonate karst of the Kinderlinsk cave. The study of psychogenesis is important not only in the fundamental sense, but also in the applied sense, because speleogenesis often involves the formation of mineral deposits [10].

As is well known, there are several speleogenesis agents, one of which is sulfuric acid. The role of sulfuric acid formed by oxidation of hydrogen sulfide and sulfide minerals in dissolution of carbonate rocks is well known [11, 12]. The first model of sulfuric acid speleogenesis was proposed by S. Egemeyr in year 1981 [13] in order to explain the genesis and evolution of cave Lower Kane, Wyoming, USA. Currently, a number of major cave systems demonstrated mostly sulfuric acid origin: it is the cave Villa Luz in Mexico [14] and the caves of Guadalupe Mountains in New Mexico, USA [15], the cave system Frasassi in Italy [16], the cave Krauskhëlle in Austria [17], and the caves of the Cerna valley in Romania [18]. Sulfuric acid speleogenesis usually refers to the formation of cavities during the massive dissolution of carbonate rocks by sulfuric acid formed during the oxidation of sulphide water in the aeration zone. The cause of H2S typically are bacterial sulfate reduction processes, occurring anaerobically in the lower hydrodynamic zone in the presence of marine evaporites (gypsum, anhydrite) and hydrocarbons in a cross-section [10]. In the caves having mainly epigenous origin (formed by dissolving meteoric water with carbonic acid of biogenic origin), the elements of the sulfuric acid corrosion might be present during the oxidation of the grains of sulphides (mainly pyrite) contained in the host rocks, but the process usually gets a secondary role in speleogenesis [18, 19]. However, certain cases involve a significant role of this factor (sometimes called "pyrite-effect") in the genesis of cavities and their subsequent evolution [20]. The main product of the sulfuric acid dissolution and re-deposition of limestone is gypsum – $CaSO_4 \times 2H_2O$. Therefore, one can consider the carbonate karst presence of gypsum in the cavities as a potential indicator of sulfuric acid speleogenesis process.

Sulfate minerals in carbonate karst caves have one of the four possible sources: the oxidation of sulfides and sulfide waters, redeposition of marine evaporites in the field of nutrition, the expansion of bat guano, and migration of deep gases during postvolcanic activity [21]. Reliably determining the source of gypsum in some cases is problematic. Reliably determining the source of gypsum in some cases is problematic. In the diagnosis of sulfuric acid corrosion, it is necessary to exclude the possibility of re-deposition of gypsum from sea sulfates in the context of host rocks (which may not always be displayed on the available geological maps and cuts, especially in areas with a complex tectonic structure).

One of the most informative methods for establishing a source of sulfate is the study of isotopic composition of sulfur [18, 19, 22]. Sulfur has nine isotopes, four of which are stable (32S, 33S, 34S, 36S). They differ in the number of neutrons in the nucleus, which, respectively, determines their mass, causing subtle differences in the physical and chemical behavior. Most of the stable isotopes of sulfur in the compounds are represented by 32S (95%) and 34S (4,22%), two other isotopes are less common, and are rarely used in the analysis [23]. The isotopic composition of the sample is given in the unit $\delta^{34}S$ and is expressed as a ratio of 34S and 32S in ‰, normalized to the universal standard (troilite of iron meteorite Canyon Diablo, Canon Diablo Troilite: CDT).

Authors show the average isotopic composition for various sulfur-containing mineral formations in Fig. 1 [24]. Overall, the average values of $\delta^{34}S$ varies widely: from $\delta^{34}S$ –50 to +35 ‰. Sulfur of magmatic, volcanic and hydrothermal origin is usually slightly heavier relative to CDT (i. e. close to the sulfur of meteorites). Residual unreduced sulfates in ocean waters, and as a result, evaporites, formed from them, have a heavier isotope composition of sulfur, which is in the geological history of the Earth significantly varied over a wide range with a maximum of $\delta^{34}S$ +30 ... + 35 ‰ in the Cambrian and Ordovician and minimum of $\delta^{34}S$ +9 ... + 13 ‰ in the Permian. The isotopic composition of sulfur of modern marine sulphates is $\delta^{34}S$ +21,0 ± 0,2 ‰ [22]. The most significant factor responsible for the fractionation of stable isotopes of sulfur is a bacterial sulfate reduction, which has a negative "shift" around $\delta^{34}S$ –30 ‰ for the resulting hydrogen sulfide. The physical essence of the phenomenon lies in the fact that the light isotope 32S has a less strong chemical bonds in the sulfate than the heavier isotope 34S, so these bonds break first of all (in this case, the residual sulphate reservoir gets enriched with the heavy isotope). The isotopic composition of sulphide and sulfur formed during biological reduction processes varies widely, averaging at $\delta^{34}S$ –12 ‰ [24].

Authors examine the features of the isotopic composition of sulfur in the primary sedimentary sulfates (gypsum and anhydrite) and secondary speleothemes (newly formed mineral sulfate minerals) on the example of the Kungur and the Kinderlinsk caves.

Research methods

Collection of samples of sulfate mineral formations was conducted in the framework of fieldwork in 2008, 2012–2013, in the Kungur and the Kinderlinsk caves. Mineralogical and isotopic studies were done at the Institute of Mineralogy, Ural Branch of Russian Academy of Sciences (Miass). Diagnosis of minerals was made on diffractometer DRON-2.0, CuKα-emission. Determination of the isotopic composition of sulfur was carried out on a mass spectrometer DeltaPlus Advantage, manufactured by Thermo Finigan, and linked to the elemental analyzer EA Flash1112 with interface ConFlo III. The analysis error is 0,27 ‰ CDT. The research results include 19 analyzes of the sulfur isotopic composition of sulfate minerals from the caves.

Kungur Cave: redeposition of marine evaporites

Cave Kungur (Perm, Kungur town) is located in the Middle Urals. The main part of the cavities lies in the ice cave pack of irensk horizon of Kungurian stage of the Lower Permian ($^{ir}_{ld}P_{1K}{}^{ir}$). It mostly contains of anhydrites, gypsum is less common [25].

Kungur cave is one of the largest karst caves in the European part of Russia, laid in gypsum and anhydrite. The cave is located at the contact of the lower (Filippov) horizon of Kungurian stage, composed by limestones and dolomites, and the upper (irensk) horizon, mainly composed of gypsum and anhydrite. Karsting of sulphate rocks increases rapidly on the border with carbonate strata. Authors explain strengthening of karst by the arrival of low-mineralized bicarbonate-calcium waters of the carbonate sequences to the easily soluble sulfate rocks. As result of activity of meteoric water, there is a dissolution of sedimentary rocks (limestone, dolomite and gypsum-anhydrite

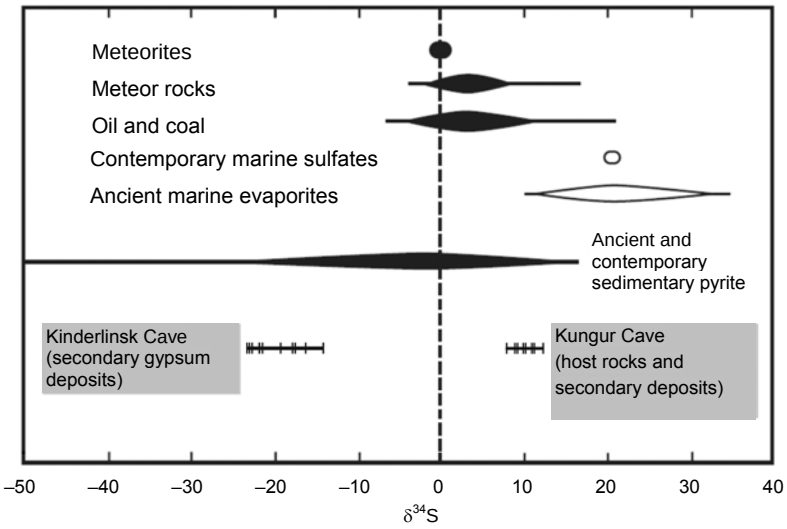


Figure 1. Variations of δ³⁴S for various mineral formations by R. R. Seal [24] and the data of our study of the isotopic composition of sulfur and sulfate minerals of the Kungur and the Kinderlinsk.

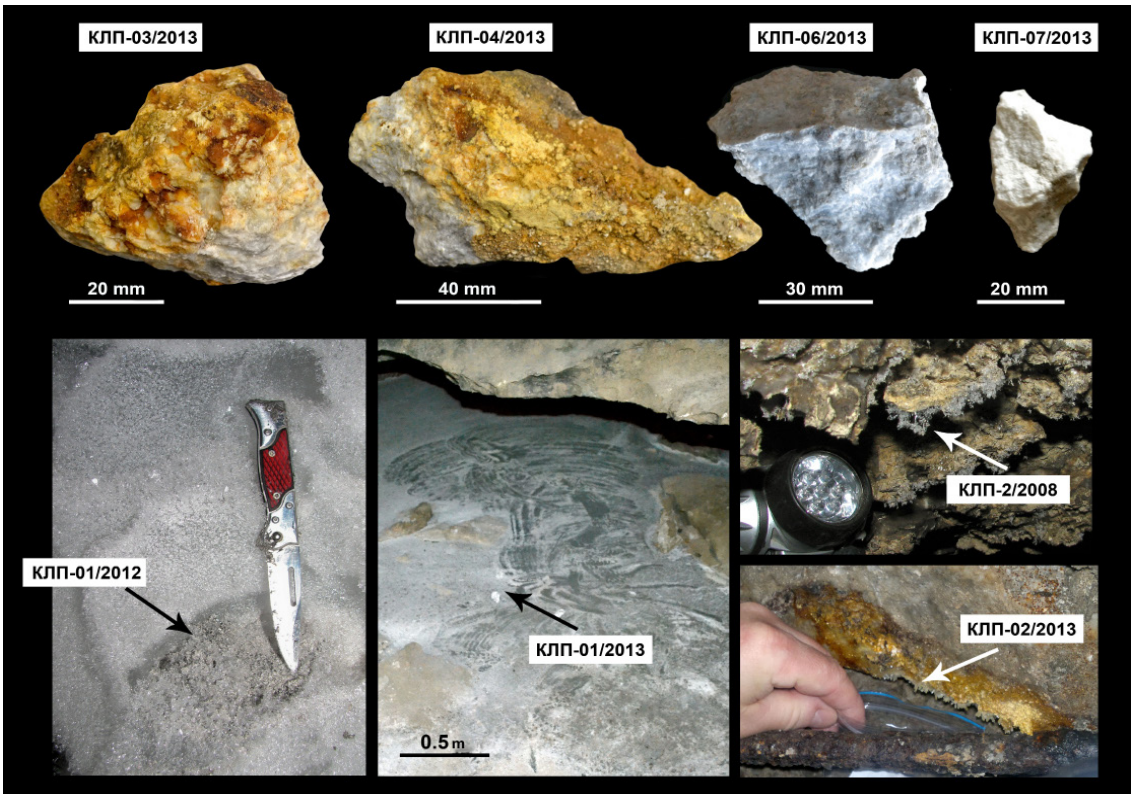


Figure 2. Primary evaporites – gypsum and gypsum-anhydrite rock (top row) and secondary sulphate mineral formations (cryogenic gypsum powder, gypsum, mirabilite "fluff" and modern gypsum crystals) of Kungur cave (bottom row).

rocks of evaporite strata) and their redeposition with the formation of the newly formed sulfate minerals – gypsum, mirabilite, bled, jarosite.

One can see typical samples of primary sedimentary evaporites and the newly formed sulfate minerals that authors studied in the Kungur cave in Fig. 2.

The sulfur isotopic composition of sulfate (gypsum, anhydrite, mirabilite) of Kungur cave is shown in Table 1. The isotopic composition of sulfur of Kungur cave sulfates shown in Fig. 1.

The host rocks (gypsum and anhydrite), selected in the Diamond and the Coliseum grottoes have the isotope composition of of $\delta^{34}S$ +10.09 ‰ to +12.32 ‰, which corresponds to a typical Lower Permian marine evaporites composition [26]. Authors didn't find significant changes in the isotopic composition of sulfur between sulfates of bedrock and secondary deposits formed by freezing out of solutions (cryogenic fine-grained "flour" in the caves of the Diamond and the Coliseum) and relative to the equilibrium crystallization of water infiltration (gypsum crystals from the Colosseum grotto). This is consistent with the data about a slight sulfur isotope fractionation during crystallization from aqueous solutions [22]. Authors observed the lighter structure ($\delta^{34}S$ + 8.62 ‰) for the needle-like crystals of mirabilite and gypsum from the Diamond grotto.

Enrichment of mirabilite relative to gypsum with light isotope of sulfur was also mentioned for the Canadian cave Kastlegard [19]. Authors assume that this phenomenon is connected with the crystallization feature of these units from the capillary solutions, where one can find anaerobic conditions conducive to the development of sulfate-reducing bacteria.

Kinderlinsk Cave: estimated sulfuric acid corrosion

Kinderlinsk Cave (Republic of Bashkortostan, Gafuriysky District) is located within the West-Ural outer zone of folding, incorporated in the west wing of Tashastinsk syncline, in the limestones of Famennian stage of Upper Devonian (D_3fm) [27], which in the cave area is represented by the layered bituminous gray and dark gray limestones with chert layers.

Table 1. Isotopic composition of sulphate sulfur in the samples from the Kungur cave.

Number sample	Year of sample selection	Location	Description, mineral composition	δ ^{34}S ‰, CDT
The host rocks $^{ir}_{Id}P_{1K}{}^{ir}$ (gypsum and anhydrite)				
КЛП-2/2012	2012	Diamond Grotto	Gypsum	+10.09
КЛП-03/2013	2013	Colosseum Grotto	Gypsum	+11.87
КЛП-04/2013	2013	Colosseum Grotto	Gypsum	+12.26
КЛП-06/2013	2013	Colosseum Grotto	Gypsum and anhydrite rock	+11.37
КЛП-07/2013	2013	Colosseum Grotto	White gypsum rim around the block of gypsum-anhydrite rock	+12.32
Secondary sulfate deposits				
КЛП-1/2012	2012	Diamond Grotto	Black cryogenic flour (soot pollution?)	+9.40 +9.57
КЛП-01/2013	2013	Cross Grotto	White cryogenic flour	+10.32
КЛП-2/2008 (ПОЛ-2)	2008	Polar Grotto	White needle fluffy formations of mirabilite with an admixture of gypsum on the roof of the grotto	+8.62
КЛП-02/2013	2013	Colosseum Grotto	The newly-formed modern gypsum crystals on a retaining wall	+10.97

Note: NBS-123 standard was used in the measurement. Measurement error in the series is equal to 0.27 ‰ CDT.

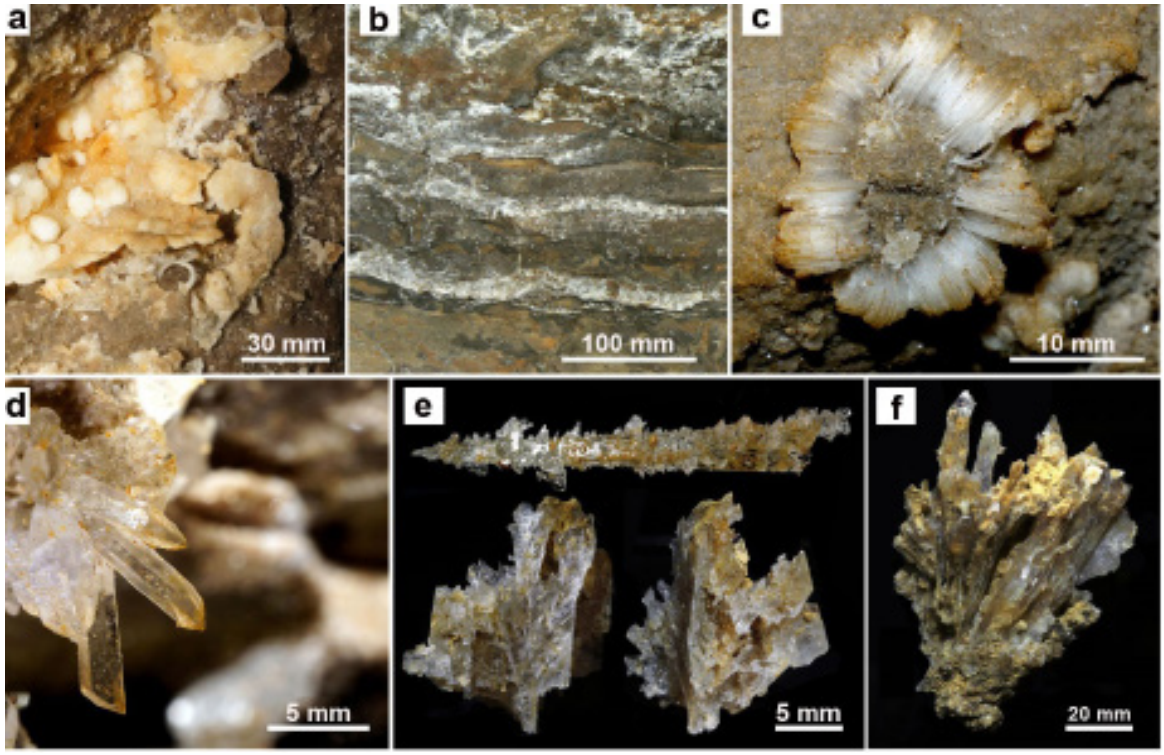


Figure 3. Different types of secondary gypsum deposits the Kinderlinsk cave. *a* – the fine-grained gypsum crusts; *b* – cracks on the interlayers; *c* – fibrous aggregates «stone flower» (antholites); *d* – an elongated prismatic crystals; *e* – polycrystalline aggregates growing in the surface layer; *f* – large crystal growths inside loams.

The Kinderlinsk cave is characterized by an abnormally wide, compared to the other known calcareous caves of the Urals, spread of gypsum deposits, although upon stratigraphic cuts of surrounding and overlying rocks there are no known sulphate deposits. Most gypsum-bearing areas are confined to dry intensively ventilated cavities. Typical forms of gypsum in Kinderlinsk cave is shown in Fig. 3. These are crystal-grained crusts on the walls (up to several centimeters), gypsum cracks filler, fibrous crystal aggregates ("stone flower" or antholites) tabular and elongated prismatic crystals (grown presumably in subaqueous conditions), and different morphologically complex crystalline aggregates inside loams. A feature of the majority of deposits (bark, antholites, clay aggregates) is their formation from the capillary water at the evaporation barrier.

The isotopic composition of sulfur in gypsum samples collected in 2012–2013, is shown in Table 2 and Fig. 1. They are characterized by a light isotopic composition of sulfur, which is usual for sulfur which has passed through a bacterial sulfate reduction (medium negative "shift" is about δ^{34}S –30 ‰).

Discussion of the results and a literature review

Comparing the obtained results with the literature data on sulfur isotopes in the secondary gypsum of various karst carbonate caves (table. 3) shows that gypsum from the Kinderlinsk cave is quite close to gypsum as a "classic" cavities of sulfuric acid speleogenesis: Krauskhëlle in the Austrian Alps (according to Puchelt and the Blum (1989) – quote from [17]), caves of the Chern Valley in Romania [18], Frasassi in central Italy [16], and to the gypsum produced by the oxidation of sulfides in the host rocks for caves having mainly epigenous origin – such as Kastlegard in Canada [19] and Buco della Rana-Pisatela in Italy [20]. Thus, it is possible to eliminate the imposition of gypsum in the Kinderlinsk cave with direct participation of the marine sulfates that have a heavier isotope composition of sulfur.

Kinderlinsk cave is embedded in organogenic bituminous limestones. Such limestones have higher sulfur content. The presence of sulfur in the sulfide form in the host rocks is not directly confirmed, but extensive development of ferrugination and goethite finds in a cave [5] indicate the possibility of existence of diagenetic pyrite in the form of inclusions in the sediment. However, the most probable source is organically bound sulfur contained in the bitumen material, which oxidizes in oxygen conditions to sulfates with participation of sulfur-oxidizing (thionic) bacteria. Microbial sulfur oxidation process itself causes a slight fractionation of sulfur isotopes [24], so the composition of the gypsum formed inherits the composition of the starting material. However, organically bound sulfur in bitumen is usually reduced (i.e. passed through the sulphate reduction at the stage of diagenesis), so it is also characterized by a lighter isotope composition of [32], what could explain the formation of gypsum with a light isotope composition of sulfur.

Table 2. Isotopic composition of sulfur in the samples of recycled gypsum from the Kinderlinsk cave.

Number sample	Year of sample selection	Description, mineral composition	δ ^{34}S ‰ CDT
K-2/2012	2012	Gypsum antholites	–22.31
K-3/2012	2012	Gypsum crusts	–23.25
K-4/2012	2012	Gypsum antholites	–23.03
K-5/2012	2012	Gypsum – crack filler	–23.51
K-13/2012	2012	Brown gypsum crusts	–22.22
K-21/2012	2012	Gypsum crusts	–19.64
K-22/2012	2012	White gypsum growths	–17.28
K-5/2013	2013	Gypsum crusts	–13.85
K-7/2013	2013	Gypsum	–16.49
K-8/2013	2013	Gypsum antholites	–15.288

Note: NBS-123 standard was used in the measurement. Measurement error in the series is equal to 0.27 ‰ CDT.

Table 3. The isotopic composition of sulfur in secondary sulfates from different caves of carbonate karst (according to published data).

Object	δ^{34}S, ‰ CDT	Laying of cavities	The source of sulfate prospected by authors	Reference
		Cave Ogof near Daren Cilau, South Wales, United Kingdom		
Gypsum crystals	–30,3 –31,6 –33,3	carboniferous limestone	Diagenetic pyrite oxidation	Bottrell, 1991 [28]
Gypsum crust	–26,3			
		Brujas Cave, Argentina		
Gypsum bubbles	+5,4 +5,8	Jurassic limestones	The oxidation of pyrite in the Jurassic limestone and redeposition from the the overlying Jurassic-Triassic evaporites. Marine evaporites in the section δ34S + 16,6 ‰ CDT	Sancho e.a., 2004 [29]
Gypsum crust	+9,7 +9,6			
		Corkscrew Cave, Arizona, USA		
Gypsum crust substitutions	–8,1 –8,7	Carbonate breccia collapses, Lower Carboniferous rocks	Oxidation of deep warm sulphide water (SAS)	Onac e.a., 2007 [30]
Gypsum flowers (antholites)	–10,2			
Barite crust	–9,3 –9,0			
		Cerna Valley, Romania (8 caves)		
Gypsum (crust, antholites) tamarugit-NaAl – $NaAl(SO_4)_2{\cdot}6H_2O$ (Antholites), alunite and aluminum (aggregates)	Fist group avg. –25 Second group avg. +17 Third Group avg. –7	Marly limestones of the Lower Cretaceous	Active hydrothermal SAS-caves with the release of steam, enriched with H2S. Estimated source of H2S are evaporites below (bacterial reduction of hydrogen sulfide and methane as an electron donor). To explain the heavy composition of sulfur in one of the groups sulfate reduction is expected during the an excess of electron donors (methane) and shortage of sulfate ions in solution	Onac e.a., 2011 [18]
		Kraushöhle Cave, Austria		
Gypsum (crystals, crust)	From –15,8 to –23,1	Lower Jurassic limestones	Oxidation of sulphide waters (SAS). The source of hydrogen sulfide are gypsum-bearing rocks of Upper Permian age located below in the section	Puchelt and Blum (1989), quote by Plan e.a., 2012 [17]
		Cave Provalata, Macedonia		
Gypsum	–2,1 –2,2	Cambrian marbles	Oxidation of sulphide waters (SAS). Hydrogen sulfide source – coal deposits, where inclusions of pyrite, organic sulfur, gypsum are known.	Temovski e.a., 2013 [31]
		Cave Castleguard, Canada		
Gypsum (crust, antholites) Mirabilite	From +14,2 to +22,6 +7,8	Middle Cambrian limestones	The oxidation of pyrite in the host rocks (δ34S +15,5 ‰) and redeposition from the evaporites (anhydrite, δ34S +15,5 ‰)	Yonge, Krouse, 1987 [19]
		The cave system Buco della Rana-Pisatela, Italy		
Gypsum (crust, antholites)	From –29,5 to –33,2	At the contact between Eocene basalts and Eocene-Oligocene marls and kalkarenite	Diagenetic pyrite oxidation from the host rocks	Tisato e. a., 2012 [20]
		Frasassi cave system, Italy		
Fine-grained gypsum Gypsum crystals	From –7,82 to –24,24 From –7,53 to –22,52	The limestones of Jurassic age	Currently active SAS-cave, the oxidation of sulphide waters. The source of hydrogen sulfide are evaporites located below in the Upper Triassic section	Galdenzi, Maruoka, 2003 [16]

One can assume that the sulfuric acid corrosion plays a role in the genesis of cavities of the Kinderlinsk cave. Earlier we noted [33] that the existing set of characteristic morphological elements (pressure domes and niches, cascades of isometric upward-fireplace mines, plenty of «blind» upward strokes, rock «bridges» and «suspensions», the elements of the coarse labyrinths), with a weak development of surface supply karst forms above it, gives grounds for assuming the inception of cavities by a model of hypogenic (artesian) speleogenesis in the conditions of the rising water exchange on the model of A. B. Klimchuk [12]. At the occurrence of oxygen or oxygen water in the system activity of sulfur-oxidizing bacteria has begun, which could help to maintain the dissolving ability of water in closed from the direct inflow of exogenous soil carbon dioxide conditions.

Conclusion

On the example of caves of sulfate (Kungur, Perm region) and carbonate karst (Kinderlinsk, Bashkortostan) authors show the features of the formation of the isotopic composition of sulfur in the secondary sulphate deposits.

In the first case (Kungur cave), host rocks (gypsum and anhydrite) had isotope composition of $\delta^{34}S$ from +10.09 ‰ to +12.32 ‰, which is typical for the Lower Permian marine evaporites. The system [host rocks => infiltration of water => secondary sulfate deposits] did not show any noticeable changes in the isotopic composition, which is consistent with the literature data on the insignificant fractionating upon crystallization from aqueous solutions [22]. Authors observed a slightly lighter structure ($\delta^{34}S$ + 8.62 ‰) for mirabilite from the grotto Diamond, which could be due to the partial sulphate reduction in capillary solutions.

In the second case (Kinderlinsk cave) there was a lighter isotope composition of sulfur in the secondary gypsum deposits ($\delta^{34}S$ from –23.25 ‰ to –13.85 ‰). This composition is typical for bacterial reduction of sulfur compounds and eliminates the deposition of gypsum with the direct participation of marine origin sulfates (heavy isotopic composition). The most likely source is organically bound sulfur contained in the bituminous material in the host rocks, which oxidizes in oxygen conditions to sulfates with participation of sulfur-oxidizing (thionic) bacteria. Earlier we noted [33] that Kinderlinsk cave has a set of morphological elements characteristic to the hypogenic (artesian) speleogenesis by the model of A. B. Klimchuk [12]. At this stage, the sulfuric acid corrosion could play a role in the formation of cavities while maintaining dissolving power of water in closed from the direct inflow of exogenous soil carbon dioxide conditions.

REFERENCES

1. Potapov S. S., Parshina N. V., Potapov D. S., Kadebskaya O. I., Sivinskikh P. N. 2006, *Speleomineralogiya (na primere Kungurskoy ledyanoy peshchery)* [Speleo Mineralogy (on example of Kungur ice cave)]. T*eoriya, istoriya, filosofiya i praktika mineralogii: Materialy IV Mezhdunarodnogo mineralogicheskogo seminara. 17-20 maya 2006 goda* [The theory, history, philosophy and practice of Mineralogy: Proceedings of the IV International Mineralogical Seminar. May 17–20, 2006], pp. 71–74.
2. Maksimovich N. G., Potapov S. S., Meshcheryakova O. Yu. 2010, N*atechnye tekhnogennye mineral'nye obrazovaniya* [Dripstones technogenic mineral formations]. *Peshchery: sb. nauch. tr. Perm': Estestvennonauchnyy institut Permskogo gosudarstvennogo universiteta* [Caves: collection of scientific works Perm Natural Sciences Institute of Perm State University], vol. 33. pp. 72–81.
3. Potapov S. S. 2011, *Speleokriomineralogenez (vvedenie v problematiku, mineralogiya, kristallomorfologiya, usloviya kristallogeneza na primere ural'skikh peshcher karbonatnogo i sul'fatnogo karsta)* [Speleo-cryo-mineral genesis (introduction to the problems, mineralogy, crystal morphology, crystallogenesis conditions on the example of the Ural caves karst carbonate and sulfate)]. *Materialy simpoziuma "Mineralogicheskie perspektivy"* [Materials of Symposium "Mineralogical prospects".], Syktyvkar, pp. 256–260.
4. Potapov S. S., Parshina N. V., Chervyatsova O. Ya. 2013, *K mineralogii peshchery Shul'gan-Tash (Bashkortostan)* [Cave mineralogy of Shulgan-Tash (Bashkortostan)]. *Mineralogiya tekhnogeneza-2013* [Mineralogy technogenesis 2013], pp. 91–105.
5. Potapov S. S., Parshina N. V., Chervyatsova O. Ya., Kuz'mina L. Yu. 2013, *K mineralogii peshchery Kinderlinskaya (Bashkortostan)* [Cave mineralogy of Kinderlinsk (Bashkortostan)]. *Mineralogiya tekhnogeneza-2013* [Mineralogy technogenesis 2013], pp. 106–119.
6. Potapov S. S., Parshina N. V., Sadykov S. A. 2014, *Sovremennoe mineraloobrazovanie v Kungurskoy ledyanoy peshchere* [Modern mineralization in the Kungur ice cave]. *Kompleksnoe ispol'zovanie i okhrana podzemnogo prostranstva. Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Perm': GI UrO RAN* [Complex use and protection of underground space. Proceedings of the International scientific-practical conference], pp. 81–91.
7. Sadykov S. A., Potapov S. S. 2011, *Izotopnyy sostav ugleroda v karbonatnykh speleotemakh* [The isotopic composition of carbon in the carbonate speleothemes]. *Litosfera* [Litosfera], no. 5, pp. 102–110.
8. Belogub E. V., Matur R., Sadykov S. A., Novoselov K. A. 2015, *Pervye dannye ob izotopnom sostave medi i sery v mineralakh iz rud Udokanskogo mestorozhdeniya medistykh peschanikov (Zabaykal'e)* [The first data on the isotopic composition of copper and sulfur in minerals from ores Udokan copper sandstones (Baikal)]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov* [Metallogeny of ancient and modern oceans], pp. 39–42.
9. Tseluyko A. S., Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Sadykov S. A. 2015, I*zotopnyy sostav sery sul'fidov produktov razrusheniya paleokuril'shchikov Yubileynogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya (Yuzhnyy Ural)* [The isotopic composition of sulphide sulfur product destruction paleo smokers Jubilee massive sulfide deposit (Southern Urals)]. *Mineralogiya* [Mineralogy], no. 4, pp. 103–111.
10. Klimchuk A. B. 2007, *Rol' speleogeneza v formirovanii sernykh mestorozhdeniy Predkarpat'ya* [Speleogenesis role in the formation of sulfur deposits of Ciscarpathians], Simferopol', 64 p.
11. Forti P., Galdenzi S., Sarbu S. M. 2002, The hypogenic caves: a powerful tool for the study of seeps and their environmental effects. Continental Shelf Research, no. 22, pp. 2373–2386.
12. Klimchuk A. B. 2013, *Gipogennyy speleogenez, ego gidrogeologicheskoe znachenie i rol' v evolyutsii karsta* [Hypogene speleogenesis its hydrogeological significance and role in the evolution of karst], Simferopol', 180 p.
13. Egemeier S. J. 1981, Cavern development by thermal waters. NSS Bulletin, no. 43, pp. 31–51.
14. Hose L. D., Pisarowicz J. A. 1999, Cueva de Villa Luz, Tabasco, Mexico: reconnaissance study of an active sulfur spring cave and ecosystem. Journal of Cave and Karst Studies, no. 61, pp. 13–21.
15. Hose L. D., Palmer A. N., Palmer M. V., Northup D. E., Boston P. J., DuChene H. R. 2000, Microbiology and geochemistry in a hydrogen-sulphide-rich karst environment. Chemical Geology, vol. 169, no. 3, pp. 399–423.
16. Galdenzi S., Maruoka T. 2003, Gypsum deposits in the Frasassi Caves, central Italy. Journal of Cave and Karst Studies. vol. 65, no. 2, pp. 111–125.
17. Plan L., Tschegg C., De Waele J., Spötl C. 2012, Corrosion morphology and cave wall alteration in an Alpine sulfuric acid cave (Kraushöhle, Austria). Geomorphology, vol. 169, pp. 45–54.
18. Onac B. P., Wynn J. G., Sumrall J. B. 2011, Tracing the sources of cave sulfates: a unique case from Cerna Valley, Romania. Chemical Geology, vol. 288, no. 3, pp. 105–114.
19. Yonge C. J., Krouse H. R. 1987, The origin of sulphates in Castleguard cave, Columbia icefields, Canada. Chemical Geology: Isotope Geoscience section, vol. 65, no. 3, pp. 427–433.
20. Tisato N., Sauro F., Bernasconi S. M., Bruijn R. H., De Waele J. 2012, Hypogenic contribution to speleogenesis in a predominant epigenic karst system: a case study from the Venetian Alps, Italy. Geomorphology, vol. 151, pp. 156–163.
21. Hill C. A., Forti P. 1997, Cave minerals of the world (2nd ed.). National Speleological Society, Huntsville Alabama, 463 p.
22. Holser W. T., Kaplan I. R. 1966, Isotope geochemistry of sedimentary sulfates. Chemical Geology, vol. 1, pp. 93-135.
23. Eckardt F. 2001, The origin of sulphates: an example of sulphur isotopic applications. Progress in physical geography, vol. 25, no. 4, pp. 512–519.
24. Seal R. R. 2006, Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals. Reviews in mineralogy and geochemistry, vol. 61, no. 1, pp. 633–677.
25. Dublyanskiy V. N. 2005, *Kungurskaya ledyanaya peshchera: opyt rezhimnykh nablyudeniy. Kollektivnaya monografiya* [Kungur Ice Cave: the experience of monitoring observations. The collective monograph], Ekaterinburg, 375 s.
26. Scholle P. A. 1995, Carbon and sulfur isotope stratigraphy of the Permian and adjacent intervals. The Permian of Northern Pangea. Springer Berlin Heidelberg, pp. 133–149.
27. 1972, *Gidrogeologiya SSSR* [Hydrogeology of the USSR], Moscow, vol. 15, p. 39.
28. Bottrell S. H. 1991, Sulphur isotope evidence for the origin of cave evaporites in Ogof y Daren Cilau, south Wales. Mineralogical Magazine, vol. 55, no. 2, pp. 209–210.
29. Sancho C., Peña J. L., Mikkan R., Osácar C., Quinif Y. 2004, Morphological and speleothemic development in Brujas Cave (Southern Andean range, Argentine): palaeoenvironmental significance. Geomorphology, vol. 57, no. 3, pp. 367–384.
30. Onac B. P., Hess J. W., White W. B. 2007, The relationship between the mineral composition of speleothemes and mineralization of breccia pipes: evidence from Corkscrew Cave, Arizona, USA. The Canadian Mineralogist, vol. 45, no. 5, pp. 1177–1188.
31. Temovski M., Audra P., Mihevc A., Spangenberg J. E., Polyak V., McIntosh W., Bigot J. Y. 2013, Hypogenic origin of Provalata Cave, Republic of Macedonia: a distinct case of successive thermal carbonic and sulfuric acid speleogenesis. International Journal of Speleology, vol. 42, no. 3, pp. 235–246.
32. Dinur D., Spiro B., Aizenshtat Z. 1981, The distribution and isotopic composition of sulfur in organic-rich sedimentary rocks. Chemical Geology, vol. 31, pp. 37–51.
33. Chervyatsova O. Ya., Potapov S. S. 2014, *Gipsovye otlozheniya Kinderlinskoy peshchery (Yuzhnyy Ural) kak vozmozhnyy priznak sernokislotnogo speleogeneza* [Gypsum deposits of Kinderlinsk cave (Southern Urals) as a possible sign of a sulfuric acid speleogenesis]. *Speleologiya i karstologiya* [Speleology and karstology], no. 13, pp. 17–30.

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

Sergey Sergeevich Potapov,
PhD, Senior Research Associate
spot@ilmeny.ac.ru
Sergey Akhmatovich Sadykov,
PhD, Research Associate
The Institute of Mineralogy of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences
Miass, Chelyabinsk Region, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 42-46.
УДК 622.271.33/451+624.121(532+537)+625.033.38+627.43 DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-42-46

ТЕОРИЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И ОСНОВАНИЙ. Расчет анизотропных, неоднородных и подработанных откосов*

А. В. Жабко

THEORY OF CALCULATION OF THE STABILITY OF SLOPES AND BASES. Calculation of anisotropic, heterogeneous and undermined slopes

A. V. Zhabko

This article is the third part of the published work on the creation of a unified theory of calculating the stability of slopes. There is no theory for arbitrary geological conditions. Existing individual calculation methods have significant drawbacks. Basically, methodology for calculating the stability of inhomogeneous and undermined slopes does not exist. As for the anisotropic slopes, nowadays there is only one method of calculation. This methodology is based on the fact that the break point of sliding surface satisfies the conditions of the ordinary and special marginal Coulomb balance. However, this technique has some significant drawbacks. The main drawback of said method is that when one determines the bend angle of sliding surface he has to neglect the influence of the stress state (principal stresses), and as a result, a certain bend angle does not depend on the angle of incidence of surface weakening.
Methods of study of this work are variational, differential and integral calculus and the theory of stability of homogeneous slopes, which was published earlier.
In the first part of the research author examines the general theory of determining of the bend angles of sliding surfaces in the transition from one lithological layer to another and a bend on the weakening surface. The research presents a calculation for anisotropic slope in the case where weakening surface entirely coincides with the sliding surface.
In the second part of the research author solves specific examples on the stability of an inhomogeneous, anisotropic and undermined slopes and escribes in detail the procedure for solving of the problems. One can find a comprehensive mathematical apparatus for the implementation of these solutions. All solutions are given in strict mechanical and mathematical formulation.

Keywords: slope; anisotropic slope; inhomogeneous slope; undermined slope; slope angle; angle of internal friction; cohesion; height of the slope; limit equilibrium method; the condition of equilibrium; stability; sliding surface; weakening the surface; bend angle; the angle of rupture.

Статья является третьей частью публикуемой работы по созданию единой теории расчета устойчивости откосов в произвольных горно-геологических условиях, которой пока не существует. Имеющиеся на данный момент отдельные расчетные способы обладают рядом существенных недостатков. В принципе методики расчета устойчивости неоднородных и подработанных откосов вообще отсутствуют. Что касается анизотропных откосов, то здесь необходимо отметить, что на сегодняшний день имеется единственная методика расчета. Данная методика основана на том, что в точке излома поверхности скольжения выполняются условия обычного и специального предельного кулоновского равновесия. Однако данная методика имеет ряд существенных недостатков, главный из которых – пренебрежение влиянием напряженного состояния (главных напряжений) при определении угла излома поверхности скольжения, в следствие чего определенный угол излома не зависит от угла падения поверхности ослабления. Методами исследования настоящей работы являются вариационное, дифференциальное и интегральное исчисления, а также теория устойчивости однородных откосов, которая опубликована ранее. В первой части работы рассматривается общая теория определения углов излома поверхности скольжения при переходе из одного литологического слоя в другой и при изломе на поверхности ослабления. Показано, как рассчитывается анизотропный откос в случае, когда поверхность ослабления целиком совпадает с поверхностью скольжения. Во второй части исследования решаются конкретные примеры на устойчивость неоднородного, анизотропного и подработанного откосов. Подробно описывается порядок решения рассматриваемых задач. Приводится исчерпывающий математический аппарат для реализации данных решений. Все решения даны в строгой механико-математической постановке.

Ключевые слова: откос; анизотропный откос; неоднородный откос; подработанный откос; угол откоса; угол внутреннего трения; сцепление; высота откоса; метод предельного равновесия; условие равновесия; устойчивость; поверхность скольжения; поверхность ослабления; угол излома; угол разрыва.

Ранее до сих пор рассматривались откосы, сложенные однородными массивами или массивами, которые можно привести к таковым посредством статистического усреднения механических характеристик. Однако реальные массивы зачастую нельзя рассматривать как однородные и изотропные материалы, и прежде всего речь идет об их механических свойствах. При построении расчетных схем предполагалось, что характеристики паспорта прочности являются постоянными величинами во всей области. Пусть теперь сцепление C и коэффициент внутреннего трения f зависят от координат площадки скольжения и её наклона. В этом случае силовой функционал, очевидно, примет вид:

$$\int\left[\frac{\gamma\left(\hat{y}-y\right)\left(y'-f\left(x,y,y'\right)\right)-C\left(x,y,y'\right)\left(1+y'^{2}\right)}{1+y'^{2}}\right]dx.$$

Составив уравнение Л. Эйлера и решив его, получим функцию поверхности скольжения при произвольных законах распределения механических характеристик пород откоса. Однако на практике функции распределения значений механических характеристик неизвестны, причем чаще всего они изменяются дискретно при переходе от одного литологического слоя к другому, т. е. функции терпят разрыв и являются кусочно-нелинейными.

На сегодняшний день существует, пожалуй, один концептуальный подход к оценке устойчивости анизотропных откосов, основанный на выполнении в точке излома поверхности скольжения как обычного предельного равновесия, так и специального. Данный способ был предложен Г. Л. Фисенко в 1964 г. [1] и сводится к определению углов излома для полого- и крутопадающей поверхностей ослабления по формулам:

$$\theta=\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi-\varphi'}{2}-\frac{1}{2}\arcsin\left[\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}\left(1-\eta\right)\right];$$

$$\theta'=\frac{\pi}{4}-\frac{\varphi-\varphi'}{2}-\frac{1}{2}\arcsin\left[\frac{\sin\varphi'}{\sin\varphi}\left(1-\eta\right)\right], \quad (1)$$

где $\eta=\dfrac{C\operatorname{ctg}\varphi-C'\operatorname{ctg}\varphi'}{C\operatorname{ctg}\varphi+\dfrac{1}{2}\left(\sigma_1+\sigma_3\right)}$; C, C' – соответственно сцепление пород вкрест слоистости и по ней; φ и φ' – соответственно угол внутреннего трения пород и угол трения по контактам; σ_1, σ_3 – главные напряжения в точке излома.

Несмотря на то, что данное решение в те годы носило революционный характер, оно имеет ряд очевидных недостатков:

1) предположение о том, что в точке излома площадка скольжения отклонена от направления действия σ_1 на угол $\pi/4-\varphi/2$ для произвольной формы откоса и нагрузки на него, бездоказательно (данный постулат лежит в основе способа);

2) условие специального предельного равновесия возможно не для всех профилей откоса, в частности, оно не выполняется для вогнутых откосов;

3) для определения угла излома необходимо располагать значениями главных напряжений в точке излома (1), определить которые не представляется возможным;

4) если пренебречь влиянием главных напряжений на угол излома,

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

что и предлагал Г. Л. Фисенко, то значение последнего становится инвариантным (независимым) относительно угла наклона поверхности ослабления.

Анизотропный откос

Под анизотропией в общем случае будем понимать систему поверхностей ослабления с характеристиками паспорта прочности C' и $f' = \operatorname{tg}\varphi'$, как правило, меньшими показателей прочности массива C и φ. Рассмотрим вначале произвольный плоский откос, разрушение которого произойдет по поверхности скольжения, полностью совпадающей с плоской поверхностью ослабления (рис. 1). Из постановки задачи имеем условие $\alpha > \beta$. Если $\beta < \varphi'$, то разрушение откоса произойти не может, поэтому будем исходить из неравенства $\beta > \varphi'$.

Поместим начало прямоугольной системы координат в точку выхода поверхности ослабления в откос и, используя геометрические соотношения для высоты трещины отрыва и ширины призмы смещения, получим:

$$h' = \frac{C'}{\gamma}\cdot\frac{1+\operatorname{tg}^2\beta}{\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\varphi'} = \frac{C'}{\gamma}\cdot\frac{\cos\varphi'}{\cos\beta\sin(\beta-\varphi')},\ a = \frac{H(1-\operatorname{tg}\beta\operatorname{ctg}\alpha)-h'}{\operatorname{tg}\beta}.$$

Условие равновесия призмы смещения будет иметь вид:

$$\int_0^{H\operatorname{ctg}\alpha}\left[\gamma(kx-\operatorname{tg}\beta x)(\operatorname{tg}\beta-f')-C'(1+\operatorname{tg}^2\beta)\right]dx+$$
$$+\int_{H\operatorname{ctg}\alpha}^{H\operatorname{ctg}\alpha+a}\left[\gamma(H-\operatorname{tg}\beta x)(\operatorname{tg}\beta-f')-C'(1+\operatorname{tg}^2\beta)\right]dx=0.$$

Отсюда предельная высота откоса выразится зависимостью:

$$H = h'\frac{\operatorname{tg}\alpha+\sqrt{\operatorname{tg}\alpha\operatorname{tg}\beta}}{\operatorname{tg}\alpha-\operatorname{tg}\beta} = \frac{h'}{1-\sqrt{\operatorname{ctg}\alpha\operatorname{tg}\beta}}. \quad (2)$$

Формула (2) рекомендуется Правилами обеспечения устойчивости откосов [2] и получена из условий геометрической статики. Однако, как показано ранее, она является следствием наиболее общего условия равновесия.

Рассмотрим теперь наиболее общий случай потери устойчивости анизотропным откосом и методику определения его предельных параметров (рис. 2). В этом случае поверхность скольжения может частично совпадать с поверхностями анизотропии и проходить вкрест неё, подобно поверхности в однородном откосе. Условие равновесия, а также угол излома θ существенно зависят от координат точек излома, угла падения поверхностей ослабления, а также от физико-механических свойств пород вдоль плоскостей анизотропии и вкрест неё.

Ограничимся рассмотрением следующей расчетной схемы. Пусть в массиве имеются плоские поверхности ослабления, падающие в сторону выработанного пространства под углом β к оси x. В этом случае поверхность скольжения может частично совпадать с поверхностями ослабления.

Необходимо определить условие в точке пересечения поверхности ослабления и поверхности скольжения при том, что угол наклона поверхности скольжения в точке излома $\vartheta > \varphi$ (данное условие, вообще говоря, не принципиально, в противном случае изменится только условие в точке излома). Для плоских поверхностей скольжения условие равновесия, без учета внешних сил, имеет вид:

$$\int\left[\gamma(\tilde{y}-\operatorname{tg}\beta x-g)(\operatorname{tg}\beta-f')-C'(1+\operatorname{tg}^2\beta)\right]dx=0,$$

где g – постоянная.

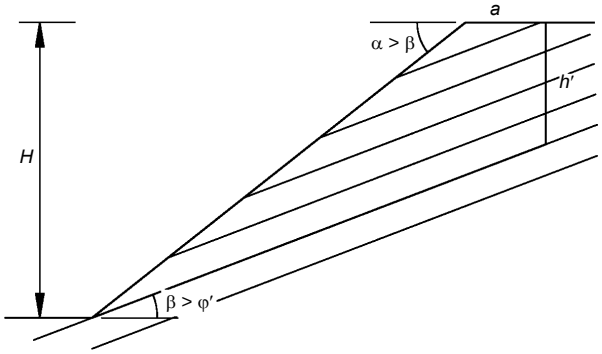


Рисунок 1. Схема к расчету предельных параметров анизотропного откоса / Figure 1. The scheme for the calculation of the limiting parameters of anisotropic slope.

Поместим начало системы координат в точку пересечения поверхности скольжения или поверхности ослабления с откосом и получим следующую задачу вариационного исчисления (объемный вес постоянный):

$$\int_{x_1}^{x_0}\frac{(\tilde{y}-y)(y'-f)-\lambda(1+y'^2)}{1+y'^2}dx+$$
$$+\int_{x_0}^{x_2}\left[(\tilde{y}-\operatorname{tg}\beta x-g)(\operatorname{tg}\beta-f')-\frac{C'}{\gamma}(1+\operatorname{tg}^2\beta)\right]dx\to\text{extr}. \quad (3)$$

Условие в точке излома поверхности скольжения имеет вид [3]:

$$F_1+(\Phi'-y_1')F_{1y_1'} = F_2+(\Phi'-y_2')F_{2y_2'}, \quad (4)$$

где F_1, F_2 – подынтегральные выражения слагаемых (3); $F_{1y_1'}, F_{2y_2'}$ – частные производные подынтегральных выражений по производной функции поверхности скольжения; Φ' – производная функции, по которой перемещается точка разрыва (поверхность ослабления).

Условие (4) запишется в виде:

$$\frac{\operatorname{tg}\psi-\operatorname{tg}\varphi}{1+\operatorname{tg}^2\psi}-(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\varphi')+(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\psi)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi-\operatorname{tg}^2\psi}{(1+\operatorname{tg}^2\psi)^2} =$$
$$=\frac{\lambda-(C'/\gamma)(1+\operatorname{tg}^2\beta)}{h}, \quad (5)$$

где ψ – угол наклона поверхности скольжения к оси x (к горизонту) в точке преломления; h – глубина точки излома (расстояние по вертикали от поверхности откоса или бермы до точки излома).

Рассмотрим задачу о преломлении поверхности скольжения вследствие её перехода в литологический слой с иными механическими характеристиками. Аналогом поставленной задачи является задача о преломлении луча света на границе сред с разными оптическими плотностями в постановке принципа Ферма (1660). Примем $\psi > \varphi$ (не является принципиальным условием и принимается только для конкретики) – угол наклона поверхности скольжения к оси x до преломления; β – угол наклона контакта литологических слоев к оси x; $\omega > \varphi'$ – угол наклона поверхности скольжения к оси x после преломления (слой с параметром $\lambda' = C'/\gamma n = (C'/C)\lambda$); C', φ' – механические характеристики литологического слоя, в который переходит поверхность скольжения. Составляя выражения, подобные (3) и (4), с использованием первого функционала (4) (берется именно данный функционал, так как углы поверхностей в точке излома превышают соответствующие углы внутреннего трения) получим уравнение:

$$\frac{\operatorname{tg}\psi-\operatorname{tg}\varphi}{1+\operatorname{tg}^2\psi}-\frac{\operatorname{tg}\omega-\operatorname{tg}\varphi'}{1+\operatorname{tg}^2\omega}+(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\psi)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi-\operatorname{tg}^2\psi}{(1+\operatorname{tg}^2\psi)^2}-$$
$$-(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\omega)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi'\operatorname{tg}\omega-\operatorname{tg}^2\omega}{(1+\operatorname{tg}^2\omega)^2}=\frac{\lambda-\lambda'}{h}. \quad (6)$$

Анализируя условие (6), замечаем, что в случае $C = C'$, $\varphi = \varphi'$ преломления поверхности скольжения не происходит, т. е. $\psi = \omega$. Кроме того очевидно, что поверхность скольжения не может после преломления

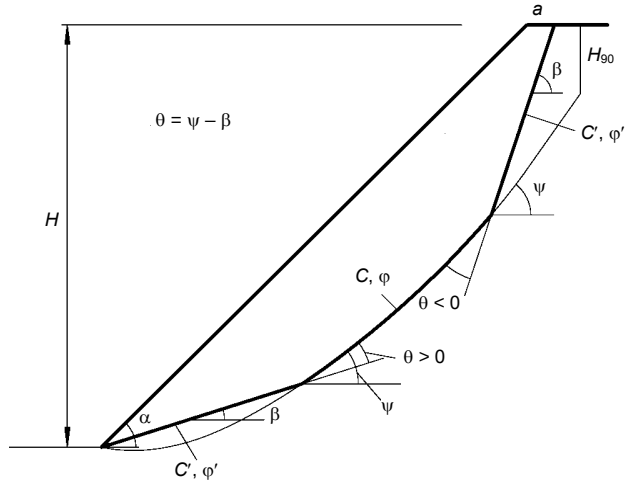


Рисунок 2. Поверхность скольжения в анизотропном откосе / Figure 2. The sliding surface in an anisotropic slope.

вернуться в первоначальный литологический слой, т. е. предельным значением угла ω является угол β. В этом случае скольжение произойдет по поверхности, совпадающей с контактом. Положив в уравнении (6) ω = β, получим равенство левых частей (5) и (6).

Пример расчета неоднородного откоса

Необходимо определить предельную высоту откоса H, состоящего из двух горизонтально залегающих слоев (β = 0°); верхний слой имеет мощность, равную 1/3H, при следующих условиях (нумерация слоев снизу):

$$\alpha = 40^\circ;\ \gamma = \gamma_1 = 2,5\,\text{т}/\text{м}^3;\ C_1 = 5\,\text{т}/\text{м}^2;\ C = 10\,\text{т}/\text{м}^2;\ \varphi_1 = 28^\circ;\ \varphi = 33^\circ.$$

Предположим, что в точке излома поверхности скольжения выполняются условия $\psi > \varphi$, $\omega > \varphi_1$, а абсцисса точки излома x_0 находится под откосом. Тогда уравнения поверхности скольжения в нижнем слое имеют вид:

$$kx - y_1 = \lambda\frac{\left(kf-1\right)y_1'^2 + 2\left(k+f\right)y_1' + 1 - kf}{fy_1'^2 - 2f^2y_1' + k - f + kf^2} \equiv \lambda\eta_1\left(p\right),$$

$$-\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha+\varphi}{2}\right) \le y_1' \le \operatorname{tg}\varphi,$$

$$kx - y_2 = \lambda\frac{1+kf}{1+f^2}\cdot\frac{\left(1+y_2'^2\right)^2}{2y_2'^3 - \left(k+3f\right)y_2'^2 + 2kfy_2' + k - f} \equiv \lambda\eta_2\left(p\right),$$

$$y_2' > \operatorname{tg}\varphi,$$

где η(p)– некоторая функция параметра $p \equiv y'$.

Произвольная постоянная для первого уравнения получена из условия трансверсальности на пересечении поверхности скольжения с откосом, а для второго – из условия равенства производных в точке $y_1' = y_2' = \operatorname{tg}\varphi$.

Уравнение поверхности скольжения под откосом после преломления имеет вид:

$$kx - y_3 = \left(\lambda_1 + d_1\right)\frac{\left(1+y_3'^2\right)^2}{2y_3'^3 - \left(k+3f_1\right)y_3'^2 + 2kf_1y_3' + k - f_1} \equiv \left(\lambda_1 + d_1\right)\eta_3\left(p\right).$$

Для определения углов поверхности скольжения по обе стороны от точки излома, абсциссы и глубины точки излома h, а также параметра $\lambda_1 + d_1$ составляем условия:

$$\frac{\operatorname{tg}\psi - \operatorname{tg}\varphi}{1+\operatorname{tg}^2\psi} - \frac{\operatorname{tg}\omega - \operatorname{tg}\varphi_1}{1+\operatorname{tg}^2\omega} + \left(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\psi\right)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi - \operatorname{tg}^2\psi}{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2} -$$

$$-\left(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\omega\right)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi_1\operatorname{tg}\omega - \operatorname{tg}^2\omega}{\left(1+\operatorname{tg}^2\omega\right)^2} = \frac{\lambda\left(1 - C_1/C\right)}{h};$$

$$h = \left(\lambda_1 + d_1\right)\frac{\left(1+\operatorname{tg}^2\omega\right)^2}{2\operatorname{tg}^3\omega - \left(k+3f_1\right)\operatorname{tg}^2\omega + 2kf_1\operatorname{tg}\omega + k - f_1},$$

$$h = \lambda\frac{1+kf}{1+f^2}\cdot\frac{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2}{2\operatorname{tg}^3\psi - \left(k+3f\right)\operatorname{tg}^2\psi + 2kf\operatorname{tg}\psi + k - f},$$

$$\int_{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\operatorname{tg}\varphi}\frac{\lambda\eta_1'\left(p\right)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\varphi}^{\operatorname{tg}\psi}\frac{\lambda\eta_2'\left(p\right)}{k-p}dp = x_0,\ x_0 = \frac{h + 2H/3}{k},$$

где η′(p) – производная функции по параметру p.

Уравнение поверхности скольжения под бермой имеет вид:

$$\left(H - y_4\right) = \frac{C_1\left(y_4'^2 - 1\right)}{\gamma\operatorname{tg}\varphi_1}.$$

Производную поверхности скольжения на границе участков откоса и бермы, со стороны откоса s определяем из условия:

$$\left(f_1 + k\right)s^4 + 4\left(1 - kf_1\right)s^3 + 2\left(kf_1^2 - 3f_1 - 2k\right)s^2 +$$

$$+4f_1\left(f_1 + k\right)s + f_1 - k - 2kf_1^2 = 0.$$

А производную со стороны бермы t определим из условия равенства

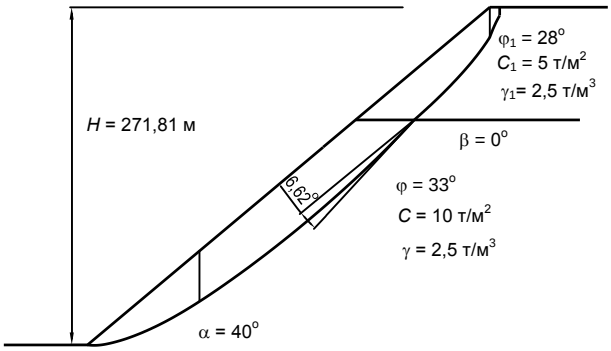


Рисунок 3. Поверхность скольжения в неоднородном откосе / Figure 3. The sliding surface in inhomogeneous slope.

ординат (глубин) в точке стыка участков поверхностей скольжения, т. е.:

$$\left(\lambda_1 + d_1\right)\frac{\left(1+s^2\right)^2}{2s^3 - \left(k+3f_1\right)s^2 + 2kf_1s + k - f_1} = \frac{C_1\left(t^2-1\right)}{\gamma f_1}.$$

И, наконец, система уравнений, требующая выполнения условия предельного равновесия и осуществляющая связь λ и H:

$$\begin{cases}
\displaystyle\int_{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\operatorname{tg}\varphi}\left[\frac{\gamma\left(p-f\right)}{1+fp}\lambda\eta_1\left(p\right) - \frac{C\left(1+p^2\right)}{1+fp}\right]\frac{\lambda\eta_1'\left(p\right)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\varphi}^{\operatorname{tg}\psi}\left[\frac{\gamma\left(p-f\right)}{1+p^2}\lambda\eta_2\left(p\right) - C\right]\frac{\lambda\eta_2'\left(p\right)}{k-p}dp + \\
+\displaystyle\int_{\operatorname{tg}\omega}^{s}\left[\frac{\gamma\left(p-f_1\right)}{1+p^2}\left(\lambda_1+d_1\right)\eta_3\left(p\right) - C_1\right]\frac{\left(\lambda_1+d_1\right)\eta_3'\left(p\right)}{k-p}dp + \frac{2C_1^2}{\gamma f_1}\times \\
\displaystyle\int_{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)}^{t}\left[\frac{\left(p^2-1\right)\left(p-f_1\right)}{f_1} - \left(1+p^2\right)\right]dp = 0; \\
\displaystyle\int_{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\operatorname{tg}\varphi}\frac{\lambda\eta_1'\left(p\right)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\varphi}^{\operatorname{tg}\psi}\frac{\lambda\eta_2'\left(p\right)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\omega}^{s}\frac{\left(\lambda_1+d_1\right)\eta_3'\left(p\right)}{k-p}dp = \frac{H}{k}.
\end{cases}$$

Данных уравнений достаточно для определения всех неизвестных. Таким образом, после решения системы полученных уравнений определяются неизвестные, необходимые для построения предельной поверхности скольжения (рис. 3). По результатам численного решения системы приведённых уравнений определены параметры для построения наиболее слабой поверхности скольжения в неоднородном откосе и его предельная высота:

$$\left\{s\ t\ \lambda\ \lambda_1 + d_1\ h\ x_0\ \operatorname{tg}\psi\ \operatorname{tg}\omega\ H\right\}^T = \left\{1,64\ 2,72\ 4,99\ 7,14\ 39,49\ 263,02\ 1,09\ 0,87\ 271,81\right\}^T.$$

В процессе решения рассмотренных выше уравнений может быть определен любой из параметров, например сцепление, необходимое для выполнения условия предельного равновесия, при заданных высоте и угле откоса.

Пример расчета анизотропного откоса

Необходимо определить предельную высоту откоса H, имеющего поверхность ослабления, выходящую в его основание под углом β = 20°. Физико-механические характеристики пород и поверхности ослабления: γ = 2,5 т/м³; C' = 5 т/м²; C = 10 т/м²; φ′ = 18°; φ = 30°; угол откоса α = 40°.

Предположим, что угол наклона криволинейной части поверхности скольжения в точке преломления поверхности скольжения ψ > φ, и точка преломления находится под откосом, тогда её форма описывается уравнениями:

$$kx - y_2 = d\frac{\left(1+y_2'^2\right)^2}{2y_2'^3 - \left(k+3f\right)y_2'^2 + 2kfy_2' + k - f} \equiv d\eta_2\left(p\right),\ y_2' > \operatorname{tg}\varphi,\ \text{откос};$$

$$\left(H - y_3\right) = \frac{C\left(y_3'^2 - 1\right)}{\gamma\operatorname{tg}\varphi},\ \text{берма},$$

где d – постоянная.

Тангенс угла наклона поверхности скольжения в точке стыка откоса и бермы со стороны откоса s определится из уравнения:

$$\left(f + k\right)s^4 + 4\left(1 - kf\right)s^3 + 2\left(kf^2 - 3f - 2k\right)s^2 +$$

$$+4f\left(f + k\right)s + f - k - 2kf^2 = 0.$$

Производную поверхности скольжения со стороны бермы, как и раньше, определяем из условия равенства ординат:

$$d\frac{\left(1+s^2\right)^2}{2s^3-\left(k+3f\right)s^2+2kfs+k-f}=\frac{C\left(t^2-1\right)}{\gamma f}.$$

Условие в точке стыка имеет вид:

$$\frac{\operatorname{tg}\psi-\operatorname{tg}\varphi}{1+\operatorname{tg}^2\psi}+\left(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\psi\right)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi-\operatorname{tg}^2\psi}{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2}-$$

$$-\left(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\varphi'\right)=\frac{\lambda-(C'/\gamma)\left(1+\operatorname{tg}^2\beta\right)}{h}.$$

Высота точки излома выражается уравнениями:

$$h=d\frac{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2}{2\operatorname{tg}^3\psi-\left(k+3f\right)\operatorname{tg}^2\psi+2kf\operatorname{tg}\psi+k-f},\quad h=kx_0-\operatorname{tg}\beta x_0.$$

Абсцисса точки излома:

$$\frac{H}{k}-\int\limits_{\operatorname{tg}\psi}^{s}\frac{d\eta_2'(p)}{k-p}dp=x_0,$$

где $\eta_2'(p)$ – производная функции по параметру p.

Система уравнений для определения d и H:

$$\begin{cases}\displaystyle\int\limits_0^{x_0}\left[\gamma\left(kx-\operatorname{tg}\beta x\right)\left(\operatorname{tg}\beta-\operatorname{tg}\varphi'\right)-C'\left(1+\operatorname{tg}^2\beta\right)\right]dx+\int\limits_{\operatorname{tg}\psi}^{s}\left[\frac{p-f}{1+p^2}d\gamma\eta_2(p)-C\right]\frac{d\eta_2'(p)}{k-p}dp+\\ \displaystyle+\frac{2C^2}{\gamma f}\int\limits_{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}^{t}\left[\frac{\left(p^2-1\right)(p-f)}{f}-\left(1+p^2\right)\right]dp=0;\\ \operatorname{tg}\beta x_0+\displaystyle\int\limits_{\operatorname{tg}\psi}^{s}\frac{d\eta_2'(p)}{k-p}pdp+\frac{2C}{\gamma f}\int\limits_{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)}^{t}pdp+\frac{2C}{\gamma}\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi}{2}\right)=H.\end{cases}$$

Данных уравнений достаточно для определения всех неизвестных. По результатам численного решения системы уравнений получены следующие значения геометрических параметров откоса и поверхности скольжения:

$$\left\{\lambda, s\ t\ d\ h\ x_0\ \operatorname{tg}\psi\ H\right\}^T=\left\{7,74\ 1,62\ 2,23\ 7,94\ 33,47\ 70,45\ 1,41\ 64,71\right\}^T.$$

На рис. 4 показаны потенциальная поверхность скольжения и предельные параметры анизотропного откоса для рассмотренного примера.

В заключение отметим, что уравнениями (5), (6) не исчерпываются все условия в точках излома, которые могут иметь место при решении задач для неоднородных и анизотропных откосов.

Таким образом, необходимо решать задачи для анизотропного и неоднородного откосов в строгой теоретической постановке. В данных расчетах поверхность скольжения и граничные условия для её построения обеспечивают максимум разности сдвигающих и удерживающих сил (обобщенной силе) на возможном перемещении призмы смещения.

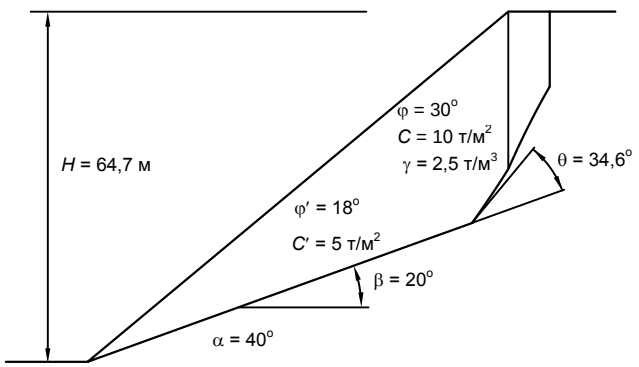


Рисунок 4. Поверхность скольжения в анизотропном откосе / Figure 4. The sliding surface in an anisotropic slope.

В принципе, расчет устойчивости подработанных откосов или откосов при наличии в породах карста (с известным местоположением) ничем не отличается от расчета неоднородного откоса. И действительно, подработка бортов карьера влечёт за собой снижение прочностных характеристик массива и прежде всего величины сцепления. То же можно сказать и про карст, образующий пустотность. Поэтому задача в этом случае сводится к определению условий преломления поверхности скольжения на карсте или ослабленном подземными горными работами участке массива горных пород.

Пример расчета откоса, подработанного подземными горными работами

Пусть требуется определить размер целика, горизонтально залегающего тела полезного ископаемого, необходимого для обеспечения устойчивого состояния борта карьера (рис. 5).

Заменим с незначительной погрешностью границу областей плавных сдвижений и сдвижений с разрывом сплошности прямой линией, проведенной под углом разрыва β'' (см. рис. 5), и поместим начало координат в нижнюю точку откоса. Уравнение данной границы будет иметь вид:

$$y=-\operatorname{tg}\beta''\left(x-d\right),\qquad(7)$$

где d – размер целика.

Будем предварительно считать, что поверхность скольжения преломится на границе областей под откосом, а углы её наклона по обе стороны от границы будут превышать соответствующие углы внутреннего трения.

Пусть имеем борт карьера высотой $H = 200$ м, углом $\alpha = 40°$, физико-механические характеристики целиковой части массива горных пород равны: $\gamma = 2{,}5$ т/м^3; $C = 10$ т/м^2; $\varphi = 35°$.

Вследствие подработки части прибортового массива его механические характеристики снизились и имеют следующие значения: $\gamma_1 = 2{,}5$ т/м^3; $C_1 = 0$ т/м^2; $\varphi_1 = 30°$. Угол разрыва $\beta'' = 70°$.

Поверхность скольжения, как и в рассмотренном примере для неоднородного откоса, будет состоять из четырёх участков. В целиковой части поверхность скольжения описывается, как и раньше, уравнениями:

$$kx-y_1=\lambda\frac{\left(kf-1\right)y_1'^2+2\left(k+f\right)y_1'+1-kf}{fy_1'^2-2f^2y_1'+k-f+kf^2}\equiv\lambda\eta_1\left(p\right),$$

$$-\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\alpha+\varphi}{2}\right)\le y_1'\le\operatorname{tg}\varphi,$$

$$kx-y_2=\lambda\frac{1+kf}{1+f^2}\cdot\frac{\left(1+y_2'^2\right)^2}{2y_2'^3-\left(k+3f\right)y_2'^2+2kfy_2'+k-f}\equiv\lambda\eta_2\left(p\right),$$

$$y_2'>\operatorname{tg}\varphi.$$

На границе областей с разными физико-механическими свойствами происходит излом поверхности скольжения, после излома поверхность скольжения под откосом описывается уравнением:

$$kx-y_3=b\frac{\left(1+y_3'^2\right)^2}{2y_3'^3-\left(k+3f_1\right)y_3'^2+2kf_1y_3'+k-f_1}\equiv b\eta_3\left(p\right),$$

где b – постоянная.

Так как породы в подработанной части массива не обладают сцеплением (связностью), наиболее опасная поверхность скольжения определяется не экстремумом функционала, а экстремумом функции разности сдвигающих и удерживающих сил на площадке среза. Наибольшее главное напряжение совпадает с весом пород, а угол

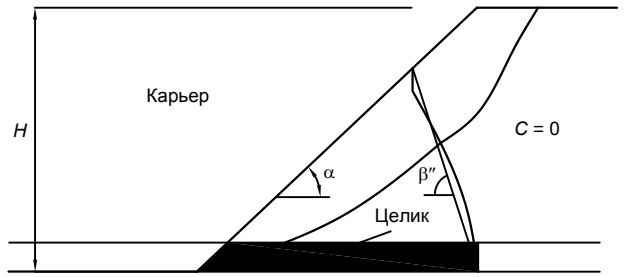


Рисунок 5. Схема подработанного откоса / Figure 5. The scheme of undermined slope.

наклона критической площадки не зависит от величины сцепления, поэтому уравнение поверхности скольжения имеет вид:

$$y_4 = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_1}{2}\right)x + m, \qquad (8)$$

где m – постоянная.

Сумма сил на участке бермы подсчитывается при помощи следующего интеграла:

$$\int\left[\gamma\left(H - y_4\right)\left(y_4' - f_1\right)\right]dx.$$

Условие в точке излома имеет вид:

$$\frac{\operatorname{tg}\psi - \operatorname{tg}\varphi}{1+\operatorname{tg}^2\psi} - \frac{\operatorname{tg}\omega - \operatorname{tg}\varphi_1}{1+\operatorname{tg}^2\omega} + \left(-\operatorname{tg}\beta'' - \operatorname{tg}\psi\right)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\psi - \operatorname{tg}^2\psi}{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2} -$$

$$-\left(-\operatorname{tg}\beta'' - \operatorname{tg}\omega\right)\frac{1+2\operatorname{tg}\varphi_1\operatorname{tg}\omega - \operatorname{tg}^2\omega}{\left(1+\operatorname{tg}^2\omega\right)^2} = \frac{\lambda\left(1 - C_1/C\right)}{h};$$

где ψ, ω – соответственно углы наклона поверхности скольжения до и после преломления на границе областей; h – глубина точки излома.

Глубина точки излома определяется условиями:

$$h = b\frac{\left(1+\operatorname{tg}^2\omega\right)^2}{2\operatorname{tg}^3\omega - \left(k+3f_1\right)\operatorname{tg}^2\omega + 2kf_1\operatorname{tg}\omega + k - f_1},$$

$$h = \lambda\frac{1+kf}{1+f^2}\cdot\frac{\left(1+\operatorname{tg}^2\psi\right)^2}{2\operatorname{tg}^3\psi - \left(k+3f\right)\operatorname{tg}^2\psi + 2kf\operatorname{tg}\psi + k - f}.$$

Абсцисса точки излома с учетом (7) определяется уравнениями:

$$kx_0 - h = -\operatorname{tg}\beta''\left(x_0 - d\right);\quad \int_{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\operatorname{tg}\varphi}\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\varphi}^{\operatorname{tg}\psi}\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp = x_0.$$

Тангенс угла наклона (производная) поверхности скольжения в точке стыка откоса и бермы, как и раньше, определяется из уравнения:

$$\left(f_1+k\right)s^4 + 4\left(1-kf_1\right)s^3 + 2\left(kf_1^2 - 3f_1 - 2k\right)s^2 +$$
$$+4f_1\left(f_1+k\right)s + f_1 - k - 2kf_1^2 = 0.$$

Постоянную m в уравнении поверхности скольжения под бермой (8) определим из условия равенства ординат в точке стыка участков поверхностей скольжения:

$$b\frac{\left(1+s^2\right)^2}{2s^3 - \left(k+3f_1\right)s^2 + 2kf_1s + k - f_1} = H - \left(\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)\frac{H}{k} + m\right).$$

Глубину поверхности скольжения в точке стыка участков откоса и бермы h_1 определяем из условия:

$$h_1 = H - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)\frac{H}{k} - m.$$

И, наконец, система уравнений, требующая выполнения условия предельного равновесия и осуществляющая связь λ, b и H:

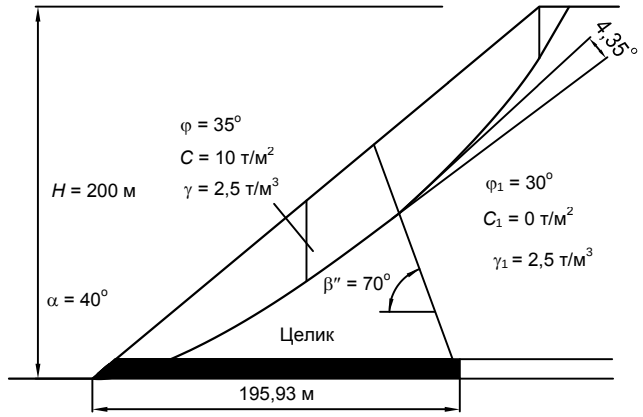


Рисунок 6. Пример расчета подработанного откоса / Figure 6. Example of calculating the undermined slope.

$$\begin{cases}\displaystyle\int_{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\operatorname{tg}\varphi}\left[\frac{\gamma(p-f)}{1+fp}\lambda\eta_1(p) - \frac{C\left(1+p^2\right)}{1+fp}\right]\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\varphi}^{\operatorname{tg}\psi}\left[\frac{\gamma(p-f)}{1+p^2}\lambda\eta_2(p) - C\right]\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp + \\ \displaystyle + \int_{\operatorname{tg}\omega}^{s}\left[\frac{\gamma(p-f_1)}{1+p^2}b\eta_3(p) - C_1\right]\frac{b\eta_3'(p)}{k-p}dp + \int_{H/k}^{H/k+h_1/\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)}\left[\gamma\left(H - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4}+\frac{\varphi_1}{2}\right)x - m\right)\left(\sqrt{1+f_1^2}\right)\right]dx = 0; \\ \displaystyle\int_{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha+\varphi}{2}-\frac{\pi}{4}\right)}^{\operatorname{tg}\varphi}\frac{\lambda\eta_1'(p)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\varphi}^{\operatorname{tg}\psi}\frac{\lambda\eta_2'(p)}{k-p}dp + \int_{\operatorname{tg}\omega}^{s}\frac{\lambda\eta_3'(p)}{k-p}dp = \frac{H}{k}.\end{cases}$$

Составленных ранее условий достаточно для определения всех неизвестных. По результатам численного решения рассматриваемого примера получены параметры, определяющие наиболее опасную поверхность скольжения и размер охранного целика:

$$\left\{\operatorname{tg}\psi\ \operatorname{tg}\omega\ \ s\ \lambda\ b\ x_0\ h\ h_1\ m\ d\right\}^T = \left\{0,78\ 0,91\ 1,62\ 3,80\ 7,53\ 163,57\ 48,34\ 27,57\ -240,41\ 195,93\right\}^T.$$

На рис. 6 приведены поверхность скольжения и целик, соответствующие предельному равновесию откоса для рассматриваемого примера. Размер целика должен составлять не менее d = 196 м. Отметим, что из приведенных уравнений могут быть также определены предельная высота борта и угол устойчивого откоса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мочалов А. М. Расчет устойчивости слоистых откосов // Труды ВНИМИ. 1971. Сб. 83.
2. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.98. СПб.: ГосНИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела, 1998. 208 с.
3. Лаврентьев М. А., Люстерник Л. А. Курс вариационного исчисления. 2-е изд. М.: Гостехиздат, 1950. 296 с.

REFERENCES

1. Mochalov A. M. 1971, *Raschet ustoychivosti sloistykh otkosov* [Calculation of the stability of layered slope], *Trudy VNIMI* [Proceedings of VNIMI], Leningrad, vol. 83.
2. 1998, *Pravila obespecheniya ustoychivosti otkosov na ugol'nykh razrezakh: utv. Gosgortekhnadzorom RF 16.03.98.* [Rules to ensure the stability of slopes in the coal mines: approved by the State Technical Supervision of the Russian Federation 16.03.98], Saint-Petersburg, 208 p.
3. Lavrent'ev M.A., Lyusternik L.A.1950, *Kurs variatsionnogo ischisleniya* [Variational calculus course], Moscow, 296 p.

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

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 47-53.
УДК 622.023.03.117
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-47-53

ИЗЫСКАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ОСВОЕНИЮ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ЗАПАСОВ НАКЛОННОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И. В. Соколов, Ю. Г. Антипин, И. В. Никитин, К. В. Барановский, А. А. Рожков

Survey on underground geotechnology during transition to the development of deep reserves of inclined copper pyrite deposits

I. V. Sokolov, Yu. G. Antipin, I. V. Nikitin, K. V. Baranovskiy, A. A. Rozhkov

At the present stage of development of the mining industry, there is a trend to increase the depth of the development of mineral resources in the context of limited financial and time resources. The need to maintain Urup underground mine production capacity determines the transition to the working out of deep reserves of copper pyrite ore, efficiency of development of which largely depends on the proper selection of schemes of opening and development technology. Comparison of volumes and timing of construction for two constructed variants of opening showed that the gradual opening of the ore by sloping with road transport provides a timely transition to the working out of deep mine reserves without any loss of production capacity. One can characterize technologies of ore extraction with the usage of portable equipment by a large amount of preparatory-threaded work, high losses and dilution of ore, and low labor productivity. With increasing depth of the elaboration, capacity of the ore body is reduced; therefore, the efficiency of existing production technology will decline sharply. As a result of technical and economic comparison of ten constructed variants of ore mining technology by the criterion of maximum profit, referred to the 1 ton of redeemable balance reserves, authors established the effectiveness of the development of the system of sublevel caving of the ore bodies for average power and room-and-pillar system for low-power stations. The use of these options of technology can significantly improve the technical and economic indicators of ore extraction and obtain acceptable average weighted ore recoveries (loss of 17 %, 22 % dilution) using self-propelled equipment and disposal of rocks from tunneling and cleaning recess in the goaf of waste chambers.

Keywords: copper pyrite ore; opening circuit; development system; a self-propelled equipment; construction; technical and economic indicators; profit.

На современном этапе развития горного производства наблюдается тенденция к увеличению глубины разработки полезных ископаемых в условиях ограниченности финансовых и временных ресурсов. Необходимость поддержания производственной мощности Урупского подземного рудника обусловливает переход к отработке глубокозалегающих запасов медноколчеданных руд, эффективность освоения которых во многом зависит от правильного выбора схемы вскрытия и технологии отработки. Сравнение объемов и сроков строительства по двум сконструированным вариантам вскрытия показало, что поэтапное вскрытие руды уклоном с автомобильным транспортом обеспечивает своевременный переход к отработке глубокозалегающих запасов без потери рудником производственной мощности. Применяемые на руднике технологии добычи руды с использованием переносного оборудования характеризуются большим объемом подготовительно-нарезных работ, высокими потерями и разубоживанием руды, низкой производительностью труда. С увеличением глубины разработки мощность рудного тела уменьшается, следовательно, эффективность существующей технологии добычи будет резко снижаться. В результате технико-экономического сравнения десяти сконструированных вариантов технологии добычи руды по критерию максимума прибыли, отнесенной на 1 т погашаемых балансовых запасов, установлена эффективность системы разработки подэтажного обрушения рудных тел для средней мощности и камерно-столбовой системы для маломощных участков. Применение данных вариантов технологии позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели добычи руды и получить приемлемые средневзвешенные показатели извлечения руды (потери 17 %, разубоживание 22 %) за счет использования самоходного оборудования и утилизации породы от проходки и очистной выемки в выработанном пространстве отработанных камер.

Ключевые слова: медноколчеданная руда; схема вскрытия; система разработки; самоходное оборудование; конструирование; технико-экономические показатели; прибыль.

На современном этапе развития горного производства наблюдается тенденция к увеличению глубины разработки полезных ископаемых в условиях ограниченности финансовых и временных ресурсов [1]. Проблема перехода к освоению глубоких горизонтов актуальна для Урупского подземного рудника (УПР), разрабатывающего Урупское медноколчеданное месторождение, расположенное в предгорьях Северного Кавказа на территории Карачаево-Черкесской Республики.

Освоение Урупского месторождения в настоящее время осуществляется в пределах запасов горизонтов 13–16, объем и технология отработки которых обеспечивают производственную деятельность рудника в течение ближайших 7 лет. В данной ситуации актуально решение о вовлечении в эксплуатацию запасов нижних горизонтов 16–21 (глубина разработки более 700 м), обусловливающее необходимость изыскания и выбора рациональных схем вскрытия и систем разработки, обеспечивающих как поддержание производственной мощности рудника в переходный период, так и улучшение технико-экономических показателей (ТЭП) при освоении основных запасов.

Горно-геологические и горнотехнические условия отработки рассматриваемых горизонтов:

– длина залежи по простиранию до 1500 м, по падению до 1200 м;

– угол падения рудного тела 25–30°;

– средняя мощность маломощных участков рудного тела 3 м, участков средней мощности – 7,8 м;

– руды устойчивые и средней устойчивости с коэффициентом крепости 11–13;

– породы висячего бока неустойчивые, лежачего бока – от устойчивых до неустойчивых, коэффициент крепости 8–11;

– объемный вес руд 4,0 т/м^3, вмещающих пород –2,65 т/м^3;

– высокая ценность руды, обусловленная высоким содержанием меди и сопутствующих металлов;

– годовая производственная мощность рудника 400 тыс. т.

Месторождение вскрыто с поверхности центрально расположенным вертикальным скипо-клетевым стволом, пройденным диаметром в свету 6,5 м на глубину 678 м, и фланговыми вентиляционными выработками, расположенными в лежачем боку месторождения: на западе – вентиляционным шурфом до 1 горизонта, вентиляционным восстающим до 16 горизонта и лифтовым восстающим между 12 и 14 горизонтами; на востоке – вентиляционным стволом (запасный выход) до 2 горизонта и наклонным стволом со 2 до 12 горизонта. Высота этажа в горизонтах 1–12 составляет 37 м, в горизонтах 12–16 – 74 м (сдвоенные этажи). Освоение запасов горизонтов 13–16 ведется с использованием концентрационного 16 горизонта и применением традиционного рельсового транспорта, переносного бурового и доставочного оборудования.

Таблица 1. График строительства горизонтов 16–21 УПР по вариантам вскрытия.

Наименование работ	Объем работ, м³	Продолжительность строительства, мес.	Годы									
			1	2	3	4	5	6	7	8*	9	10
Вариант 1												
Углубка ствола	7123	12	Проектирование (стадия ПД и РП)		Закупка оборудования							
Проведение камерных выработок	8570	12										
Проведение горизонтальных выработок	62602	53										
Проведение вертикальных выработок	5807	10										
Всего	**84102**	**77**										
Вариант 2												
Строительство автоуклона	9517	11	Проектирование (стадия ПД и РП)		Закупка оборудования							
Проведение камерных выработок	3580	5										
Проведение горизонтальных выработок	20504	11										
Проведение вертикальных выработок	2424	4										
Всего (этап 1)	**36025**	**31**										

*Цветом показан год начала выбывания производственной мощности горизонтов 13–16 УПР.

Таблица 2. Систематизация вариантов систем разработки нижних горизонтов УПР.

Технологическое оборудование	Вариант системы разработки	
	Мощность рудного тела *m* = 7,8 м	Мощность *m* = 3,0 м
Переносное	Вариант 1. Подэтажно-камерная с площадным выпуском руды	Вариант 2. Камерно-столбовая
Самоходное	Вариант 3. Подэтажное обрушение с торцовым выпуском руды	Вариант 9. Камерно-столбовая с расположением наклонного съезда в рудном теле
	Вариант 4. Подэтажное обрушения сдвоенными панелями с торцовым выпуском руды	
	Вариант 5. Подэтажное обрушение сдвоенными панелями с комбинированным выпуском руды	
	Вариант 6. Подэтажное обрушение сдвоенными панелями увеличенной ширины с комбинированным выпуском руды	Вариант 10. Камерно-столбовая с расположением наклонного съезда в лежачем боку
	Вариант 7. Подэтажно-камерная с последующим обрушением целиков и выпуском на двух подэтажах	
	Вариант 8. Подэтажно-камерная с последующим обрушением целиков и выпуском руды на одном подэтаже	

Таблица 3. Технико-экономические показатели по вариантам систем разработки.

Показатель	Варианты систем разработки									
	с переносным оборудованием		с самоходным оборудованием							
	m =7,8 м	*m* = 3 м	*m* = 7,8 м						*m* = 3 м	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Условная извлекаемая ценность, отнесенная на 1 т погашаемых балансовых запасов, руб./т	243,3	285,5	324,9	321,2	306,0	306,0	309,8	309,8	274,7	289,4
Потери, %	35,6	24,6	14	15	19	19	18	18	27,3	23,4
Разубоживание, %	19,2	5	32	27	22	20	20	20	5	5
Объем ПНР на 1000 т добытой руды, м³	57,2	33,1	41,5	39,7	76,7	51,9	51,7	57,1	30,8	38,8
Производительность труда забойного рабочего по системе разработки, м³/ чел.-смену	4,1	3,3	19,1	19,8	13,7	18,2	17,8	16,9	10,7	10,8
Условная себестоимость, отнесенная на 1 т погашаемых балансовых запасов, руб./т	167,8	173,6	206,6	192,6	179,5	176,0	178,2	176,7	136,3	136,6
Условная прибыль на 1 т погашаемых балансовых запасов, руб./т	755	111,9	118,3	128,5	126,5	130,0	131,6	133,1	138,3	152,8
Прирост прибыли, %	–	–	57	70	67	72	74	76	24	37
Рентабельность, %	45	64	57	66	70	74	74	75	100	112
Основное технологическое оборудование на проходческих и очистных работах	Перфораторы: ПП-63, ПТ-36, ПТ-48 Скреперные лебедки: 30ЛС-2СМ, 55ЛС-2С Буровой станок БСМ-1		Буровая установка Boomer T1D; Буровой станок Sandvik DL 310; ПДМ типа Atlas Copco ST 7; Автосамосвал Sandvik TH 320							

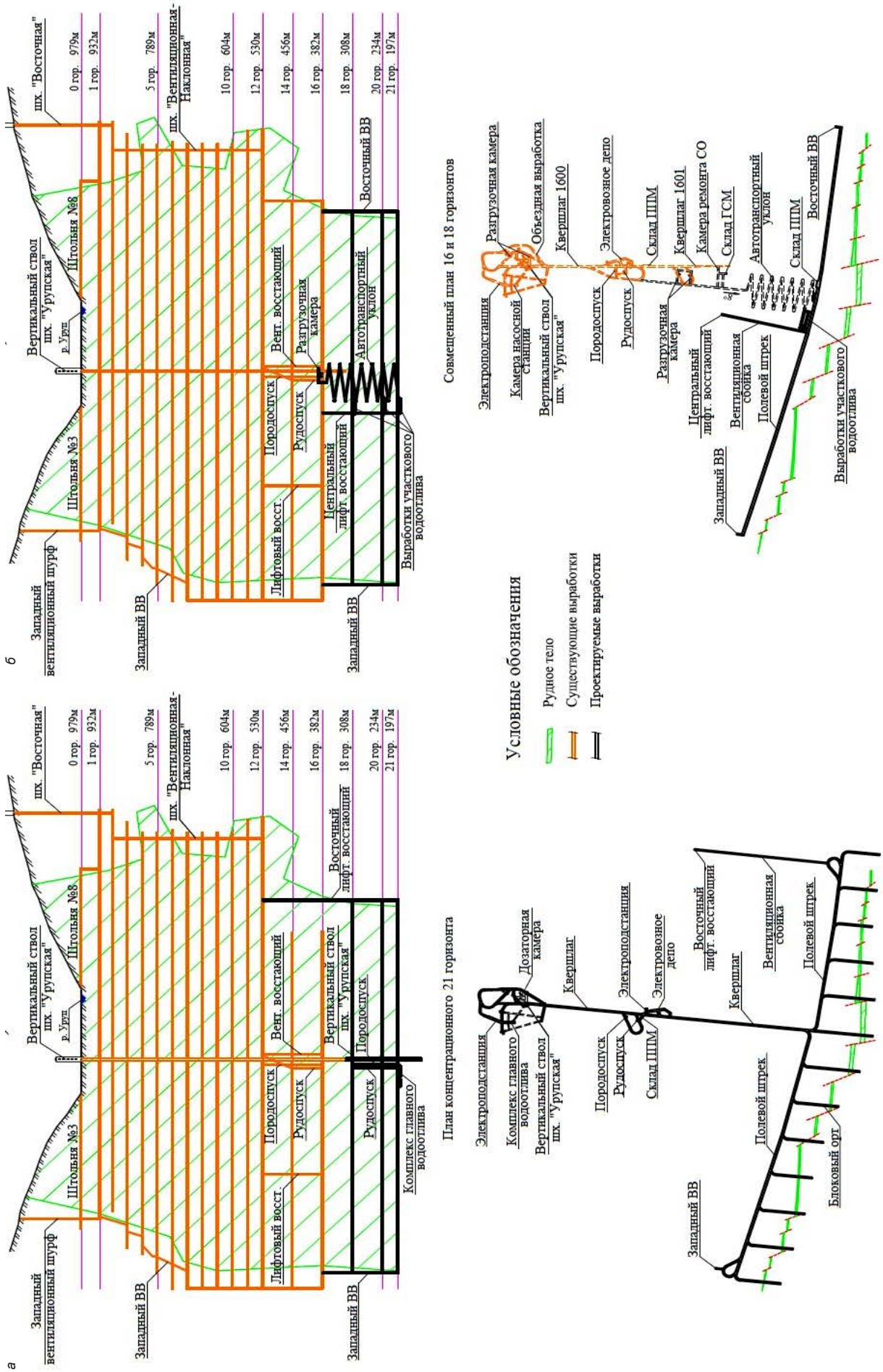


Рисунок 1. Схема вскрытия запасов горизонтов 16–21 по варианту 1 – *а*, варианту 2 – *б* / Figure 1. The scheme of opening reserves of horizons 16–21 according to variant 1 (*a*), variant 2 (*b*).

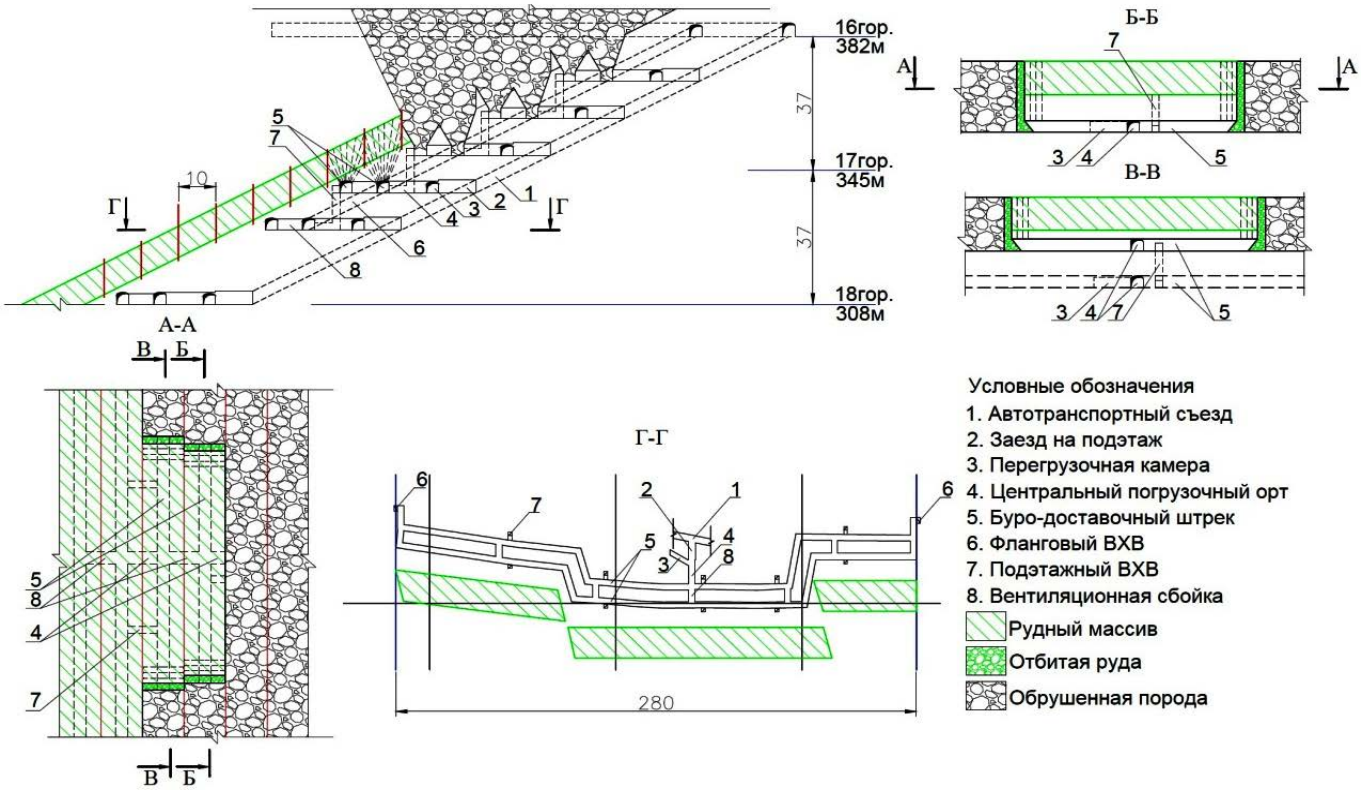


Рисунок 2. Система разработки подэтажного обрушения сдвоенными панелями с торцовым выпуском руды (вариант 4) / Figure 2. Development system of sublevel caving by double panels with front release of ore (variant 4).

Для вскрытия запасов горизонтов 16–21 разработаны два варианта:

– вариант 1 предусматривает углубку действующего ствола и строительство концентрационного 21 горизонта, фланговых вентиляционно-лифтового и наклонного вентиляционного восстающих; используется технология отработки запасов и транспорт руды и породы с применением традиционного оборудования; освоение запасов предусмотрено в один этап, шаг вскрытия 185 м (соответствует глубине разведанных запасов), высота этажа принята 74 м (рис. 1, *а*);

– вариант 2 предусматривает строительство автоуклона с 16 горизонта под углом 8°, центрального вентиляционно-лифтового и фланговых наклонных вентиляционных восстающих; технология отработки запасов и транспорт руды и породы с применением самоходного оборудования; освоение запасов – поэтажное в три этапа, высота этажа 74 м (рис. 1, *б*).

График строительства нижних горизонтов до ввода в эксплуатацию по сравниваемым вариантам показал, что срок ввода в эксплуатацию нижних горизонтов по варианту 1 составляет 6,5 лет, а по варианту 2 – 2,5 года (табл. 1) [2].

Таким образом, установлено, что вариант 1 не обеспечивает переход к отработке нижних горизонтов без потери производственной мощности рудника, поскольку срок строительства с учетом времени на проектирование (около 10 лет) превышает срок начала выбывания мощности рудника при доработке запасов горизонтов 13–16; вариант 2 позволяет осваивать запасы месторождения без разрыва в добыче.

Применяемые в настоящее время технологии добычи руды с использованием переносного оборудования характеризуются большим объемом подготовительно-нарезных работ (ПНР), высокими потерями и разубоживанием руды, низкой производительностью труда. С увеличением глубины разработки мощность рудного тела уменьшается, следовательно, эффективность существующей технологии добычи будет резко снижаться.

На основе анализа и обобщения отечественной и зарубежной теории и практики отработки наклонных маломощных и средней мощности рудных тел [3–8] выявлены рациональные системы разработки:

– подэтажное обрушение с торцовым или площадным выпуском руды самоходным оборудованием (СО);

– камерная с последующим обрушением целиков и применением переносного или СО;

– камерно-столбовая с применением переносного или СО.

Для горно-геологических и горнотехнических условий отработки нижних горизонтов УПР с целью объективного выбора эффективной технологии добычи руды сконструировано 10 вариантов систем разработки, которые систематизированы по признакам применяемого оборудования и мощности рудного тела (табл. 2).

Технико-экономическое сравнение рассматриваемых вариантов систем разработки основывалось на методике определения прибыли, отнесенной на 1 т погашаемых балансовых запасов многокомпонентной руды [9]. Для этого были определены основные ТЭП отработки запасов нижних горизонтов УПР (табл. 3). Сравнительной оценкой вариантов систем разработки с традиционным и СО установлено:

– отработка запасов по традиционной технологии с переносным оборудованием является экономически эффективной: при выемке рудных тел средней мощности (вариант 1) условная прибыль составляет 75,5 руб./т, при выемке маломощных (вариант 2) – 111,9 руб./т;

– эффективность вариантов 3–8 и 9–10 с использованием СО по сравнению с вариантами 1 и 2 соответственно значительно выше за счет повышения извлекаемой ценности руды в результате улучшения показателей её извлечения, а также за счет снижения себестоимости добычи в результате увеличения производительности труда на проходке и очистной выемке, снижения удельного объема и себестоимости ПНР;

– при отработке рудных тел средней мощности наибольший прирост прибыли по отношению к варианту 1 обеспечивают варианты 4 и 6 (70 % и 72 % соответственно). Предпочтение следует отдать варианту 4, имеющему лучший показатель потерь руды, меньший удельный объем ПНР. В условиях устойчивых пород кровли наибольший прирост прибыли обеспечивает вариант 8 (76 %) за счет снижения потерь и себестоимости добычи и проходки;

– при выемке маломощных рудных тел наибольший эффект относительно варианта 2 достигается при варианте 10 (37 %) за счет снижения потерь руды и существенного уменьшения себестоимости добычи 1 т руды.

Таким образом, для отработки рудного тела средней мощности рекомендована система подэтажного обрушения сдвоенными панелями с торцовым выпуском руды (вариант 4), для участков с устойчивыми породами кровли – подэтажно-камерная система разработки с последующим обрушением целиков (вариант 8), для выемки запасов маломощных рудных тел – камерно-столбовая система разработки с расположением автоуклона в породах лежачего бока (вариант 10).

Для отработки основного рудного тела средней мощности 7,8 м с углом падения 27°, доля запасов которого составляет около 70 % от общих запасов нижних горизонтов, выделен центральный добычной участок длиной по простиранию 280 м, высотой 74 м, наклонной длиной 163 м. Участок вскрывается автоуклоном, пройденным в породах лежачего бока.

Этаж по высоте разбивается на подэтажи, которые по простиранию рудного тела разделяются на западную и восточную добычные панели

длиной 140 м. Для обеспечения производственной мощности рудника и эффективности проветривания подготовка и отработка подэтажа производятся одновременно в западной и восточной панелях. Добычные панели делятся на очистные блоки длиной 45–50 м. Очистные блоки на подэтажах отрабатываются в направлении от флангов к центру добычной панели.

Очистная выемка в блоках по варианту 4 осуществляется путем послойной скважинной отбойки руды в зажиме и последующего послойного торцового выпуска руды под обрушенными породами (рис. 2). В одном очистном забое производятся выпуск и погрузка отбитой руды, в другом – бурение и взрывание веера скважин. Это обеспечивает высокую производительность труда на очистной выемке. Запасы в очистных забоях отбиваются вертикальными слоями восходящих вееров скважин диаметром 65 мм, пробуренных из буродоставочных штреков по сетке 1,5 × 1,8 м. Отбитая руда погрузочно-доставочной машиной (ПДМ) выпускается из торца буродоставочного штрека, доставляется в перегрузочную камеру, расположенную на подэтажном орте, и грузится в автосамосвал типа Sandvik TH 320. В отсутствие автосамосвала руда временно складируется в перегрузочной камере. Руда транспортируется к комплексу скипо-клетевого ствола на горизонте 16. Среднее расстояние доставки руды 100 м, транспортирования – 350 м. Вариант 4 имеет следующие преимущества по сравнению с вариантом 1:

– применение сдвоенных буродоставочных штреков на одном горизонте повышает безопасность проходческих и очистных работ и эффективность проветривания забоев;

– сокращение количества подэтажей позволяет снизить удельный объем ПНР за счет увеличения до двух раз запасов подэтажа, уменьшения количества заездов на подэтажи;

– снижается разубоживание руды;

– для обеспечения производственной мощности рудника достаточно ведение добычных работ в одном подэтаже.

В устойчивых и средней устойчивости вмещающих породах отработка блока производится по варианту 8 в две стадии: на первой вынимается камера, на второй междукамерный целик (МКЦ) Г-образной в плане формы обрушается на выработанное пространство камеры (рис. 3). Отбойка камерных запасов производится на открытое пространство вертикальными секциями длиной 3,0–4,5 м, состоящими из 2–3 вееров скважин диаметром 65 мм, пробуренных из траншейного штрека по сетке 1,5 × 2,0 м. Выпуск отбитой руды площадной через траншейное днище из погрузочных заездов ПДМ. Доставка и транспортирование руды аналогичны предыдущему варианту.

Обрушение МКЦ на выработанное пространство камеры осуществляется в один приём массовым взрыванием восходящих вееров скважин диаметром 65 мм, пробуренных из доставочно-бурового штрека по сетке 1,5 × 2,0 м. Отбитая руда МКЦ выпускается под обрушенными породами комбинированным способом – площадным и торцовым. В первую очередь выпускается часть отбитой руды МКЦ, доставленной силой взрыва к выпускным выработкам траншейного днища камеры, из погрузочных заездов. Во вторую очередь выпускается основная часть отбитой руды МКЦ, расположенная на вышележащем подэтаже над породным целиком («козырьком»), сформированным путем заряжания и взрывания только рудной части скважин веера. Торцовый выпуск осуществляется из торца доставочно-бурового штрека путем послойного погашения «козырька».

При отработке маломощных рудных тел средней мощности 3 м с углом падения 27°, доля запасов которых составляет около 30 % от общих запасов нижних горизонтов, выделены два фланговых добычных участка длиной по простиранию 500 м (западный) и 400 м (восточный), высотой 74 м, наклонной длиной 163 м.

Каждый добычной участок по простиранию рудного тела делится на добычные панели длиной 200–250 м и высотой 74 м. В варианте 10 добычные участки вскрываются автоуклоном, пройденным в породах лежачего бока (рис. 4).

Добычные панели в этаже вынимаются последовательно от центра к флангу месторождения. Запасы добычной панели отрабатываются камерами сверху вниз с регулярным оставлением столбчатых целиков (СЦ).

Камера отрабатывается сплошным забоем, её кровля крепится штанговой крепью. Отбойку камерных запасов производят шпуровыми зарядами. По мере продвижения забоя камеры проходятся просечки с вышележащей камерой, тем самым оформляется верхний ряд СЦ. На фланге панели после отработки очередной камеры проходится вентиляционная сбойка с вентиляционно-ходовым восстающим с оборудованием ходового отделения для второго выхода. Доставку руды производят ПДМ до перегрузочной камеры, расположенной в заезде на подэтаж, и далее автосамосвалом транспортируют к комплексу скипо-клетевого ствола на гор. 16. Средняя длина доставки 80 м, транспортирования – 835 м.

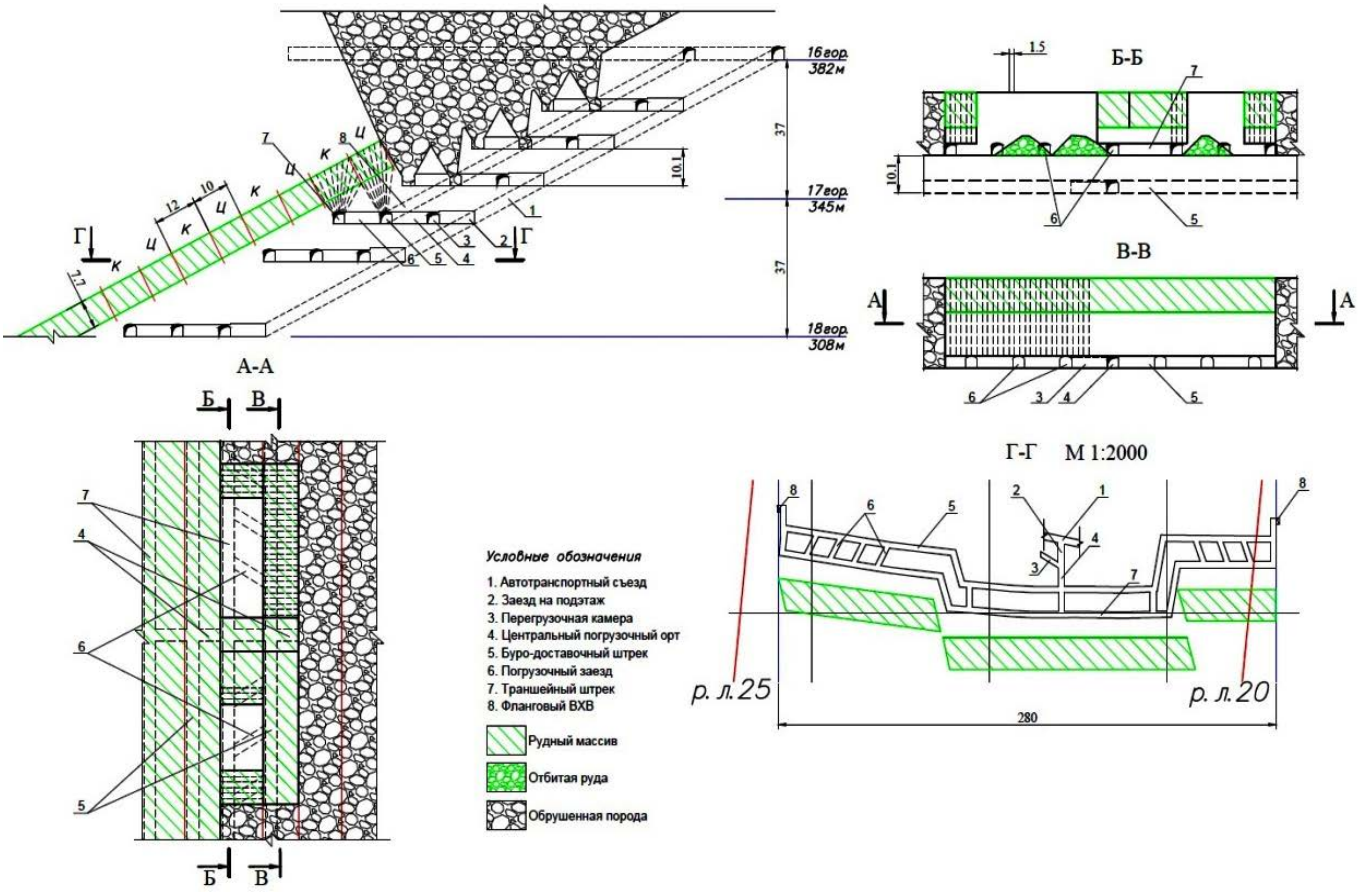


Рисунок 3. Подэтажно-камерная система разработки с последующим обрушением целиков (вариант 8) / Figure 3. Sublevel-chamber system development, followed by the collapse of pillars (variant 8).

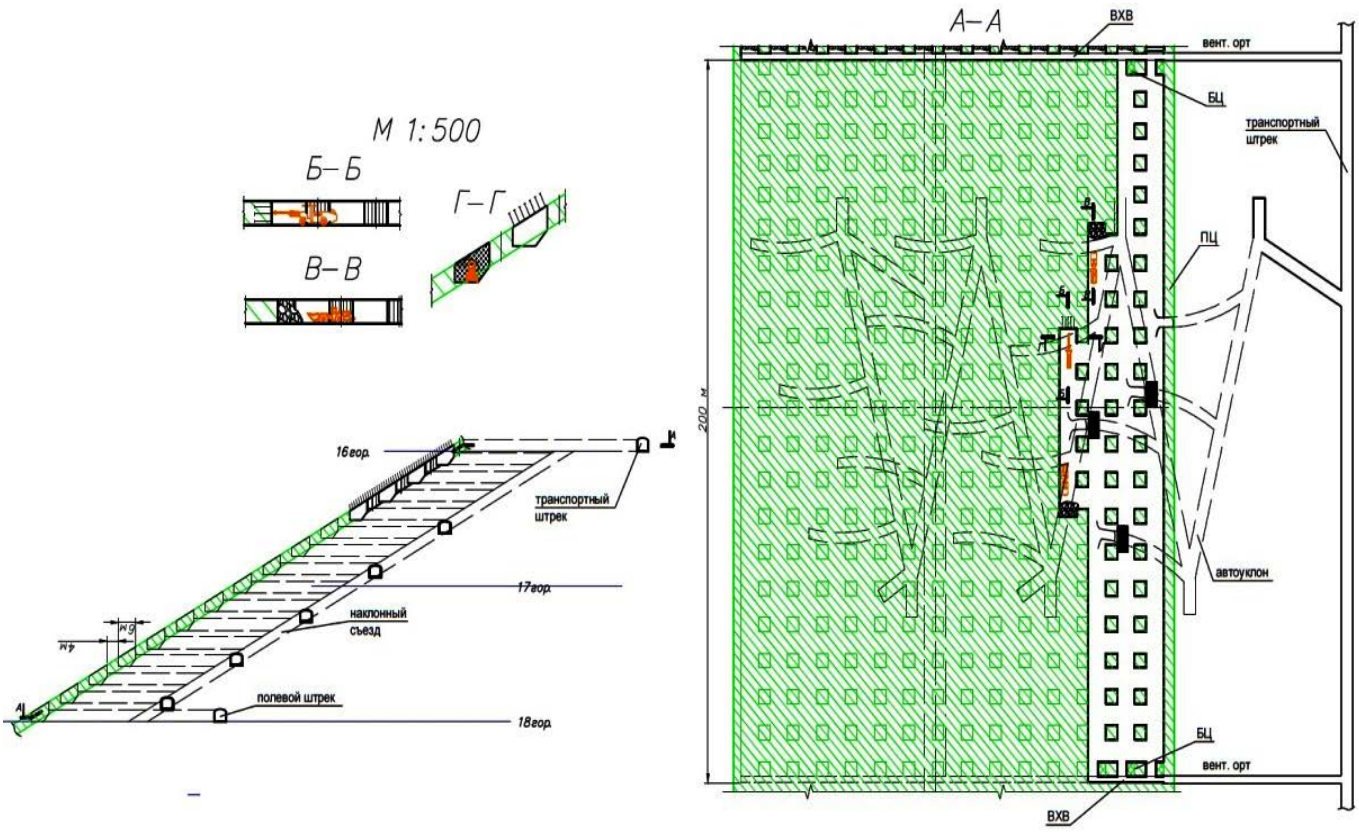


Рисунок 4. Камерно-столбовая система разработки с расположением наклонного съезда в лежачем боку / Figure 4. Room and pillar system design with inclined slope in the footwall.

Выработанное пространство камер заполняется породой как от проходки горных выработок, так и из прирезки лежачего бока, образующейся при отработке центрального добычного участка. Порода в блоках (варианты 4 и 8) грузится ПДМ в автосамосвалы, транспортируется в перегрузочные камеры фланговых панелей и далее доставляется в погашаемые камеры. Следует отметить, что эффективно реализовать данную технологическую схему с утилизацией в шахте большого объема породы позволяет только применение СО (в отличие от переносного).

Комплексный подход к решению проблемы освоения глубокозалегающих запасов Урупского месторождения, основанный на поэтапном вскрытии руды уклоном с автомобильным транспортом и применении систем с использованием СО – подэтажного обрушения для разработки рудных тел средней мощности и камерно-столбовой для разработки маломощных рудных тел, позволяет по сравнению с существующей технологией:

– значительно (до 3 раз) улучшить ТЭП добычи руды;

– получить приемлемые средневзвешенные показатели извлечения руды (потери 17–18 %, разубоживание 22–23 %);

– использовать породу от проходки горных выработок и из прирезки лежачего бока, образующуюся при отработке центрального добычного участка, для закладки отработанных камер фланговых панелей, утилизируя при этом почти весь объем образованной в шахте породы;

– обеспечить эффективное освоение нижних горизонтов УПР без потери производственной мощности в переходный период.

Работа выполнена при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН «Исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при разработке инновационных технологий оценки, добычи и рудоподготовки минерального сырья» (15-11-5-7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев В. Л. О развитии методологических подходов к исследованию проблем освоения недр // Проблемы недропользования. 2015. № 2. С. 5–9.
2. Никитин И. В. Выбор способа вскрытия и схемы транспорта руды при отработке глубоких горизонтов Урупского подземного рудника // Проблемы недропользования. 2015. № 3. С. 50–58.
3. Лузин П. Н., Смирнов А. А. Отработка наклонной магнезитовой залежи камерно-столбовой системой с сухой закладкой // ГИАБ. 2001. № 1. С. 224–225.
4. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Барановский К. В. Изыскание подземной геотехнологии для отработки рудного тела средней мощности и наклонного падения Кыштымского месторождения гранулированного кварца // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 2. С. 17–22.
5. Версилов С. О., Разоренов Ю. И., Фролов А. В., Селезнев В. П. Определение безопасных размеров рудных целиков при выемке наклонных залежей камерно-столбовыми системами разработки // ГИАБ. 2006. № 4ОВ. С. 215–220.
6. Богуславский Э. И., Коржавых П. В. Условия применения этажно-камерных систем при отработке глубоких рудных месторождений // ГИАБ. 2012. № 1. С. 5–8.
7. Fiscor S. Ravett minerals: an evolving american success story // Engineering and Mining Journal, 2012. № 6. P. 64–73.
8. Lovejoy C. Taking troy to the next level // Mining Magazine. 2011. December. P. 13–14.
9. Соколов И. В., Смирнов А. А., Антипин Ю. Г., Барановский К. В., Рожков А. А. Ресурсосберегающая технология подземной разработки месторождения высокоценного кварца // ФТПРПИ. 2015. № 6. С. 133–145.

REFERENCES

1. Yakovlev V. L. 2015, *O razvitii metodologicheskikh podkhodov k issledovaniyu problem osvoeniya nedr* [On the development of methodological approaches to the study of problems of development of mineral resources]. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of subsoil use], no. 2, pp. 5–9.
2. Nikitin I. V. 2015, *Vybor sposoba vskrytiya i skhemy transporta rudy pri otrabotke glubokikh gorizontov Urupskogo podzemnogo rudnika* [Selecting of the method of opening and circuit of ore transport when mining deep underground horizons of Urup mine]. *Problemy nedropol'zovaniya* [Problems of subsoil use], no. 3, pp. 50–58.
3. Luzin P. N., Smirnov A. A. 2001, *Otrabotka naklonnoy magnezitovoy zalezhi kamerno-stolbovoy sistemoy s sukhoy zakladkoy* [Testing of sloping magnesite deposit using chamber-and-pillar system with dry laying]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 1, pp. 224–225.
4. Sokolov I. V., Antipin Yu. G., Baranovskiy K. V. 2013, *Izyskanie podzemnoy geotekhnologii dlya otrabotki rudnogo tela sredney moshchnosti i naklonnogo padeniya Kyshtymskogo mestorozhdeniya granulirovannogo kvartsa* [Research of underground geotechnology for developing of the ore body with average power and the oblique incidence of Kyshtymsk granular quartz deposit]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 2, pp. 17–22.
5. Versilov C. O., Razorenov Yu. I., Frolov A. V., Seleznev V. P. 2006, *Opredelenie bezopasnykh razmerov rudnykh tselikov pri vyemke naklonnykh zalezhey kamerno-stolbovymi sistemami razrabotki* [Determining the safe size of ore pillars during the excavation of oblique deposits with chamber-pillar mining systems]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 4OV, pp. 215–220.
6. Boguslavskiy E. I., Korzhavykh P. V. 2012, *Usloviya primeneniya etazh-*

no-kamernykh sistem pri otrabotke glubokikh rudnykh mestorozhdeniy [Terms of usage of storey-camera systems during the processing of deep ore deposits]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], no. 1, pp. 5–8.
7. Fiscor S. 2012, Ravett Minerals: An Evolving American Success Story. Engineering and Mining Journal, no. 6, pp. 64–73.
8. Lovejoy C. 2011, Taking Troy to the next level. News of the Higher Institutions. Mining Journal, December, pp. 13–14.
9. Sokolov I. V., Smirnov A. A., Antipin Yu. G., Baranovskiy K. V., Rozhkov A. A. 2015, *Resursosberegayushchaya tekhnologiya podzemnoy razrabotki mestorozhdeniya vysokotsennogo kvartsa* [Resource saving technology of underground mining of deposits of high-value quartz]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mining], no. 6, pp. 133–145.

Соколов Игорь Владимирович,
доктор технических наук, заведующий лабораторией подземной геотехнологии
geotech@igduran.ru
Антипин Юрий Георгиевич,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии
Никитин Игорь Владимирович,
научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии
Барановский Кирилл Васильевич,
научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии
Рожков Артем Андреевич,
аспирант, младший научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии

Институт горного дела УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58

Igor' Vladimirovich Sokolov,
Dr, Head of the laboratory of subsurface geotechnology
geotech@igduran.ru
Yuriy Georgievich Antipin,
PhD, Senior Research Associate
Igor' Vladimirovich Nikitin,
Research Associate
Kirill Vasil'evich Baranovskiy,
Research Associate
Artem Andreevich Rozhkov,
Postgraduate Researcher

Institute of Mining of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

For citation:
Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta [News of the Ural State Mining University]. 2016. Issue 2. pp. 54-58.
УДК 622.553. 669.21(479.24) DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-54-58

SELECTION OF OPTIMAL DEVELOPMENT SYSTEMS FOR "GOSHA" GOLD DEPOSIT IN THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN

Z. J. Afandiyeva, M. B. Osmanov

Выбор эффективных систем разработки для Гошинского золоторудного месторождения (Азербайджанская республика)

З. Дж. Эфендиева, М. Б. Османов

В 1966 г. на Гошинском золоторудном месторождении были проведены первые геологоразведочные работы и выявлено 6 рудных зон. В последующие годы проводились детальные геологоразведочные работы, в результате которых выявлено и изучено 17 зон. С 2009 г. месторождение разрабатывается международной горнорудной компанией, которая доказала, что зоны 13 и 13а являются высокоперспективными, с богатым золоторудным оруденением. Проведенные исследования системы разработки подтвердили, что в условиях Гошинских золоторудных месторождений требуется применение конкретных систем разработки, которые наиболее полно отвечают природным и техногенным условиям месторождения. Для эксплуатации месторождений были рассмотрены различные системы разработки, большинство из которых являются традиционными, некоторые – новые. С учетом всех необходимых критериев и горнотехнических условий предлагается система разработки Гошинского месторождения, предполагающая скважины с открытыми забоями и отбойку руды глубокими шпурами сверху вниз. В статье даны результаты SWOT-анализа предложенной системы разработки. В настоящее время разработка с применением предложенного способа уже начинается. Предложенные варианты системы разработки имеют свои преимущества по сравнению с другими: они позволяют сэкономить начальные капитальные затраты и предусматривают снижение объема горных работ (не требуют заполнения разработанной пустоты). Предложенные авторами варианты систем разработки Гошинского золоторудного месторождения могут быть применены для других рудных месторождений Азербайджана и соседних республик с аналогичными горнотехническими и геологическими условиями.

Ключевые слова: золоторудное месторождение; подземные разработки; горные работы; системы разработки; рудная минерализация; капитальные затраты.

In 1966, "Gosha" gold mine hosted its first geological exploration works and six ore zones were found. In subsequent years, scientists carried out detailed exploration resulting in 17 known and studied zones. Since 2009, international mining company develops this deposit, and it proved that the areas 13 and 13a are mega-rich with gold ore mineralization.
Implemented investigation of the development system confirmed that Gosha gold mine requires concrete development system that can fully meet natural and technical conditions of the deposit.
We studied different development systems for the development of the deposit and gave their outcome in the article. Considering the main criterions and factors necessary for choosing development system, we propose the system "Wells with open face, breaking of ore by blast holes, from the top to bottom". Strong and weak features, opportunities and dangers of the offered development system and the results of the SWOT analysis one can find in the article.
In comparison with others, the proposed variant of the development system has the following properties: it allows saving initial economic losses, and it decreases volume of mining works (filling the developed gaps is not required)
Our proposed options for development systems Goshinsky gold deposit fully meet the conditions of natural and technological fields and can be applied to other ore deposits of Azerbaijan and neighboring countries with similar mining and geological conditions.

Keywords: gold deposit; underground development; mining operations; development systems; mineralization; capital expenditures.

Introduction

"Gosha" gold mine is located in the northeastern part of the Lesser Caucasus between the rivers Asrikchay, Ahindzhachay and in the upper stream Gosha-su.

Ore field combines several promising deposits: Goshinsky, Itkyrylansky, Boyuk-Kishlaksky, Karavellyarsky, Safarlinsky, Perizamanlinsky, Oksyuzlinsky, Asrikchaysky, Gariblinsky, as well as some other deposits and occurrences.

Among these ore deposits and occurrences Goshinsky gold deposit is the most promising and has attracted the attention of foreign mining companies.

Ore deposits are represented by industrial veins of various shapes and sizes. Actually, vein formations are diabase dikes with capacity from 0.1 m to 3 m and a length of over 1 km.

Gold is the primary valuable component of industrial veins; silver and copper have secondary importance. In northeastern zones of the industrial veins, in some intervals, there is no gold and in others, it is unevenly distributed.

Ore deposits are characterized by a complex mineral composition. There are more than 30 minerals in these ore deposits.

Among ore minerals, zones of hydrothermal alterations were found in gold veins and silicified, it is possible to recall pyrite, chalcopyrite, chalcocite, barite, koveline, malachite, azurite, and (in rare cases) native gold. Capacity of the individual zones of hydrothermal altering rocks varies from one to tens of meters [1].

Material composition and intensity of mineralization in hydrothermally altered zones and gold ore veins is very volatile. Numerous intervals that contain gold reserves of industrial importance are located in range of the same zone.

In all of hydrothermally altered areas, occurrences of gold, silver and sulfides are in phenocrysts confined to veins, vein lets or other forms of congestions. It is also possible to observe ore mineralization in hydrothermally altered host rocks.

Hypogene minerals spread in the "Gosha" gold deposit are pyrite, pyrhotite, enargite, chalcopyrite, silver, gold, sphalerite, magnetite, rutile, anatase, faded ore, cinnabar, en-timonen, realgar, orpiment and chalcocite.

Non-metallic minerals available in Gosha deposit are quartz, calcite; and the minerals found in the oxidation zones are: malachite, azurite, goethite, limonite, hydrogoethite, hydrohematite, chalcocite, kovallin, cuprite and bornite.

The main ore-forming mineral of gold mineralization is pyrite, in some areas reaching 70 % of the total volume of ore. Copper minerals, mainly of chalcopyrite, make up 10 to 15 % of the ore. Along with chalcopyrite and pyrite, there also are rare tiny inclusions of sphalerite in the main ore mass [2].

Identified mineralized zones and auriferous veins contained in these zones are grouped in two systems of cracks: 1) Early – Northeast; 2) Later – Northwest.

Cracks in the northeastern region of the Gosha deposits are overwhelmingly filled with quartz veins, which are rich in gold reserves. In all mineralized zones, one can find quartz, rarely quartz-carbonate veins, with thin veins and phenocrysts of pyrite. Power quark lived from 0.2 m to 2.5 m, and the intensity of the proto from 20 m to 400 m. Conductor character forms a steep drop from 60° to 90°. Taking into account confinement of the ore deposits in quartz veins it becomes possible to predict the prospects of the detection of industrial concentrations of gold present even in the secondary quartzite.

Very significant wives from 700 to 800 m characterize this mineralized zones and ore bodies. A thickness of ore bodies varies from 15 m to 20 m, and in some cases, their capacity reaches up to 50 m from 30 m.

Materials and methods

Geological study and research have shown that gold ore deposits require the use of specific systems development under conditions of Goshinsky deposit.

At present, the stage is characterized by insufficient rates of the development of ore deposits and of reproduction of the mineral resource base, with a low probability of discovery and development of new fields.

Therefore, a large number of mining companies strives to maintain production capacity by selecting and applying the most effective systems for the development of ore deposits. In this context, increase in the depth of ore bodies leads to the complicated conditions for mining activities, which entails a significant increase in the specific capital expenditures. This in turn requires a search for new ore mining methods.

It is important to use efficient systems for the development of one of the promising areas of underground mining, ores of average capacity. Economic

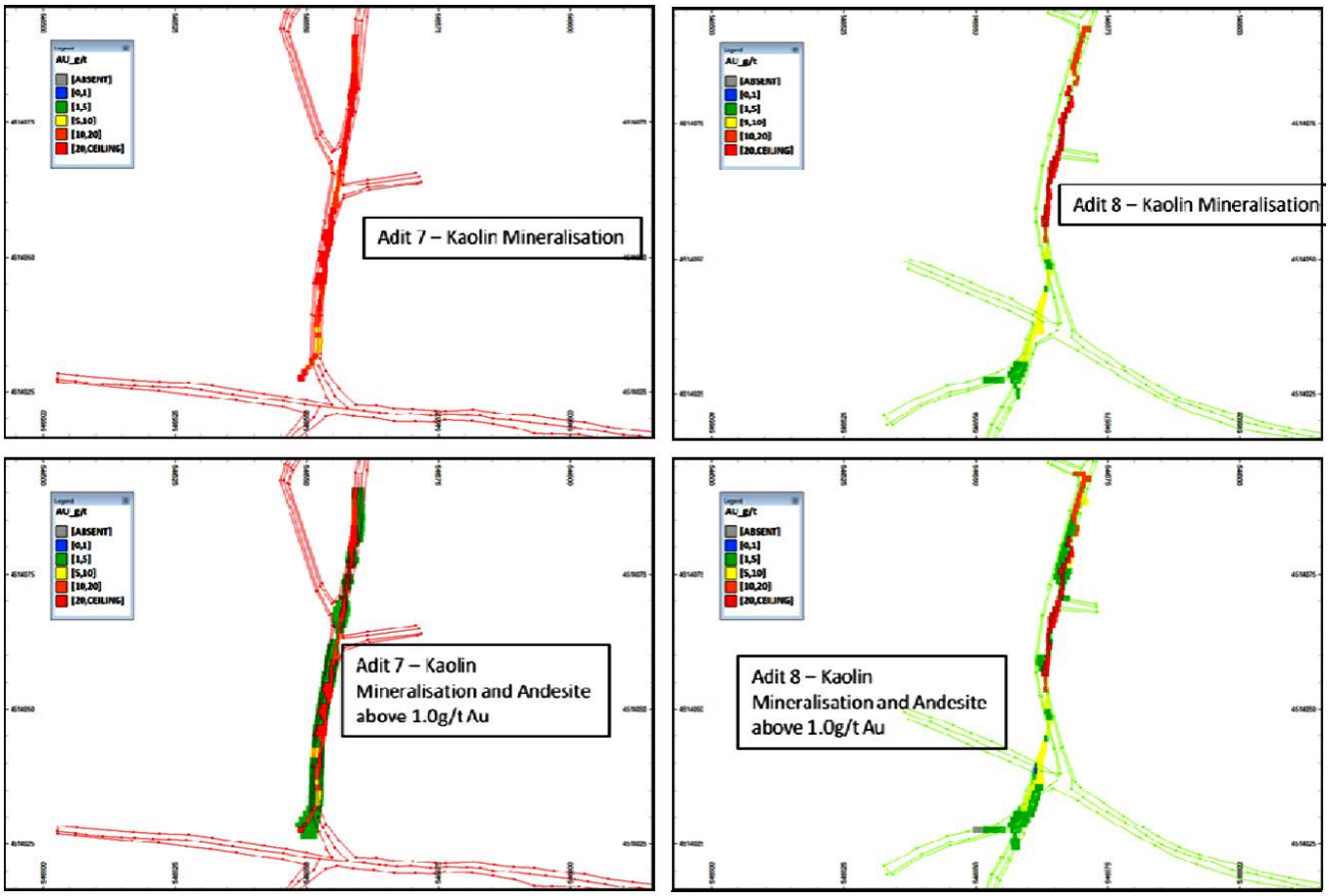


Figure 1. Conceptual model of the useful component amount.

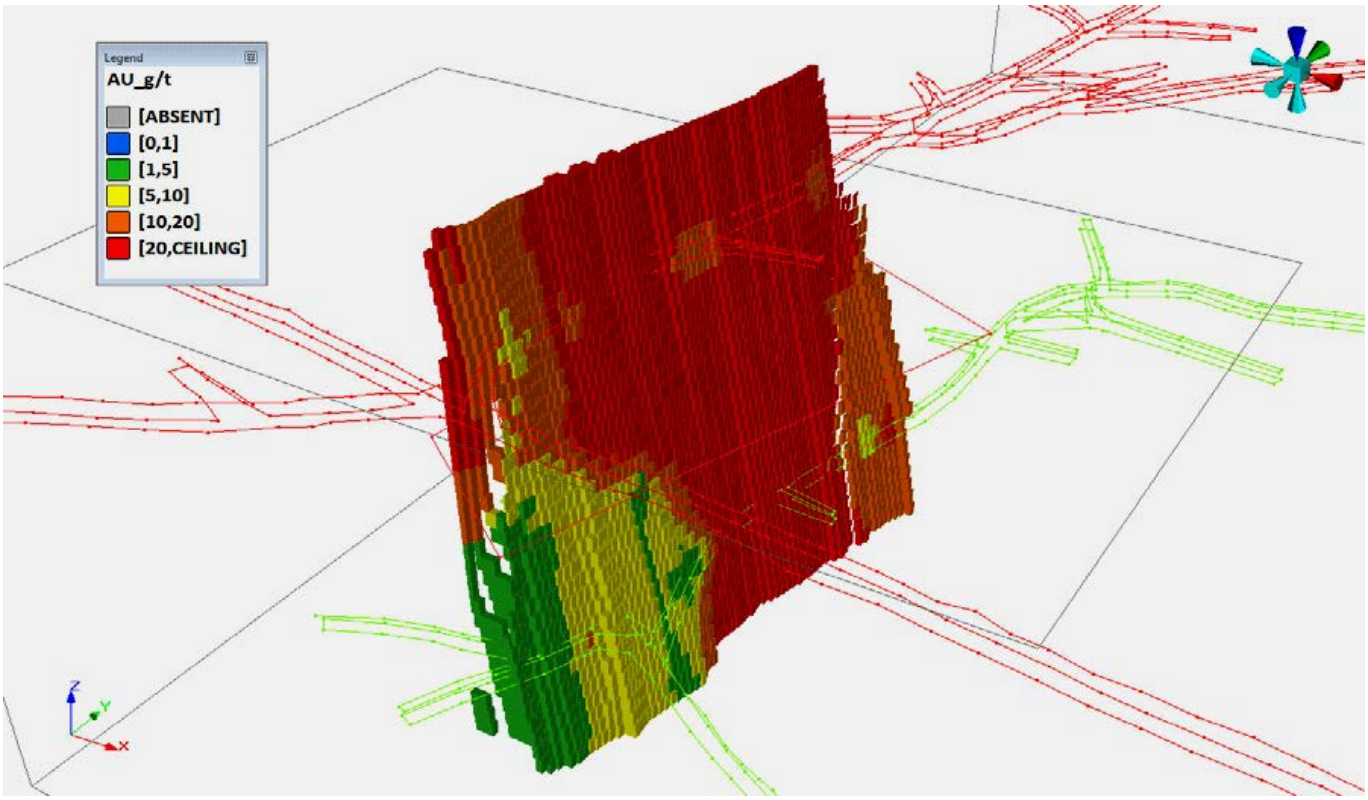


Figure 2. Kaolin isometric Projection Model.

Table 1. General characteristics of the considered development systems and their basic indicators.

Development system	Strengths	Weaknesses	Dangers	Grounding
Wells with open face, top-down or vice versa	High productivity, less prepartion strecks, less skill is requierd, less specialized system	Scarcity and ore loss, supplying of the sloping access is required, main equipment is not used effectively enough	Transportation of the filler material leads to ore loss in the columns, selection of the interval distance of the lower layer is important.	High based spendings and probability of high scarcity
Cutting and filling, from top to bottom	Removing of selective, garbage and empty rocks having less primary capital	High spendings, little productivity, ore loss, increasing of technical service problems	Kinds, source and transportation of the filler material	Few primary spendings, high selective opportuni-ty, exploitation quickness
Extracting of ore by collecting it in the clean- ing zone	Selecive, small sized open fields, having less primary capital, filling of the developed gap is not required	Spendings are high, little productivity, big amount of ore mass remains in the cleaning area of the development phase.	Obsession of the material in the cleaning area, probability of the gap creation under work area.	Creating of the problems closed with obsession of the material, serious tech- nical security problems.
Stepped development at the down direction along the lower layer	Productivity, selective, costs are few.	Labour capacious, ore loss is possible in the columns between the development fields.	Carrying out of the works under high gap, boring problem of the wells may be in the caolin situation.	Few primary spendings, high selective opportuni- ty, exploitation quickness.
Washing by high pressred water jet	Only caolanbized material is extracted, basic spendings and operation spendings are few, required skill level is low.	Loss of the collecing suspention, it may not surround all the ore zones, controling of the water regime.	Security problems while carrying out of the works under high pressured water, controling of water regime, exposing of the staff to the water, sudden spilling of the ore	Ore loss, technical sec- urity problems, high expenditure of technical water
Cutting by chained mechanism	Durable extraction, mechanized selectivity	Preparation of the special equipment	Loading, transportation, unloading of the material, security of the staff	Transportation problems of the material, serious technical problems, ore loss
Boring by mechanical method, cutting and filling by opening of ore in the side rocks	Not any well is bored in the caolin layer due to the opening of the ore in the side rocks, while the development is incresing filler material occurs	Development is slower because it has 2 steps, some ore loss, additional equipment is required.	Access is required for all the horizons, equipment can be exploitated inside the mine, ore loss, not all the caolined ore is extracted.	Carrying out of the test in the ore area

criteria for these systems focus on earning maximum profits at minimum costs spend at 1 tone of balance reserves. This requires technologies providing high efficiency of mining operations [3–5].

In the literature, there are more than 200 varieties of the main systems of underground mining of ore deposits.

There is a number of their classifications (N. I. Trushkov, R. P. Kaplunov, N. A. Starikov, V. R. Imenitov and so on). The most common is M. I. Agashkov classification based on symptom status of clearing space in the period [6, 7].

Since 2009, international mining company has been spending more detailed exploration works on Goshinsky gold deposit. These works has identified several rich ore zones and conducted repeated testing for known industrial horizons. In 2010, 5 wells were dug with more than 350 m of adits.

Reserves in the Gosha deposit consist of gold veins with little thickness, grouped into two sets, which lengthen to each other perpendicularly. In this research, attention was on one point. The vein consists of the mineralized quartz – pyrite – caolinite mass, which is located inside the weak mineralized andezites. Authors developed and prepared conceptual model according to the amount of ore and a useful component for the mineralized area section of area number 13 and around 7 and 8 stonlays on the base, which exists according to the deposit (Fig. 1).

According to the amount of ore and mineral components up model No. 7 to No. 8, mining passages were extrapolated on 15 m. The length of modeled productive layer reflects the length of productive layer in the crossings of both mining passages. The coverage of Kaolin model is presented in isometric projection shown in the Fig. 2.

Authors considered following development systems for exploitation of gold deposits, which have complex geological and finely kaolin mineralization [6–8]:

- Wells with open face, top-down or vice versa;
- Top-down cutting and filling;
- Development system based on shrinkage of ore in cleansed space;
- Benched development system along the dip;
- Washing of ore with high pressure water;
- Cutting of ore with chain mechanisms;
- Method of mechanical drilling with a notch in the side of ore rocks by cutting and filling.

Authors evaluated and conducted general characteristic studies, the results of which are in Table 1.

Following criteria were used for selection of optimal development systems of Goshinsky gold deposits:

1. The productivity rate of the mine throughout its operational life is 45,000 tons per year (120 tons per day).

2. Ores of industrial importance are located in kaolin veins. Particularly, in quartz-pyrite which is concentrated in kaolin mass.

3. Initial useful component of the ore lies close to the vertical slope of the ore zone with width from 0.25 meters to 2.5 meters, and angle of descent from 75° to 85°.

4. Suspended and lie foundation wall consist of silicified andesite.

5. Available sizes of galleries and distance between the horizons:
   a) Approximately 2.2 m (height) x 2.2 m (width).
   b) In galleries № 4, 7 and 8, the distance between the levels is 40 m;

6. Necessity for verifying possible contours of development of ore zone: Approximately 70 (length) x 70 (height).

7. According to the estimation, capacity in the area 13 is from 250 m to 400 m depth.

8. There are many other industrial potential mineralization zones in the Goshinsky system.

While selecting our proposed system of development for the mine, besides the criteria mentioned above, it is important to take into consideration such factors as: location, staff's skills, climate, topography, characteristics of a worked out ore, requirement for filling spaces left empty after exploitation, ore loss, impoverishment, maintenance expenditure, ventilation, drainage, flexibility, and so on.

A conducted research concluded, taking into account all necessary given criteria and mining conditions for Goshinsky deposit, that the most effective field development system is "Wells with open face, breaking of ore by blast holes, from the top to bottom." The most efficient version of the proposed system development is provided below. Main parameters and criteria for the effective variant of the proposed system design are given in Table 1.

The key factor in selection of excavation system for the development of the narrow ore veins is assurance of minimum impoverishment of the ore zone [9].

Upon considering the size of the equipment working area, their width should be greater than the width of ore. Otherwise, it may lead to the impoverishment of the ore zone. This is especially dangerous in the development of 13th ore zone as narrow ore bodies are richer with useful component.

Table 2. Characteristics of the proposed system "Wells with open face, breaking of ore by blast holes, from the top to bottom" SWOT analysis.

Strengths	Weaknesses	Expected	Expected dangers
High Productivity	Impoverishment and ore loss	Diversion of waste (underground)	Sort backfill material (source) and path of delivery
Small requirements of preparatory drifts	Requirement of ensuring of oblique entrance	Numerous land developments	in the scheme of the deve lopment of "top-down" ore loss in columns
Requires for low skill level	Ineffective use of basic equipment	When laying worked out spaces preservation of columns is unintended	Need to choose an intermediate distance in the lower layers
There is no need for the use of classified systems	Rational flexibility In tracing of ore		In kaolin environment "top down" a problem of deep drilling can appear
	High level of capital expenditure		
	Inside of backfill materials and potential loss of ore (bottom up)		

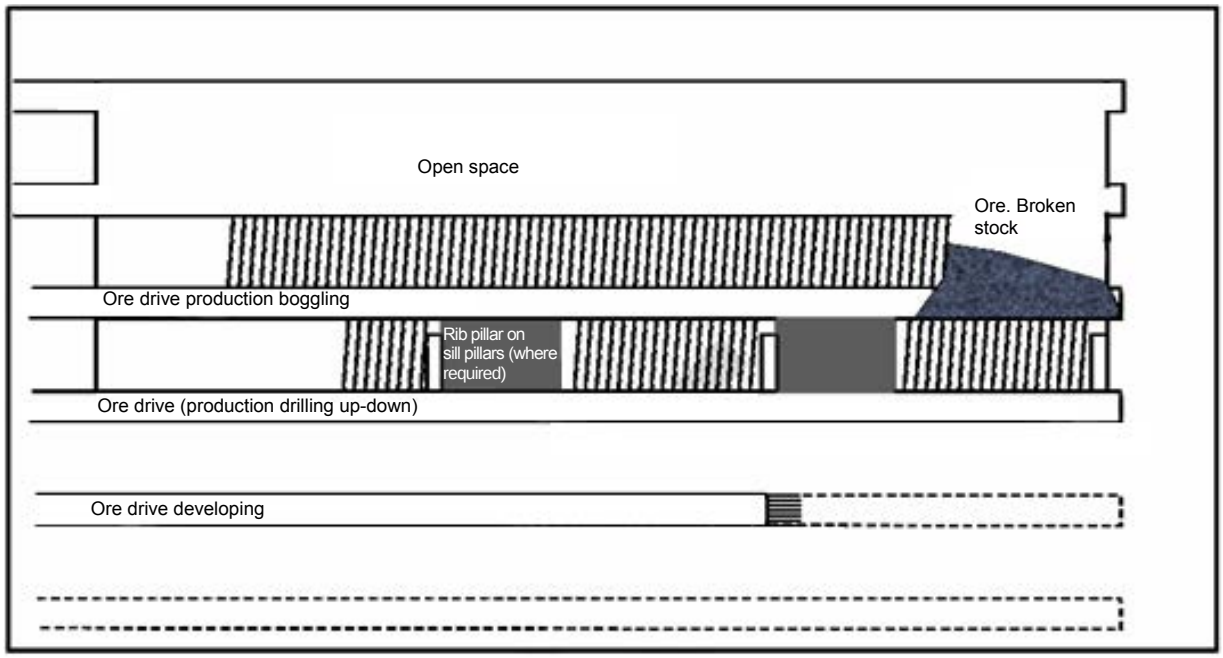


Figure 3. Proposed version of development systems – "Wells with open face, breaking of ore by blast holes, from the top to bottom."

Results

For Goshinsky gold deposit choosen development system is "Wells with open face, breaking of ore by blast holes, from the top to bottom" for Goshinsky gold deposit. Table 2. "Wells with open face, breaking of ore by blast holes, from the top to bottom"– SWOT analyze has been given.

In Fig. 3, a schematic diagram of the embodiment illustrates field development system, "Wells with open face, breaking of ore by blast holes, from the top to bottom."

The above-stated development system for the ore zones should be implemented in the following sequence:

1. Preparations of ore drifts. The distance between the developed drifts depends on the change in vertical position of the zone № 13. Intermediate distance between drifts can be changed based on experience; nevertheless, it will probably be no more than 5 m. First developed horizons will be based on the development of the first block. For conducting mining operations and providing sufficient width for penetration, drilling along the drift should remove rocks.

2. Downward drilling of deep wells between horizons;

3. Preparation of cutting holes;

4. Loading wells in stages; loading and blasting (usually 2–8 per explosion of the round);

5. Loading and unloading of exploded materials

6. The circuit design for each horizon provides takeaway materials from treatment areas from top to bottom. There are also possible options for loading and unloading at a distance. Alternatively unprocessed materials can be stored in the treatment areas. During the lower penetration of the treatment areas, the ore will be fed down. In this case, it will be possible to collect it from the subsurface. Only with the sole treatment units for cleaning horizons require loading in the distance.

Columns between the chambers or over drifts (over orts) provide leave in place.

7. Repeating of the process.

Discussion

Filling of the developed gap is not required in this proposed development system. Cleaning area progresses downward, trailing spaces that remain working in the field of cleaning may create a risk to people and equipment. If it is necessary to keep the columns between cameras and streck over (overlapped) for the geotechnical reasons, they can be placed in narrower mineralization zones being with less amount of the useful component.

Our proposed options for development systems Goshinsky gold deposit fully meet the conditions of natural and technological fields and can be applied to other ore deposits of Azerbaijan and neighboring countries with similar mining and geological conditions.

REFERENCES

1. 2003, *Geologiya Azerbaydzhana* [Azerbaijan Geology], Baku. vol. 6, 576 p.
2. 2005, *Mineral'no-syr'evye resursy Azerbaydzhana* [Mineral-raw material resources of Azerbaijan], Baku, 807 p.
3. Starikov N. A. 1947, *Sistemy razrabotki mestorozhdeniy* [Mining systems], Moscow, 326 p.
4. Trushkov N. I. 1947, *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy. Podzemnye raboty* [Development of ore deposits, Underground work], Moscow, vol. 2, 546 p.
5. Mamedov Sh. N., Mukhtarov G. G. 1966, *Effektivnye sistemy i tekhnologiya razrabotki zhil'nykh mestorozhdeniy Azerbaydzhana* [Effective systems and development technology of core fields in Azerbaijan], Baku, 205 p.
6. Agashkov M. I., Malakhov G. M. 1996, *Podzemnaya razrabotka rudnykh mestorozhdeniy* [Underground mining of ore deposits], Moscow, 636 p.
7. Afandiyeva Z. J., Osmanov M. B. 2012, *Povtornaya razrabotka Kedabekskogo zolotomedno-kolchedannogo mestorozhdeniya otkrytym sposobom* [Kedabek gold-copper-pyrite deposit open pit is in the redevelopment]. *Gornyy zhurnal*

[Mining Journal], Moscow, no. 4, pp. 36-37.
8. Afandiyeva Z. J. 2008, *Otsenka vliyaniya fizicheskikh svoystv gornykh porod na sistemu razrabotki samoobrusheniya rudy* [Assessing the impact of the physical properties of rocks on the development system caving ore]. *Gorno-geologicheskiy zhurnal* [Mining and Geological Journal], no. 1–2, pp.17–21.
9. 2000, *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniyakh, ob'ektakh stroitel'stva podzemnykh sooruzheniy, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* [Instructions for safe mining operations on metallic and nonmetallic deposits of underground construction sites, dangerous and prone to rock burst], Moscow, 91 p.

Эфендиева Зарифа Джахангир,
кандидат технических наук, доцент
efendi2005@rambler.ru
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
Азербайджан, Баку, пр-т Азадлыг, 20
Османов Мохаммад Баба
советник по горному делу
moqamed57@mail.ru
Горнодобывающая компания "АИМКЛ"
Азербайджан, Баку, st. H. Alasgerov, 16

Afandiyeva Zarifa Jahangir
Associate professor
efendi2005@rambler.ru
Azerbaijan State University of Oil and Industry
Baku, Azerbaijan Republic
Osmanov Mohammad Baba,
Advisor on mining companies
moqamed57@mail.ru
Mining Company AIMKL
Baku, Azerbaijan Republic

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 59-62.
УДК 621.3
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-59-62

К ТЕОРИИ РАСЧЕТА РАДИАЛЬНОГО АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА

И. Л. Шеклеина, А. В. Угольников

On the theory of calculating of radial active magnetic bearings

I. L. Shchekleina, A. V. Ugol'nikov

This study reflects the advantages and problems of using the radial active magnetic bearing (AMB). I also describes the existing calculation methods. The traditional method of calculation (developer Yu. N. Zhuravlev) includes a definition of the geometry of the bearing, the calculation of the winding and thermal bearing calculation. To determine the geometry of the radial bearing authors used the optimization approach: the maximum driving force is realized in a given volume by the bearing. The starting point in the procedure of optimization of the geometry is the induction in the gap. It depends on the magnetic properties of the steel used. Unlike electrical machines, magnetic saturation in AMB is not allowed since it causes loss of control.
Then authors calculate the bearing winding. Radial bearing has four electromagnets, so its winding contains four circuits. The coils may be included in the circuit either sequentially or parallel. Obviously, a parallel circuit requires higher current but lower voltage. Remagnetization losses on the rotor will be less if the magnetomotive force (MMF) of two adjacent poles of adjacent magnets will have the same direction.
Heat bearing calculation consists in determining the maximum temperature of the coil conductor and comparison with the allowable temperature for the used insulation class. The calculation bases on Ohm's Law for steady heat flow.
This method of calculation of the bearing has disadvantages; in result, you get the parameters at which the maximum driving force and the packet length may be more than is necessary. I. V. Zotov and V. G. Lisienko offered the methodology of calculating the bearing. It allows finding the minimum required length of the packet at the maximum electric current. Accordingly, the size and cost of the bearing reduce too.
Analysis of the methods showed that it is necessary to improve the calculations in order to minimize the size and cost of the magnetic bearing. It is advisable to use these devices in the rotating parts of mining machines and complexes.

Keywords: bearing; electromagnet; method; calculation; tractive effort; magnetic circuit; electrical circuit; heat loss; heat flow; thermal resistance; insulation class.

Отражены преимущества и проблемы использования радиального активного магнитного подшипника, изложены существующие методы вычислений. Традиционная методика расчета (разработчик Ю. Н. Журавлев) включает определение геометрии, расчет обмотки и тепловой расчет подшипника. Для определения геометрии радиального подшипника используется оптимизационный подход: максимальное тяговое усилие реализуется в заданном объеме подшипником. Отправной точкой в процедуре оптимизации геометрии является индукция в зазоре. Она зависит от магнитных свойств используемой стали. В отличие от электрических машин магнитное насыщение в АМП не допускается, поскольку оно вызывает потерю управляемости. Далее рассчитывается обмотка подшипника. Радиальный подшипник имеет четыре электромагнита, поэтому его обмотка содержит четыре электрические цепи. Катушки в цепи могут включаться последовательно или параллельно. Очевидно, что при параллельном включении требуется больший ток, но меньшее напряжение. Потери на перемагничивание в роторе будут меньше, если магнитодвижущая сила (МДС) двух соседних полюсов соседних электромагнитов имеет одинаковое направление. Тепловой расчет подшипника заключается в определении максимальной температуры проводника катушки и сравнении ее с допустимой температурой для используемого класса изоляции. Расчет основан на законе Ома для установившегося теплового потока. Данная методика расчета подшипника имеет недостатки, заключающиеся в том, что в результате находятся параметры, при которых максимальное тяговое усилие и длина пакета могут быть больше, чем это необходимо. И. В. Зотов и В. Г. Лисиенко предложили методологию вычисления подшипника. Она позволяет находить минимальную необходимую длину пакета при максимальном электрическом токе. Соответственно уменьшаются размеры и стоимость подшипника. Анализ методов показал, что нужно совершенствовать расчеты для минимизации размеров и стоимости магнитного подшипника. Целесообразно использовать эти устройства во вращающихся частях горных машин и комплексов.

Ключевые слова: подшипник; электромагнит; методика; расчет; тяговое усилие; магнитная цепь; электрическая цепь; тепловые потери; тепловой поток; тепловое сопротивление; класс изоляции.

Под активным магнитным подшипником (АМП) понимается 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. АМП обладают рядом преимуществ: большой грузоподъемностью, высокой механической прочностью, возможностью использования при высоких скоростях вращения и осуществления устойчивой неконтактной подвески тела, возможностью изменения жесткости и демпфирования в широких пределах. В последние годы АМП находят широкое применение в целом ряде областей современной техники, в том числе и в станкостроении, так как они способны надежно работать в экстремальных условиях: в вакууме, при высоких и низких температурах, сверхчистых технологиях, в агрессивных средах и т. п. Вместе с тем нельзя не отметить, что на пути широкого промышленного освоения АМП имеется целый ряд объективных трудностей.

1. В отличие от подшипников качения и скольжения для АМП трудно создать разносторонне используемую стандартизованную серию. В каждом отдельном случае в зависимости от размеров, скорости, нагрузок, требуемой жесткости и точности, характеристик окружающей среды и системы электропитания выбирается конструкция и рассчитываются параметры подшипников и системы управления.

2. Создание машин с АМП затрудняется его многоплановостью, обусловленной необходимостью одновременного решения комплекса задач механики, электромеханики, систем управления и электроники, а также задач по обеспечению функциональной сущности машины. Такая работа может быть выполнена, как правило, лишь группой подготовленных специалистов.

3. Промышленность воспринимает любые новшества, в том числе и АМП, замедленно в силу объективной инерционности и консерватизма.

Эти причины приводят к тому, что, по мнению как отечественных, так и зарубежных специалистов, «... идеи АМП претворяются на практике значительно медленнее, чем это можно было бы ожидать из прогнозов в отношении АМП двадцать лет назад из-за встретившихся на пути внедрения трудностей» и «... для широкого промышленного внедрения АМП потребуются мужество и творческая энергия инженеров и конструкторов, а также положительное отношение к новшествам со стороны промышленности» [1].

Существуют разные подходы к расчетам АМП. В предлагаемой Ю. Н. Журавлевым методике расчета радиального активного магнитного подшипника (РАМП) использованы разработки лаборатории активных магнитных опор Псковской инженерной компании, имеющей богатый опыт разработки и эксплуатации машин с применением активных магнитных подшипников. Традиционно методика расчета включает определение геометрии подшипника, расчет обмотки и тепловой расчет [2].

Геометрия магнитной цепи РАМП показана на рис. 1.

РАМП, как и любой другой тип подшипника, должен обладать заданной несущей способностью F_{max}. Применительно к нему под несущей способностью понимается максимальное тяговое усилие, которое может развиваться в течение длительного времени без перегрева обмотки. В ряде случаев статическая нагрузка на подшипник Q известна точно, в других случаях – приближенно. Однако всегда значение F_{max} должно быть больше Q настолько, чтобы оставался запас для отработки динамических нагрузок. Также должна быть учтена возможность непредвиденных нагрузок. При отсутствии особых обстоятельств коэффициент запаса, равный $F_{max}/Q = 2$, может быть принят как вполне приемлемый.

Для определения геометрии радиального подшипника используется оптимизационный подход, при котором в заданном объеме, занимаемом подшипником, реализуется максимальное тяговое усилие. Отправной точкой в процедуре оптимизации геометрии является индукция в зазоре B. Она, в свою очередь, зависит от магнитных свойств используемой стали. В отличие от электрических машин магнитное насыщение в АМП не допускается, поскольку оно вызывает потерю управляемости. Поэто-

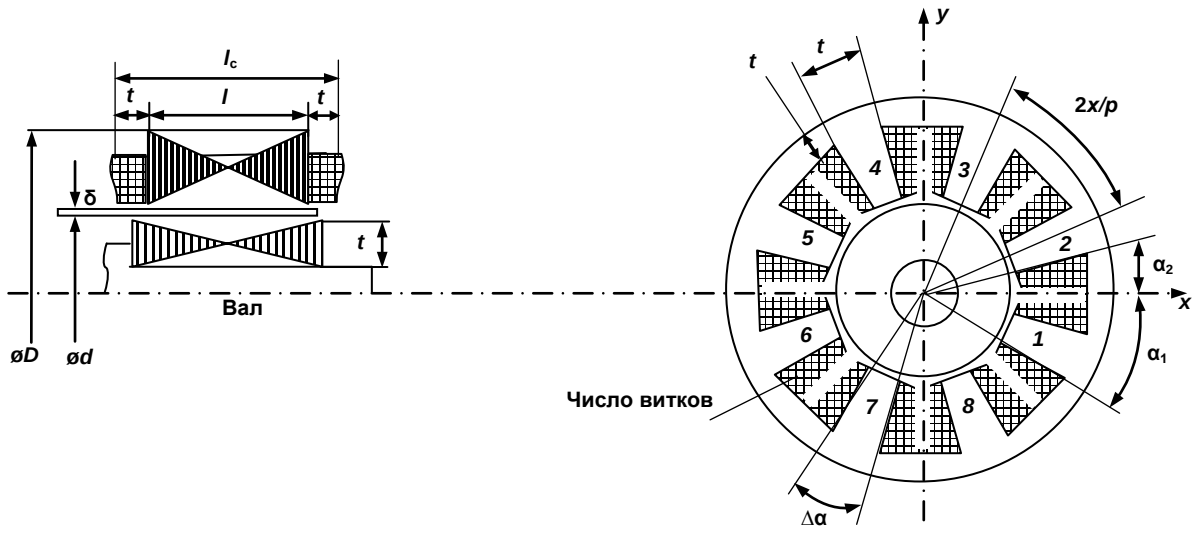


Рисунок 1. Геометрия радиального подшипника / Figure 1. The geometry of the radial bearing.

му максимальное значение магнитной индукции в стали не должно быть больше 1,4 Тл для электротехнической стали и 1,8 Тл для кобальтовой стали. Индукция в зазоре B_{max} при этом будет на 10–15 % меньше, чем в стали, из-за наличия потоков рассеяния и составляет 1,2 Тл при использовании электротехнической стали и 1,6 Тл – кобальтовой стали. Очевидно, что при индукции в зазоре $B = B_{max}$ подшипник должен развивать тяговое усилие, равное требуемой несущей способности F_{max}. Плотность тока в проводниках катушек при этом должна быть равна допустимому значению j_{max}.

При рассмотрении восьмиполюсного РАМП формулируют задачу оптимизации его геометрии следующим образом. Задается объем, занимаемый пакетом стали, т. е. задаются внешний диаметр D и длина пакета l. Также задаются зазор δ и допустимая плотность тока j_{max}. Требуется найти диаметр цапфы d и ширину полюса t, при которых тяговое усилие было бы максимальным, а индукция в зазоре при этом была бы равна B_{max}.

Индукцию в зазоре находят из закона Ампера для магнитной цепи, по которому МДС, создаваемая катушками обоих полюсов, равна сумме падений магнитных напряжений в двух воздушных зазорах и в стали. Магнитная цепь не насыщена, поэтому для простоты магнитным сопротивлением стали пренебрегают [3].

Задача оптимизации геометрии подшипника математически сводится теперь к задаче на условный экстремум: требуется найти максимум функции $F(d, t)$ при дополнительном условии $B(d, t) = B_{max}$, которое можно записать в виде уравнения

$$F\left(d,t\right)=\left[\frac{D}{2}-\frac{d}{2}-t\right]\left[\frac{\pi d}{2}-t\right]-\frac{B_{\max}}{C_B}=0, \qquad (1)$$

где C_B – константа, определяемая соотношением $C_B = \frac{\mu_0 k_{Cu} j_{max}}{2\delta}$.

В указанном выражении μ_0 – магнитная постоянная, k_{Cu} – коэффициент заполнения площади паза медью, ориентировочно k_{Cu} = 0,3–0,5.

Метод решения такой задачи хорошо известен. Формируют функцию $\Phi(d, t) = F(d, t) + \lambda\varphi(d, t)$, где λ – множитель Лагранжа. Три неизвестные величины d, t и λ находят из совместного решения уравнения (1) и двух уравнений:

$$\frac{\partial\Phi\left(d,t\right)}{\partial d}=0;\quad \frac{\partial\Phi\left(d,t\right)}{\partial t}=0.$$

Решение задачи дается соотношениями:

$$t=0{,}22D-0{,}993\sqrt{\frac{B_{\max}}{C_B}};\quad d=0{,}5D+0{,}273t;\ C_B>B_{\max}/\frac{\left(\pi D^2\right)}{64}.$$

Видно, что в оптимальном подшипнике внутренний диаметр d должен быть немного больше половины наружного диаметра D. Ширина полюса t в зависимости от соотношения между выбранными значениями параметров B_{max}, j_{max} и δ может меняться в определенных пределах. Обычно эти параметры выбирают так, чтобы полюс занимал примерно половину полюсного деления, равного $\pi d/8$.

Требуемое значение несущей способности F_{max} может быть достигнуто соответствующим выбором длины пакета стали l. Продольный размер статора $l_c = l + 2t_0$, где t_0 – длина лобовой части обмотки, $t_0 = (\pi d/8 - t)/2$.

Далее приводится расчет обмотки РАМП с четырьмя электромагнитами [4], поэтому его обмотка содержит четыре электрические цепи. Каждая цепь содержит $p/4$ полюсных катушек. Катушки в цепи могут включаться последовательно или параллельно. Очевидно, что при параллельном включении требуется больший ток, но меньшее напряжение. Потери на перемагничивание в роторе будут меньше, если МДС двух соседних полюсов соседних электромагнитов имеют одинаковое направление. Схема соединения катушек обмотки восьмиполюсного РАМП показана на рис. 2. Схемой реализуется последовательность полярностей полюсных наконечников вида *NS–SN–NS–SN*.

Максимальный ток в проводнике катушки i_{max} должен быть согласован с максимальным током, который может развивать усилитель мощности. С другой стороны, ток i_{max} должен вызывать максимальное тяговое усилие F_{max} и максимальную магнитодвижущую силу при известной площади поверхности обмотки A:

$$2ni_{\max}=j_{\max}k_{Cu}A. \qquad (2)$$

При известном токе i_{max} по формуле (2) вычисляется число витков на полюс n. Далее последовательно определяются площадь сечения проводника

$$a_0=\frac{i_{\max}}{j_{\max}},$$

омическое сопротивление катушки

$$R=\frac{\rho n l_m}{a_0}$$

и мощность тепловых потерь одного электромагнита

$$P_1=\frac{i^2R}{4},$$

где ρ – удельное сопротивление меди; l_m – средняя длина проводника катушки.

Тепловой расчет РАМП заключается в определении максимальной температуры проводника катушки и сравнении ее с допустимой температурой для используемого класса изоляции. Расчет основан на законе Ома для установившегося теплового потока [5]:

$$\Delta T = PR_т,$$

где ΔT – перепад температуры на тепловом проводнике; P – рассеиваемая мощность; $R_т$ – тепловое сопротивление.

Если токи в катушках всех четырех электромагнитов одинаковы и равны $i = j_{max}/2$, тогда в обмотке РАМП будет выделяться мощность:

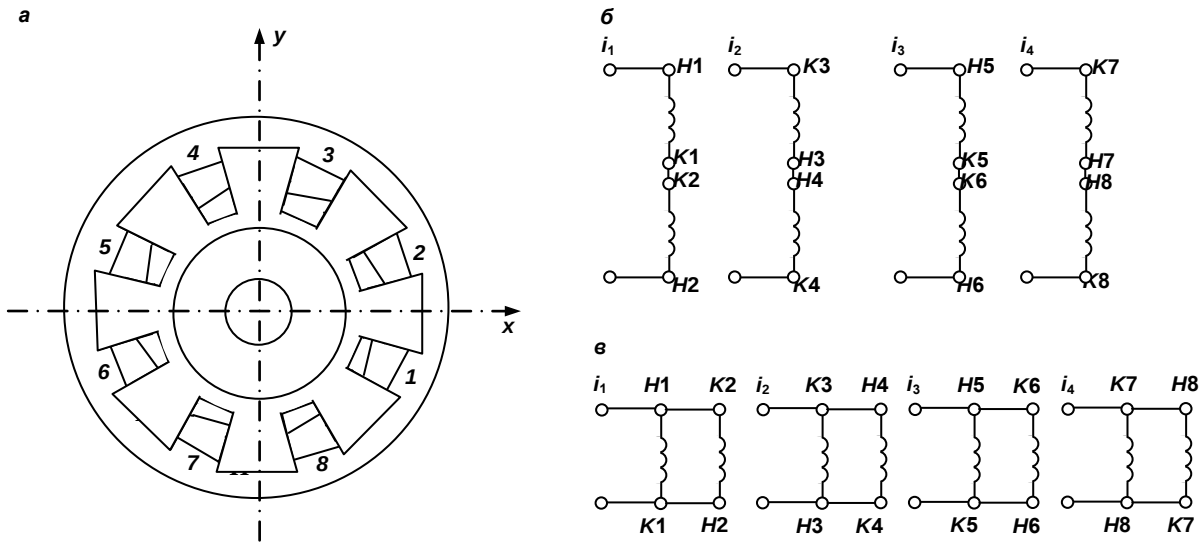


Рисунок 2. Соединение катушек РАМП. *а* – расположение катушек; *б* – последовательное включение; *в* – параллельное включение / **Figure 2. Compound of coils of radial active magnetic bearing.**

$$P = 4P_1 = \frac{\rho i_{\max} R}{4}.$$

На рис. 3 показана расчетная схема тепловой цепи подшипника. Обмотка представлена в виде теплового источника мощностью P. Отбор теплоты происходит двояко: через воздух с температурой T_a и через корпус машины с температурой корпуса T_h.

Одна часть теплоты передается от обмотки непосредственно в окружающий её воздух через тепловое сопротивление:

$$R_{\text{Cu}-a} = \frac{1}{aA_{\text{Cu}-a}},$$

где a – коэффициент теплопередачи от обмотки в воздух, a = 12 Вт/(м^2 × К); $A_{\text{Cu}-a}$ – площадь поверхности лобовых частей обмотки.

Другая часть теплоты передается от обмотки на железный сердечник через электроизоляционный слой между обмоткой и сердечником, обладающий тепловым сопротивлением:

$$R_i = \frac{\Delta_i}{A_i \lambda_i},$$

где Δ_i – толщина изоляции; λ_i – коэффициент теплопроводности изолирующего материала, λ_i = 0,16 Вт/(м · К) для изоляционной бумаги; A_i – суммарная площадь внутренней поверхности пазов и наружной поверхности полюсов.

Тепловое сопротивление железного сердечника значительно меньше, чем электроизоляционного слоя, поэтому им пренебрегают. Отбор теплоты от железного сердечника, имеющего температуру T_{Fe}, происходит двумя путями:

– в воздух через тепловое сопротивление,

$$R_{\text{Fe}-a} = \frac{1}{aA_{\text{Fe}-a}},$$

где $A_{\text{Fe}-a}$ – площадь контактирующей с воздухом части наружной поверхности сердечника;

– в корпус машины через тепловое сопротивление $R_{\text{Fe}-h}$ (последнее зависит от конструкции узла крепления подшипника в корпусе).

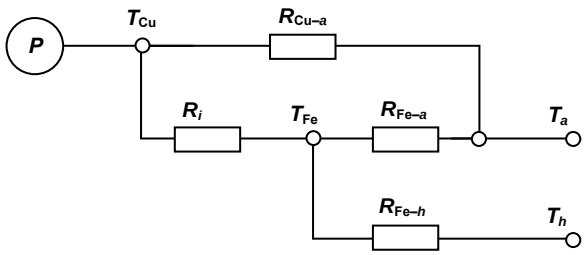


Рисунок 3. Тепловая цепь РАМП / Figure 3. Thermal chain of radial active magnetic bearing.

В случае, если сердечник подшипника запрессован непосредственно в металлический корпус машины, то тепловым сопротивлением $R_{\text{Fe}-h}$ пренебрегают, температура сердечника T_{Fe} будет равна температуре корпуса T_h и температура обмотки:

$$T_{\text{Cu}} = \frac{R_{\text{Cu}-a} R_i P + R_i T_a + R_{\text{Cu}-a} T_h}{R_{\text{Cu}-a} + R_i}.$$

В другом предельном случае, когда тепловое сопротивление перехода от сердечника к корпусу $R_{\text{Fe}-h}$ очень большое, решение задачи имеет вид:

$$T_{\text{Cu}} = T_a + \frac{P R_{\text{Cu}-a} R_i + R_{\text{Fe}-a}}{R_{\text{Cu}-a} + R_i + R_{\text{Fe}-a}}.$$

Тепловой расчет заканчивается сравнением температуры обмотки T_{Cu} с допустимой температурой для используемого класса изоляции (110 °С для эмалевой изоляции).

Однако рассмотренная методика расчета РАМП имеет недостатки, заключающиеся в том, что при оптимизации геометрии подшипника задаются внешний диаметр D и длина пакета l. В результате расчета находятся параметры, при которых максимальное тяговое усилие и длина пакета могут быть больше, чем необходимо.

И. В. Зотовым и В. Г. Лисиенко предложена усовершенствованная методика расчета РАМП. Задача расчета заключается в следующем: при заданных внешнем диаметре D, зазоре δ и допустимой плотности тока $i_{\max}$ требуется найти длину пакета l, диаметр цапфы d и ширину полюса t, при которых тяговое усилие и индукция в зазоре будут максимальны [6].

Согласно данной методике, вначале расчета длина пакета l задается равной нулю и увеличивается пошагово с шагом, равным погрешности оборудования, на котором будет изготавливаться магнитный подшипник. Длина пакета увеличивается по закону

$$l = l + l_{pr},$$

где l – длина пакета, l_{pr} – погрешность оборудования.

Расчет длины пакета ведется до выполнения условия

$$F_{\text{tuag}} \geq F_{\max},$$

где F_{tuag} – сила тяги подшипника.

Верещагиным В. П., Рогозой А. В., Савиновой Т. Н. [7] на основе рассмотренных расчетных соотношений разработаны несколько проектных вариантов РАМП, отличающихся значениями параметров или коэффициентов в пределах оговоренной выше возможной вариации. Для этих вариантов проводятся в дальнейшем поверочные электромагнитные расчеты по определению основных электромеханических характеристик, позволяющих более полно провести сопоставление и оценить проектные

варианты с целью выбора оптимального.

Таким образом, усовершенствование методики расчета РАМП позволяет находить минимально необходимую длину пакета при заданном максимальном токе и, соответственно, уменьшить габариты и стоимость РАМП.

Исследование теории расчета РАМП и подробный анализ существующих методик расчетов позволят продолжить работы по их усовершенствованию, проектированию и разработке систем управления магнитным подвесом вращающихся частей горных машин и комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев Ю. Н. Электромагнитные силы в радиально-упорном коническом электромагнитном подшипнике // Электричество. 1982. № 11. С. 61–63.
2. Стоцкая А. Д. Разработка и исследование математической модели электромагнитных процессов в радиальных магнитных подшипниках // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10689
3. Bleuler H. Magnetic levitation: a challenge for control design in mechatronics // Toshiba Chair for Intelligent Mechatronics. 2011. Vol. 44, № 12. P. 578–583.
4. Журавлев Ю. Н. Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение. СПб.: Политехника, 2003. 206 с.
5. 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.
6. Зотов И. В., Лисиенко В. Г. Усовершенствование методики расчета радиальных активных магнитных подшипников // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8, № 6. С. 54–56.
7. Верещагин В. П., Рогоза А. В., Савинова Т. Н. Методика проектирования электромагнитных подшипников // Вопросы электромеханики. 2009. Т. 113. С. 3–12.

REFERENCES

1. Zhuravlev Yu. N. 1982, *Elektromagnitnye sily v radial'no-upornom konicheskom elektromagnitnom podshipnike* [Electromagnetic forces in the radial-thrust conical electromagnetic bearing]. *Elektrichestvo* [Electricity], no. 11, pp. 61–63.
2. Stotskaya A. D. 2013, *Razrabotka i issledovanie matematicheskoy modeli elektromagnitnykh protsessov v radial'nykh magnitnykh podshipnikakh* [Development and research of mathematical model of electromagnetic processes in radial magnetic bearings]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], no. 5. Available at: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10689
2. Zotov I. V., Lisienko V. G. 2012, *Usovershenstvovanie metodiki rascheta radial'nykh aktivnykh magnitnykh podshipnikov* [Improving the method for calculating the radial active magnetic bearings]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [The Bulletin of Voronezh State Technical University], no. 6, vol. 8, pp. 54–56.
3. Vereshchagin V. P., Rogoza A. V., Savinova T. N. 2009, *Metodika proektirovaniya elektromagnitnykh podshipnikov* [Methods of designing of electromagnetic bearings]. *Voprosy elektromekhaniki* [Electromechanics Questions], vol. 113, pp. 3–12.
4. Bleuler H. 2011, Magnetic levitation: a challenge for control design in mechatronics. Toshiba Chair for Intelligent Mechatronics, vol. 44, no. 12, pp. 578–583.
5. Zhuravlev Yu. N. 2003, *Aktivnye magnitnye podshipniki: teoriya, raschet, primenenie* [Active magnetic bearings: theory, calculation, application], Saint Petersburg. 206 p.
6. Kimman M. H., Langen H. H., Munnig Schmidt R. H. 2010, A miniature milling spindle with active magnetic bearings. Mechatronics, vol. 20, no. 2, pp. 224–235.

Ирина Леонтьевна Щеклеина,
кандидат технических наук, доцент
gmf.et@m.ursmu.ru
Александр Владимирович Угольников,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники
ugolnikov@yandex.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Irina Leont'evna Shchekleina,
PhD, Assistant Professor
gmf.et@m.ursmu.ru
Aleksandr Vladimirovich Ugol'nikov,
PhD, Assistant Professor
ugolnikov@yandex.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 63-65.
УДК 622.44
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-63-65

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Н. В. Макаров, В. Н. Макаров, А. А. Солдатенко, Н. Е. Лаврёнов

Mathematical model of energy regulator of radial fan

N. V. Makarov, V. N. Makarov, A. A. Soldatenko, N. E. Lavrenov

The subject of research in the article are energy regulators of radial fans. The purpose of the article is improving of the adaptability and efficiency radial fans by optimizing the parameters of the energy regulator based on the developed mathematical model. The idea of this work is to use the power of control flow of high-pressure cavity of the fan case in order to change the angular momentum of the main stream at the inlet of the impeller. Methodologically the work uses: the similarity theory, physical modeling and experimental design.
On a specially designed aerodynamic stand with vortex chamber authors experimentally obtained aerodynamic characteristics of a low-channel and vaneless energy regulators.
According to the obtained values of the factors determining the efficiency of energy regulators for a discrete number of values of the pressure coefficients of control flow authors produced the optimal interpolation values of its parameters using the least squares method. They also carried out an analysis of the influence of the energy characteristics of the flow control on the efficiency of the energy regulator.
As a result of full-scale experimental studies one can use obtained formulas to calculate the values of the geometric parameters of energy regulators, and test fan of ВРВП series with the energy regulator. These formulas has also allowed to develop an engineering design technique for power control and set up their standard series for the main ventilation fans, performed on the aerodynamic configuration Ц70-20, Ц76-16, Ц76-12 and Ц70-15.
Compared to axial guide vanes, energy regulators allow increasing the depth of the economic regulation of the centrifugal fan by 26 %.

Keywords: fan; power control; aerodynamics; flow; stand; mathematical model; turbomachinery regulation; directing devices.

Предметом исследования являются энергетические регуляторы радиальных вентиляторов. Цель статьи – повышение адаптивности и экономичности радиальных вентиляторов путем оптимизации параметров энергетического регулятора на базе разработанной математической модели. Идея данной работы заключается в использовании энергии управляющего потока полости высокого давления корпуса вентилятора для изменения кинетического момента основного потока на входе в рабочее колесо. Методологически в работе использованы теории подобия, физического моделирования и планирования эксперимента. На специально спроектированном аэродинамическом стенде с вихревой камерой экспериментально получены аэродинамические характеристики малоканальных и безлопаточных энергетических регуляторов. По полученным значениям факторов, определяющих эффективность энергетических регуляторов для дискретного ряда значений коэффициента давления управляющего потока, была произведена интерполяция оптимальных значений его параметров с использованием метода наименьших квадратов. Проведен анализ влияния энергетических характеристик управляющего потока на эффективность энергетического регулятора. По результатам натурных экспериментальных исследований получены формулы для расчета значений геометрических параметров энергетических регуляторов, а также испытания вентилятора серии ВРВП с энергетическим регулятором, позволившие разработать инженерную методику проектирования энергетического регулятора и создать их типоразмерный ряд для вентиляторов главного проветривания, выполненных по аэродинамическим схемам Ц70-20, Ц76-16, Ц76-12 и Ц70-15. По сравнению с осевыми направляющими аппаратами, энергетические регуляторы позволяют увеличивать глубину экономичного регулирования центробежного вентилятора на 26 %.
Ключевые слова: вентилятор; энергетический регулятор; аэродинамика; поток; стенд; математическая модель; регулирование турбомашин; направляющие аппараты.

Используемые в настоящее время регулирующие устройства могут быть условно отнесены к механическим средствам регулирования, поскольку их действие основано на трансформации геометрии проточной части вентилятора и, как следствие, кинематических параметров потока [1]. Большие потенциальные возможности повышения адаптивных свойств шахтных вентиляторов заложены в энергетическом методе регулирования режимов их работы [2–4]. Наиболее рациональным средством реализации данного метода, с точки зрения простоты конструктивного исполнения, при высокой эффективности энергопотребления, является энергетический регулятор (ЭР). Действие ЭР основано на изменении кинетического момента основного потока на входе в рабочее колесо за счет энергии управляющего потока полости высокого давления корпуса вентилятора. Компоновочная схема центробежного вентилятора позволяет удачно вписать в него ЭР, обеспечив эффективное регулирование энергии и подачи управляющего потока, а также исключив отрицательное влияние направляющих аппаратов на максимальный КПД вентилятора при работе на номинальном режиме.

Конструктивно ЭР представляет собой лопаточный, малоканальный или безлопаточный направляющий аппарат, установленный концентрично на входном патрубке вентилятора и соединяющий полость высокого давления корпуса с входом в рабочее колесо [5]. Наиболее перспективными по конструктивному исполнению и эффективности являются безлопаточный и малоканальный энергетические регуляторы.

Регулирование энергии управляющего потока производится за счет изменения его расхода. Поскольку управляющий поток в форме вихревого жгута составляет не более 20 % от подачи вентилятора, то отрицательное влияние дросселирования при прохождении его через ЭР сказывается незначительно на эффективности регулирующего устройства. Изменение проходного сечения проточной части ЭР происходит за счет изменения его ширины b и длины (высоты) расходного окна межлопаточного канала на выходе $s_2(h)$. В зависимости от применяемого способа регулирования расхода управляющего потока достигается различный уровень потерь энергии в ЭР, изменения структуры потока на выходе из него [6].

В литературе до сих пор отсутствуют данные по системным исследованиям эффективности ЭР, что не позволяет разработать его аэродинамическую схему с учетом параметров вентилятора.

Аналитическое описание механизма взаимодействия управляющего и основного потоков ЭР чрезвычайно сложно и без существенных допущений не представляется возможным. Поэтому в данной работе построена математическая модель аппарата на базе экспериментальных данных с использованием теории подобия, физического моделирования и планирования эксперимента [7, 8].

Испытания ЭР были проведены на специально спроектированном для решения данной задачи стенде с вихревой камерой (рис. 1).

Стенд для испытания ЭР (рис. 1) состоит из спиральной камеры *1*, в которой имитируется поток в корпусе высокого давления центробежного вентилятора, испытуемого ЭР *2* со сменными объемными лопатками *3* малоканального аппарата (либо без лопаток), аксиально подвижным диском *4*, коллекторами *5*, *6*, подающим *7* и выходным *8* воздуховодами, в которых установлены измерительные приемники давления. В спиральную камеру подаются управляющий Q_y и транзитный $Q_т$ потоки, которые после смешивания образуют суммарный поток $Q_с$, измеряемый приемниками давления *9*.

В качестве плана эксперимента, с учетом статистического метода линейного планирования была использована дробная реплика 2^{4-1} с генерирующим соотношением, обеспечивающим её максимальную разрешающую способность [1].

Стенд для аэродинамических испытаний (рис. 2, 3) вентилятора серии ВРВП – *1*, включающий ЭР *2*, состоит из входного (соединительного) патрубка испытательного стенда *3*, струи выпрямителя *4*, измерительного воздуховода *5*, кольцевого манометра *6*, трубки Пито *7*, сопла *8*, термометра *9* для измерения температуры в воздуховоде, барометра для

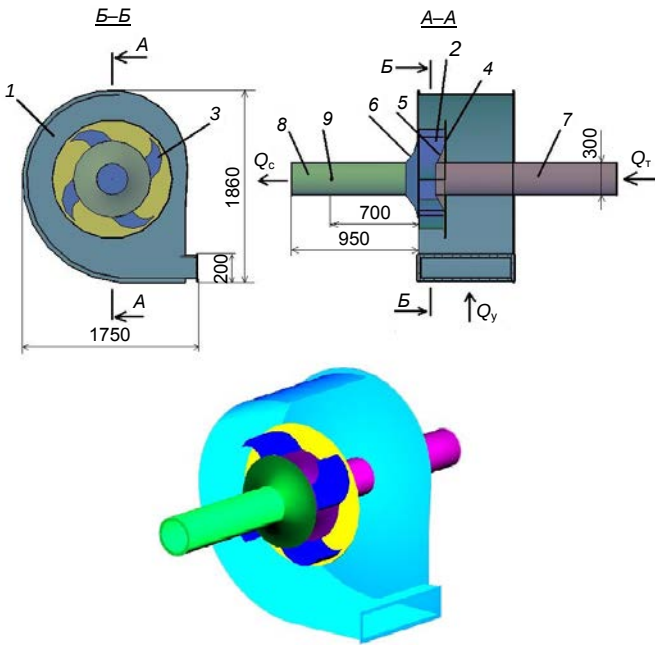


Рисунок 1. Схема и 3D-модель вихревой аэродинамической камеры / Figure 1. The scheme and 3D model of a wind vortex chamber.

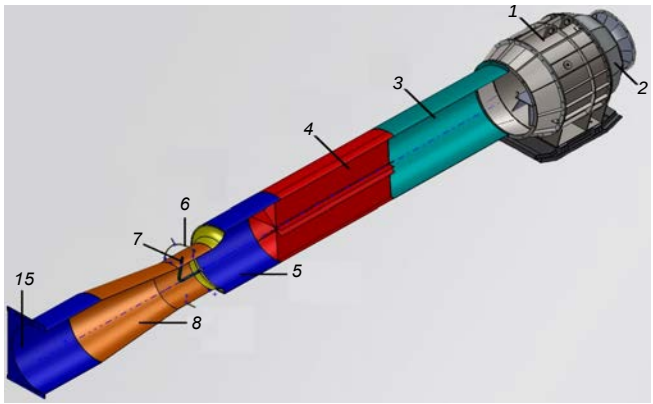


Рисунок 2. 3D-модель стенда для аэродинамических испытаний вентиляторов с подключенным вентилятором ВРВП-6 с энергетическим регулятором / Figure 2. 3D model of the stand for aerodynamic testing of fans with an attached fan ВРВП-6 with the energy regulator.

измерения атмосферного давления *10*, термометра для измерения окружающей среды *11*, барометра для измерения атмосферного давления *12*, термометра для измерения температуры окружающей среды *13*, психрометра *14*, дросселирующего устройства *15*.

Факторами, определяющими функцию отклика ε, были приняты P_y, b, h, $D_н$, β, где $\varepsilon = \overline{\Gamma}_c / \lambda_y$ – эффективность ЭР; P_y – давление управляющего потока; b – ширина ЭР; h – высота окна межлопаточного канала; $D_н$ – диаметр установки неподвижных лопаток; β – угол схода коллектора.

Предварительными испытаниями установлена автомодельность α от остальных геометрических параметров. Экспериментально подтверждена автомодельность течения в ЭР от числа Рейнольдса.

Коэффициент циркуляции смешанного потока:

$$\overline{\Gamma}_c = \frac{\sum_{i=1}^{10} \overline{r}_i v_{cri} v_{coi}}{\sum_{i=1}^{10} v_{coi}},$$

где $\overline{r}_i$ – радиус установки приемника давления в i-м измерительном кольцевом сечении камеры смешения потоков; v_{cri} – коэффициент окружной скорости смешанного потока в i-м измерительном кольцевом сечении; v_{coi} – коэффициент осевой скорости смешанного потока в i-м

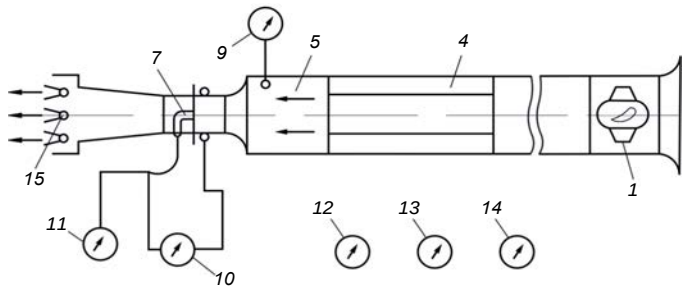


Рисунок 3. Схема аэродинамического стенда для испытаний вентиляторов с измерительными приборами / Figure 3. The scheme of the aerodynamic stand for testing of fans with measuring devices.

измерительном кольцевом сечении; $\lambda_y = q_y h_y$ – коэффициент мощности управляющего потока.

Опыты проводились при $Re \geq 5 \times 10^5$. Из выражения для коэффициента мощности управляющего потока $\lambda_y = q_y h_y$ видно, что исследование эффективности ЭР можно привести к определению зависимостей (b, h, $D_н$) $= F_1(P_y)$, $\beta = F_2(P_y)$.

Обработка экспериментального материала производилась с использованием критериев Кохрена для проверки однородности дисперсий параллельных опытов, Стьюдента – для проверки значимости коэффициентов регрессии, Фишера – для проверки адекватности полученной модели при 2,5 %-ном уровне значимости.

По полученным оптимальным значениям факторов, определяющих эффективность ЭР для дискретного ряда значений коэффициента давления управляющего потока, была произведена интерполяция искомых функций с использованием метода наименьших квадратов:

$$\overline{b}_{opt} = 1,56\overline{P}_f^{-1} - 0,74; \quad \overline{h}_{opt} = 0,031\overline{P}_f^{-1} + 0,77\overline{P}_f^{2};$$

$$\overline{D}_{n\,opt} = 1,15\overline{P}_f^{2,15}; \quad \beta_{opt} = 4,45\overline{P}_f^{2,15}, \qquad (1)$$

где $\overline{P}_f = P_f / P_{f\,opt}$ – относительный коэффициент давления управляющего потока на поверхности его смешения с транзитным потоком.

Использование $\overline{P}_f$ в качестве критерия подобия, т. е. рассмотрение только внешней аэродинамики ЭР позволило получить универсальные зависимости для оптимальных геометрических параметров исследованных ЭР: лопаточного, малоканального, безлопаточного.

Вопросы внутренней аэродинамики аппаратов такого типа, определение их энергетических характеристик достаточно глубоко освещены в литературе.

На рис. 4 приведены графики зависимостей (1), из анализа которых можно сделать следующие выводы.

С ростом давления управляющего потока увеличивается оптимальная высота межлопаточного канала $\overline{h}_{opt}$ и уменьшается ширина ЭР $\overline{b}_{opt}$, при этом площадь расходного окна, т. е. $\overline{b}_{opt} \cdot \overline{h}_{opt}$, уменьшается. Это обусловлено особенностями взаимодействия струи управляющего и транзитного потоков. Увеличение скорости управляющего потока, связанное с ростом $\overline{P}_f$, приводит к необходимости уменьшения поверхности трения потоков, т. е. уменьшения $\overline{b}$, а рост градиента скорости по толщине струи управляющего потока способствует увеличению $\overline{h}$, при этом происходит снижение потерь энергии в зоне смешения на единицу мощности управляющего потока. Уменьшение площади расходного окна обусловлено тем, что оптимальная мощность управляющего потока изменяется незначительно с изменением P_f и лежит в диапазоне 0,55–0,6 мощности смешанного потока. Уменьшение диаметра поверхности смешения управляющего и транзитного потоков с ростом P_t обусловливает уменьшение потерь энергии на трение. Уменьшение угла схода коллектора с ростом P_f способствует уменьшению потерь энергии на «удар» в расчете на создаваемую удельную циркуляцию смешанного потока.

На рис. 5 приведены результаты экспериментальных исследований неравномерности циркуляций управляющего потока в зависимости от $\overline{P}_f$. Из анализа рис. 5 видно, что наиболее эффективным с позиции обеспечения равномерности циркуляции управляющего потока является безлопаточный ЭР.

Таким образом, полученные уравнения (1) могут быть использованы для расчета параметров аэродинамической схемы ЭР, обеспечивающего наибольшую эффективность использования энергии управляющего потока.

Следует особо подчеркнуть, что вследствие различия энергетических характеристик безлопаточного и малоканального ЭР набольшее

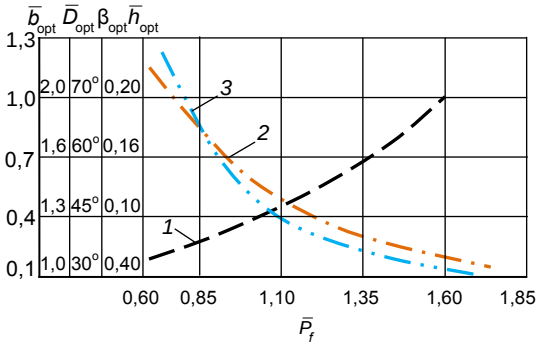


Рисунок 4. Зависимость оптимальных геометрических параметров ЭР от давления, развиваемого вентилятором. *1* – по ширине ЭНА; *2* – по высоте окна канала; *3* – по диаметру / **Figure 4. The dependence of the optimal geometric parameters of the energy regulator from the pressure developed by the fan.**

значение эффективности достигается для разных их исполнений в зависимости от расчета по P_y и P_f. Если в качестве критерия подобия принять коэффициент давления управляющего потока на поверхности смешения P_f, т. е. оценивать только внешнюю аэродинамику взаимодействия управляющего и транзитного потоков, то максимальную эффективность, КПД и аэродинамическое качество имеет лопаточный ЭР: $\varepsilon_f = 0{,}93$; $\eta_f = 0{,}94$; $K_f = 3{,}7$ [9].

В случае учета потерь энергии, в том числе и непосредственно в ЭР, т. е. при проведении исследований совместно внешней и внутренней аэродинамики лучшие показатели имеет безлопаточный ЭР:

$$\varepsilon_y = 0{,}83; \eta_y = 0{,}85; K_y = 3{,}1.$$

Приведенные экспериментальные исследования и полученные формулы для расчета значений геометрических параметров ЭР, а также испытания вентилятора серии ВРВП с ЭР позволили разработать инженерную методику проектирования ЭР и создать их типоразмерный ряд для вентиляторов главного проветривания, выполненных по аэродинамическим схемам Ц70-20, Ц76-16, Ц76-12 и Ц70-15 [10].

По сравнению с осевыми направляющими аппаратами, ЭР позволяют увеличивать глубину экономичного регулирования центробежного вентилятора на 26 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носырев Б. А., Белов С. В. Вентиляторные установки шахт и метрополитенов. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2000. 278 с.
2. Петров А. В. Энергетические методы управления подъемной силой крыла. М.: Физматлит, 2011. 404 с.
3. Баутин С. П., Обухов А. Г. Математическое моделирование разрушительных атмосферных вихрей. Новосибирск: Наука, 2012. 152 с.
4. Баутин С. П., Крутова И. Ю., Обухов А. Г., Баутин К. В. Разрушительные атмосферные вихри: теоремы, расчеты, эксперименты. Новосибирск: Наука; Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2013. 215 с.
5. Макаров Н. В., Копачев В. Ф. Регулирование центробежных вентиляторов энергетическим направляющим аппаратом // Горное оборудование и электромеханика. 2007. № 5. С. 43–46.
6. Макаров В. Н., Макаров Н. В., Закиев Р. В. Идеальная аэродинамическая характеристика центробежного вентилятора с энергетическим регулятором // ГИАБ. 2009. Т. 16, № 12. С. 349–356.
7. Идельчик И. Е. Аэродинамика технологических аппаратов. М.: Машиностроение, 1983. 351 с.

Николай Владимирович Макаров,
кандидат технических наук, заведующий кафедрой горной механики
mnikolay84@mail.ru
Владимир Николаевич Макаров,
доктор технических наук, профессор
Андрей Алексеевич Солдатенко,
студент 3 курса
Никита Евгеньевич Лаврёнов,
студент 3 курса
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

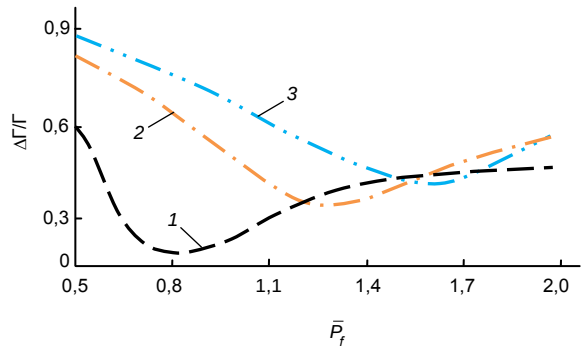


Рисунок 5. Неравномерность циркуляции на выходе ЭР. *1* – безлопаточный ЭР; *2* – одноканальный ЭР; *3* – четырехканальный ЭР / **Figure 5. The unevenness of circulation at the output of the energy regulator.**

8. Потапов В. Я. Разработка математической модели движения частиц в сепараторе по трению и упругости // Изв. вузов. Горный журнал. 2011. № 3. С. 60–65.
9. Englar R. J. Overview of circulation control pneumatic aerodynamics. In: Applications of circulation control technology, Progress in astronautics and aeronautics. Vol. 214, AIAA, 2006. pp. 23–68.
10. Макаров Н. В., Шавлов Е. Н., Макаров В. Н. Аэродинамический расчет энергетического регулятора вентиляторов местного проветривания // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. статей XIII Междунар. науч.-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека. 2015. С. 81–85.

REFERENCES

1. Nosyrev B. A., Belov S. V. 2000, *Ventilyatornye ustanovki shakht i metropolitenov* [Fan installations of mines and subways], Ekaterinburg, 278 p.
2. Petrov A. V. 2011, *Energeticheskie metody upravleniya pod'emnoy siloy kryla* [Energy management of wing lift techniques], Moscow, 404 p.
3. Bautin S. P., Obukhov A. G. 2012, *Matematicheskoe modelirovanie razrushitel'nykh atmosfernykh vikhrey* [Mathematical modeling of destructive atmospheric vortices], Novosibirsk, 152 p.
4. Bautin S. P., Krutova I. Yu., Obukhov A. G., Bautin K. V. 2013, *Razrushitel'nye atmosfernye vikhri: teoremy, raschety, eksperimenty* [Destructive atmospheric vortices: theorems, calculations, experiments], Ekaterinburg, 215 p.
5. Makarov N. V., Kopachev V. F. 2007, *Regulirovanie tsentrobezhnykh ventilyatorov energeticheskim napravlyayushchim apparatom* [Regulation of centrifugal fans using energy guide vanes]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika* [Mining Equipment and Electromechanics], no. 5, pp. 43–46.
6. Makarov V. N., Makarov N. V., Zakiev R. V. 2009, *Ideal'naya aerodinamicheskaya kharakteristika tsentrobezhnogo ventilyatora s energeticheskim regulyatorom* [Ideal aerodynamic characteristics of a centrifugal fan with an energy regulator]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* [Mining informational and analytical bulletin], vol. 16, no. 12, pp. 349–356.
7. Idel'chik I. E. 1983, *Aerodinamika tekhnologicheskikh apparatov* [Aerodynamics of technological devices]. Moscow, 351 p.
8. Potapov V. Ya. 2011, *Razrabotka matematicheskoy modeli dvizheniya chastits v separatore po treniyu i uprugosti* [Development of mathematical model of the motion of particles in the separator by friction and elasticity]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 3, pp. 60–65.
9. Englar R. J. 2006, Overview of circulation control pneumatic aerodynamics. In: Applications of circulation control technology, Progress in astronautics and aeronautics, AIAA, vol. 214, pp. 23–68.
10. Makarov N. V., Shavlov E. N., Makarov V. N. 2015, *Aerodinamicheskiy raschet energeticheskogo regulyatora ventilyatorov mestnogo provetrivaniya* [Aerodynamic calculation of the energy regulator of local ventilation fans]. T*ekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: sbornik statey XIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Chteniya pamyati V. R. Kubacheka* [Technological equipment for mining and oil and gas industry: a collection of articles of the XIII International scientific-technical conference of memory of V. R. Kubachek], pp. 81–85.

Nikolay Vladimirovich Makarov,
PhD
mnikolay84@mail.ru
Vladimir Nikolaevich Makarov,
Dr, Professor
Andrey Alekseevich Soldatenko,
student
Nikita Evgen'evich Lavrenov,
student
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 66-69.
УДК 621.311.238:004.032.26
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-66-69

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ НАСТРОЙКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Г. А. Килин, И. Р. Зиятдинов, Б. В. Кавалеров

Usage of neural network model for configuring of automatic gas turbine power regulators

G. A. Kilin, I. R. Ziyatdinov, B. V. Kavalerov

The article discusses the use of neural network mathematical model for the automated setup of automatic control system of a gas turbine unit (GTU), consisting of a gas turbine power plant.
The peculiarity of the construction of models based on neural network technology lies in the fact that the structural and parametric identification of the object takes place automatically during the process of training the neural network. Thus, we greatly simplify the technology and reduce the time of receipt of mathematical models for a GTU and GTU-SG system.
A unique feature of the developed complex of techniques consists in the fact that they allow you to automatically, without human intervention, obtain mathematical models GTUs and promptly implement configured (tested) on a mathematical model, automatic control systems (ACS) on the real objects. The usage of software system significantly reduces the cost of developing, testing, ACS GTU, as all the experiments on the installation of ACS GTU are carried out on the resultant GTU model, rather than the real object, and this leads to fuel, human and time resources savings. As a result, improving the ACS GTU for power plants improves the main indicators of quality of generated electricity. However, it is important to make a follow-up inspection of the solutions on the full-scale facility before industrial using of the obtained adjustment regulators of GTU.
In the long term, on the basis of the algorithm, it is possible to implement a mobile setup complex (MSC), with which the expert, having set an experiment on a real installation and downloading the results in MSC, receives a mathematical model of GTU, at which he can configure ACS GTU like it is really operating.

Keywords: neural network; mathematical model; identification; automatic control system; gas turbine unit; automated setup; regulator.

Рассматривается использование нейросетевой математической модели для автоматизированной настройки системы автоматического управления газотурбинной установки (ГТУ) в составе газотурбинной электростанции. Особенность построения моделей на базе нейросетевых технологий заключается в том, что структурная и параметрическая идентификация объекта происходит автоматически в ходе процесса обучения нейронной сети. Тем самым значительно упрощается технология и уменьшается время получения математических моделей как ГТУ, так и систем ГТУ-СГ. Особенность разработанного комплекса методик заключается в том, что они позволяют в автоматическом режиме, без участия оператора получать математические модели ГТУ и оперативно внедрять настроенные (протестированные) на математической модели системы автоматического управления (САУ) на реальные объекты. В результате этого применение программного комплекса приводит к существенным снижениям затрат на разработку, испытания САУ ГТУ, так как все эксперименты по настройке САУ ГТУ проводятся на полученной модели ГТУ, а не на реальном объекте, что приводит к экономии топлива, человеческих и временных ресурсов. В результате совершенствования САУ ГТУ для электростанций улучшаются основные показатели качества вырабатываемой электроэнергии. Но следует подчеркнуть, что обязательна последующая проверка полученных решений на натурном объекте перед промышленным использованием полученной настройки регуляторов ГТУ. В перспективе на основе представленных алгоритмов есть возможность реализовать мобильный настроечный комплекс (МНК). Специалист, проведя заданные эксперименты на реальной установке и загрузив результаты в МНК, получает математическую модель ГТУ, на которой может настраивать САУ ГТУ в условиях реальной эксплуатации.

Ключевые слова: нейронная сеть; математическая модель; идентификация; система автоматического управления; газотурбинная установка; настройка; регулятор.

Введение

В настоящее время конвертированные авиационные газотурбинные установки (ГТУ) достаточно широко используются для построения на их основе электростанций мощностью до 25 МВт и более [1].

Математические модели ГТУ [2, 3] и математические модели системы «газотурбинная установка совместно с синхронным генератором» (модели ГТУ-СГ) [4] могут применяться для совершенствования, настройки, тестирования и отладки систем автоматического управления (САУ) ГТУ. Такие модели в перспективе могут использоваться и в качестве встроенных моделей, чтобы в темпе процесса обеспечивать автоматическую настройку САУ ГТУ при существенном изменении внешних условий. Наиболее часто динамические модели ГТУ строят с использованием идентификации, основанной на методе наименьших квадратов [4]. В настоящей статье рассматривается использование модели ГТУ-СГ, построенной альтернативным способом; этот способ основан на применении нейросетевой технологии [2, 5–7].

Алгоритм оптимизации параметров регулятора

Рассмотрим общий алгоритм оптимизации параметров регулятора. В качестве первичных экспериментальных данных можно взять результаты стендовых испытаний реальных ГТУ или электростанций. Но на первом этапе исследований более удобно использовать сложную поэлементную математическую модель ГТУ, разработанную на авиадвигателестроительном предприятии и реализованную совместно с моделями СГ и моделями прочих элементов электроэнергетической системы в виде программно-моделирующего комплекса КМЭС (ПМК КМЭС). ПМК КМЭС работает на основе сложной поэлементной модели, главным недостатком которой является скорость её работы, а также сложность получения её параметров. При этом для проведения эксперимента следует предварительно нарушить настройку регулятора ГТУ. Это делается для того, чтобы подтвердить приемлемость разрабатываемой нейросетевой модели. Известно, что адекватность модели должна оцениваться исходя из цели её создания [8]. Цель разрабатываемой модели – это настройка по ней САУ ГТУ. Поэтому полученная модель должна быть проверена именно в условиях настройки.

На КМЭС проводим необходимые эксперименты и получаем экспериментальные данные, на основе которых строим ещё одну, но уже быстрорешаемую нейросетевую модель. На быстрорешаемой модели с помощью алгоритмов оптимизации получаем оптимальные настройки регулятора, которые переносим на ПМК КМЭС; проверяем результаты с новыми настройками САУ. Если данные настройки показали результаты лучше, чем до настройки, то можно сделать вывод, что быстрорешаемая модель выполнила свою функцию: позволила за короткий промежуток времени подобрать настройки САУ.

На рис. 1 показана блок-схема алгоритма, реализующего нахождение оптимальных настроек регулятора ГТУ с помощью нейросетевой быстрорешаемой модели.

Получение нейросетевой модели

После того, как мы получили экспериментальные данные с ПМК КМЭС, они загружаются в программный комплекс, где в автоматическом режиме после настройки необходимых параметров в ходе обучения нейронной сети [2, 7, 9, 10] получаем нейросетевую модель объекта. Именно эта нейросетевая модель будет использована для настройки параметров регулятора.

Нейросетевая модель (рис. 2) представлена в виде многослойного персептрона с двумя скрытыми слоями и таблицей весовых коэффициентов; она является полносвязной, регрессионной. Функцией активации выбран гиперболический тангенс [9, 10].

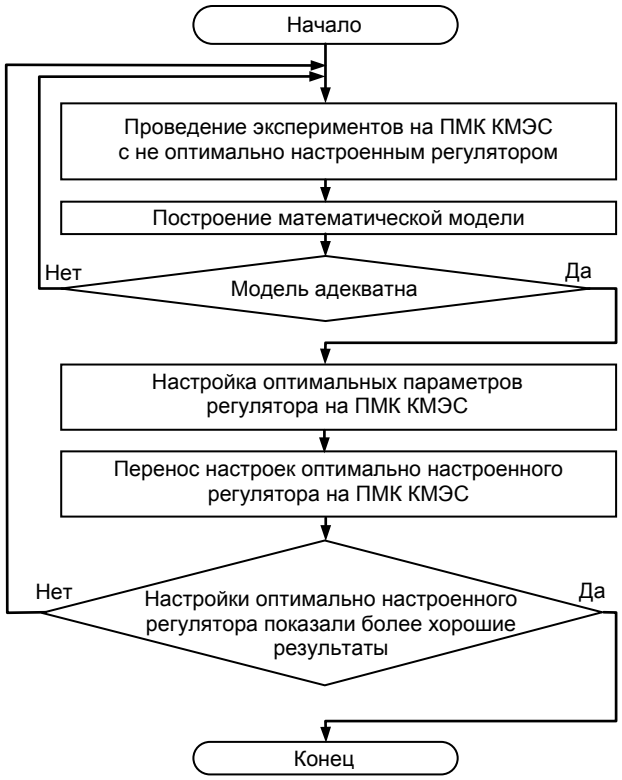


Рисунок 1. Алгоритм автоматизированной настройки САУ ГТУ / Figure 1. Algorithm for automated adjustment of automatic control system of a gas turbine unit.

Переходные процессы нейросетевой модели

Изначально параметры регуляторов ГТУ у сложной нелинейной модели были настроены не самым оптимальным образом. Это сделано для последующей проверки настройки этих регуляторов по нейросетевой модели. На рис. 3–5 показано сравнение модельных и экспериментальных данных в замкнутом контуре с регулятором на примере скорости вращения свободной турбины. В табл. 1 показана мера адекватности по критерию Тейла [11]. Здесь модельные данные получены с помощью нейросетевой модели, которая строится с помощью программного комплекса по экспериментальным данным.

Таблица 1. Мера адекватности.

Переменная	Мера адекватности модели
Скорость вращения свободной турбины (50 с)	0,00433
Скорость вращения свободной турбины (10 с)	0,00460
Действующее напряжение синхронного генератора (10 с)	0,01476

Из рис. 3–5 видно, что полученная нейросетевая модель ГТУ-СГ дает погрешность в сравнении с первичной сложной моделью. Но оценить допустимый уровень этой погрешности непосредственно по рисункам или по табл. 1 нельзя, так как неизвестно, какой именно уровень погрешности считать допустимым. Поэтому воспользуемся рекомендациями [8]. Будем считать, что погрешность допустима, если она не мешает достижению основной цели, ради которой построена модель, т. е. настройке по ней регуляторов ГТУ. Если обратный перенос полученных настроек на первичную модель окажется успешным, значит нейросетевую модель можно считать адекватной.

Настройка регуляторов ГТУ на нейросетевой модели

На основе полученной нейросетевой модели с помощью алгоритмов оптимизации были получены оптимальные настройки параметров регулятора (оптимизация проводилась по выходному параметру $n_{с.т}$). В качестве методов оптимизации параметров регулятора были использованы симплексный, градиентный и генетический алгоритмы поиска экстремума. Поиск параметров регулятора занимал не более 3 мин при следующих параметрах компьютера: операционная система *Windows* 8 (x64), процессор *AMDE1-2500 APU with Radeon (TM) HD Graphics 1.4 GHz*, 4 Гб оперативной памяти. Из всего множества полученных настроек регулятора был выбран самый лучший вариант.

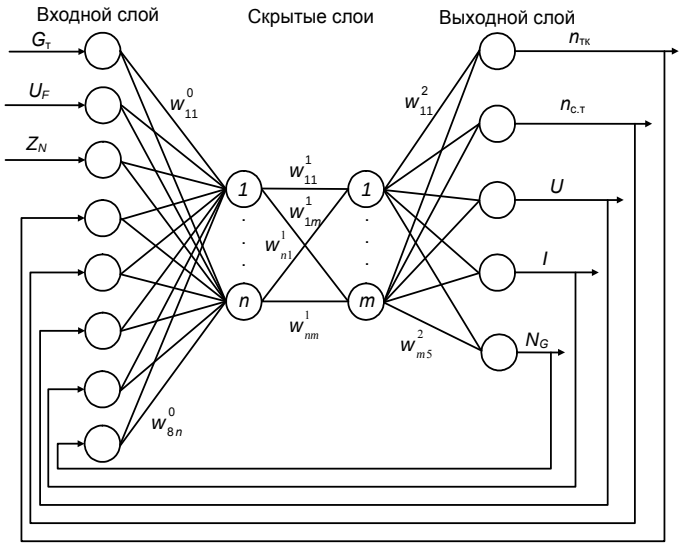


Рисунок 2. Архитектура нейронной сети. $n_{тк}$ – скорость вращения турбокомпрессора; $n_{с.т}$ – скорость вращения свободной турбины; U – напряжение синхронного генератора (СГ); I – ток СГ; N_G – мощность СГ; I_F – ток возбуждения; $G_т$ – расход топлива; U_F – напряжение обмотки возбуждения; Z_N – статическая нагрузка СГ; w^a_{bc} – весовой коэффициент связи (a – индекс таблицы весов, b – номер нейрона в слое, откуда идет связь, c – номер нейрона в слое, куда приходит связь). Количество нейронов в обоих скрытых слоях равно 30 ($n = m = 30$) / **Figure 2. Neural Network Architecture.**

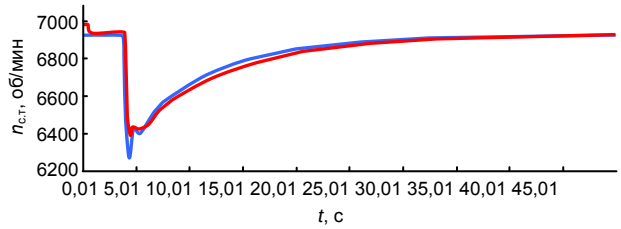


Рисунок 3. Изменение скорости вращения свободной турбины (синяя – экспериментальная, красная – модельная) за 50 с / Figure 3. Changing the free turbine speed (blue – experimental, red – model) for 50 seconds.

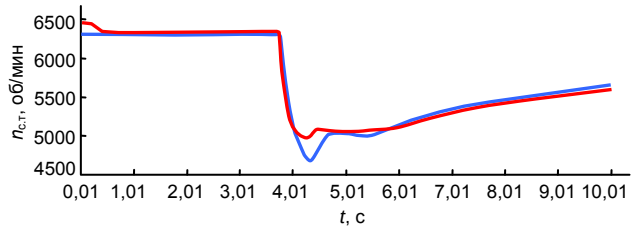


Рисунок 4. Изменение скорости вращения свободной турбины (синяя – экспериментальная, красная – модельная) за 10 с / Figure 4. Changing the free turbine speed (blue – experimental, red – model) for 10 seconds.

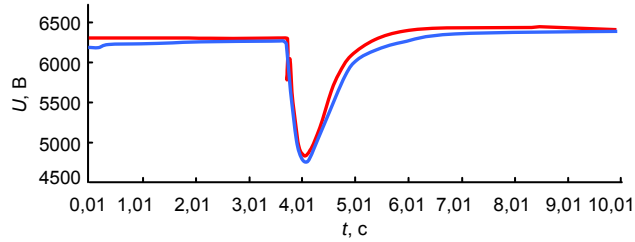


Рисунок 5. Изменение напряжения синхронного генератора (красная – экспериментальная, синяя – модельная) за 10 с / Figure 5. Changing the synchronous generator voltage (red – experimental, blue – model) for 10 seconds.

Следует отметить, что получение только единственной настройки по первичной модели ГТУ-СГ на программном комплексе КМЭС со сложной моделью ГТУ при тех же параметрах компьютера потребовало бы значительно больше времени.

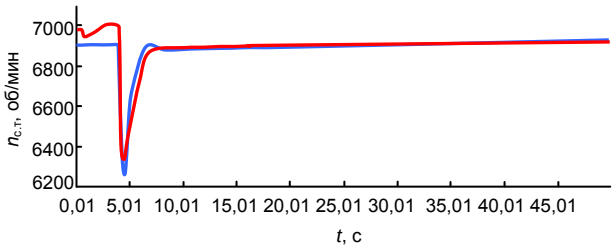


Рисунок 6. Изменение скорости вращения свободной турбины (синяя – экспериментальная, красная – модельная) за 50 с / Figure 6. Changing the free turbine speed (blue – experimental, red – model) for 50 seconds.

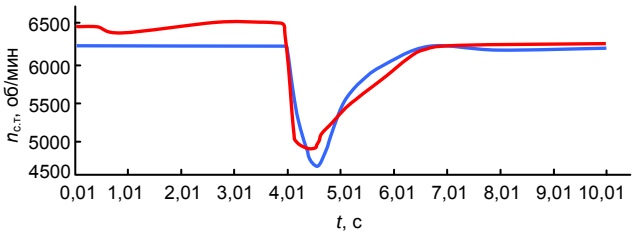


Рисунок 7. Изменение скорости вращения свободной турбины (красная – экспериментальная, синяя – модельная) за 10 с / Figure 7. Changing the free turbine speed (red – experimental, blue – model) for 10 seconds.

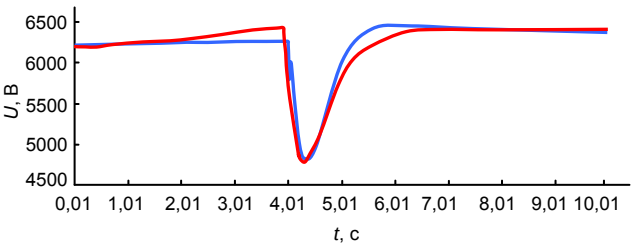


Рисунок 8. Изменение напряжения синхронного генератора (красная – экспериментальная, синяя – модельная) за 10 с / Figure 8. Changing the synchronous generator voltage (red – experimental, blue – model) for 10 seconds.

Теперь проверим полученные настройки на исходной модели КМЭС. Перенесем на модель КМЭС полученные настройки. Так как для обеспечения приемлемых показателей электроэнергии нас больше интересуют такие параметры, как $n_{с.т}$ (скорость вращения свободной турбины) и U (действующее напряжение синхронного генератора), далее на рис. 6–8 отображены только они. В табл. 2 показана мера адекватности по критерию Тейла [11].

Таблица 2. Мера адекватности.

Переменная	Мера адекватности модели
Скорость вращения свободной турбины (50 с)	0,016348
Скорость вращения свободной турбины (10 с)	0,031010
Действующее напряжение синхронного генератора (10 с)	0,030680

Полученные с помощью быстродействующей нейросетевой модели переходные процессы позволили получить аналогичные переходные процессы для первичной модели: значительно увеличилась скорость вращения свободной турбины (1 с времени переходного процесса при оптимальной настройке регулятора против 4 с при не оптимальной настройке (критерием времени переходного процесса взят вход в 5 %-ную зону от величины установившегося значения)).

Вывод

Нейросетевая математическая модель системы ГТУ-СГ показала хорошие результаты при выполнении задачи автоматической настройки параметров регулятора ГТУ. Так как все эксперименты проводились на модели, а не на реальной установке, мы сэкономили человеческие, материальные и временные ресурсы, которые были бы потрачены при проведении экспериментов на реальном объекте. Достигается, в том числе, существенная экономия времени автоматической настройки регуляторов ГТУ (в несколько раз). Но следует подчеркнуть, что обязательна последующая проверка полученных решений на натурном объекте перед промышленным использованием полученной настройки регуляторов ГТУ.

Опубликованные в статье результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки РФ № 13.832.2014/К «Разработка методологических основ адаптивного управления автономными и неавтономными газотурбинными электростанциями мощностью до 25 МВт».

ЛИТЕРАТУРА

1. Полулях А. И., Лисовин И. Г., Кавалеров Б. В., Шигапов А. А. Автоматизация настройки регуляторов газотурбинных мини-электростанций при компьютерных испытаниях//Автоматизация в промышленности. 2011. № 6. С. 14–17.
2. Килин Г. А., Кавалеров Б. В., Бахирев И. В. Получение нелинейной модели ГТУ на основе нейронной сети // Автоматизация в электроэнергетике и электротехнике. 2015. № 1. С. 72–77.
3. Чобенко В. Н., Палиенко Р. В., Лютиков А. Л. Математическая модель одновального ГТД Д045 // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. Т. 3, № 12 (63). С. 18–21.
4. Килин Г. А. Получение нелинейной математической модели системы «газотурбинная установка–синхронный генератор» с помощью идентификации // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. 2015. № 2. С. 87–91.
5. Asgari H. et al. Artificial neural network-based system identification for a single-shaft gas turbine // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. 2013. Vol. 135, № 9. URL: http://gasturbinespower.asmedigitalcollection.asme.org
6. Asgari H., Chen X. Q., Sainudiin R. Modeling and simulation of gas turbines //International Journal of Modeling, Identification and Control. 2013. Vol. 20, № 3.С. 253–270.
7. Хижняков Ю. Н. Многосвязное адаптивное управление параллельной работой синхронных генераторов с применением нейронной технологии. М., 2014. Т. 16. 19 с.
8. Сильверстов А. Н., Чинаев П. И. Идентификация и оптимизация автоматических систем. М.: Энергоатомиздат, 1987. 200 с.
9. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. М.: Изд. дом Вильямс, 2008. 1104 с.
10. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия–Телеком, 2001. 382 с.
11. Тейл Г. Эконометрические прогнозы и принятие решений. М.: Статистика, 1971. 488 с.

REFERENCES

1. Polulyakh A. I., Lisovin I. G., Kavalerov B. V., Shigapov A. A. 2011, *Avtomatizatsiya nastroyki regulyatorov gazoturbinnykh mini-elektrostantsiy pri komp'yuternykh ispytaniyakh* [Automation of setting of regulators gas turbine power plants during a computer tests]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in industry], no. 6, pp. 14–17.
2. Kilin G. A., Kavalerov B. V., Bakhirev I. V. 2015, *Poluchenie nelineynoy modeli GTU na osnove neyronnoy seti* [Getting a nonlinear GTU model based on neural network]. *Avtomatizatsiya v elektroenergetike i elektrotekhnike* [Automation in power industry and electrical engineering], no. 1, pp. 72–77.
3. Chobenko V. N., Palienko R. V., Lyutikov A. L. 2013, *Matematicheskaya model' odnoval'nogo GTD D045* [Mathematical model of single-shaft gas turbine engine D045]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], vol. 3, no. 63, pp. 18–21.
4. Kilin G. A. 2015, *Poluchenie nelineynoy matematicheskoy modeli sistemy «gazoturbinnaya ustanovka–sinkhronnyy generator» s pomoshch'yu identifikatsii* [Getting nonlinear mathematical "gas turbine plant – synchronous generator" model system using identification]. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Izhevsk State Technical University], no. 2, pp. 87–91.
5. Asgari H. et al. 2013, Artificial neural network-based system identification for a single-shaft gas turbine. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, vol. 135, no. 9. Available at: http://gasturbinespower.asmedigitalcollection.asme.org
6. Asgari H., Chen X. Q., Sainudiin R. 2013, Modeling and simulation of gas turbines. International Journal of Modeling, Identification and Control, vol. 20, no. 3, pp. 253–270.
7. Khizhnyakov Yu. N. 2014, *Mnogosvyaznoe adaptivnoe upravlenie parallel'noy rabotoy sinkhronnykh generatorov s primeneniem neyronnoy tekhnologii* [Multicoupling adaptive control of parallel operation of synchronous generators using neural technology], Moscow, vol. 16, 19 p.
8. Sil'verstov A. N., Chinaev P. I. 1987, *Identifikatsiya i optimizatsiya avtomaticheskikh sistem* [Identification and Optimization of automatic systems], Moscow, 200 p.
9. Khaykin S. 2008, *Neyronnye seti: polnyy kurs* [Neural networks: a complete course], Moscow, 1104 p.
10. Kruglov V. V., Borisov V. V. 2001, *Iskusstvennye neyronnye seti. Teoriya i praktika* [Artificial neural networks. Theory and practice], Moscow, 382 p.
11. Teyl G. 1971, *Ekonometricheskie prognozy i prinyatie resheniy* [Econometric forecasting and decision-making], Moscow, 488 p.

Григорий Александрович Килин,
аспирант, младший научный сотрудник
thisisforasm@rambler.ru
Илья Рудольфович Зиятдинов,
магистрант
Борис Владимирович Кавалеров,
доктор технических наук, доцент
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Россия, Пермь, Комсомольский пр-т, 29

Grigoriy Aleksandrovich Kilin,
postgraduate researcher
thisisforasm@rambler.ru
Il'ja Rudol'fovich Ziyatdinov,
master student
Boris Vladimirovich Kavalerov,
Dr, Assistant Professor

Perm National Research Polytechnic University
Perm, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 70-72.
УДК 622.231
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-70-72

РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ПОЛОЧНОГО ФРИКЦИОННОГО СЕПАРАТОРА С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ТРАМПЛИНОМ ПЕРЕМЕННОЙ КРИВИЗНЫ

П. М. Анохин, А. И. Афанасьев, Ю. М. Казаков, В. Я. Потапов

Operating process of shelving friction separator with curvilinear ramp of variable curvature

P. M. Anokhin, A. I. Afanas'ev, Yu. M. Kazakov, V. Ya. Potapov

Separation by the elasticity and friction is widely used in mining and construction industries. The simplest device for separating by friction is a shelf separator, which consists of the inclined shelf designed to disperse a particle to a speed that will be dependent from friction coefficient. Inclined shelf ends in the bottom with the curved ramp. Curved ramp can be made in an arc with a constant and a variable radius, and it can be considered as the second stage of the preparation of particles with different coefficients of friction for the separation. Authors established experimentally that the friction in this area varies depending on the location of the particle, i.e. radius. At different points of the concave trajectory, the normal pressure of a particle on a curved surface is different. Thus, setting the law of radius variation lets us to control descent speed of the particle from the curved ramp and, thus, the separation efficiency.
Using Newton's second law in the research allowed obtaining in polar coordinates differential equation of motion of the rock particles in the curved trampoline made in the form of a logarithmic spiral. The equation includes spiral parameters: polar radius, the angle between the path tangent and polar radius vector, and the friction coefficient. As a result of the integration of these equations authors obtained velocity of the particle during its descent from the curved ramp, as well as the direction of speed, which allows to determine the initial conditions of motion in free flight of the particle. According to the well-known separation speed of the particle from the curved ramp one can identify its horizontal and vertical components. Then, using the law of conservation of energy and the differential equations of motion of a particle in free flight, authors determined the distance of the particle falling on the horizontal plane, measured from the edge of ramp. The study shows the results of calculations on the model and the results of experiments on a physical model that demonstrates the adequacy of the mathematical model. A curved ramp with a variable radius of curvature provides a larger range of particle distribution that indicates as an increase in the efficiency of the separation process.

Keywords: shelving friction separator; friction coefficient; equation of motion of a particle; particle velocity; curvilinear ramp; logarithmic spiral.

Разделение по упругости и трению широко применяется в горной и строительной промышленности. Наиболее простым устройством для разделения по трению является полочный сепаратор, который состоит из наклонной полки, предназначенной для разгона частицы до скорости, зависящей от коэффициента трения. Наклонная полка заканчивается в нижней части криволинейным трамплином. Криволинейный трамплин может быть выполнен по дуге с постоянным и переменным радиусом, и его можно считать вторым этапом подготовки частиц с различными коэффициентами трения к разделению. Экспериментально установлено, что сила трения на этом участке меняется в зависимости от места нахождения частицы, т. е. радиуса. В разных точках вогнутой траектории нормальное давление частицы на криволинейную поверхность различное. Таким образом, задаваясь законом изменения радиуса, можно регулировать скорость схода частицы с криволинейного трамплина и, соответственно, эффективность разделения. С использованием второго закона Ньютона в полярных координатах получены дифференциальные уравнения движения частицы горной породы на криволинейном трамплине, выполненном в виде логарифмической спирали. В уравнения входят параметры спирали: полярный радиус, угол между касательной к траектории и полярным радиус-вектором, коэффициент трения. В результате интегрирования этих уравнений получена скорость движения частицы при её сходе с криволинейного трамплина, а также направление скорости, что позволяет определить начальные условия движения при свободном полете частицы. По известной скорости отрыва частицы от криволинейного трамплина были определены её горизонтальная и вертикальная составляющие. Затем с использованием закона сохранения энергии и дифференциального уравнения движения частицы при свободном полете было определено расстояние падения частицы на горизонтальную плоскость, отсчитанную от кромки трамплина. Приводятся результаты расчетов по модели и результаты экспериментов на физической модели, которые доказывают адекватность математической модели. Показано, что криволинейный трамплин с переменным радиусом кривизны позволяет получить больший веер распределения частиц, что свидетельствует о повышении эффективности процесса сепарации.

Ключевые слова: фрикционный полочный сепаратор; коэффициент трения; уравнение движения частицы; скорость частицы; криволинейный трамплин; логарифмическая спираль.

Разделение по упругости, трению, а также комбинированное разделение по упругости и трению широко применяются в горной и строительной промышленности. Наиболее простым устройством для разделения по трению является полочный сепаратор, который представляет собой совокупность нескольких механических устройств, каждое из которых предназначено для разделения частиц обогащаемого материала по различным признакам (рис. 1) [1, 2]. В настоящее время известно несколько конструкций полочных сепараторов [3][1]. Сепаратор (рис. 1) состоит из наклонной полки *1* (узла стратификации), на которой происходит разгон частицы до скорости, зависящей от коэффициента трения. Узел стратификации подготавливает к разделению частицы с различными коэффициентами трения. Наклонная полка заканчивается в нижней части криволинейным трамплином *2*. Криволинейный трамплин *2* выполнен по дуге с постоянным радиусом, и его можно считать вторым этапом подготовки частиц с различными коэффициентами трения к разделению. Сила трения на этом участке меняется в зависимости от места нахождения частицы. В разных точках вогнутой траектории нормальное давление частицы на криволинейную поверхность различное. Вследствие этого на первом этапе движение равноускоренное, а на втором оно подчиняется довольно сложному закону. Уменьшение скорости на криволинейном участке нелинейно и зависит от коэффициента трения. В результате при выходе частиц на участок свободного полета они имеют существенно различные скорости, а вылет частиц происходит по настильным траекториям. Таким образом, образуется веер разделения, благодаря которому возможно формирование продуктов частиц с различным содержанием полезного компонента.

Под трамплином устанавливаются приёмные ёмкости *3*, в которые попадает разделенный по трению продукт.

Процесс движения каждой частицы можно описать математической моделью, включающей уравнения движения на каждом этапе разделения (рис. 2).

Свободный полет частицы начинается из точки *B* (см. рис. 1) со скоростью v_B, направленной по касательной к дуге окружности трамплина в данной точке.

Таким образом, для математического описания движения частицы в барабанно-полочном сепараторе необходимо составить уравнения, позволяющие определить скорость частицы в конце наклонной плоскости (в точке *A*) и в конце дуги (в точке *B*).

Движение частицы по наклонной плоскости описывается относительно простыми дифференциальными уравнениями, которые в статье не приводятся.

[1] Сепаратор для разделения материалов по трению и упругости: пат. 111780 Рос. Федерация. № 2010153621/03; заявл. 24.06.11; опубл. 27.12.11. Бюл. № 36.

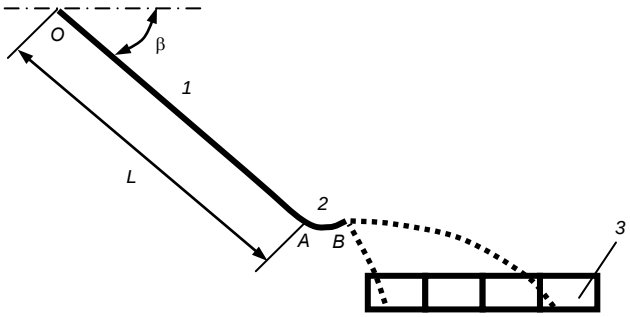


Рисунок 1. Схема движения частицы в полочном фрикционном сепараторе / Figure 1. The scheme of the particle motion in the shelving friction separator.

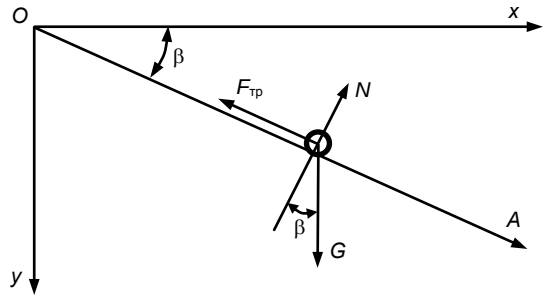


Рисунок 2. Силы, действующие на частицу при движении на наклонной плоскости / Figure 2. Forces applied on a particle in motion on an inclined plane.

Множество вариантов движения частицы при различных значениях исходных параметров вызывает необходимость проведения математического эксперимента на ЭВМ. Это позволит подобрать наиболее рациональные конструктивные параметры самого сепаратора.

Получив скорость, равную v_A, частица выходит на криволинейный участок дуги AB (рис. 3).

Известное решение задачи, когда траекторией движения частицы является окружность, основано на том, что радиус траектории частицы постоянный, совпадает с нормалью, и угол между касательной к траектории и радиусом всегда равен π/2. Наличие данных ограничений существенно упрощает процесс интегрирования уравнений движения частиц, однако значительно сужает возможность выбора параметров, регулирующих процесс разделения.

Естественным расширением модели процесса разделения частиц по трению является выбор поверхности движения частицы с переменным радиусом кривизны. В настоящей работе в качестве такой поверхности выбрана логарифмическая спираль $r = ke^{k1\theta}$, где r, θ – полярные координаты; k, k_1 – постоянные параметры. У логарифмической спирали нормаль к траектории не совпадает с полярным радиусом, но угол между касательной к траектории и полярным радиус-вектором постоянный. Это даёт возможность получить необходимые интегралы при решении дифференциальных уравнений движения частиц.

В новой модели радиус кривизны траектории и величина угла между касательной и полярным радиусом являются дополнительными параметрами, влияющими на величину приложенной к частице силы трения, которая и обусловливает процесс разделения. Кроме того, введение новых параметров позволяет уточнить форму траектории, рационализирующей процесс разделения по трению.

Уравнения движения материальной точки массой m под действием силы тяжести, силы трения и реакции опоры в проекции на оси естественной системы координат τMn (см. рис. 3), написанные для произвольного положения M на траектории, имеют вид:

$$m\frac{dv}{dt} = -mg\sin\varphi - F_{тр} = -mg\sin\varphi - fN,$$

$$\frac{mv^2}{\rho} = -mg\cos\varphi + N, \qquad (1)$$

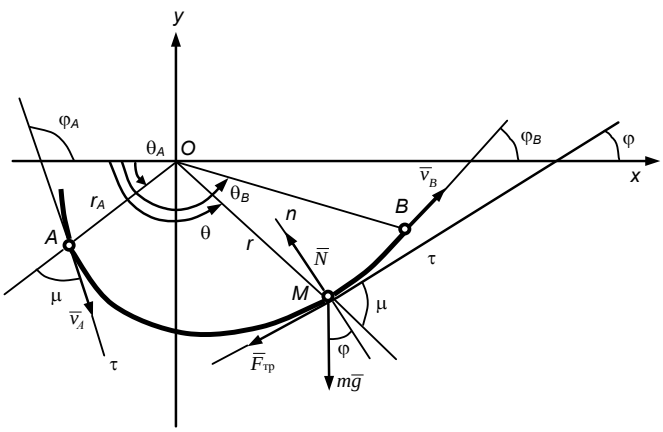


Рисунок 3. Движение точки по логарифмической спирали / Figure 3. The movement of the point by logarithmic spiral.

где v – скорость точки; f – коэффициент трения скольжения; N – реакция опоры; ρ – радиус кривизны спирали в месте, где находится материальная точка M; φ – угол наклона касательной Mτ к положительному направлению оси Ox; r, θ – полярные координаты. Направление отсчета полярного угла показано на рис. 3.

Исключив из уравнений (1) реакцию N, получим выражение

$$m\frac{dv}{dt} + f\frac{mv^2}{\rho} = -mg\left(\sin\varphi + f\cos\varphi\right). \qquad (2)$$

Представим уравнение (2) в виде

$$\frac{dv}{d\varphi}\rho\frac{d\varphi}{dt} + v\varphi^2 = -g\rho\left(\sin\varphi + f\cos\varphi\right). \qquad (3)$$

Покажем, что и при переменном радиусе кривизны в каждый момент времени выполняется равенство

$$\rho\frac{d\varphi}{dt} = v,$$

где v – скорость точки в произвольном месте траектории; φ – угол наклона касательной к траектории. Пусть траектория задана уравнением $y = y(x)$. Радиус кривизны траектории равен

$$\rho = \frac{\left[1 + y'^2_x\right]^{3/2}}{y''_{xx}}.$$

Имеем $\operatorname{tg}\varphi = y'_x$, тогда $\frac{d\varphi}{dx} = \frac{y''_{xx}}{1 + y'^2_x}$.

Получим равенство

$$\rho\frac{d\varphi}{dx} = \frac{\left[1 + y'^2_x\right]^{3/2}}{y''_{xx}}\cdot\frac{y''_{xx}}{1 + y'^2_x} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} =$$

$$\sqrt{1 + \frac{\dot{y}^2}{\dot{x}^2}} = \sqrt{\frac{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}{\dot{x}^2}} = \frac{v}{v_x}.$$

С другой стороны имеем

$$\rho\frac{d\varphi}{dx} = \rho\frac{d\varphi}{dt}\cdot\frac{dt}{dx} = \rho\frac{d\varphi}{dt}\cdot\frac{1}{v_x}.$$

Приравнивая найденные выражения, получим требуемое равенство. Принимая его во внимание, приведём уравнение (3) к виду:

$$\frac{dv^2}{d\varphi} + 2fv^2 = -2g\rho\left(\sin\varphi + f\cos\varphi\right). \qquad (4)$$

Радиус кривизны траектории, входящий в правую часть уравнения (4), при движении точки по логарифмической спирали зависит от положения точки, определяемого полярным углом θ, и равен:

$$\rho = \frac{\left(r^2 + r'^2\right)^{3/2}}{r^2 + 2r'^2 - rr''} = \left(k\sqrt{1 + k_1^2}\right)e^{k1\theta}.$$

Для того чтобы проинтегрировать уравнение (4), выразим полярный угол θ, входящий в выражение радиуса кривизны, через угол φ. Име-

ем очевидное равенство (см. рис. 3): $(\pi - \theta) + \varphi + (\pi - \mu) = \pi$, где μ – угол между продолжением радиус-вектора r точки на кривой и положительным направлением касательной к траектории. Величина угла μ вычисляется по формуле $\operatorname{tg}\mu = r / r'_\theta$. Так как траектория частицы представляет собой логарифмическую спираль $r = ke^{k1\theta}$, то угол $\mu = \operatorname{arctg}(1/k_1)$ и является постоянной величиной. Таким образом, при движении точки по логарифмической спирали в любой момент времени полярный угол θ отличается от угла наклона касательной φ на постоянную величину и равен $\theta = \varphi - \mu + \pi$.

Подставляя выражение радиуса кривизны в выражение (4), получим уравнение движения частицы в окончательном виде:

$$\frac{dv^2}{d\varphi} + 2fv^2 = -2g\left(k\sqrt{1+k_1^2}\right)\exp\left(k_1(\varphi-\mu+\pi)\right)\left(\sin\varphi + f\cos\varphi\right). \quad (5)$$

Выражение представляет собой неоднородное линейное дифференциальное уравнение первого порядка относительно v^2 по переменной φ. Его решение представляется в виде суммы общего решения однородного уравнения $(dv^2/d\varphi) + 2fv^2 = 0$ и частного решения неоднородного.

Общее решение однородного уравнения имеет вид

$$v^2_{\text{одн}} = Ce^{-2f\varphi},$$

где C – постоянная интегрирования.

Частное решение ищем в виде:

$$v^2_{\text{част}} = \exp\left(k_1(\varphi-\mu+\pi)\right)\left(A\sin\varphi + B\cos\varphi\right),$$

где A, B – неопределенные коэффициенты.

Подставим частное решение в неоднородное уравнение (5). Приравнивая в правой и левой частях найденного уравнения коэффициенты при $\cos\varphi$ и $\sin\varphi$, получим систему относительно коэффициентов A и B:

$$\left(k_1 + 2f\right)A - B = -2gfk\sqrt{1+k_1^2}; \quad \left(k_1 + 2f\right)B + A = -2gk\sqrt{1+k_1^2}.$$

Решая систему, находим выражения для неопределенных коэффициентов:

$$A = -\frac{2gk\left(k_1+3f\right)\sqrt{1+k_1^2}}{1+\left(k_1+2f\right)^2}, \quad B = \frac{2gk\left[1-f\left(k_1+2f\right)\right]\sqrt{1+k_1^2}}{1+\left(k_1+2f\right)^2}.$$

В результате общее решение дифференциального уравнения (5) имеет вид

$$v^2 = Ce^{-2f\varphi} + \exp\left(k_1(\varphi-\mu+\pi)\right)\left(A\sin\varphi + B\cos\varphi\right).$$

Очевидно, в практических расчетах положение точки удобнее определять не углом наклона касательной φ, а полярным углом θ. Окончательно скорость точки в зависимости от ее положения, определяемого полярным углом, определяется выражением

$$v_B^2 = C\exp\left(-2f(\theta+\mu-\pi)\right) + e^{k_1\theta}\left(\frac{2gk\left[1-f\left(k_1+2f\right)\right]\sqrt{1+k_1^2}}{1+\left(k_1+2f\right)^2}\cos\left(\theta+\mu-\pi\right) - \right.$$
$$\left. - \frac{2gk\left(k_1+3f\right)\sqrt{1+k_1^2}}{1+\left(k_1+2f\right)^2}\sin\left(\theta+\mu-\pi\right)\right). \quad (6)$$

Привязка модели к реальному обогатительному аппарату осуществлялась по начальным условиям движения частицы. Так, частица вначале скатывается по наклонной плоскости с заданным углом наклона $\alpha = 30^\circ$–40° и затем через сопряжение спирали с наклонной плоскостью в точке A (см. рис. 3) попадает на спираль. Это даёт возможность считать известным начальный угол касательной и вычислить значение полярного угла θ_A, необходимого для осуществления сопряжения логарифмической спирали с наклонной плоскостью.

В начальном положении частицы на спирали (в точке A) справедливы уравнения

$$r_A = ke^{k_1\theta_A}, \quad \theta_A + \alpha + \mu = \pi, \quad \operatorname{tg}\mu = \frac{1}{k_1}. \quad (7)$$

Задаваясь здесь углом α наклона плоскости, величиной k – начальным значением радиус-вектора спирали при $\theta = 0$ и значением r_A – величиной радиус-вектора частицы в начале её движения по спирали, находим угол μ как результат решения трансцендентного уравнения:

$$\operatorname{tg}\mu = a - b\mu, \quad a = \frac{\pi-\alpha}{\ln r_A - \ln k}, \quad b = \frac{1}{\ln r_A - \ln k}.$$

При известном значении μ остальные параметры (k_1 и θ_A) элементарно определяются из уравнений (7).

Для проверки модели произведены расчеты скорости точки при её движении по логарифмической спирали при значениях начальных параметров $\alpha = 30^\circ$, $k = 78$ мм, $r_A = 100$ мм, $f = 0{,}4$, $v_A = 3$ м/с. Получены следующие значения параметров спирали: $\mu = 77{,}4^\circ$; $k_1 = 0{,}22$; $\theta_A = 72{,}6^\circ$. В точке схода частицы со спирали, определяемой полярным углом $\theta_B = 125{,}0^\circ$, её скорость составила $v_B = 1{,}56$ /с.

После расчета по формуле (6) скорости отрыва частицы от криволинейного трамплина были определены её горизонтальная и вертикальная составляющие. Затем с использованием закона сохранения энергии и дифференциального уравнения движения частицы при свободном полёте было определено расстояние падения частицы на горизонтальную плоскость, отсчитанную от кромки трамплина. Оно оказалось равным 43 см. Для хромита, имеющего коэффициент трения 0,38–0,42, экспериментально определенный на физической модели, это расстояние равно 41 см. Для других образцов горных пород также наблюдалось незначительное расхождение между экспериментальными и теоретическими результатами. Таким образом, доказана адекватность математической модели реальному процессу, что позволяет определять рациональные параметры полочного сепаратора с криволинейным трамплином.

Авторами была изготовлена физическая модель полочного сепаратора, имеющего параметры: длина наклонной плоскости – 1,25 м; угол наклона плоскости – 25–45 град.; центральный угол трамплина – 90–120 град., ширина полки – 200 мм. Первые три параметра соответствуют параметрам промышленных сепараторов, а третий параметр практически определяет только производительность и не влияет на характер протекания рабочего процесса.

В результате испытаний установлено, что при прочих равных условиях веер разделения у сепаратора с трамплином, выполненным по логарифмической спирали, оказался больше, чем у сепаратора с цилиндрическим трамплином, на 30–40 %. Это свидетельствует о возможности более точно отделять пустую породу от полезного ископаемого и, следовательно, большей эффективности процесса сепарации.

Выводы

1. Математическая модель рабочего процесса полочного сепаратора с криволинейным трамплином адекватно отражает реальный рабочий процесс.

2. Криволинейный трамплин с переменным радиусом кривизны позволяет получить больший веер распределения частиц, что повышает эффективность процесса сепарации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляпцев С. А., Потапов В. Я., Афанасьев А. И. Аппараты для разделения горных пород по упруго-фрикционным свойствам. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 90 с.
2. Тимченко Н. К., Матросов А. А. Механические классификаторы щебня и гравия по прочности // Строительные материалы. 1966. № 11. С. 4–5.
3. Ляпцев С. А., Потапов В. Я. Математическое описание поведения рудных частиц в воздушном потоке разделительных аппаратов // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. URL: www.science-education.ru/101-5493

REFERENCES

1. Lyaptsev S. A., Potapov V. Ya., Afanas'ev A. I. 2014, *Apparaty dlya razdeleniya gornykh porod po uprugo-friktsionnym svoystvam* [Apparatus for the separation of rocks according to the elastic-friction properties]. LAP LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, Saarbrucken, 90 p.
2. Timchenko N. K., Matrosov A. A. 1966, *Mekhanicheskie klassifikatory shchebnya i graviya po prochnosti* [Mechanical classifiers of rubble and gravel by strength]. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], no. 11, pp. 4–5.
3. Lyaptsev S. A., Potapov V. Ya. 2012, *Matematicheskoe opisanie povedeniya rudnykh chastits v vozdushnom potoke razdelitel'nykh apparatov* [The mathematical description of the behavior of the ore particles in the airflow of separating devices]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], no. 1. Available at: www.science-education.ru/101-5493

Петр Михайлович Анохин,
доцент
Анатолий Ильич Афанасьев,
доктор технических наук, профессор
Юрий Михайлович Казаков,
кандидат технических наук, доцент
Валентин Яковлевич Потапов,
доктор технических наук, профессор
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Petr Mikhaylovich Anokhin,
Assistant Professor
Anatoliy Il'ich Afanas'ev,
Dr, Professor
Yuriy Mikhaylovich Kazakov,
PhD, Assistant Professor
Valentin Yakovlevich Potapov,
Dr, Professor
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 73-77.
УДК 314
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-73-77

ДИСПРОПОРЦИИ В ДЕМОГРАФИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

П. Г. Абдулманапов

Disproportions in demographic development of mountain and lowland territories of the Republic of Dagestan

P. G. Abdulmanapov

Socio-economic backwardness of mountain areas and unique culture of resident nationalities causes a particular demographic behavior of the population, which, in turn, leads to certain disproportions in the demographic development of mountain and lowland territories. The Republic of Dagestan is a region with a predominant share of the mountainous terrain in the total area, where the socio-economic, demographic cultural diversity has a clearly defined interconnection with the nature of the underlying surface and generates different types of population reproduction. Over the past decade, the growth of population in mountain areas has slowed significantly, and therefore the share of the population of lowland territories started to dominate in the region. During the comparative analysis author found that in the mountainous zone of the Republic depopulation processes encompassed far more areas than in the lowlands. All mountain and lowland areas have positive indicators of natural increase in population, but a significant migration loss prevailing in many administrative entities, eventually leads to a decrease of numbers. Most of the natural increase in the country goes to cover the migration losses, and in some mountainous regions, migration loss is one and a half times higher than the natural increase. In the lowlands, migration processes also play an important role in the reproduction of the population, but have not yet become a threat to demographic security. The causes of negative processes in the socio-demographic sphere of Dagestan are due to social infrastructure status, the situation on the labor market and income differentiation. In order to solve the social and demographic problems of the region author encourages using the concept of multifunctionality of rural lands, undertake diversification of production in agriculture, as well as creating favorable conditions for the development of different forms of small and medium businesses.

Keywords: mountain areas; natural population growth; social infrastructure; fertility; migration.

Социально-экономическое отставание горных территорий и своеобразная культура проживающих народностей обусловливают особенности демографического поведения населения, что, в свою очередь, приводит к определенным диспропорциям в демографическом развитии горных и равнинных территорий. Республика Дагестан относится к регионам с преобладающей долей горной местности в общей площади, где социально-экономическое, демографическое, культурное разнообразие имеет чётко выраженную взаимосвязь с характером подстилающий поверхности и формирует разные типы воспроизводства населения. За последнее десятилетие рост численности населения горных районов существенно замедлился, в связи с чем в регионе начала преобладать доля населения равнинных территорий. В ходе сравнительного анализа выяснено, что в горной зоне республики процессы депопуляции охватили значительно больше районов, чем в равнинной местности. Во всех горных и равнинных районах наблюдаются положительные показатели естественного прироста численности населения, но значительная миграционная убыль, сложившаяся во многих административных образованиях, в итоге приводит к снижению её численности. Большая часть естественного прироста в республике уходит на покрытие миграционных потерь, а в некоторых горных районах миграционная убыль в полтора раз превышает естественный прирост. В равнинной местности миграционные процессы также играют важную роль в воспроизводстве населения, но ещё не стали угрозой демографической безопасности. Причины, вызывающие негативные процессы в социально-демографической сфере Дагестана, связаны с состоянием социальной инфраструктуры, ситуацией на рынке труда и дифференциацией доходов. Для решения социально-демографических проблем региона предлагается использовать концепцию многофункциональности сельских земель, провести диверсификацию производства в аграрной сфере, а также создать благоприятные условия для развития разных форм малого и среднего предпринимательства.

Ключевые слова: горные территории; естественный прирост населения; социальная инфраструктура; рождаемость; миграция.

Республика Дагестан является самым крупным регионом Северо-Кавказского федерального округа по численности населения, и на неё приходится около одной трети от общей численности населения округа. Регион относится к территориям с преобладающей горной местностью. Для «качественного» развития хозяйства территорий, имеющих горный характер подстилающей поверхности, с уникальной природной и хозяйственной спецификой, необходимо совершенствовать системные знания. Актуально также определение слабых звеньев региональной системы и определение факторов развития в целях укрепления устойчивости экономической ситуации в горных районах. Специфика изучения горных регионов связана с особенностями горной проблематики в целом и методами исследования с учетом сложившегося культурного уровня коренного населения.

Территориальная зона «Горный Дагестан» включает в себя 27 муниципальных районов, общая площадь которых составляет 21,75 тыс. км^2 (43,3 % от площади региона) [1]. К равнинным районам будем причислять все остальные территории, включая предгорные, равнинные и низменные, в силу умеренности природно-климатических условий по сравнению с горной местностью и существенной схожести социально-экономической ситуации в этих районах.

В среднем по горным районам плотность населения составляет 36,1 чел. на 1 км^2, что в 1,6 раза ниже, чем в республике в целом (58,6 чел. на 1 км^2). В горных районах Дагестана наиболее густонаселенными являются Акушинский, Левашинский и Сулейман-Стальский. Минимальная плотность населения в настоящее время в пределах горных территорий зафиксирована в Чародинском и Рутульском районах – всего 10,2 чел. на 1 км^2 [2].

По предгорным и равнинным территориям среднее значение плотности населения в настоящее время составляет 31,3 чел. на 1 км^2. Это почти в два раза ниже общереспубликанского показателя. Наиболее густонаселенными территориями являются Новолакский (148,6), Дербентский (124,2), Хасавюртовский (104,8), Магарамкентский (94,8) районы. А наименьшая плотность населения наблюдается в Ногайском районе – всего 2,3 чел. на 1 км^2. Также слабозаселенными являются Тарумовский (10,5) и Бабаюртовский районы (14,6). По сравнению с горными районами в равнинных плотность населения ниже на 15 %.

Население муниципальных образований, образующих горную территориальную зону, за весь постсоветский период увеличивалось [3]. С конца XX в. до 2007 г. темпы роста численности населения были относительно невысокими. В период с 2007 по 2010 гг. под воздействием дополнительных мер демографической политики динамика роста численности населения совершила заметный скачок, но в последующие годы рост остановился или снизился до минимального уровня – меньше 1000 чел. в год. В настоящее время численность населения горных районов Республики Дагестан составляет 789,9 тыс. чел., что соответствует 26,4 % от общей численности населения республики (рис. 1).

Если анализировать горную территорию по совокупности районов, составляющих экономические зоны, то здесь заметны некоторые особенности на фоне схожести общей картины развития

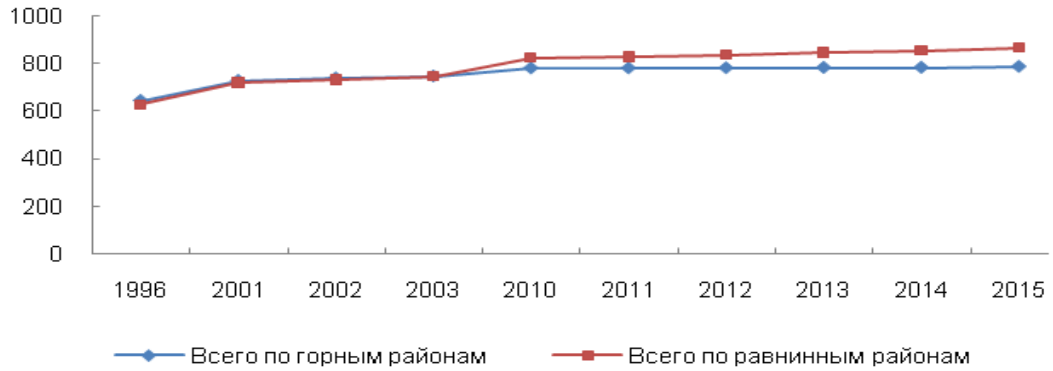


Рисунок 1. Численность населения горных и равнинных районов Республики Дагестан, тыс. чел. / Figure 1. The population of mountain and lowland areas of the Republic of Dagestan, ths. people.

демографических процессов. В Дербентской и Ахтынской экономической зоне во второй половине 1990-х гг. и в конце первого десятилетия 2000-х гг. наблюдался высокий рост численности населения, значительно превышающий по темпам роста аналогичные показатели остальных экономических зон. Вторая особенность этих территорий – переход с положительной динамики изменения численности населения к отрицательной в 2010 г. Фактически в последние пять лет здесь сложилась нисходящая динамика воспроизводства населения. Общая численность населения в настоящее время составляет 155 тыс. чел., или 19,6 % от всего горного населения в Дербентском и 69,3 тыс. чел., или 8,8 % – в Ахтынском. Население Кайтагской экономической зоны росло до 2010 г. без сильных колебаний в тренде, но в последующие годы сложился нулевой рост. Общая численность на 2015 г. здесь равна 68,8 тыс. чел. В Унцукульской и Левашинской экономических зонах наблюдаются наиболее схожие с горной зоной картины. Эти зоны являются наиболее крупными по численности населения. В Унцукульской экономической зоне численность составляет 280,3 тыс. чел., или 35,5 % от общей числен-ности населения горной территории Дагестана, в Левашинской – 216,5 тыс. чел., или 27,4 %.

В Унцукульской экономической зоне наибольшую численность населения имеет Ботлихский район – 56,4 тыс. чел., а наименьшую – Цунтинский – 19,1 тыс. чел. В остальных муниципальных образованиях, входящих в Унцукульскую экономическую зону, численность населения составляет от 22 до 32 тыс. чел. Здесь всё ещё держится положительный прирост, который обеспечивает увеличение численности населения.

Кайтагская экономическая зона, состоящая только из двух районов, также находится на грани депопуляции. В Дахадаевском районе численность населения понемногу снижается, а в Кайтагском, наоборот, увеличивается с такой же интенсивностью, компенсирующей потери в первом. В результате численность населения в совокупности особенно не меняется.

В целом по Левашинской экономической зоне динамика численности населения положительная. В самом крупном муниципальном районе – Левашинском – численность всё время повышалась и составляет 74 тыс. чел. Во второй половине 1990-х гг. и в конце 2010-х гг. она увеличивалась достаточно высокими темпами, а с 2010 г. темпы снизились, но, тем не менее, обеспечивается положительный прирост. В остальных районах общий прирост численности населения или незначительный, или нулевой, или отрицательный. Наибольшие демографические потери у Сергокалинского района – за период с 2003 до 2010 гг. численность населения снизилась с 29,7 тыс. чел. до 27,1 тыс. чел.

Динамика численности населения во всех трёх районах, составляющих Ахтынскую экономическую зону, идентична, с разницей лишь в том, что в Докузпаринском районе сложилась тенденция нулевого роста, в Ахтынском – тенденция к незначительному снижению, в Рутульском – тенденция чуть большего снижения, которая берёт начало немного ранее. В целом демографическую ситуацию в Ахтынской экономической зоне можно охарактеризовать как неблагополучную.

Численность населения равнинных территорий до 2010 г. росла высокими темпами. За период с 1996 по 2010 гг. она увеличилась на 200 тыс. чел., или около 32 %. Это чуть больше значения аналогичного показателя по региону [4]. В последующие годы рост замедлился и почти прекратился так же, как в республике целом. За 2010–2015 гг. рост составил всего 4,9 %.

Среди равнинных муниципальных образований можно выделить территории, относительно крупные по численности. К ним относятся Хасавюртовский (149,3 тыс. чел.), Дербентский (102 тыс. чел.), Буйнакский (78,4 тыс. чел.). Особенностью данных районов является наличие крупных городов. Также многочисленны муниципальные районы, где имеются городские поселения – Кизлярский (68,9 тыс. чел.), Кизилюртовский (65,1 тыс. чел.), Карабудахкентский (76 тыс. чел.). В остальных муниципальных районах численность населения составляет всего 20–30 тыс. чел.

Снижение общей численности населения наблюдается за последние годы в Каякентском, Ногайском и Магарамкентском районах, хотя до 2010 г. депопуляционные явления никак не коснулись равнинных районов Дагестана. Угроза начала депопуляции существует также для Тарумовского и Бабаюртовского районов.

В 2000–2005-х гг. коэффициент естественного прироста, рассчитанный на 1000 чел. населения, в Республике Дагестан и в горной зоне Дагестана составлял около 10 ‰, но к настоящему времени в обоих случаях этот показатель превысил 14 ‰. При этом значение коэффициента естественного прироста по горной территории ниже, чем по республике в целом, а в равнинных районах – значительно выше. За период 2011–2014 гг. данный показатель по республике в целом вырос на 5,4 %, по горной зоне – на 4,3 %, а по равнинной зоне – всего на 1 %, что в целом стало результатом одновременного, хоть и незначительного увеличения рождаемости и уменьшения смертности (рис. 2).

Высокий уровень естественного прироста, как и следовало ожидать, наблюдается в районах, где высок уровень рождаемости и в то же время уровень смертности ниже среднего [5]. Среди горных районов Дагестана к территориям с высочайшими показателями естественного движения населения можно относить Тляратинский (22,5 ‰) и Цунтинский (25,1 ‰). К группе районов с высоким уровнем естественного прироста можно причислить Табасаранский, Цумадинский, Ахвахский, Ботлихский, Унцукульский, Шамильский, Дахадаевский, Кайтагский, Левашинский, Докузпаринский районы.

Критически низкий уровень естественного прироста сложился в муниципальных образованиях Кулинский (5,6 ‰), Ахтынский (8,2 ‰), Гунибский (7,2 ‰), Лакский (7 ‰). Такой характер воспроизводства населения здесь обусловлен в большинстве случаев низкой рождаемостью при сложившейся высокой смертности.

Среди горных муниципальных образований имеются районы, где коэффициент естественного прироста растёт за последние годы высокими темпами. Это в первую очередь Чародинский район, где рост в 2014 г. по сравнению с 2011 г. составил более 60 %. На втором месте Гумбетовский район – рост коэффициента естественного прироста составил 35,6 %. Также высокие темпы увеличения естественного прироста отмечаются в Агульском, Хунзахском, Шамильском, Рутульском районах. Тем не менее данный показатель здесь в настоящее время остаётся относительно низким, а рост позволил только выйти из кризиса, так как в первой половине 2000-х гг. он составлял всего лишь 2–3 чел. на 1000 чел. населения. Такая ситуация была обусловлена низкой рождаемостью при высокой смертности, которая держалась вплоть до времени начала реализации дополнительных мер демографической политики – в 2007 г.

В отдельно взятых муниципальных образованиях естественный прирост не только не вырос, но даже снизился, и наиболее существенно – в Лакском и Левашинском районах (более 20 %). В Докузпаринском, Кайтагском, Курахском, Сергокалинском, Сулейман-Стальском, Табасаранском, Тляратинском, Унцукульском районах также идёт процесс снижения этого показателя.

В остальных территориях республики, которые расположены в низменной, равнинной и предгорной зоне, где природно-климатиче-

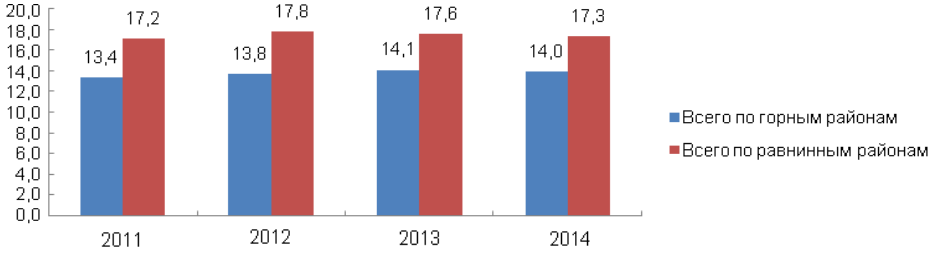


Рисунок 2. Коэффициент естественного прироста на 1000 чел. населения / Figure 2. Rate of natural increase, per 1000 inhabitants.

Таблица 1. Компоненты изменения численности населения горных районов Республики Дагестан, чел.

Район	2012 г.			2014 г.		
	Естественный прирост	Миграционный прирост	Общий прирост	Естественный прирост	Миграционный прирост	Общий прирост
Агульский	117	–357	–240	128	–193	–65
Акушинский	724	–861	–137	718	–470	248
Ахвахский	391	14	405	419	21	440
Ахтынский	256	–428	–172	263	–299	–36
Ботлихский	800	–278	522	834	–192	642
Гергебильский	242	–87	155	262	39	301
Гумбетовский	197	–136	61	264	–149	115
Гунибский	206	–15	191	189	86	275
Дахадаевский	558	–610	–52	498	–496	2
Докузпаринский	239	–189	50	270	–191	79
Кайтагский	520	–239	281	530	–271	259
Кулинский	80	–77	3	64	–124	–60
Курахский	152	–176	–24	168	–204	–36
Лакский	101	–185	–84	84	–138	–54
Левашинский	1098	–252	846	1131	–326	805
Рутульский	275	–588	–313	336	–433	–97
Сергокалинский	350	–135	215	322	–193	129
Сулейман-Стальский	626	–999	–373	547	–834	–287
Табасаранский	1009	–1629	–620	920	–1461	–541
Тляратинский	536	–416	120	510	–242	268
Унцукульский	439	–254	185	382	–114	268
Хивский	262	–784	–522	274	–364	–90
Хунзахский	399	–286	113	389	–337	52
Цумадинский	430	–5	425	513	–191	322
Цунтинский	493	–347	146	474	–152	322
Чародинский	135	–122	13	198	40	238
Шамильский	458	–361	97	511	–201	310
Всего	11093	–9802	1291	11198	–7389	3809

ские условия являются благоприятными, сложился более высокий уровень естественного прироста населения – 17,3 ‰, но так же, как и в горной зоне, наблюдается высокая дифференциация территорий по коэффициенту естественного прироста. Лишь в двух из 14 муниципальных районов значение данного показателя ниже общереспубликанского уровня по данным за 2014 г. – в Магарамкентском и Ногайском; в Дербентском районе коэффициент соответствует республиканскому значению. В остальных муниципальных образованиях коэффициент выше 13,6 ‰.

К территориям с относительно высоким значением коэффициента естественного прироста можно отнести районы: Казбековский (20,4 ‰), Карабудахкентский (22,6 ‰), Кизилюртовский (23,7 ‰), Новолакский (20,2 ‰) и Хасавюртовский (20,5 ‰). В некоторых районах за последнее время сложилась тенденция к снижению естественного прироста населения – в Кумторкалинском и Ногайском.

Как известно, рост численности населения обеспечивается за счёт естественного и миграционного прироста, которые в свою очередь могут быть отрицательными или положительными [6]. В абсолютном выражении естественный прирост – это превышение количества родившихся над количеством умерших за определенный период времени. Миграционный прирост населения – абсолютная величина разности между числом прибывших на данную территорию и числом выбывших за определенный промежуток времени. Под воздействием этих процессов формируется показатель общего прироста населения, который прямым образом отражается на динамике численности населения.

Почти во всех горных муниципальных районах Дагестана в последние годы сложился отрицательный миграционный прирост. В 2012 г. исключение составлял Ахвахский район, где отмечался положительный миграционный прирост на 14 человек [7]. В настоящее время положительное сальдо миграции сложилось помимо Ахвахского района в Гергебельском, Гунибском и Чародинском районах. В целом по горной зоне миграционная убыль составляет 7,4 тыс. чел., что по сравнению с 2012 г. на 2,5 тыс. чел. меньше. Почти на столько же выросло значение показателя общего прироста численности населения горного Дагестана (табл. 1).

Если в республике более 60 % естественного прироста «съедается» миграционной убылью в деле роста численности населения, то по горной зоне эта доля составляет более 65 %. В Агульском, Лакском, Сулейман-Стальском и Табасаранском районах миграционная убыль более чем в 1,5 раза превышает естественный прирост, в Хивском, Рутульском, Курахском, – более чем на 20 %. В целом по данным за 2014 г., в 9 из 27 муниципальных районов горной зоны показатель миграционной убыли превышал естественный прирост, что обусловливает в районах отрицательный общий прирост.

Самые высокие миграционные потери в абсолютном выражении, как видим, приходятся на южные районы горной зоны республики. Здесь также высоки и относительные показатели [8]. Приведённые факты указывают на критическую обстановку на юге республики.

Таблица 2. Компоненты изменения общей численности населения горных районов Республики Дагестан, чел.

Район	2012			2014		
	Естественный прирост	Миграционный прирост	Общий прирост	Естественный прирост	Миграционный прирост	Общий прирост
Бабаюртовский	716	–564	152	728	–244	484
Буйнакский	1320	104	1424	1400	–320	1080
Дербентский	1638	–916	722	1408	–1006	402
Казбековский	948	–224	724	927	–146	781
Карабудахкентский	887	–1060	–173	1766	–560	1206
Каякентский	1599	–158	1441	820	–307	513
Кизилюртовский	1448	–268	1180	1590	–332	1258
Кизлярский	1133	–168	965	1253	–117	1136
Кумторкалинский	501	–142	359	457	–268	189
Магарамкентский	769	–836	–67	705	–668	37
Новолакский	592	266	858	644	255	899
Ногайский	285	–980	–695	236	–598	–362
Тарумовский	486	–369	117	477	–172	305
Хасавюртовский	3117	–1696	1421	3036	–549	2487
Всего	15439	–7011	8428	15447	–5032	10415

В абсолютном выражении естественный прирост также перестал увеличиваться и на предгорно-равнинных территориях Дагестана. Если в начале 2010-х гг. показатель естественного прироста ежегодно увеличивался на 5%, то за 2012–2014 гг. составил лишь 0,1 % (табл. 2). В то же время высокая миграционная убыль населения (–5 тыс. чел.) «съедает» около одной трети естественного прироста, снижая темпы воспроизводства населения. Необходимо добавить, что здесь наметилась тенденция к снижению миграционной убыли населения, что благоприятно сказывается на росте общей численности населения при неизменных показателях естественного движения. Так, показатель общего прироста за два года увеличился на четверть пропорционально уменьшению миграционной убыли.

Отрицательный общий прирост по итогам 2014 г. наблюдается в Ногайском районе (–362 чел.), где миграционная убыль превышает положительный естественный прирост. Кроме того, миграционные процессы играют негативную роль во всех районах равнинной зоны, за исключением Новолакского района, в котором за весь анализируемый период наблюдается положительный естественный и миграционный прирост, обеспечивающий рост численности населения [9].

Таким образом, во всех горных районах за анализируемый период наблюдаются положительные показатели естественного прироста численности населения. В то же время значительная миграционная убыль населения, сложившаяся во многих районах, в итоге приводит к уменьшению вклада естественного движения населения в процесс воспроизводства населения. В целом по горной территориальной зоне Дагестана сложилась сложная демографическая ситуация. В большинстве муниципальных районов численность населения убывает или растёт незначительно. Лишь в немногих районах до сих пор сохраняется положительная динамика численности населения, которая, по всей видимости, носит временный характер и в ближайшем будущем может принять негативную тенденцию, если не предпринимать решительных действий в области демографической политики.

В равнинных районах темпы роста численности населения такие же, как и в горных. Только здесь процессам депопуляции подверглось значительно меньше территорий, чем в горной местности. Во всех равнинных районах Дагестана сохраняется положительный естественный прирост населения и в то же время в большинстве из них наблюдается миграционная убыль, что в итоге приводит к снижению вклада естественного движения в демографический рост и создаёт угрозу начала депопуляционных процессов, как это уже имеет место в некоторых муниципальных районах. Снижение темпов воспроизводства населения связано не столько со снижением рождаемости, сколько с усилением миграционных процессов, как и в горных районах.

Высокий миграционный отток из территорий Республики Дагестан в значительной степени вызван отсутствием социальной инфраструктуры или её ненадлежащим состоянием, требующим неотложной модернизации [10]. Развитие отраслей социальной инфраструктуры должно учитывать основные задачи социальной политики, направленной на улучшение качества жизни населения, повышение уровня его благосостояния и продолжительности жизни, воспроизводство здорового и социально активного поколения [11]. В первую очередь необходимо формировать и модернизировать такие отрасли социальной инфраструктуры, как жилищно-коммунальное хозяйство – решение жилищной проблемы молодых семей, удовлетворение растущих потребностей населения в качественном жилье, повышение уровня и качества обеспеченности коммуникациями [12]. Кроме того, актуальными вопросами социальной сферы остаются создание культурной сферы жизнедеятельности человека, улучшение экологических условий жизни и труда, повышение профессионального уровня работников как базы увеличения производительности труда и роста объема товаров и услуг, создание гарантий социальной защищённости всех групп населения, в том числе молодежи и пенсионеров, удовлетворение потребностей населения в товарах и услугах при повышении уровня платёжеспособности населения.

Ситуация, сложившаяся в горных районах, создаёт угрозу как экономической безопасности, так и демографической. Миграционный исход населения и демографическое опустошение в горной зоне создаёт предпосылки для ликвидации существующих населенных пунктов и хозяйственно освоенных районов с одновременным и безвозвратным разрушением хозяйственной инфраструктуры [13]. Целесообразно применить мировой опыт и достижения развитых стран в обеспечении устойчивости развития сельских, горных или других проблемных территорий, в частности концепцию многофункциональности сельских территорий.

Применение концепции многофункциональности земель, диверсификационные процессы в аграрной сфере, развитие несельскохозяйственных функций сельских территорий должны стать предметом рассмотрения правительственных структур и ответом на имеющиеся трудности, а также на затяжную кризисную ситуацию в Дагестане. Основная проблема сельских жителей как горных, так и равнинных районов состоит в трудоустройстве экономически активного населения, особенно трудоспособных женщин и молодежи. Задачей региональных органов власти является создание благоприятных условий для развития малого и среднего предпринимательства.

Несмотря на то, что административные районы с самым высоким коэффициентом рождаемости расположены в горной территориальной зоне Республики Дагестан, в предгорных и равнинных районах, характеризующихся не только умеренными климатическими условиями, но и более развитой социальной инфраструктурой и высоким экономическим потенциалом, отмечается более благополучная ситуация с рождаемостью. Кроме того, дифференциация по уровню рождаемости, высокая в горных районах, в предгорных и равнинных значительно ниже.

Важнейшая задача демографической политики в регионе – не допустить снижения рождаемости в ближайшие годы. Расширяя и совершенствуя комплекс мер по стимулированию рождаемости, необходимо способствовать сохранению существующих позитивных тенденций демографического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дагестан в цифрах-2015: краткий статистич. сборник. Махачкала: Дагестанстат, 2015.
2. Демографический ежегодник Дагестана. Махачкала: Дагестанстат, 2015. 242 с.
3. Абдулманапов П. Г., Галбацдибирова М. А. Особенности воспроизводства населения в горных территориях Республики Дагестан // Фундаментальные

исследования. 2015. № 7(2). С. 354–359.
4. Абдулманапов П. Г., Галбацдибирова М. А. Комплексное развитие горных территорий // Современные исследования социальных проблем. 2015. № 5 (49). С. 686–705.
5. Абдулманапов П. Г., Багрий Е. Г. Рождаемость и репродуктивное здоровье населения Республики Дагестан // Вопросы структуризации экономики. 2011. № 2. С. 80–83.
6. Абасова Х. У., Абдулманапов П. Г. Особенности демографической политики в Республике Дагестан // Вопросы структуризации экономики. 2009. № 4. С. 20–22.
7. Абидов М. Х., Абдулманапов П. Г. Современная миграционная картина Республики Дагестан // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20283
8. Багомедов М.А. К вопросу об особенностях специализации сел на региональном рынке Дагестана // Региональные проблемы преобразования экономики. 2008. № 3. С. 152–157.
9. Хаджалова Х. М. Институциональные основы регулирования качества жизни в регионах // Региональные проблемы преобразования экономики. 2013. № 4(38). С. 290–299.
10. Хаджалова Х. М. Социально-экономическая безопасность и угрозы социальной стабильности в регионе // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. № 2. С. 58–62.
11. Сагидов А. К. Институциональные меры совершенствования системы здравоохранения регионов СКФО // Апробация. 2014. № 7. С. 89–91.
12. Римашевская Н. М. Гендерные стереотипы в меняющемся обществе: опыт комплексного социального исследования. М.: Наука, 2009. 273 с.
13. Гичиев Н. С. Стратегические направления внешнеэкономической интеграции приграничного региона в условиях глобализации мировой экономики // Региональные проблемы преобразования экономики. 2010. № 4. С. 89–95.

REFERENCES

1. 2015, *Dagestan v tsifrakh-2015: kratkiy statisticheskiy sbornik* [Dagestan in figures 2015: Summary of statistical collection], Makhachkala.
2. 2015, *Demograficheskiy ezhegodnik Dagestana* [Demographic Yearbook of Dagestan], Makhachkala, 242 p.
3. Abdulmanapov P. G., Galbatsdibirova M. A. 2015, *Osobennosti vosproizvodstva naseleniya v gornykh territoriyakh Respubliki Dagestan* [Features of population reproduction in the mountain areas of Dagestan]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], no. 7, pp. 354–359.
4. Abdulmanapov P. G., Galbatsdibirova M. A. 2015, *Kompleksnoe razvitie gornykh territoriy* [Complex development of mountain areas]. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem* [Modern Research of Social Problems], no. 49, pp. 686–705.
5. Abdulmanapov P. G., Bagriy E. G. 2011, *Rozhdaemost' i reproduktivnoe zdorov'e naseleniya Respubliki Dagestan* [Fertility and reproductive health of the population of the Republic of Dagestan]. *Voprosy strukturizatsii ekonomiki* [Questions of structuring of economy], no 2. pp. 80–83.
6. Abasova Kh. U., Abdulmanapov P. G. 2009, *Osobennosti demograficheskoy politiki v Respublike Dagestan* [Features of demographic policy in the Republic of Dagestan]. *Voprosy strukturizatsii ekonomiki* [Questions of structuring of the economy], no. 4. pp. 20–22.
7. Abidov M. Kh., Abdulmanapov P. G. 2015, *Sovremennaya migratsionnaya kartina Respubliki Dagestan* [Modern migration pattern of the Republic of Dagestan]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], no. 2-1. Available at: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20283
8. Bagomedov M. A. 2008, *K voprosu ob osobennostyakh spetsializatsii sel na regional'nom rynke Dagestana* [On the question of villages specialization features of the regional market of Dagestan]. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional problems of transforming the economy], no. 3, pp. 152–157.
9. Khadzhalova Kh. M. 2013, *Institutsional'nye osnovy regulirovaniya kachestva zhizni v regionakh* [Institutional framework regulating the quality of life in regions]. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional problems of transforming the economy], no. 38, pp. 290–299.
10. Khadzhalova Kh. M. 2010, *Sotsial'no-ekonomicheskaya bezopasnost' i ugrozy sotsial'noy stabil'nosti v regione* [Socio-economic security and the threat to social stability in the region]. *Natsional'nye interesy: prioritety i bezopasnost'* [National interests: priorities and security], no. 2, pp. 58–62.
11. Sagidov A. K. 2014, *Institutsional'nye mery sovershenstvovaniya sistemy zdravookhraneniya regionov SKFO* [Institutional measures improving the health care system of North Caucasus Federal District regions]. *Aprobatsiya* [Approbation], no. 7, pp. 89–91.
12. Rimashevskaya N. M. 2009, *Gendernye stereotipy v menyayushchemsya obshchestve: opyt kompleksnogo sotsial'nogo issledovaniya* [Gender stereotypes in a changing society: the experience of integrated social studies], Moscow, 273 p.
13. Gichiev N. S. 2010, *Strategicheskie napravleniya vneshneekonomicheskoy integratsii prigranichnogo regiona v usloviyakh globalizatsii mirovoy ekonomiki* [Strategic directions of foreign economic integration of the border region in the conditions of globalization of the world economy]. *Regional'nye problemy preobrazovaniya ekonomiki* [Regional problems of transforming the economy], no. 4, pp. 89–95.

Пирмагомед Габибуллаевич Абдулманапов,
кандидат экономических наук, научный сотрудник
raha77@mail.ru
Институт социально-экономических исследований Дагестанского научного центра РАН
Россия, Республика Дагестан, Махачкала, ул. М. Ярагского, 75

Pirmagomed Gabibullaevich Abdulmanapov,
PhD, Research Associate
raha77@mail.ru
Institute of social and economic researches of the Dagestan scientific center of the Russian Academy of Sciences
Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 78-81.
УДК (358.2:622):330.15
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-78-81

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ПО РАСЧЕТУ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА

Л. В. Власова, О. В. Косолапов, В. В. Морилов

Improving of methodical toolkit on the calculation of the economic losses

L. V. Vlasova, O. V. Kosolapov, V. V. Morilov

This study considers the problem of improving the calculation of the economic damage caused by the consequences of the development of the natural potential of the area, at the expense of detailing of coefficient of decrease of the economic value of natural resources. The value of this ratio is influenced by two factors: the degree of environmental danger of impact object and the level of stability of landscapes in relation to human impact. According to the results of the expert survey authors have built a system of boundary refinement coefficients, and then, using the apparatus of piecewise linear interpolation, calculated polynomials for defining the intermediate values of the coefficient μ for given values of an influence level x and degree of stability y). The authors substantiate the ability to determine the extent of environmental hazard of the enterprise and the level of sustainability. They analyzed the existing methodic recommendations on the assessment of the considered parameters. One can find a list of 12 indicators to use in relation to mining companies conducting open cast mining. As part of the assessment of the stability of landscapes, study proposes the use of performance indicators, combined into four groups: atmospheric stability, stability of water resources, stability of soil and lithogenic bases, and biological stability. For each of the groups authors give indicators recommended for use in concrete conditions of the study area. Particular attention is paid to the biota, which is considered as a stabilizing factor. Availability of information on the degree of environmental exposures and landscape sustainability, perceiving this effect makes it possible to update the coefficient μ and increase the reliability of the value of economic damage.

Keywords: impact; effects; decrease; economic value; economic damage.

Рассматривается проблема совершенствования расчета экономического ущерба, обусловленного последствиями освоения природного потенциала территории, за счет детализации коэффициента снижения экономической ценности природных ресурсов. Величина данного коэффициента находится под влиянием двух факторов: степени экологической опасности объекта воздействия и уровня устойчивости ландшафтов в отношении антропогенного воздействия. По результатам экспертного опроса выстроена система граничных уточнённых коэффициентов, а далее с использованием аппарата кусочно-линейной интерполяции рассчитаны многочлены, позволяющие определять промежуточные значения коэффициента μ при заданных значениях степени воздействия *x* и уровня устойчивости *y*. Авторы обосновывают возможность определения степени экологической опасности предприятия и уровня устойчивости. Выполнен анализ имеющихся методических рекомендаций по оценке рассматриваемых параметров. Приведён перечень 12 показателей, которые могут быть использованы в отношении горных предприятий, ведущих разработку месторождений открытым способом. В части оценки устойчивости ландшафтов предлагается использование оценочных показателей, объединённых в четыре группы: устойчивость атмосферы, устойчивость водных ресурсов, устойчивость почв и литогенной основы, биологическая устойчивость. По каждой из групп приведены показатели, рекомендуемые для использования в конкретных условиях исследуемой территории. Особое внимание уделено биоте, которая рассматривается в качестве стабилизирующего фактора. Наличие информации о степени экологической опасности воздействия и устойчивости ландшафта, воспринимающего это воздействие, делает возможным уточнение коэффициента μ и повышение достоверности величины экономического ущерба.

Ключевые слова: воздействие; последствия; снижение; экономическая ценность; экономический ущерб.

Обеспечение равновесного природопользования требует наличия информации о возможных антропогенных воздействиях на окружающую среду, формирующихся последствиях и прогнозируемом экономическом ущербе, что позволяет наиболее объективно оценить эффективность принимаемых управленческих решений в отношении природного потенциала как для отдельных природопользователей, так и для собственника этих ресурсов – государства. В условиях северных малоизученных территорий основным реципиентом, воспринимающим воздействие, являются природные ресурсы. Так, при освоении минерально-сырьевого потенциала воздействию подвергаются земельные ресурсы, лесные, охотничьи, дикоросы и т. д. [1]. Все перечисленные виды природных ресурсов уничтожаются, загрязняются, теряют качественные характеристики и при освоении лесных ресурсов (лесозаготовках). Методический подход, предлагаемый в работах [2, 3], предполагает оценку экономического ущерба, исходя из зонирования территорий по степени нарушенности экосистем и соответствующего изменения экономической ценности природных ресурсов в каждой из экологических зон. Предлагаемые коэффициенты снижения экономической ценности природных ресурсов носят весьма усреднённый характер.

В фактических условиях величины, корректирующие снижение экономической ценности μ, находятся под влиянием двух факторов:

– степени экологической опасности объекта воздействия;

– уровня устойчивости ландшафтов в отношении антропогенного воздействия.

При одной и той же устойчивости ландшафта коэффициент снижения экономической ценности находится в прямой зависимости от степени экологической опасности объекта воздействия: с ростом экологической опасности коэффициент μ увеличивается. В то же время при постоянстве воздействия величина μ возрастает при снижении устойчивости ландшафтов. В схематичном виде данная тенденция отражена на рис. 1.

Самая низкая величина μ – в I квадрате, со снижением устойчивости при той же величине воздействия μ увеличивается (квадрат II). С ростом воздействия и неизменностью устойчивости μ также увеличивается (квадрат III по сравнению с квадратом II) и квадрат IV по сравнению с квадратом I). Снижение устойчивости приводит к росту μ (квадрат III по сравнению с квадратом IV). Самое высокое значение μ – в III квадрате.

Согласно экспертному опросу, в котором приняли участие 18 человек, были получены уточнённые значения коэффициентов снижения экономической ценности, отражающие изменение как устойчивости, так и антропогенного воздействия (табл.).

Поскольку коэффициент μ представляет собой функцию двух переменных $\mu = \mu(x, y)$, где *x* – антропогенное воздействие, *y* – устойчивость экосистем, для нахождения промежуточных значений μ по заданной сетке значений (табл.) используется аппарат кусочно-линейной интерполяции по обеим переменным. Пусть сетка образована пересечением прямых $x = x_n$, $n = 0, 1, \ldots, N$ и $y = y_m$, $m = 0, 1, \ldots, M$, $\mu_{nm} = \mu(x_n, y_m)$ – значение функции в узле (x_n, y_m). Тогда метод кусочно-линейной интерполяции по переменным *x* и *y* приводит (для прямоугольника $x \in [x_n, x_{n+1}]$, $y \in [y_m, y_{m+1}]$) к интерполяционному многочлену в форме Лагранжа:

$$\mu(x,y) = \mu_{nm}\frac{(x-x_{n+1})(y-y_{m+1})}{(x_n-x_{n+1})(y_m-y_{m+1})} + \mu_{n+1,\,m}\frac{(x-x_n)(y-y_{m+1})}{(x_{n+1}-x_n)(y_m-y_{m+1})} +$$

$$+\mu_{n+1,\,m+1}\frac{(x-x_n)(y-y_m)}{(x_{n+1}-x_n)(y_{m+1}-y_m)} + \mu_{n,\,m+1}\frac{(x-x_{n+1})(y-y_m)}{(x_n-x_{n+1})(y_{m+1}-y_m)}.$$

Рассчитанные по данной формуле многочлены приведены на рис. 2. Для определения откорректированной величины μ необходима информация о степени воздействия *x* и уровне устойчивости ландшафтов *y*.

Оценка экологической опасности предприятия – достаточно востребованная тема исследования. Один из последних обзоров, выполненный в работе [4], показывает, что по своей форме оцен-

Уточнённые коэффициенты снижения экономической ценности природных ресурсов.

Антропогенное воздействие *x*	Устойчивость экосистемы *y*				
	0–0,200	0,201–0,400	0,401–0,600	0,601–0,800	0,801–1
0–0,200	0	0	0	0	0
	0,20–0,17	0,169–0,150	0,149–0,130	0,129–0,100	0,099–0,080
0,201–0,400	0,20–0,17	0,169–0,150	0,149–0,130	0,129–0,100	0,099–0,080
	0,40–0,36	0,359–0,330	0,329–0,300	0,299–0,280	0,279–0,250
0,401–0,600	0,40–0,36	0,359–0,330	0,329–0,300	0,299–0,280	0,279–0,250
	0,62–0,56	0,559–0,540	0,539–0,520	0,519–0,500	0,499–0,480
0,601–0,800	0,62–0,56	0,559–0,540	0,539–0,520	0,519–0,500	0,499–0,480
	0,82–0,78	0,779–0,770	0,769–0,750	0,749–0,730	0,729–0,700
0,801–1	0,80–0,78	0,779–0,770	0,769–0,750	0,749–0,730	0,729– 0,700
	1–0,97	0,969–0,950	0,949–0,930	0,929–0,910	0,909–0,880

В числителе указана величина μ для начального значения антропогенного воздействия, в знаменателе – для конечного значения антропогенного воздействия.

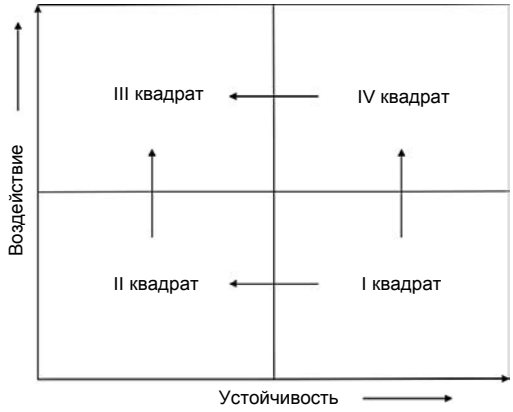


Рисунок 1. Зависимость величины μ от соотношения воздействия и устойчивости / Figure 1. The dependence of μ on the ratio of impact and sustainability.

ка может быть прямая, когда изучению подлежит непосредственно масса выбросов, сбросов, размещение отходов, изъятых природных ресурсов, и косвенная, при которой оценки базируются на учете ряда факторов, формирующих интенсивность воздействия и (или) характер образующихся под его влиянием последствий. Имеют место и смешанные формы оценки. В процессе выполнения оценочных процедур могут использоваться показатели в натуральных, стоимостных и балльных единицах. Результирующие показатели характеризуют либо экологическую опасность воздействия по отдельным элементам биосферы, либо интегральный результат. Как показывает анализ, оценке подлежит чаще всего лишь химическое загрязнение, как оказывающее наиболее сильное влияние на степень удовлетворённости качеством окружающей среды со стороны человека. За базу при этом принимаются показатели воздействия (масса сброса, масса выброса, масса размещения отходов с учетом степени агрессивности загрязняющих веществ и токсичности отходов). Показатели воздействия могут дополняться показателями последствия и (или) показателями косвенной оценки, набор которых в ряде методических рекомендаций весьма широк.

Обоснование системы показателей косвенной оценки, выполненное в работе [5], позволило из первоначального числа (17 факторов) выбрать 12 наиболее значимых. В их число вошли:

– тип транспортных средств;
– интенсивность взрывных работ;
– протяжённость транспортировки;
– площадь размещения отходов;
– тип полезного ископаемого;
– глубина залегания подземных вод;
– землеёмкость;
– водоёмкость;
– степень обводнённости;
– глубина карьера;
– скорость распространения колебаний в недрах;
– производственная мощность карьера.

Следует оговориться, что обоснование показателей было выполнено для условий открытой разработки месторождений. Наиболее целесообразно использовать теорию нечётких множеств для интегральной оценки экологической опасности предприятия на основе адаптации методического инструментария, предназначенного авторами работы [6] для оценки полноты институционального обеспечения недропользования. Конечные показатели оценки в этом случае получают своё выражение в долях единицы.

Ещё большие сложности связаны с оценкой устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию. Устойчивость в этом случае рассматривается как «свойство системы сохранять свою структуру

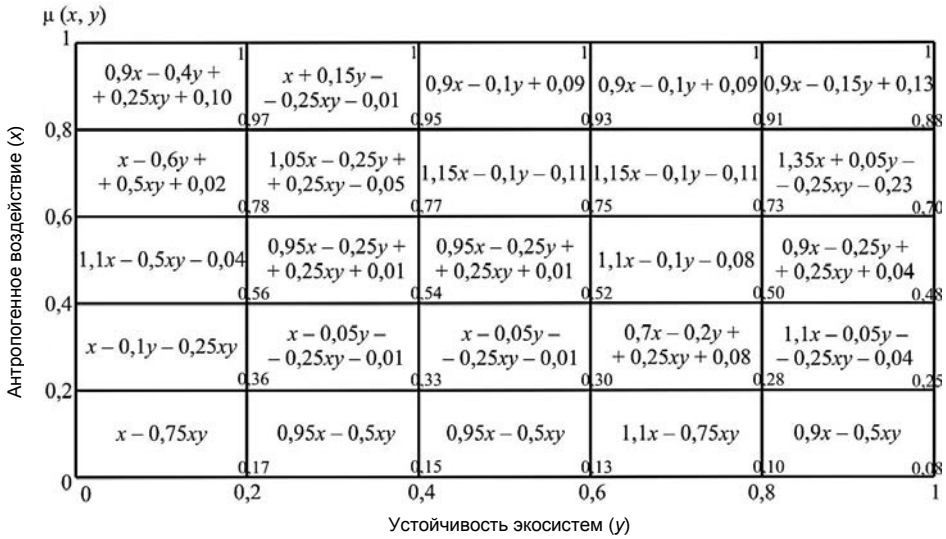


Рисунок 2. Кусочно-линейная интерполяция в форме Лагранжа / Figure 2. Piecewise linear interpolation in the Lagrange form.

и функции при воздействии внешних (в том числе антропогенных) факторов» [7]. Объектом исследования при оценке устойчивости ландшафта обычно выступают территории, в границах которых расположены месторождения, пункты доставки и переработки сырья, месторасположение отходов и намечаемых трасс линейных сооружений, линий электропередач. По данным [8], в настоящее время имеются методические подходы по определению природной устойчивости почв на основе 8–9 показателей. Для оценки геоморфологии территории рекомендуется 4 показателя; оценка устойчивости ландшафтов предполагает использование 35 геокомпонентов, и т. д. Предложения авторов в части оценки устойчивости весьма разнообразны [9–12].

В результате экспертного опроса рекомендовано использование факторов, объединённых в четыре группы: устойчивость атмосферы, водных ресурсов, почв и литогенной основы, биологическая устойчивость. В число показателей предлагается включать: метеорологический потенциал и биоактивные дни, глубину залегания подземных вод, степень защищённости подземных вод, условия увлажнения, минеральный состав субстрата, уклон поверхности, длину склона, мощность гумусового горизонта, денудационный потенциал. Наиболее значимая роль в саморегулировании геосистем принадлежит биоте, которая рассматривается в качестве стабилизирующего фактора благодаря её мобильности, способности восстанавливаться, приспосабливаться к условиям среды [13]. Биохимические и физиологические нарушения у растений под воздействием вредных веществ проявляются в виде: изменения проницаемости мембран и их целостности; изменения количества ферментов и их активности, приводящие, в том числе, к подавлению фотосинтетических процессов и продуцированию веществ с защитными функциями; изменения хода биохимических реакций; изменения структуры клеток; изменения качественного и количественного состава пигментов листьев, выражающегося в смене их окраски [14, 15].

Важнейшими показателями биогенного звена выступают: запас биомассы, биологическая продуктивность, запас надпочвенного органогенного горизонта (лесная подстилка, степной войлок), видовое разнообразие. Запас фитомассы находится в прямой зависимости от биопродуктивности растений, на которую влияют как различие климатических условий исследуемых территорий, так и изменчивость погоды по годам [16]. Наибольшие запасы фитомассы характерны для лесной растительности; при этом положительным фактором является оптимальное соотношение тепла и влаги. Считается, что самая низкая продуктивность отличает ландшафты, для которых характерен дефицит тепла (полярный) или влаги (пустыни). Особо значимым показателем в оценке устойчивости биоты выступает видовое разнообразие, обеспечивающее гомеостатичность экосистемы. Требуется также соблюдение соотношения доминирующих, редких и скрытых категорий видов. В ряде работ устойчивость биогеоценоза увязывается с величиной подстилочно-опадного коэффициента.

С помощью рекомендуемых показателей уровень устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию может быть усреднённо оценен, как и в случае с экологической опасностью предприятия, обращением к теории нечётких множеств. Наличие информации об источнике воздействия (степени экологической опасности) и уровне устойчивости ландшафтов делает возможным уточнение коэффициента μ и наиболее достоверный расчет экономического ущерба, что, в свою очередь, снижает риск принятия решений по освоению природного потенциала, противоречащих требованиям равновесного природопользования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семячков А. И., Игнатьева М. Н., Литвинова А. А. Выявление и типология последствий воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду. Екатеринбург: Ин-т экономики УрО РАН, 2008. С. 158–166.
2. Игнатьева М. Н., Литвинова А. А., Косолапов О. В. Экономическая оценка экологических последствий освоения минеральных ресурсов // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 7.С. 13–16.
3. Косолапов О. В., Игнатьева М. Н., Литвинова А. А. Формирование экономического ущерба, обусловленного последствиями воздействия горнопромышленного комплекса на окружающую среду // Экономика региона. 2013. № 1 (33). С. 158–166.
4. Косолапов О. В., Игнатьева М. Н. Методические подходы к оценке экологической опасности предприятий // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 4. С. 75–82.
5. Косолапов О. В., Власова Л. В. Совершенствование прогноза экономического ущерба при освоении ресурсов недр // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 4. С. 93–98.
6. Татаркин А. И., Полянская И. Г., Игнатьева М. Н., Юрак В. В. Методологическая оценка состояния и перспектив институционально-инновационного недропользования в арктической зоне // Экономика региона. 2014. № 3. С. 146–158.
7. Емельянов В. Г. Основы природопользования. М.: Изд. центр «Академия», 2009. 304 с.
8. Яценко Р. И. Определение устойчивости ландшафтных районов к природным и техногенным воздействиям (на примере территории Верхней Джиды (Байкальский регион) // Геоэкология. 2004. № 3. С. 215–222.
9. Ясовеев М. Г., Антипин Е. Б., Гледко Ю. А. Проблемы геоэкологии горнодобывающей промышленности Белоруссии // Горный журнал. 2003. № 7. С. 81–83.
10. Казаков Л. К. Ландшафтоведение. М.: Изд. центр «Академия», 2011. 336 с.
11. Губайдуллин М. Г., Коробов В. Г. Экспертная интегральная оценка экологического состояния геологической среды // Геоэкология. 2005. № 3. С. 244–253.
12. Основы природопользования / А. Е. Воробьев [и др.]. Ростов-на-Дону: Феникс, 2006. 544 с.
13. Геоэкологическое картирование / под ред. Б. И. Кочурова и др. М.: Изд. центр «Академия», 2009. 192 с.
14. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. М.: Мир, 1988. 348 с.
15. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 280 с.
16. Зайнуллина К. С., Портнягина Н. В., Пунегов В. В., Морилов В. В., Неуймин С. И. Биоморфологическая и биохимическая характеристика *Betonicaofficinalis* L. (Lamiaceae) при интродукции на Севере и Среднем Урале // Аграрный Вестник Урала. № 11 (103). 2012. С. 24–27.

REFERENCES

1. Semyachkov A. I., Ignat'eva M. N., Litvinova A. A. 2008, *Vyyavlenie i tipologiya posledstviy vozdeystviya gornopromyshlennykh kompleksov na okruzhayushchuyu sredu* [Identification and typology of impacts of mining complexes on the environment], Ekaterinburg, pp. 158–166.
2. Ignat'eva M. N., Litvinova A. A., Kosolapov O. V. 2012, *Ekonomicheskaya otsenka ekologicheskikh posledstviy osvoeniya mineral'nykh resursov* [Economic evaluation of the environmental impacts of mineral resources]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7, pp. 13–16.
3. Kosolapov O. V., Ignat'eva M. N., Litvinova A. A. 2013, *Formirovanie ekonomicheskogo ushcherba, obuslovlennogo posledstviyami vozdeystviya gornopromyshlennogo kompleksa na okruzhayushchuyu sredu* [Formation of the economic damage caused by the consequences of exposure to the mining complex on the environment]. *Ekonomika regiona* [Economy of Region], no. 33, pp. 158–166.
4. Kosolapov O. V., Ignat'eva M. N. 2015, *Metodicheskie podkhody k otsenke ekologicheskoy opasnosti predpriyatiy* [Methodological approaches to assessing environmental hazards of enterprises]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 4, pp. 75–82.
5. Kosolapov O. V., Vlasova L. V. 2015, *Sovershenstvovanie prognoza ekonomicheskogo ushcherba pri osvoenii resursov nedr* [Improving of the forecast of economic damage during the development of subsurface resources]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 4, pp. 93–98.
6. Tatarkin A. I., Polyanskaya I. G., Ignat'eva M. N., Yurak V. V. 2014, *Metodologicheskaya otsenka sostoyaniya i perspektiv institutsional'no-innovatsionnogo nedropol'zovaniya v Arkticheskoy zone* [The methodological assessment of the status and prospects of institutional innovation of subsoil use in the Arctic zone]. *Ekonomika regiona* [Economy of Region], no. 3, pp. 146–158.
7. Emel'yanov V. G. 2009, *Osnovy prirodopol'zovaniya* [Basics of environmental management], Moscow, 304 p.
8. Yatsenko R. I. 2004, *Opredelenie ustoychivosti landshaftnykh rayonov k prirodnym i tekhnogennym vozdeystviyam (na primere territorii Verkhney Dzhidy (Baykal'skiy region))* [Determination of the stability of landscaped areas to natural and anthropogenic impacts (on the example of the territory of Upper Dzhida (Baikal region))]. *Geoekologiya* [Geoecology], no. 3, pp. 215–222.
9. Yasoveev M. G., Antipin E. B., Gledko Yu. A. 2003, *Problemy geoekologii gornodobyvayushchey promyshlennosti Belorussii* [Geoecology problems of mining industry in Belarus]. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], no. 7, pp. 81–83.
10. Kazakov L. K. 2011, *Landshaftovedenie* [Landscape management], Moscow, 336 p.
11. Gubaydullin M. G., Korobov V. G. 2005, *Ekspertnaya integral'naya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya geologicheskoy sredy* [Expert integrated assessment of ecological condition of the geological environment]. *Geoekologiya* [Geoecology], no. 3, pp. 244–253.
12. Vorob'ev A. E. et al. 2006, *Osnovy prirodopol'zovaniya* [Basics of Nature Management], Rostov-on-Don, 544 p.
13. Kochurov B. I. et al. 2009, *Geoekologicheskoe kartirovanie* [Geoecological mapping], Moscow, 192 p.
14. Shubert R. 1988, *Bioindikatsiya zagryazneniy nazemnykh ekosistem* [Bioindication of terrestrial ecosystems pollution], Moscow, 348 p.

15. Nikolaevskiy B. C. 1979, *Biologicheskie osnovy gazoustoychivosti rasteniy* [Biological basis of gas resistance of plants], Novosibirsk, 280 p.
16. Zaynullina K. S., Portnyagina N. V., Punegov V. V., Morilov V. V., Neuymin S. I. 2012, *Biomorfologicheskaya i biokhimicheskaya kharakteristika Betonicaofficinalis L. (Lamiaceae) pri introduktsii na Severe i Srednem Urale* [Biomorphological and biochemical characteristics of Betonicaofficinalis L. (Lamiaceae) during the introduction of the North and Middle Ural]. *Agrarnyy Vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], no. 103, pp. 24–27.

Людмила Витальевна Власова,
кандидат физико-математических наук, доцент
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Олег Вениаминович Косолапов,
кандидат экономических наук,
руководитель Управления Росприроднадзора по Республике Хакасия,
Россия, Республика Хакасия, Абакан, ул. Хакасская, 21
Виталий Владимирович Морилов,
младший научный сотрудник
Ботанический сад УрО РАН
Россия, Екатеринбург, ул. 8 марта, 202а

Lyudmila Vital'evna Vlasova,
PhD, Assistant Professor
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia
Oleg Veniaminovich Kosolapov,
PhD, Head of the Russian Environmental Control
Russian Environmental Control,
Abakan, Khakassia, Russia
Vitaliy Vladimirovich Morilov,
Junior Researcher
Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences
Ekaterinburg, Russia

Для цитирования: Известия УГГУ. 2016. Вып. 2 (42). С. 82-85.
УДК 330.131.52:622.831.325.3
DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-82-85

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ПРОЕКТАХ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

П. Н. Пармузин

Determination of economic effect in the projects of degassing of coal mines

P. N. Parmuzin

The study considers the problem of low economic efficiency of degassing of coal mines. Methane in coal seams is in a bound sorbed state. This demands additional expenses aimed at breaking of the coal/methane link and intensification of gas production. In addition, the flow rates of gas wells drilled in the coal seams are generally lower than traditional flow rates of gas well. In this regard, projects of methane extraction from coal beds have higher costs and lower revenues compared with the projects on gas production from traditional sources. However, the extraction of methane from coal seams solves a number of problems in the coal industry, not typical for conventional gas production, the solution of which leads to additional economic effects, significantly improves the effectiveness of projects, aimed at recovering of methane from coal seams. The article describes the main effects caused by the degassing of coal mines: reduction of accidents associated with the explosion of methane; improvement in the use of the front of mining operations in coal mines due to a decrease in the influence of the «gas factor»; reduction of methane emissions into the atmosphere; the use of the extracted methane.
Author shows the technique of calculating economic effects in the of coal mines degassing of projects. He also presents the formulas for the calculation of these effects. The research has an analysis of the relationship between all economic effects.

Keywords: unconventional sources of gas production; gassy coal seams; extraction of methane from coal beds; degasification of coal mines; economic effect; recycling of methane; gas factor; methane emissions in the atmosphere; explosions of methane-air mixture.

Рассматривается проблема низкой экономической эффективности дегазации угольных шахт. Метан в угольных пластах находится в связанном сорбированном состоянии. Это требует дополнительных затрат, направленных на разрыв связи уголь/метан и интенсификацию добычи газа. Кроме этого, дебиты газовых скважин, пробуренных в угольных пластах, как правило, ниже дебитов традиционных газовых скважин. В связи с этим проекты добычи метана из угольных пластов характеризуются большими затратами и меньшей выручкой по сравнению с проектами по добыче газа из традиционных источников. Вместе с тем извлечение метана из угольных пластов решает ряд проблем в угольной промышленности, не характерных для традиционной добычи газа, решение которых приводит к появлению дополнительных экономических эффектов, существенно улучшающих показатели эффективности проектов по извлечению метана из угольных пластов. В статье раскрываются основные эффекты, обусловленные дегазацией угольных шахт: снижение аварийности, связанной со взрывами метана; улучшение использования фронта горных работ в угольных шахтах, обусловленного снижением влияния «газового фактора»; снижение выбросов метана в атмосферу; использование извлекаемого метана. Приводится методика расчета экономических эффектов в проектах дегазации угольных шахт. Представлены формулы для расчета данных эффектов. Проведён анализ взаимосвязи между всеми экономическими эффектами.

Ключевые слова: нетрадиционные источники добычи газа; газосодержащие угольные пласты; извлечение метана из угольных пластов; дегазация угольных шахт; экономический эффект; переработка метана; газовый фактор; выбросы метана в атмосферу; взрывы метано-воздушной смеси.

Одной из основных проблем проектов по извлечению метана из угольных пластов является их низкая экономическая эффективность. Метан в угольных пластах находится в связанном сорбированном состоянии. С этим связана необходимость дополнительных затрат, направленных на разрыв связи уголь/метан и интенсификацию добычи газа. Кроме этого, необходимо учитывать, что дебиты газовых скважин, пробуренных в угольных пластах, как правило, ниже дебитов традиционных газовых скважин. В связи с этим проекты добычи метана из угольных пластов характеризуются большими затратами и меньшей выручкой по сравнению с проектами по добыче газа из традиционных источников. Вместе с тем необходимо отметить, что извлечение метана из угольных пластов решает ряд проблем в угольной промышленности, не характерных для традиционной добычи газа. Решение этих проблем приводит к появлению дополнительных экономических эффектов, учитывая которые, можно существенно улучшить показатели эффективности проектов по извлечению метана из угольных пластов.

В целом все проекты по извлечению метана из угольных пластов можно разделить на два вида:

1) проекты дегазации угольных шахт;

2) проекты по добыче метана из угольных пластов в качестве самостоятельного полезного ископаемого (промышленная добыча).

Трагические события на шахтах, связанные со взрывами метановоздушной смеси (МВС), вызвали принятие нормативных актов, направленных на усиление промышленной безопасности и охраны труда в угольной отрасли.

В России первым из этого пакета стал Федеральный закон РФ от 26 июля 2010 г. № 186-ФЗ «О внесении изменений в статьи 1 и 14 Федерального закона «О государственном регулировании в области добычи и использования угля, об особенностях социальной защиты работников организаций угольной промышленности» и отдельные законодательные акты Российской Федерации. Данный закон устанавливает обязательность дегазации в шахтах, угольных пластах и горных выработках до установленных допустимых норм. Это требование относится не только к горным предприятиям, на которых уже ведётся добыча, но и к будущим разработкам.

Допустимые нормы содержания взрывоопасных газов в шахте, угольных пластах и выработанном пространстве, при превышении которых дегазация является обязательной, установлены постановлением Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2011 г. № 315, согласно которому:

1) дегазация обязательна, когда работами по вентиляции невозможно обеспечить содержание взрывоопасных газов (метана) в рудничной атмосфере действующих горных выработок шахты в размере до 1 %;

2) дегазация угольного пласта обязательна, когда природная метаноносность пласта превышает 13 м^3/т сухой беззольной массы и работами по вентиляции невозможно обеспечить содержание метана в исходящей струе очистной горной выработки в размере менее 1 %;

3) дегазация выработанного пространства обязательна, когда концентрация метана в газоотводящих трубопроводах и газодренажных выработках превышает 3,5 %.

В Закон «О недрах» внесено дополнение, в соответствии с которым уже в лицензии на недропользование должны быть прописаны условия снижения содержания взрывоопасных газов в шахте.

Технологическая эффективность работы дегазационной системы в шахте оценивается величиной коэффициента дегазации, который представляет собой отношение количества метана, удаляемого дегазацией, к суммарному количеству метана, удаляемого дегазацией и вентиляцией. Коэффициент дегазации шахты $K_{дег}$ определяется по формуле:

$$K_{дег} = \frac{\sum_{j=1}^{k} G_{дj}}{\sum_{j=1}^{k} \left(G_{дj} + I_j \right)},$$

где k – число дегазируемых подготовительных и очистных выработок; j – индекс дегазируемого участка; $G_{дj}$ – дебит извлечённого средствами дегазации метана на j-м дегазируемом участке, м³/мин; I_j – метановыделение в вентиляционную сеть на дегазируемом участке, м³/мин.

Количество извлечённого средствами дегазации метана и газовыделение в вентиляционную сеть принимаются по отдельно взятым участкам.

Таким образом, для обеспечения требований, установленных Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2011 г. № 315 по содержанию метана в рудничной атмосфере действующих горных выработок шахты, требуется достижение определенного коэффициента дегазации.

Необходимое значение коэффициента дегазации выработки (призабойного пространства лавы, выемочного участка или подготовительной выработки) определяется по формуле:

$$K'_{дег} = 1 - \frac{I_в}{k_н},$$

где I – метанообильность выработки (фактическая или по прогнозу), м³/мин; $I_в$ – допустимое по фактору вентиляции метановыделение в выработку без дегазации источников метановыделения, м³/мин; $k_н$ – коэффициент неравномерности метановыделения, который принимается согласно нормативному документу по проектированию вентиляции угольных шахт.

Так как необходимое значение коэффициента дегазации обусловлено нормативными актами, затраты на его обеспечение являются обязательными для угледобывающего предприятия. Таким образом, требования безопасности обусловливают необходимые минимальные затраты на проведение дегазации угольных шахт. При этом затраты на дегазацию могут превышать минимально необходимые, если это необходимо предприятию для достижения других задач. Например, для получения и использования дополнительных объемов метана, снижения воздействия «газового фактора» на производительность угольных комбайнов, сокращения выбросов метана в атмосферу и пр.

Также необходимо учитывать, что выполнение существующих требований безопасности не гарантирует полного отсутствия аварий. Поэтому извлечение дополнительных объемов метана сверх тех, которые установлены требованиями безопасности, снижает вероятность возникновения аварийных ситуаций.

Для проектов дегазации угольных шахт можно выделить следующие экономические эффекты.

Во-первых, экономический эффект может быть получен от использования извлечённой дегазационной системы угольного метана. В угольных пластах и вмещающих их породах заключены огромные запасы ценнейшего углеводородного сырья – практически чистого метана, который используют в самых разных областях. Каждые 1000 м³ метана по теплоте сгорания экономят 1,3–1,5 т угля; цена моторного топлива из метана на 15–20 % меньше цены традиционно применяемого жидкого топлива; использование 1 м³ позволяет вырабатывать 3,1–3,3 кВт · ч электроэнергии [1].

Во-вторых, в оценку эффективности дегазации необходимо ввести экономический эффект от повышения эффективности угледобычи, связанного со снижением воздействия «газового фактора». Интенсивное развитие и концентрация горных работ ограничиваются газовыделением, пылеобразованием, внезапными выбросами угля, пород и газа, самовозгоранием угля. Производительность очистных участков, работающих с дегазацией, возрастает на 20–50 %. Себестоимость тонны добытого угля при этом снижается на 8–10 % [2].

В-третьих, необходимо учитывать экономический эффект от сокращения затрат на ликвидацию последствий аварий, вызванных взрывами и вспышками метана, которые приводят к увеличению травматизма, разрушению шахтной инфраструктуры, снижению объемов добычи угля.

В-четвертых, использование извлечённого дегазацией метана сокращает выбросы этого парникового газа в атмосферу, что позволяет решить ещё один актуальный вопрос горного производства – обеспечение экологически чистой комплексной безотходной технологии угледобычи. Выброшенные в атмосферу 71,5 м³ метана, являющегося стойким парниковым газом, эквивалентны 1 т диоксида углерода [3]. Поэтому при оценке эффективности дегазации необходимо учитывать экономический эффект от снижения эмиссии метана в атмосферу.

В-пятых, в случае, если проектируемая система дегазации заменяет действующую систему, необходимо предусмотреть эффект от сокращения затрат на ранее проводимые мероприятия по дегазации.

Для проектов по добыче метана угольных пластов в качестве самостоятельного полезного ископаемого можно выделить только экономический эффект от использования метана.

Далее приводится методика расчета экономических эффектов в проектах дегазации угольных шахт.

Определение экономического эффекта от снижения аварийности, связанной с взрывами метана

Первоочередной проблемой угольного газа является метанобезопасность. В 2000-х гг. в России произошло несколько крупных взрывов МВС, в результате которых погибло 370 чел. Аварии, вызванные взрывами и вспышками метана, приводят к увеличению травматизма, разрушению шахтной инфраструктуры, снижению объемов добычи угля.

По официальным данным, в последнее десятилетие компенсация погибшим, пострадавшим и членам их семей в расчете на 1 чел. составила около 2 млн руб. Кроме того, шахты и государство понесли значительный ущерб от снижения объемов добычи угля и дополнительных затрат на восстановительные работы. Средние потери от снижения объемов добычи, связанные с необходимостью проведения восстановительных работ на шахтах, составляют около 630 млн руб., в том числе самих шахт – 350 млн руб.; потери государства от недополучения налогов – 280 млн руб. Общий прямой ущерб государству, наносимый авариями, связанными с внезапными выбросами метана, составляет около 537 млн руб.

Убытки предприятия от аварий в шахтах, вызванных взрывами и вспышками МВС, $У_{ав}$ можно определить по фактическим данным по формуле:

$$У_{ав} = У_{пр} + У_т + Нп, \quad (1)$$

где $У_{пр}$ – прямые потери, связанные с разрушением промышленных объектов, руб.; $У_т$ – сумма потерь в связи с травматизмом шахтеров, руб.; Нп – потери, связанные с недополучением продукции в связи с аварией, руб.;

$$У_{пр} = С_{и.до} - С_{и.пос},$$

где $С_{и.до}$ – стоимость имущества шахты до момента аварии, руб.; $С_{и.пос}$ – стоимость имущества шахты после момента аварии, руб.;

$$У_т = У_1 + У_2 + У_3 + У_4,$$

где $У_1$ – возмещение бюджету государственного социального страхования расходов на выплату пособий по временной нетрудоспособности, руб.; $У_2$ – возмещение органам социального обеспечения сумм пенсий (или части пенсии) инвалидам труда, руб.; $У_3$ – выплата пособий нетрудоспособным членам семьи в случае смерти работника от травмы, связанной с производством (за потерю кормильца), руб.; $У_4$ – затраты предприятия на профессиональную подготовку и переподготовку работающих, принимаемых на работу взамен выбывших в связи с травмой, руб.;

$$Нп = ДВ_{ср/сут}(Ц_{1\,т\,уг} - С_{1\,т\,уг}у_{у\text{-}пер}),$$

где Д – число дней, потерянных вследствие аварии; $В_{ср/сут}$ – среднесуточная выработка аварийного участка до момента аварии, т; $Ц_{1\,т\,уг}$ – цена 1 т угля, руб./т; $С_{1\,т\,уг}$ – себестоимость 1 т угля, руб./т; $у_{у\text{-}пер}$ – удельный вес условно-переменных затрат в себестоимости 1 т угля, доли ед.

В специальной литературе по промышленной безопасности и охране труда встречаются предложения рассчитывать экономический эффект от сокращения аварийности с использованием коэффициента, учитывающего вероятность предотвращения аварий. То есть для проектов дегазации данный эффект $Э_{ав}$ можно было бы определить по формуле:

$$Э_{ав} = У_{ав}K_в,$$

где $K_в$ – коэффициент, учитывающий вероятность предотвращения аварий, связанных со взрывами МВС в результате внедрения новой системы дегазации, доли ед.

Однако, учитывая невозможность сколько-нибудь точного определения этого коэффициента, а также этические мотивы, включение данного эффекта в доходную часть проектов по дегазации можно предложить только при условии полного исключения возможности аварии в результате внедрения новой системы дегазации. То есть, если $k_в = 1$, то $Э_{ав} = У_{ав}$. При этом убытки предприятия от аварий в шахтах, вызванных взрывами и вспышками МВС, $У_а$ можно определить по фактическим данным шахты за предшествующий период, равный сроку реализации предлагаемого проекта дегазации. Например, если новый проект дегазации рассчитан на 10 лет, то необходимо рассчитать $У_{ав}$ – суммарный убыток от аварий, вызванных взрывами и вспышками МВС на данной шахте за прошедшие 10 лет по формуле (1) и равномерно распределить его по всем годам в доходной части предлагаемого проекта дегазации в качестве экономического эффекта от сокращения затрат на ликвидацию последствий аварий $Э_{ав}$. Если же коэффициент, учитывающий вероятность предотвращения

аварий, имеет значение, меньшее единицы, то включение данного экономического эффекта в доходную часть предлагаемого проекта дегазации нецелесообразно. То есть, если $K_в < 1$, то $Э_{ав} = 0$.

Необходимо добавить, что выполнение требований безопасности напрямую связано с проблемой повышения эффективности добычи угля и получением экономического эффекта от улучшения использования фронта горных работ в угольных шахтах.

Определение экономического эффекта от улучшения использования фронта горных работ в угольных шахтах, связанного со снижением влияния газового фактора

Важнейшей проблемой угольного метана является повышение эффективности добычи угля. Эта проблема связана с тем, что на особо опасных по газу и пыли шахтах нагрузки на очистные забои в 1,5–2 раза ниже технологически возможных. При нагрузках на очистные забои, предусматриваемые на перспективных шахтах, необходимо обеспечивать эффективность дегазации на уровне 50–70 % и более. В метаноопасных шахтах устанавливается система сигнализации, которая в автоматическом режиме прерывает работу угольных комбайнов, при превышении содержания метана в шахтной атмосфере выше величины, определенной требованиям безопасности. Скорость работы угольных комбайнов и глубина ведения очистных работ постоянно возрастают. В связи с этим метановыделение на участках увеличивается. Это заставляет предприятия постоянно стремиться к повышению эффективности дегазации. Таким образом, так называемый «газовый фактор» является серьезным препятствием для увеличения эффективности работы угольных предприятий [4, 5].

Также необходимо отметить, что на многих шахтах до сих пор действует традиционная для угольной отрасли сдельная оплата труда шахтеров. Заработная плата шахтеров находится в прямой зависимости от объемов добычи угля. Шахтеры, стремясь увеличить выработку и соответственно собственный доход, пренебрегают требованиями безопасности и мешают штатной работе системы метанобезопасности шахты. В связи с этим можно порекомендовать отказаться от сдельной оплаты и заменить её на повременно-премиальную форму оплаты труда. При этом премии должны стимулировать не только повышение выработки, но и неукоснительное выполнение требований безопасности.

Экономический эффект от улучшения использования фронта горных работ в угольных шахтах $Э_ш$, связанного со снижением влияния газового фактора, складывается из эффекта от повышения темпа проведения подготовительных выработок в шахтах $Э_{подг}$ и эффекта от повышения нагрузки на очистной забой $Э_{оч}$:

$$Э_ш = Э_{подг} + Э_{оч}.$$

Экономический эффект от повышения темпа проведения подготовительных выработок в шахтах $Э_{подг}$ рассчитывается по формуле:

$$Э_{подг} = (v_п - v_д)NC_{1м}y_{у\text{-}пост},$$

где $v_п$, $v_д$ – скорость проведения подготовительных выработок в зоне дегазации соответственно после и до её внедрения, м/сут; N – число рабочих дней в году, сут; $C_{1м}$ – себестоимость проходки 1 м подготовительных выработок после проведения дегазации, руб./м; $y_{у\text{-}пост}$ – удельный вес условно-постоянных затрат в себестоимости проходки 1 м подготовительных выработок, доли ед.

Экономический эффект от повышения нагрузки на очистной забой $Э_{оч}$ рассчитывается по формуле:

$$Э_{оч} = ((t_{п.до} - t_{п.пос})П_к N)(Ц_{1т\,уг} - C_{1т\,уг}y_{у\text{-}пер}), \quad (2)$$

где $t_{п.до}$, $t_{п.пос}$ – время простоев очистных комбайнов, работающих в зоне дегазации, из-за воздействия газового фактора до и после проведения дегазации, мин/сут; $П_к$ – производительность очистных комбайнов, т/мин.

Можно добавить, что существует альтернативный метод определения эффекта от повышения нагрузки на очистной забой. Н. М. Лобов в своей работе предлагает определять экономический эффект от экономии на условно-постоянных расходах при увеличении годовой производственной мощности шахты $Э_{уп}$ [6]:

$$Э_{уп} = \frac{A'_с}{A_с} C_{уп} - C'_{уп},$$

где $A_с$, $A'_с$ – суточная производственная мощность шахты до и после проведения мероприятий по повышению извлечения метана соответственно, т/сут; $C_{уп}$, $C'_{уп}$ – годовая величина условно-постоянных расходов до и после повышения нагрузки, руб.

В свою очередь, суточная производственная мощность шахты до и после проведения мероприятий по повышению извлечения метана определяется по формулам:

$$A_с = \frac{864vSk_{о.з}f}{K_н q_л}, \quad A'_с = \frac{864vSk_{о.з}f}{K_н\left(q_л - \Delta q\right)},$$

где v – максимально допустимая скорость движения воздуха в лаве, м/с; S – площадь рабочего пространства лавы, свободного для прохода воздуха, м^3; $k_{о.з}$ – коэффициент, учитывающий движение воздуха по выработанному пространству, непосредственно прилегающему к рабочему пространству лавы; f –допустимая концентрация метана в исходящей струе лавы, %; $K_н$ – коэффициент неравномерности газовыделения; $q_л$ – относительная метанообильность очистного участка, м^3/т; Δq – снижение метанообильности очистного забоя в результате проведенных мероприятий, м^3/т.

Данный вариант расчета, тем не менее, имеет ряд недостатков. Во-первых, снижение метанообильности очистного забоя в результате проведённых мероприятий (ключевой параметр в расчете) опосредованно приводит к снижению вероятности остановки угольного комбайна. В предлагаемом расчете (формула (2)) для определения эффекта от повышения нагрузки на очистной забой сразу используется параметр «время простоев очистных комбайнов». Во-вторых, результаты расчетов зависят от множества первичных данных, собрать которые в реальных условиях бывает затруднительно.

Определение экономического эффекта от использования метана, полученного путем дегазации угольных шахт

Ещё одной проблемой угольного метана является проблема его использования. На начальных этапах развития работ по дегазации угольных шахт добываемый метан практически не использовался и выбрасывался в атмосферу. Ещё в конце 1990-х гг. в России только 20 % каптируемого дегазационными системами метана проходило дальнейшую переработку. Угольный метан по аналогии с попутным газом в нефтедобыче рассматривался как помеха для основного производства, а не источник дополнительного дохода. В настоящее время большая часть метана используется для различных нужд.

Экономический эффект может быть получен от использования метана из угольных пластов 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. При этом необходимо учитывать, что направление использования зависит от объемов добычи, качества добываемого газа, его содержания в МВС.

Выбор конкретного варианта использования метана зависит от таких экономических и организационных факторов, как величина затрат на создание перерабатывающего производства по соответствующему направлению использования, организационно-экономический механизм взаимодействия участников проекта по извлечению метана, специфические потребности участников проекта в определенных продуктах переработки.

Экономический эффект от использования метана $Э_и$ складывается из эффектов от различных направлений его использования, которые определяются выручкой от реализации метана и (или) продуктов, полученных при его переработке:

$$Э_и = \sum_{i=1}^{n} B_i = \sum_{i=1}^{n}\left(Q_i + Ц_i\right),$$

где Q_i – объем реализации метана 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.); $Ц_i$ –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); i – направление использования извлечённого метана.

Определение экономического эффекта от снижения выбросов метана в атмосферу

Согласно статье 28 Федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» от 04 мая1999 № 96-ФЗ (ред. от 19 июля 2011), за загрязнение окружающей природной среды выбросами вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух с физических и юридических лиц взимается плата в соответствии с законодательством Российской Федерации. Выбросы шахтного метана относятся к категории выбросов в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными источниками.

Стационарный источник выброса вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух – любой (точечный, площадной и т. д.) источник с организованным или неорганизованным выбросом вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, дислоцируемый или функционирующий постоянно или временно в границах участка терри-

тории (местности) объекта, предприятия, юридического или физического лица, принадлежащего ему или закрепленного за ним в соответствии с действующим законодательством.

Экономический эффект от снижения эмиссии метана в атмосферу $Э_{эк}$ представляет собой сокращение затрат угледобывающего предприятия на платежи за выбросы метана в атмосферу.

При определении платежа необходимо сравнить величину предотвращенного выброса Q, переведённую в тонны (масса 1 м^3 метана при температуре 293 К равна $6{,}679 \cdot 10^{-4}$ т) с установленными нормативами. Необходимо отметить, что снижение выплат возможно только при условии полного или частичного использования извлечённого метана. Таким образом, к предотвращённому выбросу относятся только объемы используемого метана.

Если $Q \le H_{пдв}$, то $Э_{эк} = (QЗ_{пдв})k_э$.

Если $Н_{пдв} < Q \le Н_{лим}$, то $Э_{эк} = (H_{пдв} З_{пдв} + (Q - Н_{пдв})З_{лим})k_э$.

Если $Н_{лим} < Q$, то $Э_{эк} = (Н_{пдв} З_{пдв} + (Н_{лим} - Н_{пдв}) З_{лим} + (Q - Н_{лим})5\, З_{лим})$ $k_э$, где $Н_{пдв}$ – предельно допустимый выброс, т; $Н_{лим}$ – выброс в пределах установленного лимита, т; $З_{пдв}$ – базовый норматив платы за выброс 1 т в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов, руб./т; $З_{лим}$ – плата за выбросы в пределах установленных лимитов, руб./т; $k_э$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в данном регионе (применяется с дополнительным коэффициентом 1,2 при выбросе в атмосферный воздух городов).

Можно добавить, что сокращение выбросов метана в атмосферу позволяет улучшить экологическую ситуацию в угледобывающих регионах, сократить негативное воздействие на состояние озонового слоя.

Определение экономического эффекта от сокращения затрат на ранее проводимую дегазацию

Техника и технология дегазации угольных шахт постоянно совершенствуются. При этом возникает возможность достижения необходимого коэффициента дегазации при меньших затратах.

Экономический эффект от сокращения затрат на ранее проводимую дегазацию $Э_{р.д}$ определяется по формуле:

$$Э_{р.д} = Q_{уг} C_{1т\,уг} y_{р.д} y_{с.з},$$

где $Q_{уг}$ – годовая добыча угля в зоне дегазации, т; $y_{р.д}$ – доля затрат на ранее проводимую дегазацию в себестоимости добычи 1 т угля, доли ед.; $y_{с.з}$ – доля, на которую можно сократить затраты на ранее проводимые методы дегазации без снижения общей эффективности дегазации, доли ед.

Необходимо отметить, что возникновение этого экономического эффекта возможно, если внедряемая новая система дегазации полностью или частично заменяет ранее проводимую дегазацию.

Суммарный экономический эффект от дегазации $Э_{дег}$ равен сумме пяти перечисленных эффектов:

$$Э_{дег} = Э_{ав} + Э_{ш} + Э_{и} + Э_{эк} + Э_{р.д}.$$

При этом можно отметить, что величина одних эффектов зависит от величины других.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пучков Л. А., Сластунов С. В., Федунец Б. И. Перспективы добычи метана в Печорском угольном бассейне. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 557 с.
2. Шувалов Ю. В., Павлов И. А., Веселов Л. П. Комплексное использование ресурсов и регулирование газового режима шахт Воркутского месторождения. СПб., 2006. 392 с.
3. Рубан А. Д. Нетрадиционные источники энергии: шахтный метан // Газовая промышленность. 2011. № 4. С. 28–29.
4. 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, № 10. P. 2987–2997.
5. Qingquan Liu. Permeability distribution characteristics of protected coal seams during unloading of the coal body // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2014. Vol. 71. P. 105–116.
6. Лобов Н. М. Определение экономической эффективности использования метана угольных месторождений // Актуальные проблемы горной науки и образования: сб. тр. науч.-метод. конф. СПб.: СПГГИ (ТУ), 1999. С. 91–93.

REFERENCES

1. Puchkov L. A., Slastunov S. V., Fedunets B. I. 2004, *Perspektivy dobychi metana v Pechorskom ugol'nom basseyne* [Prospects for methane production in the Pechora coal basin], Moscow, 557 p.
2. Shuvalov Yu. V., Pavlov I. A., Veselov L. P. 2006, *Kompleksnoe ispol'zovanie resursov i regulirovanie gazovogo rezhima shakht Vorkutskogo mestorozhdeniya* [Integrated use of resources and the regulation of the gas regime of the Vorkuta deposit mines]. Saint Petersburg, 392 p.
3. Ruban A. D. 2011, *Netraditsionnye istochniki energii: shakhtnyy metan* [Alternative energy sources: coal mine methane]. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry], no. 4, pp. 28–29.
4. Liu J., Chen Z., Elsworth D., Miao X., Mao X. 2011, Evolution of coal permeability from stress-controlled to displacement-controlled swelling conditions. Fuel, vol. 90, no. 10, pp. 2987–2997.
5. Qingquan Liu. 2014, Permeability distribution characteristics of protected coal seams during unloading of the coal body. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, vol. 71. pp. 105–116.
6. Lobov N. M. 1999, *Opredelenie ekonomicheskoy effektivnosti ispol'zovaniya metana ugol'nykh mestorozhdeniy* [The definition of economic efficiency of the use of coal bed methane]. *Aktual'nye problemy gornoy nauki i obrazovaniya: sbornik trudov nauchno-metodicheskoy konferentsii. SPb.: SPGGI (TU)* [Actual problems of mining science and education: Proceedings scientific-methodical conference, Saint Petersburg, Saint-Petersburg Mining University], pp. 91–93.

Петр Николаевич Пармузин,
кандидат экономических наук, доцент
ptr12@mail.ru
Ухтинский государственный технический университет
Россия, Республика Коми, Ухта, ул. Первомайская, 13

Petr Nikolaevich Parmuzin,
PhD, Assistant Professor
ptr12@mail.ru
Ukhta State Technical University
Ukhta, Komi Republic, Russia

For citation:
Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta [News of the Ural State Mining University]. 2016. Issue 2. pp. 86-90.
УДК 338:242.4 DOI 10.21440/2307-2091-2016-2-86-90

THE GUIDELINES FOR ECONOMIC VALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES IN REGION

V. V. Yurak

Методика экономической оценки экосистемных услуг региона

В. В. Юрак

Исследование посвящено проблеме разработки методических рекомендаций по экономической оценке экосистемных услуг природного потенциала региона на основе концепции общей экономической ценности. Оценке подлежали экосистемные услуги, отраженные в классификации экосистемных услуг из Millennium Ecosystem Assessment. Обеспечивающие услуги характеризуются как реализация ресурсных функций, т. е. представляют природные ресурсы. Они оценивались согласно методическим рекомендациям по экономической оценке природных ресурсов. Экономическая оценка регулирующих услуг происходила в несколько этапов: 1) анализ земельных угодий в рассматриваемом районе; 2) выделение угодий (соответствующих экосистем), занимающих наибольшую площадь в районе; 3) выявление наиболее важных экоуслуг для каждого вида выделенных угодий на основе экспертных оценок; 4) экономическая оценка экоуслуг (экологических ресурсов), относящихся к числу приоритетных. Анализ земельных угодий в рассматриваемом районе предполагает формирование структуры земель с выделением: сельскохозяйственных угодий, земель, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, земель застройки, болотных земель, лесных земель; земель под водой, под дорогами и прочих. Выделение наиболее значимых экоуслуг осуществляется по результатам экспертного опроса специалистов, связанных профессионально с решаемой проблемой. Уровень значимости предоставляемых услуг оценивается экспертами в баллах. Поддерживающие услуги необходимы для существования самой экосистемы и оказания ею экосистемных услуг, поэтому во избежание двойного счета поддерживающие услуги не подлежали экономической оценке. Культурные услуги подлежат оценке как по формулам, так и путем проведения опросов о готовности населения платить за сохранение экосистемы и, как следствие, её духовных и религиозных ценностей. Данные методические рекомендации апробированы на примере Березовского района ХМАО. Выполненные исследования служат основой для совершенствования методов оценки экосистемных услуг, их систематизации, а также проведения экспресс-оценки природного потенциала любого анализируемого региона.

Ключевые слова: экосистемные услуги; концепция общей экономической ценности; природопользование; природо-ресурсный потенциал региона.

Research is devoted to the problem of developing guidelines for the economic valuation of ecosystem services of natural potential of the region based on the concept of total economic value. We evaluate ecosystem services based on the classification of ecosystem services of the Millennium Ecosystem Assessment. Provisioning services are the realization of service functions or natural resources. Author evaluated provisioning services according to the methodical recommendations on the economic valuation of natural resources. Economic evaluation of regulatory services took place in several stages: 1) analysis of land in the area; 2) allocation of land (related ecosystems), occupying the largest area in the region; 3) identification of the most important ecosystem services for each type of land based on the expert assessments; 4) economic assessment of ecosystem services (environmental resources) relating to the priority. Analysis of the land in this area involves the formation of structures with land allocation: agricultural land, land covered with trees and shrubs, building land, marsh lands, forest lands; land under water, roads and others. Highlighting the most important ecological services was performed by the results of the expert survey. Experts estimate the significance level of provided services in points. Supporting services are necessary for the existence of the ecosystems and its ecosystem services provision, so in order to avoid double counting supporting services are not the subject for economic assessment. Cultural services are the subject to assessment both by the formulas, and by carrying out surveys on the population's willingness to pay for the preservation of the ecosystem and, as a consequence, of its spiritual and religious values. These guidelines are approved at Berezovsky District (Khanty-Mansi Autonomous District (KhMAD), Russia). The studies provide the basis for improved methods for assessing ecosystem services, their classification, as well as the rapid assessment of any of the analyzed region.

Keywords: ecosystem services; the concept of total economic value; natural resource management; natural and resource potential of the region.

Natural conditions and resources, which are necessary for human life and activity, create natural and resource potential of the region. Natural and resource potential of any region is a specific set of conditions and environment resources (geosystems, landscapes), which ensures the existence of people and the needs for its business activities. The natural and resource potential correlated with the natural landscape consists of, first of all, those natural qualities and conditions that have a direct impact on the perceptions and the health state of people. These natural qualities and conditions compose the environmental potential of the area, characterizing the degree of comfort and favorable natural conditions for human life. Another part of the complex potential is the resource potential. It is the totality of the natural resources, which are used as natural resources (mineral, water, biota, etc.) for industrial and agricultural production, recreation and other human activities [1].

For a long time humanity considered only a resource aspect of the natural potential of the territory, which led to its overexploitation, and as a consequence, to the emergence of the environmental crisis on the planet. In this regard, the scientific community is concerned about the maintenance of the equilibrium of nature, which means the accounting of both components of the territory: environmental and resource. The set of methodical approaches of recourse part of the resource potential on the territory has already been formed and is described in detail in the research [2]:

1) methods based on the cost approach;
2) methods based on the evaluation of differential rent;
3) mixed modification cost and rental approach;
4) Scoring techniques;
5) methods based on the combination of score and rent estimates;
6) regulatory methods.

The process of developing different methods of accounting environmental aspect of natural proceeds in the scientific community, and in this regard, one should note the most current research directions of the theory of ecosystem services and the concept of total economic value. The origins of the theory of ecosystem services were formed in the late 70-ies of XX century. Researches of W. Westman and R. De Groot developing beneficial ecosystem functions as a service in order to increase public interest in the conservation of biodiversity [3, 4] laid the foundation of the theory of ecosystem services. In the 90s of the last century the issues of economic valuation of ecosystem services are reflected in the works of foreign scientists R. Constanza and H. E. Daly [5], in the works of Russian scientists like S. N. Bobylev, N. N. Lukyanchikov, R. A. Perelet, I. M. Potravny [6], L. G. Mel'nik, E. V. Mishenin, Yu. Yu.Tunitsa, N. K. Shapochka etc. [7–10].

Ecosystem services are often associated with natural capital. There are two approaches to ecosystem services. In the first "wide" approach, all the functions of natural capital are ecosystem. The second approach considers the ecosystem services as one of the functions of natural capital – "narrow" approach. Four functions of natural capital can be distinguished:

1) resource – providing the natural resources of goods and services;
2) regulating – ecosystem / environmental services associated with providing various types of regulatory functions from nature: assimilation of pollution and waste, climate regulation and the water regime, the ozone layer, etc.;
3) the nature services connected with the aesthetic, ethical, moral, cultural, historical aspects – a kind of "spiritual" environmental services;
4) providing human health [6].

According to the "wide" interpretation, ecosystem services represent the whole range of goods and services provided by nature (all functions of natural capital). Therefore, the classification (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) is used in the world practice focusing on the "wide" interpretation of ecosystem services, where the ecosystem services are divided into four groups: provisioning, regulating, cultural (directly affecting the people), and supporting (preserving other ecosystem services) [11, 12].

According to a "narrow" interpretation, ecosystem services are services that provide economic benefits for consumers of these services based on the nature providing the various kinds of regulatory functions. That means that only regulating service are in focus. Consumers of these services can be at the

Use value A			Non-use value B	
Direct A_1	Indirect A_2	Option A_3	existence value B_1	bequest value B_2
Provisioning services O	Regulating services P + supporting services П	Adjusted for the time value of A_1 и A_2, or Adjusted value O and P + П	Cultural services K	
$o_1 + o_2 + o_3 + o_4 + o_5$	$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + п_1 + п_2 + п_3 + п_4$		$к_4$	$к_1 + к_2 + к_3$

Figure 1. The structural distribution of ecosystem services according to the concept of total economic value.

local level (e.g., individual companies) or both at the regional and global levels – entire regions and countries. In the latter case we can point to global ecosystem services, such as absorption of CO_2 by forests.

Along with the existing approaches to ecosystem assessment, the concept of total economic value is increasingly gaining the attention. This concept is the most promising in terms of the theory of value, ecosystem services and integrated assessment of natural and resource potential. This concept appeared at the end of the XX century in the work of D. W. Pearce, R. K. Turner, dating from 1990, that was the first introduction of a systematic approach to the problem of the economic assessment of the damage to ecosystems and the proposal of the concept of total economic value of natural resources. In the nowadays literature, there are slightly different variants of the structure of total economic value. One of the most popular models presented in the papers [13–17] is as follows: **Total Economic Value** = use value + non-use value. **Use value** = direct use value + indirect use value or ecological value + option value; **non-use value** = existence value + other types of non-use value including the bequest value.

Thus, it is important to note that the former understanding of the region assessment as a natural environment and the estimated reserves and resources do not meet modern requirements [18]. Therefore, scientific study needs further development or addition of the existing approaches to the assessment of environmental and natural resource potential of the region on the basis of the theory of value. This development or addition has to accumulate the modern realities and scientific research relating to ensure the equilibrium of nature, based on the ecosystem and social and economic approach, taking into account both environmental and resource component of natural resources. Therefore this article develops author's guidelines for the economic valuation of ecosystem services of natural potential of the region based on the total economic value strategy.

Author's guidelines are based on the following principles:

1. The guidelines employ the classification of ecosystem services presented in the Millennium Ecosystem Assessment [11].

2. With regard to the structure of the total economic value with ecosystem services is as follows (Fig. 1).

3. The total economic value of ecosystem services (environmental resources) (TEV):

$$TEV = A+B, \quad (1)$$

A – use value; B – non-use value.

Non-use value (A):

$$A = A_1 + A_2 \quad (2)$$

A_1 – provisioning services; A_2 – regulating services (P) and supporting services (П);

$$A_1 = \sum_{j=1}^{5} a_i, \quad (3)$$

a_i – provisioning services i-type.

$$P = \sum_{j=1}^{5} p_j, \quad (4)$$

p_j – regulating services j-type.

$$П = \sum_{a=1}^{4} n_a, \quad (5)$$

n_a – supporting services a-type.

Non-use value (B):

$$B = K = B_1 + B_2, \quad (6)$$

K – cultural services; B_1 – existence value; B_2 – bequest value.

$$B_2 = \sum_{b=1}^{3} k_b, \quad (7)$$

k_b – ecosystem services that determine the value of the bequest value b-type.

Existence value B_1 is defined by recreation and ecotourism $к_4$.

4. Providing services are described as the realization of resource functions. These services represent natural resources and are evaluated according to the methodical recommendations of the economic valuation of natural resources.

5. Economic evaluation of regulating services involves the following algorithm (Fig. 2).

6. Analysis of land in this area involves the formation of the land structure with allocation of agricultural land, land covered with trees and shrubs, building land, marsh lands, forest lands; land under water, roads and others. The base to this analysis is statistical report (Form 22-2).

7. Lands occupy the largest share allocated as a priority. Their total area should occupy more than 75 % of the total area.

8. The selection process of the most important ecosystem services are performed by the results of the expert survey of professionals connected with solving these problems. The significance level of providing services is estimated by experts in points (with a decrease in the importance the value of points is reduced).

9. Supporting services are necessary for the existence of the ecosystems and its ecosystem services provision, so, in order to avoid double counting, supporting services are not the subject for economic assessment.

10. Regulating ecosystem services is proposed to estimate based on the formulas shown below. Depending on the type of ecosystems the indicators can be modified.

Regulation of air quality by forest ecosystem p_1

It is possible to define this ecosystem service can in several variants, both the ecosystem's ability to deposit carbon dioxide and to produce oxygen and also as the sum of these two components. The article chooses the sum of two components. Evaluation is made by the market price according to the classification of methods presented in the study [19].

$$Op_1 = \sum_{i=1}^{n} (б_i \times O_{2i} \times ц_o) + \sum_{i=1}^{n} (б_i \times CO_{2i} \times p), \quad (8)$$

Op_1 – economic valuation of ecosystem services of regulating air quality by the forest ecosystem, rubles; $б_i$ – forest area i-type of bonitet in the analyzed area regardless of the type of forest, ha; O_{2i} – the amount of oxygen released by 1-hectare forest i-type of bonitet, ton (Table 1); $ц_o$ – the cost of 1 ton of O_2 in 2016 (1 ton of O_2 = 10 000 rub./ton); CO_2 – the amount of CO_2 absorbed by 1 ha of forest i-type of bonitet, tons (Table 1); p – fixed price of 1 ton of CO_2 according to the Kyoto Protocol (10–50 dollars USA), rubles; i – type of bonitet (i = 1,…, n, n = 4).

Regulation of air quality by marsh and pasture ecosystems p_1

Assessment of the value of ecosystem services is determined according to the proportional distribution of phytomass between forest ecosystem services, ecosystem services of marshes and pastures by market prices. According to the results of studies carried out in northern regions [20] we can point that the biological reserve of wild plants in relation to other types of herbaceous vegetation is about 20 %. The rest of herbaceous vegetation is distributed between forest and marsh ecosystems as a percentage ratio of 50:50. If we take phytomass of forest woody vegetation for Y, phytomass of wild grasses in the marshes for Z, and phytomass of common wild grasses for X, the final calculation of phytomass will be presented in Table 2.

Table 1. Release of oxygen and the absorption of carbon dioxide per 1 ha of forest, ton/year.

Bonitet	Wide	Total amount of oxygen release	The amount of oxygen released into the atmosphere*	The amount of the absorbed carbon dioxide
1	0,8–0,9	7–10	3,5–5	4,6–6,5
2	0,8–0,85	5,5–7,6	2,8–3,8	3,5–4,9
3	0,65–0,75	4,5–6,4	2,2–3,2	2,9–4,1
4	0,6–0,7	3,6–5,2	1,8–2,6	2,8–3,4

* Provided that the 50% of biomass goes into the fall, which is required 50 % of release oxygen for the oxidation process.

Regulation of climate by forest ecosystem p_2

One can calculate the economic assessment of the impact of changes that have occurred on the assessed forest area for a certain period (increase or decrease of the number of trees) to the formation of the climate of the planet based on previous studies, employing the cost method [21]. Every year the economic losses caused by natural disasters increase. According to the results

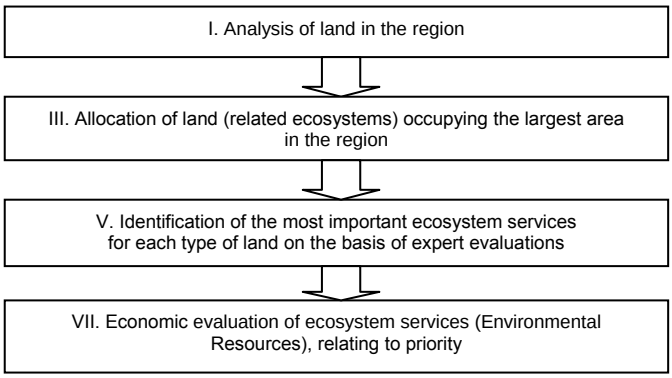


Figure 2. Algorithm of economic assessment of the regulating functions.

Table 2. The calculation of phytomass of ecosystems, tons.

Forest ecosystem	Marsh ecosystem	Pasture ecosystem
$(Y + 3X - Z)$	$(Z + 2X)$	It determines on the basis of the explication of lands of the analyzed area (κ_1 and κ_2)*

* κ_1 and κ_2 are territorial factors determined on the basis of the explication of lands of the analyzed area.
The value is defined via the proportional way based on Table 2 and Op_1.

of the study [22], the economic damage caused by natural disasters in the 90s is 3 times higher than the level of 80s. According to several authors [23, 24], the total economic damage amounted more than 930 billion US dollars in the period from 2000 to 2009, during only one year in 2010 – 222 bln dollars, and for the first 9 months of 2011 – more than 550 billion dollars. Estimates of the reduction of forest land on the planet are different – from 7 mln ha to 19–23 mln ha per year.

For the purposes of economic assessment natural disasters can be divided into:
– natural disasters (bringing direct economic losses):
– flood (C_1);
– earthquake (C_2);
– volcanic activity (C_3);
– tsunami (C_4);
– sea level rise (C_5);
– storms and hurricanes (C_6);
– tornado (C_7);
– forest fires (C_8);
– anomalies and natural disasters, the damage from which cannot be evaluated economically, but have an impact on ecosystems on the planet, including the frequency and scale of natural disasters (such phenomena as the displacement of the magnetic poles, the Earth's axis, etc.) Thus, the proposed model estimates only the cost of the economic impact of natural disasters (Formula 9):

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8. \quad (9)$$

Taking into account the apparent increase in the economic damage caused by the permanent reduction of the forest area on the planet we can conclude that the cost of each subsequent cutting of the forest increases the size of the economic impact of natural disasters. Therefore, calculating the cost of climate-forming function is suggested to assess based on relations in changes in the value of economic damage over the past decade compared to the previous value of phytomass of forest cutting in the past decade.

Economic evaluation of the impact of the changes that have occurred on the assessed forest area for a certain period (increase or decrease the number of trees) to the formation of the climate of the planet is calculated using the formula 10:

$$Op_2 = \sum_{k=1}^{v} \frac{C_{tk} - C_{ok}}{\Delta Q_k} \Delta q_k vk, \quad (10)$$

Op_2 – economic valuation of ecosystem service of climate regulation of forest ecosystem, rub; v – the number of years of life of forest ecosystem, years [25, pp. 66, Tables 9, 10; p. 104, Table 35]; C_{tk} – the total value of economic damage from natural disasters for a κ-year, rub; $C_{0\kappa}$ – the total value of economic damage from natural disasters in the year before a κ-year, rub.; ΔQ_k – phytomass of cutting forests for a κ-year, ton; Δq_k – changes in the total phytomass of all factions on the evaluated area, ton; vk – the share of the contribution of the forest vegetation in the formation of the climate.

The main factors influencing the formation of the climate are [22]:
– changes in the size, topography and relative position of the continents and oceans;
– changes in the luminosity of the sun and solar radiation;
– changes in the parameters of the Earth's orbit and the axis;
– changes in the transparency of the atmosphere and its composition as a result of changes in the Earth's volcanic activity;
– changes in concentrations of greenhouse gases (CO_2 и CH_4) in the atmosphere;
– changes in the reflectivity of the Earth's surface (albedo);
– changes in the amount of heat that presents in the depths of the ocean.

O. G. Sorokhtin [26] identifies the solar radiation, pressure and heat capacity of the Earth's atmosphere as the most important values, however, the majority of these factors are interdependent and some factors cannot be considered in isolation without the influence of others. Vegetation somehow affects all of the factors due to the influence of the composition and the heat capacity of the atmosphere. It shows the complexity of determining its contribution to the formation of climate. A separate study must be done to identify the contribution of each factor. In this study, the proportion of forest vegetation contribution to climate formation has been expertly identified on the level of 0.47.

Regulation of water by forest ecosystem p_3

Valuation of ecosystem service of regulation of water by forest ecosystem is suggested in the study employing the income method by using the formula 11. This technique is based on the equation of the water balance of river basins developed by M. I. Lvovich and subsequently finalized by K. N. Dyakonov [25].

$$Op_3 = \Delta S \cdot C_{\text{н}} \cdot \Gamma, \quad (11)$$

Op_3 – economic valuation of ecosystem service of regulation of water by forest ecosystem, rub; ΔS – the magnitude of groundwater runoff increase in the summer period per 1 ha, thousand m3 / ha [25, Tables 39,42,45, 49]; $C_{\text{н}}$ – tax rate for taking water from an underground source, it is 282 rub. per thousand m3 in 2016 for the Ob River basin; Γ – forest area, ha.

Regulation of soil erosion by forest ecosystem p_4

Economic valuation of against erosion role of forest ecosystem can only be done indirectly by suggesting what harm would bring the erosion if on this place there was no wood, i. e. by employing the method of substitute goods. Taking into account the specific chemical composition of the sediments by determining the hydrological and geochemical properties of the eroded landscape, we should determine how much nitrogen (as a stimulator of plant growth and lengthening of the growing season) is removed by 1 ha of forest each year. Based on the fact that 1 kg of nitrogen increases the yield of grain crops by 12 kg [*27*]. The assessment of ecosystem service of regulation of soil erosion by forest ecosystem is calculated as follows:

$$Op_4 = 12Q_N \cdot \text{Р}_{\text{зк}} \cdot \Gamma, \quad (12)$$

Op_4 – economic valuation of ecosystem service of regulation of soil erosion by forest ecosystem, rub; $12Q_N$ – the number of kilograms of cereals from the certain volume of removed nitrogen per year, kg of cereals in one year / hectare; $\text{Р}_{\text{зк}}$ – the price of 1 kg of cereals, rub. / kg of cereals; Γ – forest area, ha.

Purification of water and wastewater by marsh ecosystem p_5

We evaluate this ecosystem service by employing the method of substitute goods according to the formula 13. For economic evaluation of marsh purification abilities, we compare them with similar abilities of industrial treatment plant with a capacity of 1500 m³/day. (50–70 m³ of water per hour at 2–3 work shifts).

The price of one industrial treatment plant on average reaches $ 50 thousand. Discounted cost of the industrial treatment plant for one year calculates from the formula of capitalization $PV = \text{Ц}_{\text{ПОУ}}/i$ according to which annual discounted cost of the industrial treatment plant ($\text{Ц}_{\text{ПОУ}}$) is defined by employing the formula 13 where PV is the cost of installation, i – interest rate equal to $1/T$ (years). It is assumed that one industrial treatment plant works at least 50 years, i.e. $T = 50$, $i = 0{,}02$.

$$Op_5 = \frac{S}{(\text{Р}_{\text{ПОУ}}/\text{Р}) \times \text{К}_{\text{э}}} \times \text{ц}_{\text{ПОУ}}, \quad (13)$$

Op_5 – economic valuation of ecosystem service of purification of water and wastewater by marsh ecosystem, rub; S – marsh area, ha; $\text{Р}_{\text{ПОУ}}$- capacity of industrial treatment plant, m³; P – capacity of eutrophic bog, m³/ha (eutrophic bog – 137 m³/day/ha [27]); $\text{К}_{\text{э}}$ – efficiency ratio of marshes (eutrophic bog has $\text{К}_{\text{э}}$ =1; mesotrophic bog has $\text{К}_{\text{э}}$ =3; acid bog has $\text{К}_{\text{э}}$ = 4 [15]); $\text{Ц}_{\text{ПОУ}}$ – discounted cost of the industrial treatment plant for one year, rub.

Insulation ability by pasture ecosystem $p_т$

Valuation of ecosystem service of insulation ability by pasture ecosystem in the study based on resource evaluation employing the income method by using the formula 14. In the absence of this ecosystem service the ecosystem does not comply with the current functionality.

$$Op_т = \text{О}_{3,} \quad (14)$$

$Op_т$ – economic valuation of ecosystem service of insulation ability by pasture ecosystem, rub; О_3 – economic evaluation of pasture, rub.

11. Depending on the type of ecosystem, indicators can be modified. Cultural services assess as follows:

Spiritual and religious values ($к_1$)

This ecosystem service is the subject to assessment by carrying out surveys on the population's willingness to pay for the preservation of the ecosystem and as a consequence of its spiritual and religious values.

Educational values ($к_2$) and aesthetic values($к_3$) from forest ecosystem

These ecosystem services are very closely related and directly dependent on the time spent by a man within the boundaries of a particular ecosystem. On average, every citizen of our country spends in the woods about 52 hours per year [28]. If we assume that the forest "earns" as well as we do, then the evaluation of aesthetic and educational values of the forest can be calculated using the formula:

$$Ок_{2\,и\,3} = Q_ч \times Зп \times Q_н, \quad (15)$$

$Ок_{2\,и\,3}$ – economic valuation of ecosystem service of educational and aesthetic values from forest ecosystem, rub; $Q_ч$ – the average number of hours that a person stay in the forest in the country per year, hour/year per person; Зп – the average wage in the country, rub/hour; $Q_н$ – population, people.

Recreation and ecological tourism ($к_4$) from forest ecosystem

Valuation of ecosystem service of recreation and ecological tourism from the forest ecosystem is suggested in the article employing the income method based on the research [29]. The recreational function from forest ecosystem is to meet the people needs in active recreation, health restoration and, first of all, physical recovery. For the assessment of the recreational service of the forest landscape, we take into account the sustainability of the forest ecosystem to the effects of recreational pressure according to the formula:

$$Ок_4 = \sum_{t=1}^{n}\left(8760A_д - З_л\right)\times t_t, \quad (16)$$

$Ок_4$ – economic valuation of ecosystem service of recreation and ecological tourism from forest ecosystem, rub; $A_д$ – the average annual allowable (or actual $A_ф$) recreational load in the analyzed area; hour/rub (1 year = 8760 hours); $З_л$ – the annual cost of forest management in the recreational forests, rub. / ha; t_t – the duration of the growth of the i – group, years; n – the number of forest age groups (young, middle-aged, ripening, ripe).

Thus, the author's methodical approach allows selecting the most important ecosystems and ecosystem services, representing a simple and serial evaluation algorithm of ecosystem services (environmental resources) on the basis of the concept of total economic value. These guidelines are approved at Berezovsky District, KhMAD. We have obtained the following results:

1. Analysis of land of Berezovsky District, KhMAD is demonstrated in Table 3 [30].

2. Formation of the structure of land (landscapes) in the analyzed area and an allocation of land (related ecosystems) occupying the largest area in the region is shown in Fig. 3.

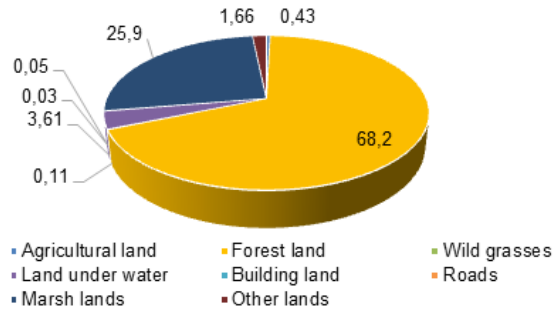


Figure 3. The land structure of of Berezovsky District, KhMAD, %.

With regard to the study, the forest (68.2 %) and marsh (25.9 %) and the corresponding ecosystems compose a large part of Berezovsky District, KhMAD, as well as reindeer pastures (40.6 % of the total area).

3. Identification of the most important ecosystem services for each defined land (corresponding ecosystem).

The list of the most important ecosystem services for leased lands (forest, marsh, pasture) was determined by the results of the expert survey of ten experts from the Institute of Economics of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences and the Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. As a result, we have found that for selected lands (ecosystems) there are two most important ecosystem services such as regulation of air quality (p_1) and regulation of water (p_3). For marshes the ecosystem service of purification of water and wastewater (p_5) has been additionally revealed whereas the experts identify the specific insulation ability for pasture ecosystem ($p_т$).

4. Economic evaluation of ecosystem services relating to priority.

Reindeer pasture area in Berezovsky District KhMAD locates on forest land (50 % of total forest land) and marsh land (33 % of total marsh land). According to a study [31] forest phytomass is about 150 ton/ha and pastures phytomass is 35 ton/ha. As a result, we obtain the following formulas for the calculation (Table 4).

Table 3. Analysis of land of Berezovsky District, KhMAD, ha.

Total area	Agricultural land	Forest land	Including wooded land	Wild grasses	Land under water	Building land	Roads	Marsh lands	Other lands
Agricultural lands									
58 829	10 023	1918	1918	6678	4587	33	83	32 771	2736
Land of inhabited areas									
24 575	6831	2249	2249	2361	3560	2339	–	6303	932
Land of industry, energy, transportation, communication, radio, television, earth for space activities, defense, security and other special purposes									
437	–	275	275	–	–	142	–	17	3
Lands of specially protected natural reservations									
59 382	–	46 212	44 621	–	1161	21	15	11 973	–
Designated forest lands									
8 075 698	8277	5 877 396	5 877 396	–	86 098	1 960 345	4329	1 960 345	139 253
Water resource lands									
220 000	–	–	–	–	220 000	–	–	–	–
Reserve lands									
371 132	12 836	80 560	80 560	500	2767	–	55	270 724	3690
Total land within the boundaries of the administrative district									
8 810 053	37 967	6 008 610	6 008 610	9539	318 173	2535	4482	2 282 133	146 614

Note: Reindeer pasture area of 3578905 hectares locates on forest land; disturbed lands absent (50 % locates on forest land and 33 % locates on the marsh lands).

Table 4. The calculation of phytomass of ecosystems, tons.

Forest ecosystem	Marsh ecosystem	Pasture ecosystem
(0,5*Y* + 1,5*X* – 0,5*Z*)	(0,67*Z* + 1,34 *X*)	(0,5*Y*/4,3 + 2,16*X* – 0,17*Z*)

Note: *X* = 3272,41 tonnes; *Z* (See biology/operational reserve of wild grasses in the analyzed area) = 1326,88 tons; *Y* (See forest resources of the analyzed area) = 454430,9 ths. m^3 = 700 kg/m^3 · 454 430 900 m^3 = 318 101 630 000 kg = 31 8101,63 tons.

Table 5. Economic evaluation of ecosystem services (ecological resources) of Berezovsky District, KhMAD.

Ecosystem	Ecosystem service	Benchmarks	Economic evaluation, ths rub
Forest	Regulation of air quality p_1	$б_i$ = 6 008 610 · 50% = 3 004 305; O_{2i} = 2,2; $ц_o$ = 10 000; CO_{2i} = 3,1; *p* = 30 $ (Dollar exchange rate on 03.05.2016 is 64,63 rub); *Y* = 318101,63; *X* = 3272,41; *Z* = 1326,88	84 152 355,59
	Regulation of water p_3	ΔS = 0,642; $C_н$ = 282; Г = 3 004 305	543 911,39
Marsh5	Regulation of air quality p_1	*Z* = 1326,88; *X* = 3272,41	2 717 903,88
	Purification of water and wastewater p_5	*S* = 2 282 133 · 67 % = 1 529 029,11; $P_{поу}$ = 1500; *P* = 137; $K_э$ =1 (eutrophic bog); $K_э$ = 3 (mesotrophic bog); $K_э$ = 4 (acid bog); $Ц_{поу}$ = 63 640	5 776 816,73
Pasture	Regulation of air quality p_1	*Y* = 318 101,63; *X* = 3272,41	22 587 911,43
	Insulation ability $p_т$	$O_э$ = 33 466	33 466,00

Table 5 shows that ecosystem services of Berezovsky District, KhMAD to May 2016 are estimated at the level of 115,812,365.02 thousand rub. Forest ecosystem provides 73 % of the total value of ecosystem services (84,696,266.98 rubles), marsh ecosystem – only 7 % (8,494,720.61 rubles), pasture ecosystem – 20 % or 22,621,377.43 ths rubles.

This article was prepared with the financial support of the Russian Science Foundation. The project number 14-18-00456 «Justification of geographical- ecological- social- and economic approach to the development of natural resource potential of northern poorly known areas within the investment project «Arctic –Central Asia».

REFERENCES

1. *Polnaya entsiklopediya*. Available at: http://www.polnaja-jenciklopedija.ru/geografiya/karty-otsenki-prirodnyh-usloviy-i-resursov-dlya-zhiznedeyatelnosti-cheloveka.html
2. Tishkov A. A. 2002, *Ekonomika sokhraneniya bioraznoobraziya* [Economy conservation], Moscow, 604 p.
3. De Groot R. S. 1987, Environmental functions as a unifying concept for ecology and economics. The Environmentalist, no. 7, pp. 105–109.
4. Westman W. 1977, How much are nature's services worth? Science, pp. 960–964.
5. R. Costanza, R. d'Arge, R. de Groot, et al. 1997, The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature, vol. 387.
6. Bobylev S. N., Zakharov V. M., 2009, *Ekosistemnye uslugi i ekonomika* [Ecosystem services and economics], Moscow, 72 p.
7. Mel'nik L. G., Degtyareva I. B. 2010, *Ekonomicheskaya otsenka i uchet v regional'nom planirovanii ekosistemnykh uslug* [Economic evaluation and consideration of regional planning in ecosystem services], 2010. Available at: http://www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials_teeb/melnik_degtiareva_TEEB.doc
8. Mishenin E. V., Oliynik N. V. 2010, *Rozvitok rinku ekosistemnikh poslug yak napryamok postkrizovogo zros-tannya ekonomiki Ukraïni* [Market development of ecosystem services as the direction of the post-crisis economy of Ukraine]. *Mekhanizm regulyuvannya ekonomiki* [Mechanism of economic regulation], no. 3, vol. 2, pp. 104–113.
9. Tunitsya Yu. Yu. 2006, *Eko-ekonomika* i *rynok: podolannya superechnostey* [Ecological economy and market: overcoming contradictions], 314 p.
10. Shapochka N. K., Matsenko A. M. 2010, *Ekonomicheskaya otsenka kachestva ekosistemnykh uslug presnoy vody* [Economic evaluation of quality of services ecosystem services of pure water]. *Materialy soveshchaniya "Proekt TEEB – ekonomika ekosistem i bioraznoobraziya. Perspektivy uchastiya Rossii i drugikh stran NNG"* [Materials of the meeting "Project TEEB – Economy ecosystems and biodiversity. Prospects attend Russia and others NIS countries] Available at: http://www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials_teeb/macenko_shapochka_TEEB.doc.
11. 2005, Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being. Synthesis Report, Island Press, Washington DC, 160 p.
12. Pagiola S., K. von Ritter, Bishop J. 2004, Assessing the Economic Value of Ecosystem Conservation. Environmental Economics Series — World Bank, 2004, 58 p.
13. Bobylev S. N. 1995, *Ekonomicheskie problemy bioraznoobraziya: opredelenie vzaimosvyazey (matrichnyy podkhod)* [Economic problems of biodiversity: defining the relationship (matrix approach)]. *Ekonomika sokhraneniya bioraznoobraziya* [Economy conservation of biodiversity], Moscow, pp. 19-25.
14. Girusov E. V., Bobylev S. N., Novoselov A. L., Chepurnykh N. V. 1998, *Ekologiya i ekonomika prirodopol'zovaniya* [Ecology and environmental economics], Moscow, 519 p.
15. Bobylev S. N., Tishkov A. A. 1999, *Ekonomicheskaya otsenka bioraznoobraziya* [Economic evaluation of biodiversity]. *Global'nyy Ekologicheskiy Fond. Proekt «Sokhranenie bioraznoobraziya»* [Global Environment Facility. The project "Biodiversity Conservation"], Moscow, 112 p.
16. Dushin A.V. 2009, *Nekotorye aspekty razvitiya teorii tsennosti* [Some aspects of the theory of value]. *Zhurnal ekonomicheskoy teorii* [Russian Journal of Economic Theory], no. 3, pp. 218–222.
17. Serageldin I., Steer A. 1994, Making Development Sustainable: from concept to action. Environmentally Sustainable Development Occasional Paper Series, no. 2.
18. Balashenko V. V., Ignat'eva M. N., Loginov V. G. 2015, *Prirodno-resursnyy potentsial severnykh rayonov: metodicheskie osobennosti kompleksnoy otsenki* [Natural resource potential of northern regions: methodological features integrated assessment]. *Ekonomika regiona* [Economy of region], no. 4, pp. 84-94.
19. Tishkov A.A 2002, *Ekonomika sokhraneniya bioraznoobraziya* [Economy conservation], Moscow, 604 p.
20. 1994, *Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote po teme № 1.93 «Kompleksnaya otsenka zemel' KhMAO»* [Scientific report № 1.93 «Complex estimation of KhMAD"], Ekaterinburg, 153 p.
21. Voronov M. P., Chasovskikh V. P. 2013, *Metodika ekonomicheskoy otsenki sredoformiruyushchikh funktsiy lesa* [A method of economic evaluation of environment forming forest functions]. *Eko-potentsial* [Eco-potential], no. 1–2, pp. 13–23.
22. Kondrat'ev K. Ya., Krapivin V. F., Potapov I. I. 2005, *Statistika prirodnykh katastrof* [Statistics Disaster]. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov: Obzornaya informatsiya* [Environment and Natural Resources: Overview], no. 5, pp. 57-76.
23. Khalilov E. N. 2010, Global Changes of the Environment: Threatening the Progress of Civilization. GEOCHANGE: Problems of Global Changes of the Geological Environment, London, vol. 1, pp. 54-220.
24. Samedzade Z. A., Khalilov E. N. 2011, Natural cataclysms as a global factor of influence on the world economy. Natural Cataclysms and Global Problems of the Modem Civilization. Book of abstracts of the World Forum – International Congress, Istanbul, Turkey. London, 19 p.
25. Lebedev Yu. V. 2011, Otsenka lesnykh ekosistem v ekonomike prirodopol'zovaniya [Evaluation of forest ecosystems in environmental economics], Ekaterinburg, 574 p.
26. Sorokhtin O. T. 2007, *Evolyutsiya klimatov Zemli* [The evolution of the earth's climates]. Fizika [Physics], no. 832. Available at: http://fiz. 1 september.ru/article.php ?ID=200700907
27. Antanaytis A. A., Skirstene A. Yu., Shcherbakovayte A. K., Romeykene N. P. 1974, *Effektivnost' mineral'nykh udobreniy, vnosimykh pod yachmen', s uchetom soderzhaniy v pochve elementov pitaniya rasteniy i kolichestva osadkov* [Proc. Soil Science and Agricultural Chemistry], Vil'nyus, 248 p.
28. Rozenberg G. S. 2009, *Volzhskiy basseyn: na puti k ustoychivomu razvitiyu* [Volga basin: Towards Sustainable Development]. Tol'yatti, 477 p.
29. Lebedev, Yu. V., Kopylova Yu. Yu., Khil'chenko N. V. 2006, *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka bioraznoobraziya lesnykh ekosistem* [Ecological and economic assessment of biodiversity in forest ecosystems]. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Environmental Economics], no. 2, pp. 88–111.
30. *Eksplikatsiya zemel' Berezovskogo rayona KhMAO. Forma 22-2 na 01.01.2016 g.*
31. Perel'man A. I. 1975, *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of landscape], Moscow, 341 p.

Вера Васильевна Юрак,
аспирант
vera_yurak@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Vera Vasil'evna Yurak,
postgraduate researcher
vera_yurak@mail.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

История горного дела на Урале

История геофизических исследований на Урале в XVIII–начале XX в.

В. В. Филатов

Мир, в котором мы живем, не хаотичен. Он построен по какому-то плану, который человек стремится узнать с тех пор, как осознал себя. Может быть, мир образовался в результате Большого взрыва, произошедшего около четырнадцати миллиардов лет тому назад. Может быть возник по какой-то другой причине… В любом случае в нём определено место и время каждому явлению, событию и предмету. Любое событие, большое или маленькое, длящееся мгновение или века, имеет свой исток и занимает вполне определенное место в длинной цепи причинно-следственных связей с другими событиями: всё связано со всем. В полной мере это относится и к геофизической науке, как и к любой другой…

Когда обозначились физические предпосылки геофизики вообще? Четыре с половиной миллиарда лет тому назад, когда образовалась наша планета с присущими ей физическими полями: магнитным, гравитационным, электрическим, тепловым и другими. Не будь у Земли этих полей, не было бы и геофизики. Геологической же предпосылкой уральской геофизики стало формирование в Северном полушарии гигантской меридиональной «морщины» на лике планеты, которую называют Каменным поясом, Уральскими горами, Уральской складчатой системой. Областью, в которой были открыты около тринадцати тысяч месторождений и рудопроявлений различных полезных ископаемых.

На рубеже XVII и XVIII вв. началось промышленное освоение природных ресурсов Урала. К этому времени прагматичные шведы уже придумали способ, как использовать один из атрибутов Земли – магнитное поле – для поисков магнетитовых рудных тел, применяя в качестве их индикатора магнитную стрелку. На Урале в таком способе поисков нужды пока не было: огромные залежи магнитного железняка здесь выпирали прямо из земли горами. Их так и называли: гора Высокая, гора Благодать, гора Магнитная.

Для магнитной стрелки, о роли которой в истории человечества можно бы написать хвалебную оду, своеобразным «полюсом притяжения» стал почти с самого его основания город Екатеринбург – тоже полюс или, точнее, центр горнозаводской промышленности империи.

Европейские ученые и путешественники считали Уральские горы своеобразным чудом природы и стремились приехать на Урал, чтобы воочию убедиться в его минералогической уникальности. Европа ничего подобного не знала. Изучая геологию Урала, многие европейцы совершали здесь открытия, делавшие их имена бессмертными. Достаточно вспомнить английского геолога Р. И. Мурчисона (1792–1871), открывшего на Урале в 1841 г. пермскую систему.

Летом 1761 г. в Екатеринбурге проездом был французский астроном Шапп д'Отрош (1722–1769). Он ехал в Тобольск для наблюдения за прохождением Венеры через солнечный диск во время затмения и, остановившись на несколько дней в Екатеринбурге, попутно измерил угол магнитного склонения. Как будто бы пустяк, случайность. Но это было первое исследование, положившее начало формированию на Урале геофизической среды. С 1761 г. судьба стала нанизывать на нить времени геофизические события-бусинки одно за другим, большие и маленькие, значимые и не очень, из которых и сложилась уральская геофизика.

Француз Шапп проторил дорожку на Урал для магнитологов, по которой споро зашагали другие исследователи. В 1805 г. измерения, аналогичные шапповским, выполнил в уральской столице астроном Ф. И. Шуберт (1758–1825). Спустя 23 года шведские ученые Дау и директор астрономической обсерватории в Христиании (ныне – г. Осло) профессор К. Ханстенс (1784–1873)[1], а также немецкий физик Г. А. Эрманн (1806–1877) произвели здесь измерения не только склонения, но и угла магнитного наклонения, и горизонтальной составляющей напряженности. В 1803 г. Петербургская академия наук командировала в Пекин своего непременного секретаря Н. И. Фуса (1755–1826), поручив ему устроить в Поднебесной на территории Русской миссии наблюдательный пункт для изучения вариаций склонения, а по пути измерить в Екатеринбурге склонение. Спустя два года это исследование повторил некто Федоров. Так на Урале стала постепенно развиваться геофизическая среда.

Недостаток геофизических исследований, выполненных в первой трети XVIII в., заключался в том, что они были единичными и почти случайными, им не хватало системности. Инициатором систематического изучения элементов магнитного поля и в России, и на Урале стал не русский, а немецкий ученый – Александр фон Гумбольдт (1769–1859), о котором мы расскажем подробнее.

Гумбольдт прибыл в Петербург по приглашению императора Николая I (1769–1855) 30 апреля 1829 г. в сопровождении берлинских профессоров Эренберга и Густава Розе (1798–1873) и, по воспоминаниям одного из современников, был «осыпан благоволением Государя Императора и всей Императорской фамилии; испытав всевозможныя ласки, внимание и уважение вельмож и первых сановников». Почести были заслуженными, и Гумбольдт принимал их как должное, без суеты и с достоинством. Но, как говорит поговорка, – делу время, а потехе – час. Только метафорический «час» Гумбольдт и посвятил устроенным в его честь торжествам. Главным для него было «дело». А что тогда считал для себя самым важным Гумбольдт? Об этом он рассказал на заседании в Академии наук: его доклад был посвящен изучению магнитного поля. Он порекомендовал членам Академии построить в окрестностях столицы обсерваторию для постоянных измерений элементов магнитного поля и согласовать регламент этих наблюдений с европейскими обсерваториями. Почему именно эту проблему Гумбольдт считал важной? Да потому, что он находился под сильнейшим впечатлением от открытия, совершенного им в Перуанских Андах во время своего южно-американского путешествия. Используя метод, придуманный Кулоном, он выполнил измерения наклонения и напряженности магнитного поля и установил, что в некоторых местах наклонение равно нулю, а напряженность минимальная. Линию нулевых значений наклонения стали называть магнитным экватором, с удалением от которого к северу и югу напряженность возрастает, достигая максимальной величины на магнитных полюсах Земли. Это открытие Гумбольдт считал важнейшим результатом своей экспедиции, много рассказывал о нём, убеждая ученых Европы заняться изучением магнитного поля. Он увлёк этой идеей великого К. Ф. Гаусса (1777–1855), который впоследствии писал, что «первыми исследованиями напряженности земного магнетизма мы обязаны господину фон Гумбольдту».

Академики, благоговея перед Гумбольдтом, одобрительно отнеслись к его предложению и поручили своему коллеге академику А. Я. Купферу (1799–1865) разработать и осуществить проект строительства не одной, а нескольких магнитных обсерваторий в различных районах страны. Почему выбор пал на Купфера? Потому что Адольф Яковлевич, ещё будучи профессором физики и химии в Казанском университете, в 1823 г. изучал совместно с французским физиком Д. Ф. Араго (1768–1853) характер вариаций склонения в Париже и Казани и установил, что они идентичны, хотя расстояние по широте между городами около 47°. Для изучения этого феномена он планировал выполнить измерения склонения в пунктах, расположенных на различных широтах. Поэтому предложение Гумбольдта и поручение коллег-академиков были для него кстати, поскольку соответствовали его собственным замыслам.

Купфер был скор и на принятие решений, и на их выполнение. Обладая завидными организационно-дипломатическими способностями, он заинтересовал проектом строительства станций директора департамента горных и соляных дел Е. В. Карнеева (1773–1849) и начальника штаба корпуса горных инженеров К. В. Чевкина (1802–1875). Генерал Чевкин, одобрив проект, написал, что «Предмет онаго хоть и не принадлежит (пока. – В. Ф.) собственно горному делу, но с одной стороны уважителен в том отношении, что много может споспешествовать к возбуждению в молодых офицерах горных полезнейшего соревнования к упражнениям учёным, а с другой он столь важен для науки, что отказать ему в содействии неприлично никакому учёному сословию, а тем паче горному».

В непродолжительное время магнитные обсерватории были созданы в Петербурге, Казани, Барнауле, Нерчинске, Колывани и других местах. 13 января 1836 г. начала работать магнитная и метеорологическая обсерватория в Екатеринбурге. Место для её строительства, Плешивую гору за чертой города, облюбовал еще Гумбольдт в июле 1829 г., измерив

[1] Тот самый, который независимо от Ш. О. Кулона (1736–1806) установил закон взаимодействия точечных магнитных масс *(прим. авт.)*.

здесь угол магнитного наклонения. Обсерватория, таким образом, стала первым научным учреждением на Урале. Изучение магнитного поля с помощью прибора Гаусса заведующий обсерваторией лейтенант (поручик) Юлий Максимович Рейнке из-за некоторых трудностей начал только в декабре, а 14 января 1837 г. представил в Главную контору Екатеринбургских заводов первую ведомость о результатах измерения склонения.

Почти сто лет, до 1931 г., уральские магнитологи вели измерения элементов магнитного поля на Плешивой горе, которую со временем стали называть Обсерваторской горкой. Директор обсерватории Г. Ф. Абельс (1846–1929), выполнив в конце XIX в. измерения напряженности в районе горки, установил магнитную аномалию, источником которой первоначально посчитали залежь магнитного железняка, и предприимчивые люди обратились к городским властям с предложением «сдать добычу руды в аренду». Но Абельс их разочаровал, доказав, что «аномалия вызывается тем, что преобладающей горной породой холма, на котором расположена обсерватория, является содержащий железо змеевик», а не магнитная руда.

Исследования Абельса, а также Д. И. Менделеева (1834–1907) стали на Урале первыми опытами изучения магнитного поля для решения разнообразных геологических задач. Менделеев приехал на Урал летом 1899 г. в качестве руководителя небольшой экспедиции Министерства финансов для выявления причин кризиса железной промышленности и выработки мер по их устранению. Ещё до отъезда на Урал он сформулировал программу работ. Она была естественнонаучной по содержанию. Поскольку сырьевой базой черной металлургии Урала были месторождения магнитного железняка, то он задался вопросом: нельзя ли применить для их поисков, разведки и оценки качества руды результаты изучения магнитного поля?

В конце XIX в. ещё не было, как он писал в книге «Железная промышленность Урала», «достаточно полного запаса познаний в отношении к соответствию между величинами магнитных аномалий, количеством руд, их качеством и глубиной залегания». Поэтому Дмитрий Иванович «считал полезным произвести несколько возможно точных магнитных измерений в местностях, заведомо богатых железными рудами», а «ближайшим поводом к сему служило то обстоятельство, что в Главной Палате мер и весов … случайно оказался … полный походный магнитометр системы Маскара …. Для наблюдений назначались четыре места …: горы Благодать, Высокая и Магнитная и Бакальский рудник».

Эти месторождения он выбрал по нескольким причинам: во-первых, «Благодать, Высокая и Магнитная горы отличаются между собою количественным запасом магнитной руды … Назначая наблюдения во всех этих … пунктах … (он. – В. Ф.) имел в виду собрать материал для суждения о влиянии количества руд на местныя аномалии». Во-вторых, рассуждал он, три первые месторождения «заключают магнитный железняк, а в Бакале – бурый … Магнитныя свойства этих … сортов руд … значительно разнятся …, то … казалось интересным узнать, не отразится ли это различие на местных магнитных аномалиях ... Если бы в аномалиях оказалось различие, то можно было бы … судить … о составе руд …». В-третьих, «организуя наблюдения над аномалиями в … богатых месторождениях, (можно получить – В. Ф.) … материалы … для возможности судить о … сокрытых … рудах. Дело … в том, что богатейшия железныя руды в Среднем Урале лежат на восточном склоне и на юге, западный же склон … не богат рудами ... Поэтому вопрос об открытии новых рудных залежей …, невидимых с поверхности, имеет свое значение для удешевления железа».

Вопросы, которыми Менделеев задался сто с лишним лет тому назад, актуальны и для современной геофизики и формулируются они так же, только слова пишутся без «ятей». Отдадим должное гениальной прозорливости Дмитрия Ивановича. Восхитимся и «случайностью» в виде магнитометра Маскара. Это не случайность, а скрытая закономерность, подтверждающая объективный характер благоприятных предпосылок формирования на Урале геофизической среды.

Последний год XIX в. нанизал на нить уральской геофизики ещё одну бусинку – как очередное свидетельство её исторической предопределенности. В 1884 г. Русское географическое общество приняло решение о проведении на территории страны маятниковых измерений силы тяжести, поручив исполнить их астрономам Энгельгардтовской обсерватории Казанского университета. Руководитель работ профессор Д. И. Дубяго (1849–1918) так сформулировал задачи гравиметрических исследований в предисловии к книге «Определение силы тяжести на Урале и по Волге в 1899, 1900, 1902 и 1903 гг.»: «К началу наших работ в России ещё не было систематических определений силы тяжести … Между тем, как … систематическое исследование определенной области даёт понятие о строении геоида (формы Земли. – В. Ф.) в данной местности ... Да маятники могут также служить показателями наиболее характерных аномалий в строении земной коры».

Выбор Урала для гравиметрических исследований был сделан тоже не случайно и был обусловлен тем, что «Уральский хребет, – по мнению Дубяго, – представляет большой интерес в геодезическом и геологическом отношениях».

Измерения силы тяжести на Урале проводились в течение трёх лет в пунктах, расположенных вдоль железнодорожных линий: в 1899 г. – в Челябинске, Златоусте, Уфе, Бирске; в 1900 г. – в Камышлове, Екатеринбурге, Нижнем Тагиле, Кушве, на станции Чусовой и в Перми; в 1903 г. – в Нижней Баранче, Лае, Невьянске, Шайтанском заводе, Кыштыме и Тюмени. В Екатеринбурге измерения были выполнены в небольшой комнате на нижнем этаже Алексеевского реального училища. Здание бывшего училища сохранилось, и на его стене резонно было бы установить памятный знак. Каково значение результатов первых гравиметрических измерений? Сейчас – только историческое. Но в начале 30-х гг. XX в. они были использованы М. Ф. Богатырёвым при составлении первой сводной гравиметрической карты Урала, и как многие другие «пушинки», легли в основу будущей уральской геофизической «перинки».

Гравиметрические исследования на Урале были продолжены только в 1924 г., а вот сейсмологические развивались существенно продуктивнее. В России они стали проводиться по инициативе Географического общества, которое в 1880 г. высказалось за создание в стране сети сейсмических пунктов, оборудованных сейсмоскопами, и сейсмических станций первого разряда. История осуществления этого проекта была ускорена произошедшим в 1887 г. катастрофическим землетрясением в городе Верном (ныне Алма-Ата).

В августе 1899 г. члены Международного сейсмического комитета, заседание которого проходило в Петербурге, решили по настоянию академика М. А. Рыкачёва (1840/41–1919) «предложить метеорологическим учреждениям содействовать производству сейсмических наблюдений». Через год при Академии наук была учреждена Постоянная центральная сейсмическая комиссия (ПЦСК) под председательством директора Пулковской обсерватории академика О. А. Баклунда (1846–1916). Одним из членов ПЦСК стал академик Б. Б. Голицын (1862–1916).

Хотя Екатеринбург расположен в асейсмическом районе, но в нём уже была магнитная и метеорологическая обсерватория, на которой решено было установить пока простейший ртутный сейсмоскоп, а её сотрудникам поручили собирать сведения о землетрясениях, «замеченных без приборов» на Урале и в Западной Сибири, и передавать их в ПЦСК. Ровно через год, в январе 1905 г., когда обе российские столицы потрясала революция, в интеллектуальной тиши академического кабинета О. А. Баклунд, В. Н. Вебер (1871–1940), Б. Б. Голицын, А. П. Карпинский (1846/47–1936), Г. В. Левицкий (1852–1917), И. И. Померанцев (1847–1921), М. А. Рыкачёв и Э. В. Штеллинг (1850–1922) обсуждали вопрос «о мерах к развитию сети сейсмических станций 2-го разряда» и признали «желательным, чтобы сейсмические станции были устроены предпочтительно при учреждениях, обладающих средствами для точного определения времени и представляли известныя гарантии в постоянном и правильном уходе за приборами». На основании таких соображений намечено было устроить сейсмическую станцию «при магнито-метеорологической обсерватории в Екатеринбурге».

Директор обсерватории Г. Ф. Абельс с удовольствием согласился «принять на себя установку и уход за сейсмографом», но посетовал, что «обсерватория не располагает для этой цели помещением, в виду чего пришлось бы построить особый домик». Переписка о его строительстве, изыскание для этого средств, само строительство продолжались почти два года. 7 октября 1906 г. помощник Абельса П. К. Мюллер (1856–1926) запустил сейсмографы, которые спустя четыре дня зарегистрировали первое землетрясение. Сколько их ещё будет! На сейсмограмме одного из них, произошедшего 28 декабря 1908 г. на острове Сицилия, Павел Карлович энергичным росчерком карандаша написал: «Мессина!».

В начале октября 1910 г. на заседании ПЦСК Голицын предложил построить ещё две станции первого класса: одну во Владивостоке, а вторую где-нибудь между Пулковом и Иркутском, в Томске или в Екатеринбурге. Члены комиссии решили, что лучше в Екатеринбурге (вот он, перст судьбы!): во-первых, потому что город находится почти посередине между Пулковом и Иркутском, а во-вторых, в нём уже была сейсмическая станция. Новая станция была оснащена вместо сейсмографов системы Цёльнера более совершенными апериодическими маятниками конструкции Голицына с магнитным затуханием и с гальванической регистрацией.

Новые станции и новые приборы – это более квалифицированные специалисты, которых Голицын обучал сам. Одна из слушательниц его лекций, выпускница физико-математического факультета высших Бестужевских курсов и вычислитель Центрального бюро ПЦСК Зинаида Григорьевна Архарова (Вейс-Ксенофонтова) (1888–1962) и стала первой заведующей первоклассной Екатеринбургской сейсмической станцией. Она начала работать на станции 1 августа 1913 г. Последним её рабочим днем стало тоже 1 августа, но только 1955 г.

В истории и обсерватории, и станции было немало драматических событий. Особенно тяжёлая обстановка сложилась во время Гражданской войны. Для сотрудников обсерватории это было испытание на личное мужество и верность профессиональному долгу. 25 июля 1918 г. Екатеринбург был занят белочехами. На обсерваторской вышке военные

устроили наблюдательный пункт, и во время боевых действий на территорию обсерватории залетали случайные пули. Спустя тридцать пять лет Зинаида Григорьевна вспоминала: «Работу станции пришлось постепенно свёртывать. Исчез в продаже карбид кальция и нечем было питать ацетиленовый фонарь оптической регистрации, т. к. электричества в то время не было проведено в обсерваторию. С большим риском (пожара. – В. Ф.) была приспособлена керосиновая лампа ... В июле 1919-го года героический Урал сбросил иго интервентов. Колчак откатился в Сибирь … Пострадал и Екатеринбург: в ночь отступления белогвардейцев (14 июля. – В. Ф.) кольцо огня окружало город. Горели железнодорожные здания, облитые бензином железнодорожные составы, которые враг не успел захватить с собой. В городе началась паника. Многие учреждения начали эвакуироваться на восток. Большое моральное влияние на коллектив обсерватории оказало присутствие в это … время в составе обсерватории откомандированного сюда Главной Геофизической обсерваторией тов. Фридмана А. А.[2] Его грозное предупреждение: «Всех, покинувших свой пост, мы будем судить судом ученых!» имело положительное воздействие. Но были и дезертиры: несколько старших и младших сотрудников покинули учреждение. Тревожную ночь сдачи города … я провела на крылечке станции, готовая оказать любую защиту вверенным мне приборам, а также своим трём ребятишкам, которых я заблаговременно из своей квартиры перевела на станцию и на толстом одеяле уложила спать на полу. Директор обсерватории тов. Абельс тоже провёл эту ночь в полном одиночестве в здании обсерватории».

Герману Фёдоровичу в это время было 73 года, Зинаиде Григорьевне – 31 год.

В цепи причинно-следственных событий значение, роль, вес каждого различны. Некоторые – это просто намёк, который мог осуществиться в будущем. К таковому намёку следует отнести статью физика Е. И. Рогозина «О применении электричества к исследованию рудных залежей. Извлечения из работ инженера Пилсудского», перепечатанную из «Русского горного вестника» в июльском номере журнала «Уральское горное обозрение» за 1903 г. Редактор обозрения В. В. Мамонтов не обладал даром предвидения, но он был прагматиком и потому резонно считал, что и на Урале когда-нибудь будут искать рудные залежи с помощью электричества. И не ошибся. Но произошло это только спустя много лет.

К началу XX в. изо всех геофизических методов наиболее разработанным в теоретическом, методическом и техническом отношениях была магнитометрия, а идеальными объектами для её развития и совершенствования стали уральские месторождения магнитного железняка. Именно на Урале, как констатировалось в отчете Геолкома за 1918 г., «магнитометрическая разведка в широком масштабе, для съёмки площадей в несколько десятков квадратных верст, впервые в России была поставлена в 1914 г. в Нижнетагильском горном округе под руководством профессора Баумана». В течение четырёх лет Владимиру Ивановичу Бауману (1867–1923) удалось так усовершенствовать этот метод «применительно к русским условиям», что при разведке месторождений магнитного железняка он давал «те же данные, какие получают из обычных разведок шурфами, канавами и скважинами. По быстроте же и дешевизне магнитная съёмка превосходила все другие способы разведки». Зимой 1917 г. Бауман к тому же теоретически решил важнейшую для разведки месторождений задачу определения по магнитным аномалиям объема залежи или оценки её запасов.

Бауман был мозгом исследований, а измерения выполнял его ученик И. М. Бахурин (1880–1940), применяя для измерений усовершенствованный учителем шведский магнитометр конструкции Тиберга–Талена. Бахурину помогали служащие горного округа. Особенно ревностно и с большим интересом к работе относился Д. Л. Ортенберг. Магнитометрия его так увлекла, что о новом методе изыскания магнитных руд он рассказал 30 апреля 1916 г. на заседании Уральского общества любителей естествознания. Выступление не осталось незамеченным. Газета «Зауральский край» написала, что «докладчик познакомил слушателей с новым аппаратом «магнитометром», с помощью которого можно определять глубину залегания и мощность тела магнитного железняка … Докладчик демонстрировал прибор и чертежи. После Ортенберга выступили оппоненты. Обсуждение затянулось до 12 часов ночи».

Летом 1918 г. в России началась Гражданская война, а планы летних полевых работ в Геолкоме были разработаны загодя, и весной геологи, не подозревая о том, что их ждёт, разъехались по всей стране, в том числе и на Урал. «В программу работ Геолкома … в Гороблагодатском округе входило … производство детальной магнитной съёмки центральной части горы Благодати … Съёмка имела целью определение связи между собою отдельных … залежей и определение запасов месторождения. Во-вторых, предположено было произвести общую магнитометрическую разведку … с целью нахождения новых залежей магнитного железняка ..., (но. – В. Ф.) недостаток инструментов, техников, рабочих и лошадей и постоянные перерывы в работе из-за недостатка продовольствия и из-за близости фронта не позволили … расширить разведку … в виду экстренной эвакуации Кушвинского завода», за овладение которым начались бои между красными и белыми. Поэтому магнитологи вынуждены были проводить измерения во время перерывов в боевых действиях.

Бауман, командированный Геолкомом для руководства работами на горе Благодать, не смог туда проехать, и чтобы полевой сезон не пропал, принял на себя руководство магнитометрическими работами на горе Магнитной. На Южном Урале пока ещё было спокойно. За лето здесь было сделано 15 тысяч измерений. По этим данным были впервые относительно обоснованно оценены запасы железной руды Магнитогорского месторождения в 7–10 млрд пудов (115–164 млн т). Фактические запасы месторождения превысили 660 млн т.

Увлечение Ортенберга магнитометрией через несколько лет стало его профессиональной деятельностью. 26 октября 1919 г. он прошел по конкурсу в Уральский горный институт, став доцентом по магнитометрии, а 30 апреля 1920 г. выступил на заседании Совета геологоразведочного факультета с заявлением о результатах преподавания курса магнитометрии. Впервые же о курсе магнитометрии в Уральском горном институте заговорили ещё 17 июня 1918 г. при обсуждении учебного плана геологоразведочного факультета, и было решено объединить в один курс некоторые разделы геодезии и магнитометрию. Но тогда объединённый курс прочитан почему-то не был. Члены Совета одобрили работу Ортенберга и постановили издать его «Практический очерк изыскания магнитных руд с помощью магнитометра Тиберга–Талена». Более того, Совет счёл необходимым предоставить ему при первой возможности командировку в Швецию для изучения там опытов применения магнитометрии и электрометрии, а летом – в Москву для ознакомления с результатами геофизических исследований в районе Курской магнитной аномалии (КМА). Той же весной деканат объявил студентам-геологам, что летом они смогут (если захотят) участвовать под руководством Ортенберга в магнитометрической съёмке в районе месторождения горы Высокой.

Поездка в Москву состоялась, и она определила дальнейшую жизнь Дмитрия Львовича, сведения о котором очень скупы. Он харьковчанин, родился в 1885 г. Где учился – неизвестно. Переехав в столицу, он стал работать в ВСНХ старшим инженером Научно-технического Совета по горнорудной промышленности и заведующим Московским представительством Геологического Комитета. Поэтому, когда против членов Геолкома в 1928 г. началось следственное дело, активно ведущееся академиком АН СССР И. М. Губкиным (1871–1939), Ортенберг был арестован и обвинен в принадлежности к контрреволюционной шпионской организации. Виновным он себя не признал. 9 августа 1929 г. его приговорили к трём годам ссылки в Сибирь, а в конце октября 1931 г. он был выслан до конца заключения в Казахстан для работы в тресте «Алмалыкстрой». В начале января следующего года его лишили права проживания в 12 городах страны и на территории Уральской области с «прикреплением к Казахстану» на три года, но спустя четыре месяца судьба улыбнулась ему, подарив право на свободное проживание в любом месте страны. Этим благом он пользовался до октября 1941 г. Тогда в октябре против него было возбуждено новое дело, и после этого его след уже окончательно пропал, затоптанный в лагерной пыли.

Эволюционно, неспешно развивавшаяся уральская геофизика была взорвана двумя революциями и двумя войнами. Взорвана, но не уничтожена, а только заторможена в развитии на несколько лет. Из социальной и политической трагедии, пережитой Россией, родилась новая страна – Советский Союз, а из дореволюционных разрозненных геофизических исследований – новая наука геофизика, сыгравшая выдающуюся роль в создании минерально-сырьевой базы страны, ставшей и остающейся доныне важнейшей основой её независимости и могущества.

Владимир Викторович Филатов,
доктор геолого-минералогических наук, профессор
filatov47@bk.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

[2] Александр Александрович Фридман (1888–1925) – выдающийся русский советский физик и геофизик, обосновавший модель нестационарной Вселенной *(прим. авт.)*.

Дискуссия

Должны ли русские научные журналы печатать статьи своих авторов на иностранных языках?

В первом номере нынешнего года наш журнал впервые начал печатать статьи на английском языке, причем как в двуязычной версии (статья на русском и её перевод на английский), так и статьи на английском языке с аннотациями на русском. От редакции мы пояснили, что такова политика журнала и отныне мы будем и впредь печатать подобные материалы. Такая позиция вызвала полемику среди читателей и постоянных авторов нашего издания, среди которых нашлись как сторонники, так и противники этой политики.

Несмотря на то, что сейчас в России уже многие научные журналы не только печатают статьи на иностранных языках, но и порой полностью выходят на английском – с целью быть более доступными международному сообществу – отношение к этому явлению в нашей стране продолжает оставаться неоднозначным.

Так, например, в марте 2010 года Юрий Сергеевич Осипов, будучи на тот момент президентом Российской академии наук, в интервью «Газете.Ру» выразил сожаление, что «английский язык стал господствующим в мире» и предложил иностранным коллегам «читать статьи на русском языке», а нашим ученым – поднимать отечественные журналы: «писать в них хорошие статьи, а не посылать их за границу». В ответ на это одно из самых авторитетных в мире науки изданий – журнал Nature – выпустил язвительную редакционную колонку о том, что такое мнение, высказанное не случайным человеком, а президентом РАН, «оказывает очень сильное влияние на российскую науку». И эта колонка Nature вызвала дебаты в среде российских ученых, мнения которых были зачастую диаметрально противоположны.

Так что наша дискуссия отнюдь не нова. Как, впрочем, и дискуссия 2010 года, в чем легко убедиться, ознакомившись с мнением на этот счет первого ректора Уральского горного института (и редактора первого номера нашего журнала) Петра Петровича фон Веймарна, высказанное еще в 1920 году.

Сегодня мы подхватываем эту дискуссию и готовы продолжать ее на нашем сайте – www.iuggu.ru. Мы прислушиваемся к Вашему мнению и стремимся становиться лучше.

П. П. фон Веймарн, профессор Петербургского университета, первый ректор Уральского горного института:

Число представителей человечества, поставивших своей жизненной целью разработку научных проблем, весьма незначительно[1] и, пожалуй, ни в какой группе людей, объединенных общими целями, не чувствуются так сильно потребности самого тесного сближения, потребности создания общего интернационального языка, как в группе людей, спаянных исканием научной правды.

На этом-то интернациональном языке и должны бы печататься всюду научные журналы и на нем должен был бы происходить обмен мнениями между членами одной семьи – семьи ученых всех стран и народов.

К сожалению до сих пор, несмотря на некоторое распространение языка[2] «эсперанто», между учеными различных национальностей не достигнуто по рассматриваемому вопросу никакого реального соглашения и, по прежнему, затрачивается непроизводительно много материальных средств на опубликование одного и того же на различных языках, по прежнему, не редко, научные исследования, опубликованные на малодоступных языках, теряются для науки и когда, спустя много лет, эти исследования «открываются», по случаю опубликования такой же работы в другой стране, то про них пишут «к сожалению эти выдающиеся открытия не оказали никакого влияния на развитие науки».

Нельзя только утешаться мыслью, что в ходе развития культуры человечества наконец настанет такой момент когда многоязычие уже не будет тормозить объединения людей и их дальнейшего дружного поступательного движения, – но надо и теперь принимать меры, чтобы работы национальностей[3], язык которых мало доступен для большинства культурных народов, не теряли бы своего значения для развития общечеловеческой науки и делались бы известными своевременно.

Практическая японская нация разрешила этот вопрос чрезвычайно просто, печатая работы своих ученых на английском или немецком языках (см. напр. мемуары научных организаций при японских университетах) в прекрасно и с технической стороны издаваемых журналах.

Мы, русские, язык которых весьма мало известен иностранным нашим коллегам, очень мало делали для немедленного ознакомления научного мира с нашими работами, довольствуясь, в подавляющем большинстве случаев, тем, что некоторые иностранные журналы[4] в весьма краткой, нередко неясной форме, с значительным запозданием, реферировали статьи[5], печатаемые в некоторых русских научных журналах (например, журнал Русского физико-химического общества).

Если статьи некоторых русских ученых в последнее время не в сокращенном виде сравнительно быстро становятся известными иностранцам, то этим мы обязаны Германии, которая стремилась придать своим научным журналам интернациональный характер.

Редакции немецких журналов[6] безвозмездно переводили и печатали статьи русских ученых на своих страницах, стремясь привлечь наиболее выдающихся из них в число постоянных сотрудников.

Немецкие книгоиздательства[7] не останавливаются перед значительными затратами по изданию русских ученых трудов отдельными книгами, причем половина чистого дохода предоставлялась автору.

Пишущий эти строки должен отметить, что он, не владея достаточно немецким языком и не бывши никогда в Германии, имел возможность издать таким путем, благодаря вниманию и любезности проф. Вольфганга Оствальда и издателя Теодора Штейнкопфа, многие из своих работ.

Сомнительно, чтобы теперь, после войны[8], Германия в состоянии была бы продолжать свою издательскую деятельность в международном масштабе.

Но даже если она и будет это делать, то, я думаю, вряд ли это нас освобождает от самодеятельности.

Ведь опубликование в русских научных журналах статей на русском или одном из иностранных (по желанию автора) языков не только исчерпывающе решило бы интересующую нас проблему, но и сделало бы русские журналы значительно более[9] распространенными за границей, причем часть средств (если не все), затрачиваемых на переводы, возвращались бы путем бесплатного (в обмен) получения многочисленных заграничных журналов, которые в настоящее время приходится выписывать за плату.

Но государство, для которого не должна быть безразлична степень участия в общей культурной работе человечества своих граждан, обязано помогать своими ассигнованиями издательской деятельности русских научных обществ и учреждений.

До сих пор, это необходимо отметить, ассигнований от государства или не было или эти ассигнования были крайне скудны.

Да будет позволено мне, отдавшему науке почти все свои силы, на первых страницах первого тома «Известий Уральского горного инсти-

[1] См. П. П. фон Веймарн «Очерки по энергетике культуры»: «Известия Уральского горного института», т. 1, с. 21–28.
[2] Мне думается английский язык, если ввести в него соответствующие изменения в смысле согласования произношения с начертанием, был бы, в смысле легкости усвоения его всеми национальностями, наиболее удобным международным языком.
[3] Напр., Chemisches Zentralblatt, Chemical Abstracts и тому подобные.
[4] Россия, при теперешней её культуре, делает относительно малые вклады в общечеловеческую культуру, но потенциальный коэффициент ее культуры приближается по порядку величины к таковому же для наиболее культурных народов (см. П. П. фон Веймарн «Очерки по энергетике культуры»); я убежден, что этот последний коэффициент будет и численно близок к такому же коэффициенту наиболее культурных наций, если под его знаменатель взять число лиц данной нации, получивших высшее образование. К сожалению, я не имею соответственных статистических данных, чтобы это доказать числами.
[5] Но рефераты журналов, делаемых напр., русскими химиками своему Обществу, очень редко реферировались иностранными журналами.
[6] Напр. Zeitsehrift fűr physikalishe Chemie, Zeitsehrift fűr anorg. Chemie, Kolloid. Zeitsehrift и др.
[7] Напр. Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig.
[8] Первая мировая война *(прим. ред.)*.
[9] В настоящее время некоторые русские научные журналы выписываются заграничными учеными обществами в обмен на свои издания; однако несомненно, что печатание статей еще на иностранных языках вызвало бы несравнимо большее распространение русских журналов за границей.

тута» высказать твердое убеждение, что скоро настанет время, когда русские ученые будут поставлены государством в такие условия опубликования своих научных трудов, при которых исторически сложившаяся малая доступность русского языка для иностранных ученых, не будет уже влиять на степень непосредственного участия на русских в общечеловеческой науке.

(Екатеринбургъ-Владивостокъ 1919–1920).

Евгений Стамбульчик, PhD, Реховот, Израиль, Научно-исследовательский институт имени Х. Вейцмана

> И сказали они: построим себе город и башню высотою до небес; и сделаем себе имя, чтобы мы не рассеялись по лицу всей земли. И сошел Яхве посмотреть город и башню, что строили сыны человеческие. И сказал Яхве: вот один народ, и один у всех язык; это первое, что они начали делать, и не отстанут они от того, что надумали делать. Сойдем же, и смешаем там язык их, так, чтобы один не понимал речи другого. И рассеял их Яхве оттуда по всей земле; и они перестали строить город. (Быт. 11, 1–9).

При прочтении редакционной статьи Петра фон Веймарна «Об издании научных журналов в России», у меня вначале – примерно до середины текста – создалось впечатление, что она написана в наши дни. Если бы не упоминание исторических событий начала прошлого века, да несколько устаревший стиль, ее вполне можно было счесть публикацией на злобу дня.

Мне всегда казалось, что библейское сказание о вавилонской башне – это о науке и о нас, ученых. Ученые стремятся к познанию мира (строят «башню высотою до небес»), и лучше всего это делать совместно, в тесном, пусть и виртуальном, общении («чтобы мы не рассеялись по лицу всей земли»). Но увы, в мире достаточно причин, по которым это общение существенно затруднено. Издание научных журналов на разных языках – одна из них[10]. Но не единственная. Еще совсем недавно, большинство ученых из бывшего СССР не могли и мечтать о посещении конференций и научных центров за «железным занавесом». Трагические последствия 1917 года[11], расколовшего все российское общество и, в том числе, интеллектуальную элиту, на тех, кто остался, и тех, кто уехал, дают о себе знать и поныне. Судьба самого Петра Петровича, как и почти детективная история с изданием первого номера «Известий Уральского горного института»[12], могут служить примером. Можно только гадать, насколько б*о*льшим могло быть влияние научного наследства фон Веймарна, сложись история по-другому. Причем, не только в плане статей и монографий по химии; например, мне не удалось найти его «Очерки по энергетике культуры», упомянутые в обсуждаемой статье[13].

Должен признаться, что до того, как меня попросили принять участие в обсуждении, имя Петра фон Веймарна было мне незнакомо; мои научные интересы далеки от коллоидной химии, и еще дальше – от горного дела. Поэтому мой первый естественный порыв был прочитать о нем в Википедии. Увы, результат оказался более, чем скромным. В статьях на разных языках, в нисходящем по объему текста порядке, содержится: на немецком (большинство прижизненных переводов П. П. Веймарна на этот язык) – 15 предложений, на японском (язык страны, где он прожил последние годы) – 7, на английском (современный язык международного общения) – 2, на русском – 0 (ноль!). Понятна политика забвения времен СССР по отношению к тем, кто эмигрировал. Грустно, что и в современной России не нашлось людей, пожелавших восполнить отсутствие русской версии статьи о русском ученом (при наличии немецкой, японской и английской)... Хочется верить, что вскоре кто-нибудь, возможно, сотрудник или студент УГГУ, напишет её[14].

Возвращаясь к теме научных публикаций на интернациональном языке (каковым сегодня, безусловно, является английский), мне кажется, что расчет на государственную поддержку в переводе статей не является оптимальным решением в наше время. Возможно, сами журналы должны предлагать такую услугу (за соответствующую оплату). Впрочем, ведомственные журналы могут изыскать средства и из бюджета. Более радикальный вопрос: а нужны ли отечественные журналы? В эпоху Интернета нет существенных причин, по которым статья, написанная на английском языке (или на английский язык переведенная), не может быть послана в изначально англоязычный журнал; впрочем, так зачастую и происходит – например, американские Physical Review, как и многие другие, содержат статьи авторов со всего мира, в том числе и российских. Таким образом, более предпочтительным, по крайней мере, в долгосрочной перспективе, представляется усиленное изучение английского языка в школах и вузах. И здесь поддержка на государственном уровне будет более чем кстати.

А. В. Душин, доктор экономических наук, доцент, М. Н. Игнатьева, доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный горный университет:

В экономической науке получено немало как чисто практических, так и лабораторно-экспериментальных моделей обосновывающих необходимость увеличения числа контактов и связей в научной среде для повышения эффективности научных исследований, ускорения инновационного процесса и конкретно коммерциализации инноваций. То есть процесс расширения научной аудитории, углубления и ускорения связей в среде экспертного сообщества, знакомящегося и критически оценивающего полученные результаты исследований – это бесспорно позитивный процесс. Мы уверены, что в любой научной организации это прекрасно понимают и поддерживают на любом уровне. Организация этого процесса на национальном языке не должна осуществляться в ущерб объективным мировым процессам. Дело не в английском язы-ке, сто лет назад таким был немецкий, двести лет назад французский, триста лет назад и ранее – латынь, а до того – греческий и арабский и т. д. Для того, чтобы русский язык оказался языком мирового научного сообщества нужно сделать очень многое. В современных же условиях инвестиции в образование и науку в России составляют около 1 % ВВП, при 2,5–3 % от ВВП в Японии, США и ЕС, научное сообщество, начиная с 1991 г. объективно сокращается, импакт-фактор российских журналов в большинстве своем невысок, российские электронные базы научной литературы находятся только на этапе становления, мобильность российских ученых в среднем незначительна в сравнении с европейскими и американскими коллегами, патентная политика и защита интеллектуальной собственности существенно отстает от развитых стран. В подобной ситуации русский язык не может стать языком мирового научного сообщества. Попытки ограничения связей в виде псевдопатриотической риторики – это барьеры, которые будут приводить к местечковости, общинности и кумовству в научной среде. В настоящее время публикация результатов научных исследований в иностранных журналах, а в российских журналах на английском языке – это безусловная необходимость, и чем интенсивнее будет налажен этот процесс, тем лучше.

Д. Л. Стровский, доктор политических наук, профессор департамента «Факультет журналистики», Уральский федеральный университет:

Следует или нет преподавателю российского вуза, исследующего ту или иную научную проблему, публиковаться в зарубежных академических изданиях? У меня нет однозначного ответа на этот вопрос.

На протяжении уже многих лет мои статьи появляются научных журналах и сборниках за рубежом. Иногда это происходит по итогам моего участия в научных конференциях, иногда редакции различных академических изданий сами просят меня подготовить материал на заданную тему. Время от времени публикуюсь с главами (написанными индивидуально или в составе авторских коллективов) в научных монографиях, выходящих за границей. Конечно, очень приятно видеть затем свою фамилию среди цитируемых авторов. Вместе с тем если сопоставить полученные результаты с числом потраченных на это временных и физических усилий, то выигрыш окажется не столь очевидным.

Российская гуманитарная наука сегодня находится на обочине исследовательского процесса. Если вы еще не академик Д. Лихачев и не профессор Ю. Лотман, то ваши работы вряд ли станут предметом внимания со стороны многих зарубежных коллег. Кроме того, в России иные, чем на Западе и исследовательская культура, и работа с первоисточниками. Разнятся и требования к оформлению научных публикаций. Разумеется, при желании всеми этими премудростями можно овладеть. Но всегда ли игра стоит свеч? Тем более, что в России твои научные результаты все равно останутся в тени, поскольку лишь единицы твоих коллег обратятся к текстам на чужом языке.

В Уральском федеральном университете усилия, потраченные на появление статьи в журналах, находящихся в базе данных Scopus или Web of Science, будут материально поощрены. Но, во-первых, это очень незначительные деньги на фоне всех трудозатрат, а во вторых, международная репутация этих журналов, если начистоту, скромна. Во всяком случае, мои коллеги, работающие в университетах Европы и Америки, в

[10] Должен сказать, что трактование «смешения языков» как наказания есть единственная мысль в этом сказании, которую я всецело разделяю. В остальном же, видение города (средоточие цивилизации и науки в том числе), как нечто греховное, вполне очевидно для жрецов кочевого народа, чьи моральные установки вложены в уста ветхозаветного Яхве.

[11] Кстати, латынь – бывший международный язык науки, на котором писали и Спиноза, и Ньютон, и Ломоносов – начал быстро утрачивать своё значение в результате нововведений, последовавших за французской революцией.

[12] Шорин А. Г. История журнала «Известия Уральского государственного горного университета» // Изв. УГГУ. 2016. № 1(41). С. 152–158.

[13] «Очерки по энергетике культуры» П. П. фон Веймарна мы публикуем в этом номере нашего журнала (с. 101–110) (*прим. ред.).*

[14] Статья для русской «Википедии» уже подготовлена нашей редакцией. Её также можно прочитать в этом номере журнала (с. 97–100) (*прим. ред.).*

ответ на мой вопрос, стремятся ли они опубликоваться в скопусовских изданиях, только пожимали плечами: а что это за журналы? Оно и понятно: представители вузовской гуманитарной науки в скандинавских или западноевропейских странах никогда не меряли свой КПД по этим изданиям, которые чиновники нашей вузовской системы почему-то возводят на пьедестал. При этом если зарубежный журнал не входит в упомянутые базы данных, то его у нас всерьез никто рассматривать не будет. А почему, собственно? Он что, непременно плохого качества? Мне еще ни разу не доводилось слышать внятного ответа по этому поводу.

Во многом именно по названным причинам возникает неудовлетворенность от своей научной деятельности, представленной зарубежными публикациями. Вроде бы ты тянешься за красивой оберткой, хватаешь её, разворачиваешь, а там – нет, не пустота, но что-то не очень значительное. Применительно к тем ценностным ориентирам, к которым много лет двигалась гуманитарная наука и от которых она не в состоянии избавиться в одночасье.

Вот почему всякий раз, берясь за написание своей очередной научной статьи на английском, испытываю сомнение: а надо ли вообще этим заниматься? Моральных дивидендов маловато, материальных – почти никаких. Когда-то была надежда, что с годами ситуация начнет меняться, сейчас и она испарилась. А жизнь человека не беспредельна, и в ней немало интересного. Вот и задумываюсь частенько: а насколько ещё хватит моих усилий?

Ю. В. Ерохин, кандидат геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии и геохимии УрО РАН:

Спустя почти 20 лет работы в научном учреждении, мне представляется возможным участвовать в дискуссии о том, каким должен быть научный журнал по списку ВАК.

В первую очередь, это должен быть двуязычный журнал на русском и английском языках (можно и на любом другом зарубежном языке, но английский на данный момент более распространен в мировой науке). Причем издание должно выходить в виде отдельных томов на разных языках, чтобы в наших библиотеках лежали русские варианты, а в зарубежных – переводные. Кроме того, перевод на английский язык должен быть сделан профессионально, чтобы иностранные коллеги могли легко прочитать текст статьи. Призывы некоторых российских ученых выпускать сразу англоязычные издания необходимо пресекать на корню… ведь, если сами россияне не будут уважать собственный язык, то это возврат к петровской академии наук, когда в ней заседали иностранные ученые и все труды печатались на любом языке, кроме русского, т.е. это путь в никуда.

Во вторую очередь, все выпуски журнала (русские и англоязычные), в том числе и последние (свежие), должны сразу публиковаться (выкладываться) в электронной версии на надежном интернет-портале. Никаких денег за скачивание не просить, никакой рекламы на сайте не должно быть, т. к. это отпугивает некоторых посетителей. Возможность легкого скачивания научных статей повысит их последующую цитируемость, а значит и рейтинг журнала.

В третью очередь, убрать излишнюю бюрократию при приеме научных статей в редколлегию журнала. Навсегда избавиться от рассылки бумажных вариантов рукописи по почте и обеспечить возможность легкой загрузки предлагаемой статьи прямо на сайт журнала. Ведение переписки и отслеживание рецензирования, редактирования статьи здесь же на сайте. Не требовать от авторов неких документов, подтверждающих их принадлежность к какой-либо организации или актов-экспертизы о возможности опубликования и т. д. Всё это приведет к убыстрению публикации научных статей, что в свою очередь привлечет многих авторов, «зажатых в тиски» конкуренции.

Есть ещё много требований к журналам по списку ВАК, но, даже выполнив перечисленные три пункта, можно рассчитывать на резкий подъем рейтинга издания и его попадания в различные индексы-цитирования, в том числе и новомодные сейчас Scopus и Web of Science…

Подготовил А. Г. Шорин, штатный редактор
sandy_blood@mail.ru

Статья о Петре Петровиче фон Веймарне для русской «Википедии»

А. Г. Шорин

К написанию этой статьи меня побудило высказывание нашего израильского коллеги Евгения Стамбульчика в предыдущей статье нашего журнала, который написал: «Имя Петра фон Веймарна было мне незнакомо (…). Поэтому первый естественный порыв был прочитать о нем в Википедии. В статьях на разных языках, в нисходящем по объему текста порядке, содержится: на немецком (большинство прижизненных переводов П. П. Веймарна на этот язык) – 15 предложений, на японском (язык страны, где он прожил последние годы) – 7, на английском (современный язык международного общения) – 2, на русском – 0 (ноль!). Понятна политика времен СССР по отношению к тем, кто эмигрировал. Грустно, что в современной России не нашлось людей, пожелавших восполнить отсутствие русской версии статьи о русском ученом (при наличии немецкой, японской и английской)… Хочется верить, что вскоре кто-нибудь, возможно сотрудник или студент УГГУ, напишет её»[1].

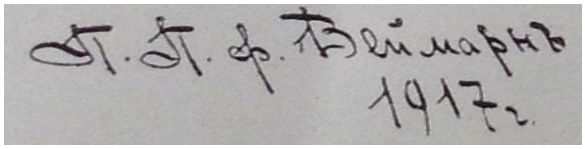
Мы решили немедленно восполнить этот пробел и написать статью для русской Википедии, которую и приводим здесь полностью. Будем благодарны за любые замечания, которые позволят улучшить этот текст. Замечания можно направлять либо на страницу Википедии, где сейчас выложена эта статья (https://ru.wikipedia.org/wiki/ Инкубатор:Петр_Петрович_фон_Веймарн), либо на адрес редакции журнала.

Петр Петрович фон Веймарн

Дата рождения: 17 (5[2]) июля 1879
Место рождения: г. Петергоф, Российская империя
Дата смерти: 2 июня 1935 (55 лет)
Место смерти: г. Шанхай
Место захоронения: г. Кобе
Страна: Российская империя – Япония
Научная сфера: коллоидная химия
Альма-матер: Горный институт императрицы Екатерины II (Санкт-Петербург)

Награды и премии: Лауреат премий имени академика Н. А. Бекетова, имени В. И. Щукина, имени тайного советника Ахматова. Награжден орденом Святой Анны III степени. Почётный гражданин города Екатеринбурга (1917)[3].

Подпись:



Петр Петрович фон Веймарн (17 (5) июля 1879, Петергоф – 2 июня 1935, Шанхай) – русский учёный-химик, профессор Горного институт а императрицы Екатерины II и Санкт-Петербургского университета, первый ректор Уральского горного института (1915–1920), ректор Владивостокского государственного политехнического института (1920).

Происхождение

Веймарны – германский дворянский род Веймеров, которые получили фамилию фон Веймарн и российское дворянство после присоединения к России в ходе Северной войны 1700–1712 годов. Наиболее известные представители этого рода в России – Петр Федорович Веймарн (1795–1846) – генерал-лейтенант, участник Бородинского сражения, генерал-адъютант Иван Федорович Веймарн (1800–1846), генерал-лейтенант Платон Александрович Веймарн (1834–1893).

Петр родился в Петергофе в семье отставного генерал-майора Петра Ивановича Веймарна[4] и его жены Юлии Федоровны. При написании фамилии отец имел право писаться «фон Веймарн», но предпочитал (как и большиство русских представителей этого рода) обходиться без этой приставки, подчеркивавшей его немецкое аристократическое происхождение. Петр Петрович же впоследствии напротив – всегда писал свою фамилию с приставкой «фон».

Образование

В 1899 году Петр получил аттестат, закончив в Санкт-Петербурге Александровский кадетский корпус. Отец прочил ему поступление в военное училище, но Петр решил в 1900 году стать студентом Санкт-Петербургского горного института.

В 1902 году фон Веймарн опубликовал свою первую научную работу – по химии, а в 1907 году ему предложил постоянное сотрудничество немецкий журнал «Zeitschrift fur Chemie und Industrie der Kolloide» («Записки о химии и индустрии коллоидов»), возглавляемый В. Оствальдом[5].

Несмотря на выдающиеся успехи (в 1906 году Веймарн был удостоен Русским химическим обществом премии академика Н.Н. Бекетова и получил стипендию им. проф. К.И. Лисенко) институт он окончил лишь в 1908 году – в 29 лет. Скорее всего это произошло из-за того, что он поступил учиться на заводское отделение института, а с учетом увлечения химией дипломный проект по металлургии и горнозаводской механике нужно было заменить с учетом его интересов. Институт будущий химик окончил с отличием и получил диплом горного инженера[6].

Преподавательская и научная деятельность до 1916 года

С 1908 по 1911 гг. Петр Петрович остается работать в Санкт-Петербургском горном институте: сначала нештатным ассистентом кафедры «Физическая химия», затем адъюнкт-профессором; в 1910–1916 гг. одновременно с работой в Горном институте Веймарн преподавал и вел исследования в Санкт-Петербургском (Петроградском) университете в должности приват-доцента, затем – профессора.

Период до 1916 года оказался для Веймарна очень плодотворным: в эти годы он публикует свои основные труды по коллоидной химии. На этот же период приходятся и награды: в 1912 году за работу «К учению о состоянии материи» он получил две престижные премии – имени тайного советника Н. М. Ахматова от Императорской академии наук и имени В. И. Щукина – от физико-математического факультета Императорского

[1] См. предыдущую статью, с. 95.
[2] ЦГИА СПб. Ф. 963, оп. 1, д 11080, л. 4-4об.
[3] Пётр Петрович фон Веймарн / Энциклопедия Урала.рф. URL: enc.ural.ru
[4] Филатов В. В. «Быть по сему: очерки истории Уральского государственного горного университета (1914-2014). (1720-1920)» // Екатеринбург. Изд-во УГГУ, 2014. С. 143.
[5] Сын немецкого ученого В. Ф. Оствальда (1853–1932), лауреата Нобелевской премии по химии 1909 г.
[6] ЦГИА СПб. Ф. 963, оп. 1, д. 11080, л. 24.

В 1914 году.

московского университета. В 1913 г. он награждён орденом Св. Анны III степени.

Ректор Уральского горного института

В 1915 г. из Министерства торговли и промышленности П. П. фон Веймарну поступило предложение возглавить Строительную комиссию Екатеринбургского (позже – Уральского) горного института (ныне – Уральский государственный горный университет) и занять должность и. о. ректора этого института. Такое предложение поступило ему ещё в начале 1915 г., и он сначала отказался, но осенью, после повторного предложения – на этот раз от представителей городского самоуправления Екатеринбурга и Пермского губернского земства[7], согласился.

Проблема была в том, что этот институт, утвержденный императорским указом в 1914 г., существовал на тот момент только на бумаге – нужно было заниматься подбором профессорско-преподавательского состава, зданием, набором студентов и т. д. Взявшись за эту непростую работу, Веймарн в 1917 г. признался, что «Уральский горный институт начал поглощать всю мою энергию»[8]. Несмотря на трудности, связанные в первую очередь с тем, что страна в это время была в состоянии Первой мировой войны, осенью 1917 г. в институте начались занятия.

Уже после начала занятий П. П. фон Веймарн руководил Уральским горным институтом два учебных года – 1917–18 и 1918–19, успев заложить основы функционирования первого на Урале высшего учебного заведения. За заслуги по созданию вуза в 1917 г. городская дума присвоила ему звание почетного гражданина Екатеринбурга.

Ректор Владивостокского государственного политехнического института

В июле 1919 г. Красная армия заняла Екатеринбург, до этого бывший под властью Колчака. Накануне был отдан приказ на эвакуацию Уральского горного института во Владивосток. Приказу подчинились не все, поэтому сложилась парадоксальная ситуация: в 1919 г. независимо друг от друга существовали сразу два Уральских горных института: один в Екатеринбурге, второй – во Владивостоке[9]. УГИ выделили три комнаты в здании Владивостокского коммерческого училища, который вскоре было преобразовано во Владивостокский политехнический институт.

Несмотря на то, что до Владивостока добрались всего 11 преподавателей и 17 студентов (из которых обратно в Екатеринбург потом вернулся лишь один преподаватель – Модест Онисимович Клер), Уральский горный институт какое-то время оставался самостоятельным вузом, и здесь П. П. фон Веймарн в 1920 году даже выпустил журнал «Известия Уральского горного института» (ныне – «Известия Уральского государственного горного университета»), который должен был быть издан еще в Екатеринбурге.

Формально оставаясь ректором УГИ в эвакуации, П. П. фон Веймарн занял в 1919 г. должность проректора Владивостокского политехнического института, а затем, в мае 1920 г., после кончины ректора вуза В. М. Мендира, был избран на должность ректора, которую занимал с мая по ноябрь 1920 г.

В эмиграции

В 1921 г. вместе с коллегой из УГИ Б. П. Пентеговым Веймарн уезжает в научную командировку в Японию[10], где работает в химических лабораториях Токийского императорского университета. Когда стало ясно, что во Владивостоке установится Советская власть, он вновь уезжает в Японию, на этот раз – навсегда[11]. Веймарн с женой поселились в городе Кобе, а работать ему предложили в городе Осака, в Императорском научно-исследовательском промышленном институте (Imperial Industrial Research Institute), где он получил должность профессора-исследователя и руководителя лаборатории коллоидной химии. Здесь совместно с японскими учеными он провел ряд интереснейших исследований по различным проблемам химии коллоидов и опубликовал несколько десятков работ. Одновременно Веймарн преподавал в Императорском университете (Токио), Киотском императорском университете и Университете Тохуку.

В 1931 г., в связи с ухудшением здоровья, Веймарн уходит с преподавательской работы в частную лабораторию в Кобе. В 1935 г. Веймарна пригласили на должность директора Высшего технического центра в Шанхае, открытого весной 1934 г. по инициативе русского инженера В. С. Котенева при содействии французского муниципального совета. Профессор принял это предложение. Одной из причин согласия была надежда найти в Шанхае, где собрались медицинские светила из разных стран, врачей, способных помочь ему вернуть здоровье.

Смерть и захоронение

П. П. фон Веймарн умер в Шанхае 2 июня 1935 г. Тело было перевезено вдовой на кладбище для иностранцев в Кобе.

Личная жизнь

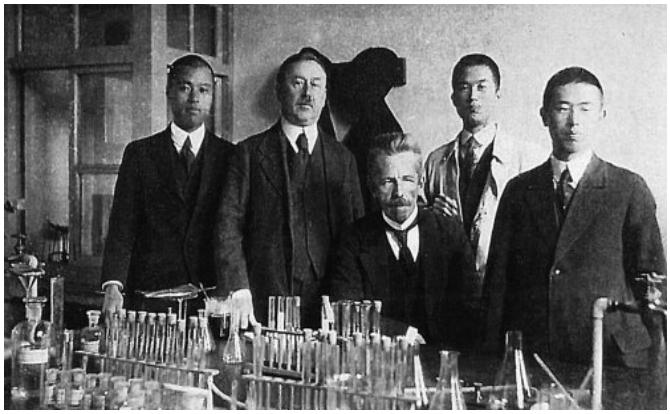
Жена П. П. фон Веймарна – Надежда Николаевна, урожденная Львова, родом тоже из Кронштадта. Поженились они еще в 1903 году и прожили вместе до самой кончины фон Веймарна. Единственный сын – Лев фон Веймарн – умер ребенком в 1911 г., других детей в семье не было.

Надежда Николаевна помогала мужу редактировать научные статьи, а также была переводчиком с немецкого. После кончины Веймарна она уехала из Японии в Америку, однако уже через год вернулась в Кобе и почти 30 лет – до самой своей смерти в 1964 г., ухаживала за могилой мужа. Похоронена рядом с ним.

Научные достижения

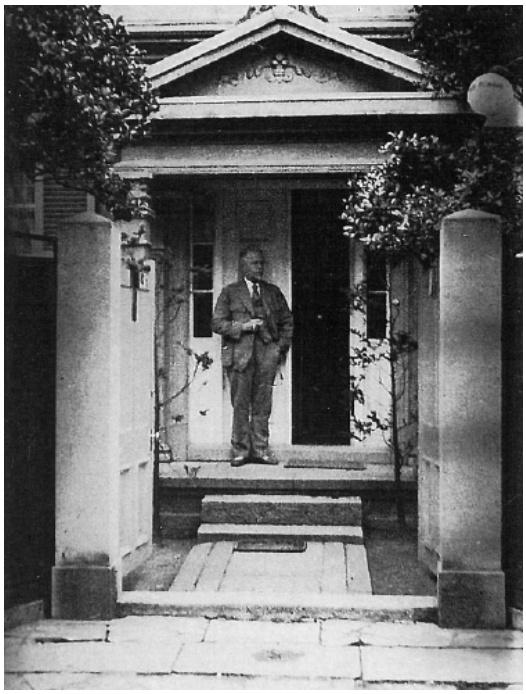
Только в журнале «Kolloid-Zeitsehrift», с которым П. П. фон Веймарн сотрудничал с 1907 по 1934 гг., было опубликовано 211 его статей и заметок[12]. Там же в 1935 г. вышел его некролог, подписанный В. Оствальдом.

Ещё в 1905 г., будучи студентом, он установил первое фундаментальное положение в коллоидной химии: коллоидное состояние есть об-



П. П. фон Веймарн и С. Ф. Злоказов с аспирантами Киотского университета.

[7] В. В. Филатов «Быть по сему: очерки истории Уральского государственного горного университета (1914-2014). (1720-1920)» // Екатеринбург. Изд-во УГГУ, 2014. С. 117.
[8] П. П. фон Веймарн. Новый мир химических соединений // Изв. Урал. горн. ин-та. 1920. Отд. III. С. 35.
[9] Шорин А. Г. История журнала «Известия уральского государственного горного университета» // Изв. УГГУ. № 1(41). 2016. С. 153.
[10] Хисамутдинова Н. В. Химик Петр Петрович фон Веймарн в России и Японии // Вестник ДВО РАН. № 5. 2011. С. 139.
[11] В некрологе В. Оствальда (журнал «Kolloid-Zeitsehrift», 1936) датой отъезда назван апрель 1921 г.
[12] Филатов В. В. «Быть по сему: очерки истории Уральского государственного горного университета (1914-2014). (1720-1920)» // Екатеринбург. Изд-во УГГУ, 2014. С. 326.



П. П. фон Веймарн на пороге своего дома в городе Кобе.

щее свойство вещества, а в 1907 г. – второе: кристаллическое состояние есть единственное внутреннее состояние вещества; установил главные факторы, влияющие на образование вещества в коллоидном и кристаллическом состоянии[13].

Его диссертация (1908 г.) посвящена «влиянию концентрации реагирующих растворов на вид и строение осадков»[14].

В статье о П. П. фон Веймарне в англоязычной версии Википедии[15] приведен закон фон Веймарна, сформулированный им в 1906 г.:

«Золи можно выделить из очень разбавленных или очень концентрированных растворов, но не из растворов средней концентрации. При этом показатель относительного пересыщения определяется формулой: $S = (Q - L) / L$, где Q – количество растворенного вещества, L – растворимость данного вещества».

Веймарн считал термин «коллоид» неточным и предлагал заменить его на «дисперoид» и называть новую науку «дисперсоидологией». Об этой науке он писал: «Молодая наука – дисперсоидология – позволяет осветить с новых точек зрения такое множество разнообразнейших областей естествознания, что поистине испытываешь величайшую трагедию несоответствия сил и времени у единичного исследователя с многочисленностью проблем, которые дисперсоидология дает возможность разрешить с исчерпывающей полнотой. И приходится сожалеть, что у исследователя только две руки для экспериментирования, что сутки имеют только 24 часа, и жизнь коротка»[16].

Главные научные труды

П. П. фонъ-Веймарнъ. Основы десперсоидологической теоріи истинных растворовъ. Петроградъ 1913 г.

П. П. фон Веймарн. Новый мир химических соединений // Изв. Урал. горн. ин-та. 1920. Отд. III. С. 35.

“Zur Lehre von den Zustanden der Materie” (1907–09);

“Uebersattigung und Unterkuhlung als grnndlegende Ursachen des dispersen Zustandes der Materie” (1910);

“Die Theorie der Herstellung und der Stabilitat kolloider Losungen” (1910–12);

“Ueber kolloides Eis” (1910);

“Beitrage zur Kenntniss der Natur der dispersen Systeme” (1911);

“Grundzuge der Dispersoidchemie” (Дрезден, 1911) и ряд статей, печатаемых с 1912 г. под общим заглавием: “Dispersoidchemische Mitteilungen aus dem laboratorium fur physikalische Chemie des Berginstitutes”.

Новаторство

На посту ректора УГИ Веймарн заявил о себе как о талантливом педагоге-новаторе, авторе оригинальной системы обучения. Он критически относился к сложившейся системе образования и задался целью разработать более эффективную. К этой задаче он подошел с естественнонаучных позиций, отталкиваясь от идеи о наличии у человека особого вида энергии – психической, за счет которой осуществляются процессы познания и творческая деятельность. Основные принципы рациональной организации образования он сформулировал еще в 1915 г. в своем выступлении перед постоянной комиссией по техническому образованию Русского технического общества[17].

Предложения Веймарна в отношении организации учебного процесса стали настолько новаторскими, что трудно было ожидать от других профессоров безоговорочной поддержки, но ректор пользовался непререкаемым авторитетом, и почти все его рекомендации принимались Советом института единогласно. В частности, Веймарн считал нецелесообразным читать в один день несколько лекций по разным предметам, так как в сознании студентов остаётся мозаика разнообразных сведений, что не способствует логике мышления и ведёт к переутомлению. В УГИ число ежедневных лекций было уменьшено до трёх, причем чаще всего две лекции посвящались одному предмету.

Штатное расписание УГИ составлялось иначе, чем в других вузах: главным фактором при назначении на должность и оценке деятельности преподавателей являлось качество научной работы, а не педагогический стаж. Ректор и Совет УГИ обладали широкими правами и полномочиями. При автономии вуза они были свободны в принятии решений, которые шли на благо института и его студентов.

Возглавив владивостокский вуз, получивший в апреле 1920 г. статус государственного, Веймарн попытался перенести сюда свои принципы организации учебной и научной работы. Устав Владивостокского государственного политехнического института, разработка которого велась под его председательством, оказался тождественным уставу УГИ и был принят большинством Совета института (опубликован 22 апреля 1920 г. в «Вестнике Временного правительства Дальнего Востока – Приморской земской управы»). Право формировать учебные планы, вводить дополнительные курсы, организовывать и переименовывать кафедры устав предоставлял самим факультетам с последующим утверждением Советом института. В уставе описывались структура вуза и требования, предъявляемые к кандидатам на должности профессоров и доцентов, что свидетельствовало о стремлении создать крупное и хорошо организованное учебное заведение.

Могила П. П. фон Веймарна в Японии.

[13] Пётр Петрович фон Веймарн / Энциклопедия Урала.рф. URL: enc.ural.ru
[14] Петр Петрович фон Веймарн / История развития коллоидной химии. URL: https://sites.google.com/site/kolloidnaahimia/vozniknovenie-kolloidnoj-himii-kak-nauki-pocemu-oni-ee-tak-nazvali/petr-petrovic-fon-vejmarn
[15] Peter P. von Weymarn / Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Peter_P._von_Weymarn
[16] П. П. фон Веймарн. Новый мир химических соединений // Изв. Урал. горн. ин-та. 1920. Отд. III. С. 42.
[17] Хисамутдинова Н. В. Химик Петр Петрович фон Веймарн в России и Японии // Вестник ДВО РАН. № 5. 2011. С. 136–137.

П. П. фон Веймарн.

Не менее новаторским было и отношение Веймарна к изданию научного журнала «Известия Уральского горного института». В статье «Об издании научных журналов в России»[18] он сумел во многом предугадать современное развитие научных журналов, а свой журнал постарался создать соответствующим особым требованиям: например, он издавался на трёх языках: русском, немецком и английском, что было огромной редкостью для русских журналов того времени[19].

П. П. фон Веймарн в своем кабинете.

Шорин А. Г., штатный редактор
sandy_blood@mail.ru

Признание заслуг

При жизни П. П. фон Веймарна о его заслугах упоминали во многих дореволюционных изданиях (например, П. И. Вальден в «Очерке истории химии в России» – предисловие к русскому изданию книги проф. А. Ладенбурга «Лекции по истории развития химии от Лавуазье до нашего времени).

В СССР его имя тоже упоминалось, хотя и не часто. Ученый-химик, академик А. Н. Думанский называл его «ярым проводником учения о дисперсоидологии у нас». Его вклад называл «существенным» И. И. Жуков в монографии «Коллоидная химия» (1949), в 1959 г. о нём писал Ю. И. Соловьев в книге «Учения о растворах», в 1967 г. – академик П. А. Рабиндер в книге «Развитие физической химии в СССР»[20].

Некоторые современные источники называют П. П. Веймарна «одним из основоположников коллоидной химии»[21].

С 90-х гг. XX века начало упоминаться имя П. П. фон Веймарна как первого ректора Уральского горного института в Екатеринбурге. Сейчас на сайте института ему посвящена большая статья – как ученому и первому ректору[22].

Память

Ф. Корну назвал в его честь один из первых коллоидных минералов – веймарнит[23].

Интересные факты

Веймарн считал, что пик творческой энергии человека приходится чаще всего на 20–28 лет, поэтому заканчивать обучение, включая и высшую школу, следует в 19–20 лет, после чего наступает время творчества. Мешают творческой активности и слишком обширные познания, поэтому рациональная система образования должна предусматривать

Наше время.

«мудрый предел знаний»[24].

В мае 2015 г. мэр Екатеринбурга Евгений Ройзман, побывав в Японии в гостях у русской общины в Кобе, разыскал могилу П. П. фон Веймарна, чтобы возложить на неё цветы[25].

[18] Изв. Урал. горн. ин-та. 1920. Стр. XVII–XX.
[19] Предисловие к статье П. П. фон Веймарна «Новый мир химических соединений» // Изв. УГГУ. № 1(41). 2016. С. 7.
[20] Филатов В. В. «Быть по сему: очерки истории Уральского государственного горного университета (1914–2014). (1720–1920)» // Екатеринбург. Изд-во УГГУ, 2014. С. 152–168.
[21] Пётр Петрович фон Веймарн / Энциклопедия Урала.рф. URL: enc.ural.ru
[22] П. П. фон Веймарн / Уральский государственный горный университет. URL: http://pressa.ursmu.ru/2297.html
[23] Пётр Петрович фон Веймарн / Энциклопедия Урала.рф. URL: enc.ural.ru
[24] Изв. Урал. горн. ин-та. 1920. Отд. 1. С. 1–35.
[25] П. П. фон Веймарн / Уральский государственный горный университет. URL: http://pressa.ursmu.ru/2297.html

Очерки по энергетике культуры

П. П. фон Веймарн

От редакции

Первый номер («первый том») журнала «Известия Уральского горного института», вышедший под редакцией П. П. фон Веймарна, готовившийся в Екатеринбурге с 1917 г., и выпущенный лишь в марте 1920 года во Владивостоке, был в издательском смысле очень необычным. Он издавался в двух вариантах: в первом варианте – все разделы, с I по IV, тиражом 1000 экз.; во втором – лишь III и IV разделы – тиражом 500 экз. Веймарн объяснил в предисловии, что именно III и IV разделы «особенно будут интересны студентам». По иронии судьбы лишь «студенческий» вариант этого номера сохранился до нашего времени: экземпляры таких журналов, хотя и стали библиографической редкостью, но всё же сохранились в библиотеках Владивостока (где издавался журнал) и Екатеринбурга (куда, скорее всего, привез его М. О. Клер – единственный из профессоров Уральского горного, который, уехав в эвакуацию во Владивосток, вернулся обратно в Екатеринбург). Таким образом и исследователи, и редакция нашего журнала располагают лишь его урезанным вариантом.

Однако исследователю творчества П. П. фон Веймарна из Владивостока Н. В. Хисамутдиновой[1], удалось обнаружить в библиотеке Общества изучения Амурского края фрагмент I части журнала – статью П. П. фон Веймарна «Очерки по энергетике культуры». Мы не смогли пройти мимо этой уникальной находки и с удовольствием вновь публикуем эту статью.

Немного о самих «Очерках». Как пишет автор в предисловии, идеи, изложенные в них, он впервые обнародовал ещё в 1914 г., однако из изложенного материала видно, что эти идеи развивались и дополнялись в тот период, когда он был ректором Уральского горного института, и вплоть до этой публикации. Менялась и концепция нумерации. Так, например, первый очерк (который имеется и здесь) вышел также в мае 1919 г. в первом номере студенческого журнала Уральского горного института «Молодая Русь», причём во втором номере был обещан очерк, «посвященный подробному изложению нормальной конструкции рационально поставленной школы», однако для журнала «Известия Уральского горного института» Веймарн предпочел отложить эту публикацию, поставив вторым приведённый здесь очерк о развитии естествознания.

Также из предисловия ясно, что очерков было написано как минимум шесть, однако публикация так и остановилась на втором, т.к. это был единственный номер, который удалось выпустить Веймарну. Были ли когда-то опубликованы остальные очерки? Нам об этом пока ничего не известно. Можно лишь с очень большой долей уверенности предположить, что в России они точно не публиковались, т. к. уже в 1921 г. Веймарн эмигрировал в Японию и не возвращался на родину уже до самой смерти в 1935 г..

Предисловие П. П. фон Веймарна (1919 год)

Настоящие очерки должны были появиться в печати несколько лет тому назад под другим заглавием, но ряд причин помешали этому и был опубликован только один из них[2].

Первый очерк посвящен изложению элементов энергетики и вопросу о рациональной постановке образования, не касаясь однако нормальной конструкции школы и ученых учреждений[3].

Второй очерк рассматривает развитие естествознания как показатель культуры народов и третий доказывает, что прогресс естественных наук является требованием самосохранения народов и человечества.

Именно результат, к которому я пришел, рассматривая значение творческой психической энергии в эволюции живых существ, и послужил главным стимулом для составления очерков по энергетике культуры.

Естествоиспытатель, который пришел к выводу об определенной направленности важной области явлений, получает тем самым толчок к дальнейшему исследованию этой области.

Этим исследованием определяется содержание двух следующих очерков, четвертого и пятого.

Если развитие естествознания и связанное с ним поднятие культуры есть неуклонное требование самосохранения человечества (см. третий очерк[4]), то, само собою, совершенно нет оснований опасаться, что это требование не будет исполнено.

Оно исполнено будет, но для существующих народов и индивидуумов, конечно, совершенно не безразлична их индивидуальная судьба в этом движении вперед.

Точно так же и всему человечеству не может быть безразличен темп и путь этого развития.

Только с этих точек зрения и имело смысл написать очерки по энергетике культуры.

Может ли человек, народ и человечество нарушить законы природы?

Нет, ибо **можно только направлять процессы природы в пользу или во вред себе.**

Безумец, который забыл о существовании энергии тяготения и бросился со стосаженной высоты, надеясь сделать безобидный прыжок, не нарушает закона тяготения и гибель его есть натуральное следствие законов природы.

Народ, который думает сделать подобные же безумные прыжки в своей эволюции, вопреки ее законам, гибнет также, и эта гибель является естетвеннейшим результатом законов природы.

Законы «энергетической социологии» или «культурологии»[5] совершенно того же характера, как и во всем естествознании, ибо культурология есть, наравне с физиологией и психологией, только часть естествознания и относится к группе биологических наук.

Политическая жизнь народа не может протекать нормально без знания основных законов энергетической социологии, потому что выбирать интуитивно направления становится все труднее и опаснее при поднятии общей культуры человечества.

«Глас народа», это необходимо запомнить, **есть только глас его степени культуры,** и результат всеобщего голосования у людоедов по вопросу об участи пленника несомненно даст подавляющее число голосов за приготовление из этого пленника жаркого.

«Глас народа-людоеда», если хотите, будет **«гласом Бога», но жестокого дикого людоедского бога,** ибо представление о божеских качествах эволюционирует с развитием народов.

Я нарочно привел особо выпуклый пример в предисловии, в очерке же четвертом будет показано, что устойчивость формы жизни народов, построенной по принципу «Глас народа – глас Божий», находится в прямой зависимости от степени его культуры[6]; высшие же степени культуры совершенно немыслимы без всеобщего рационального образования нации.

Пятый очерк трактует об основных законах мертвой и живой природы.

Как известно, мертвая природа подчинена двум законам-постулатам энергетики.

Эти законы постулируются тем, что вся психическая творческая энергия, направленная представителями человечества на создание perpetuum mobile первого и второго рода, не дала положительного результата.

---

[1] Хисамутдинова Наталья Владимировна – кандидат исторических наук, доцент (Владивостокский государственный университет экономики и сервиса).

[2] П. П. ф. Веймарн. Этюды по энергетике восприятия и творчества: I. О рациональной постановке физико-химического образования в целях поднятия научной и технической продуктивности страны. Петроград. 1915 г. Книгоиздательство «Естествоиспытатель».

[3] О выяснении этой конструкции трактует шестой очерк по энергетике культуры.

[4] Поскольку номер журнала «Известия Уральского горного института», изданный Веймарном, так и остался единственным, то опубликованы были (по крайней мере, в России) только два первых очерка *(прим. ред.)*.

[5] Оба термина даны Вильгельмом Оствальдом.

[6] Легко понять, что при низкой степени культуры народа, попытки навязать ему несоответствующие его культуре формы государственной жизни могут только принести вред и даже гибель народа.

Второй постулат энергетики говорит о том, что наблюдаемые нами процессы ведут к диссипации или рассеянию энергии.

На основании этого как ученые, так и романисты, обобщая, совершенно незаконно, этот вывод на всю Вселенную, рисовали мрачную картину гибели Вселенной, её «тепловую смерть».

В моем докладе[7] Русскому химическому обществу 4 декабря 1914 года я прибавил к указанным выше постулатам третий: **«немыслимо в определенном объеме пространства сосредоточить ту или иную энергию выше определенного предела. При введении избытка, последний превратится в другие виды энергии».**

Этот постулат, значение которого ещё до настоящего времени недостаточно понято моими современниками, должен разъяснять мрачные предсказания о судьбе Вселенной.

Жизнь мертвой природы регулируется сменой экспансивных и контрактивных процессов, причем, как совершенно правильно говорит второй постулат, направление процессов таково, что свободная энергия стремится **«рассеяться»**, оставляя **«неудобные для использования»** контрактивные виды энергии.

Тот комплекс или агрегат энергий, которые мы привыкли называть «материей», при достаточно долгой жизни мертвой природы, обогащается все более и более контрактивной векториальной энергией и если бы действительно наступила «тепловая смерть», то весь мир застыл бы в агрегаты различных по величине кристаллов разнообразных веществ, отдельные мельчайшие части которых были бы скованы **«максимально-мощными»** векториальными силами.

Однако, третий постулат говорит, что при таких больших концентрациях контрактивных энергий надо ждать самопроизвольных экспансивных процессов, которые спасут Вселенную от предрекаемой вторым постулатом гибели.

Факт, что **«удобные для утилизации»** виды энергии истощаются, служит могучим стимулом эволюции живых организмов до существ обладающих уже способностью к усовершенствованию, к творчеству, каковым существом является и современный человек.

Прогресс культуры человечества также обусловлен этим постоянным истощением запасов **«удобных»** видов энергии, и если, на известной стадии этого прогресса, человечеству удастся найти ключи, чтобы отпереть указанные выше сундуки с **«контрактивной»** энергией, **«материю»**, то этим будет достигнут необычайный подъем культуры[8]. Чем **«беднее»** становится природа **«удобными для утилизации»** видами энергии, тем «богаче» должно быть человечество своими естественно-научными познаниями.

Таким образом, как в мертвой природе, так и в живой совершенно ясно выступает **«направленность»** или своего рода **«векториальность»** процессов.

Некоторые (пожалуй большинство) из ученых считают правильным видеть в этой **«направленности»** игру **«бессознательных»**, **«слепых»** сил природы.

Эти же **«слепые»** силы по их мнению вызывали и вызывают эволюцию живых существ.

Я не разделяю их мнения:

Если я вижу в сельскохозяйственном музее собрание орудий для обработки земли, напр., от вывороченного острого пня и до современного плуга, то мне совершенно ясна вся **«эволюция»** этих орудий, влияние среды (напр., твердости почвы) на их устройство и проч.; и эта «эволюция» доступна изучению «мыслящего» существа, даже не знавшего о существовании человека.

Но если мне ясна эта «эволюция», то столько же ясно, что **«направленность»** этой эволюции обусловлена **«сознанием»** людей.

Паровые, электрические и проч. двигатели и приборы я не могу мыслить как творение одних **«слепых»** сил природы и всегда вижу, помимо них, направляющее **«сознание»** человека.

За живыми «машинами», за живыми организмами я точно так же не могу видеть только игру «слепых» сил природы, я должен по аналогии заключить, что «направленность» их эволюции, как и «направленность» всего мира, обусловлена «Сознанием», неизмеримо более мощным, чем «сознание» человека и я вновь хочу повторить, что высказал уже в 1907 г[9].

«Во вселенной всюду господствует Порядок и нет нигде места аморфному Хаосу».

Если бы этого не было, то естествоиспытатель должен бросить свою работу, ибо хаоса изучить нельзя.

Процессы мертвой и живой природы, которые послужили для создания понятия **«хаоса»**, при более глубоком анализе их, всегда оказываются относительно хаотичными, да и эта **«относительная»** хаотичность вызывается невозможностью, в силу ограниченности нашего мыслительного аппарата, улавливать индивидуальный закономерности в массовых явлениях (особенно если субъекты или объекты этих явлений весьма многочисленны или очень малы по отношению к нашему обычному масштабу) и заставляет применять к ним **«статистические»** методы теории вероятности.

Мы поражаемся строгими астрономическими законами нашего мира, но что останется от этих законов для **«мыслящего»** великана[10], по отношению к которому отдельные планеты и звезды представляют столь же малые величины, как молекулы и атомы газов для нас, и который воспринимает тысячелетия как мы – секунды; ясно, что для такого великана наш астрономический мир представлялся бы относительно хаотичным, с постоянными катастрофами.

Существование таких ложно-хаотичных процессов совершенно не противоречит Порядку Вселенной и лишь указывает на важность масштаба времени и пространства для восприятия явлений природы.

Жизнь мертвой природы, как выше было сказано, регулируется сменой экспансивных и контрактивных процессов, причем чередование этих процессов имеет определенную **«направленность»**, весьма важную для эволюции живых существ и прогресса человечества.

Жизнь живой природы есть смена **креативных** (творческих) и **деструктивных**[11] (разрушительных) процессов, с определенным направлением в сторону креативных.

Чем внимательнее присматриваться к деструктивным процессам, тем яснее становится, что эти процессы возникают там, где создаются препятствия достаточно равномерному распространению и достаточно интенсивному течению креативных процессов.

Устраняя эти препятствия, деструктивные процессы легко идут дальше, особенно при большой разности уровней культуры и материальной обеспеченности различных классов данного народа, ибо падение на низшие значения интенсивностей происходит само собою и неудержимо, если не возникнут противоположные креативные процессы.

Такие процессы рано или поздно возникают неизбежно в силу указанной выше **«направленности»** в жизни человечества.

Если деструктивные процессы пойдут слишком далеко, то может случиться, что человечеству придется начинать свои креативные процессы при меньшей емкости и с низшей интенсивностью суммарной творческой психической энергии, чем это было до наступления далеко зашедших деструктивных процессов.

Часто думают, что как индивидуумы, так и народы могут изменить Порядок Вселенной, изменить общую **«направленность»**.

Такие идеи зарождаются на почве непонимания мирового масштаба времени и пространства и отсутствия ясного представления о том, что «законы» природы не аналогичны законам юридическим.

Если установлено что огонь жжет, то он обожжёт голую руку всякого, кто бы он ни был.

Если энергетическая социология учит, что, идя в определенном направлении народ гибнет, то он действительно погибнет.

Но страдания и гибель народов, не говоря уже об индивидуумах, не могут изменить основного закона для всего человечества, требующего, чтобы оно, преодолевая все препятствия, шло вперед и вперед.

---

[7] См. Журнал этого общества за 1914 г. стр. 1905–1952 и отдельную брошюру: Контрактивная и экспансивная энергии объема и поверхности, физико-химические свойства и тепловое состояние веществ.

[8] Надо ждать, что когда человечество научится с легкостью пользоваться этими громадными запасами энергии, тогда наступит быстрый подъем истинной, а не показной, нравственной культуры. Развитие нравственной культуры человечества несомненно тормозилось, тормозится и будет тормозиться борьбой индивидуумов и народов за существование.
Острота этой борьбы до сих пор недостаточно смягчалась успехами естествознания.
Нужны еще чрезвычайно крупные успехи в нахождении способов легчайшей утилизации энергии, необходимой для «материальной» жизни людей.
С уменьшением значения этих «материальных» факторов в жизни людей только и можно ожидать действительной нравственной культуры человечества.
Я не сомневаюсь, что необходимое для этого развитие естествознания будет достигнуто в процессе эволюции человечества.

[9] П. П. ф. Веймарн. Журн. Русского Хим. О-ва за 1907 г. стр. 1645 и за 1908 г. стр. 63.

[10] Настоящий пример взят мною из моей вступительной лекции в Петроградском горном институте, прочитанной в 1908 г.

[11] Эти термины я считаю удобным ввести для наименования процессов, совершающихся в живой природе.

ОЧЕРК ПЕРВЫЙ[12]

О рациональной постановке образования в целях поднятия творческой энергии страны[13]

Введение

В эпоху древности греческим философом Платоном была положена резкая грань между явлениями духовного мира и мира физического.

Это априорное философское подразделение явлений на два обособленных друг от друга мира долгое время давило и связывало свободу человеческой мысли в области духовных явлений и процессов.

Только в последнее время, благодаря блестящему развитию энергетики, энергетическое мировоззрение стало вытеснять материалистическое и появились попытки смелых мыслителей-естествоиспытателей приложить энергетические законы к психической деятельности человека.

Вильгельму Оствальду[14], нашему выдающемуся современнику, философу-натуралисту, несомненно принадлежит первое место, место пионера в этой области.

«*Правда*», писал Оствальд в 1908 г.[15], «*здесь почти всё ещё дело будущего, ибо развиваемое воззрение едва лишь начало влиять на научную работу в этой области. Но после того, что оно уже сделало, есть надежда на скорое дальнейшее развитие в этом направлении*».

В моем докладе 18 апреля 1915 г. Русскому техническому обществу[16] я пытался приложить энергетические принципы к проблеме рациональной постановки образования.

Так как этот доклад встретил сочувствие, как в среде моих коллег, так и в среде учащейся молодежи, которой приходится на себе испытывать всю тяжесть нерациональной постановки образования, то я считаю целесообразным вновь остановиться, но несколько подробнее, на вопросе о рациональной постановке образования.

Отправным пунктом моего настоящего исследования будет положение, с полной определенностью высказанное А. Оствальдом[17], что всей совокупностью психических процессов и явлений управляет отдельный вид энергии, – **энергия психическая**.

Вы ведь сами привыкли употреблять, рассматривая психическую деятельность того или другого человека, такие термины: **«энергичный человек»**, **«человек работоспособный»**, **обладающий большим запасом энергии»** и т. п.

Вы все знаете по личному опыту, что от умственной работы можно устать не меньше, чем от работы физической.

Если же вы вспомните, что энергией в естествознании называется все то, что может получиться из работы и превращено в работу, то вам не покажется странным, что умственной деятельностью, умственной работой управляет отдельный вид (или точнее виды) энергии, которая выше названа энергией психической.

Чтобы дальнейшее мое изложение было вам понятно, мне необходимо напомнить основные данные энергетики.

I. Понятие о видах энергии вообще. Некоторые виды энергии. Измерение энергии. Емкость и интенсивность. Два основных закона энергетики.

Я только что привел одно из самых общих определений энергии: **«энергия есть работа и все, что может быть получено из работы и опять превращено в работу».**

Вспомните обыкновенный маятник, при качании которого происходит попеременно потребление работы и возникновение энергии движения и наоборот.

Кроме механической работы и энергии движения в физической природе еще известен целый ряд других видов энергии, например: объемная энергия, поверхностная энергия, тепловая, электрическая и т. д.

Есть полное основание полагать, как это и высказывал В. Оствальд, что существуют еще виды энергии, которые пока не удалось открыть.

Но, как ни разнообразны виды энергии, они подчиняются некоторым общим законам.

Прежде всего надо отметить, что в измерении каждого вида энергии можно увидеть **два**, существенно различных, фактора, произведением которых и измеряется данный вид энергии[18].

Если мы, например, возьмем один из простейших видов энергии, экспансивную объемную энергию газа, то произведение, её измеряющее, будет состоять из двух множителей: давления на объем.

Один из множителей, входящий в произведение измеряющее энергию, представляет величину а математическом смысле слова, **другой же нет**.

Первый из множителей называется **фактором емкости** данного вида энергии и как математическая величина подчиняется закону слагаемости при какой угодно перестановке слагаемых (аудитивный и коммутативный законы), второй же множитель – **фактор интенсивности** – не является величиной математической, т. к. закон слагаемости к нему не приложим.

Например, если мы приведем в соприкосновение два разных объема газа под равным давлением, например, в 10 атмосфер, и уберем перегородку, их разделяющую, то получим двойной объем (факторы емкости сложились), но не под двойным давлением (интенсивности не складываются), а под тем же давлением, как и прежде.

Если бы интенсивности были не равны, то мы получили бы некоторое среднее давление, а не давление, равное сумме.

Такой же характер фактора интенсивности имеет и температура.

Факторы емкости подчиняются закону сохранения, который гласит, что **в данной системе, при всех возможных изменениях, сумма величин емкости остается постоянной**[19].

Например, в случае объемной энергии это настолько очевидно, что даже не формулировался специально **закон сохранения объемов**.

Действительно, если мы уменьшаем объем одного тела (или тел) системы, то объем другого тела (или тел) соответственно увеличивается.

Для других видов энергии открытие закона сохранения емкостей вовсе не было просто, и такие открытия, как вам хорошо известно, представляли важнейшие научные открытия.

Все виды энергии подчиняются двум основным законам энергетики, к рассмотрению которых мы и перейдем.

Первый из них установлен в 1842 году германским ученым, врачом Юлиусом Робертом Майером, второй открыт лет на двадцать раньше первого французским инженером Сади Карно.

Хотя открытия этих законов составили эпоху для всего естествознания и повели к необычайному прогрессу и углублению науки, истины, в них заложенные, как это и бывает с великими истинами, необычайно просты.

Король Лир в трагедии Шекспира в ответ Корделии сказал: «Из ничего не выйдет ничего».

Первый закон энергетики говорит, что нельзя создать никакого вида энергии из ничего, т. е., иначе говоря, если значение энергии увеличивается, то совершается или за счет работы или превращения какого-либо другого вида энергии.

Второй закон энергетики точно так же заключает весьма простую истину.

«Эх, как бы Волга-матушка да вспять побежала, эх, как бы добру молодцу начать жизнь сначала», говорит народная песня, переработанная Ал. Толстым и выражающая полнейшую безнадежность осуществления подобных явлений.

Второй закон энергетики и утверждает, что вода не потечет **сама собою** с низшего уровня на высший и вообще не произойдет никакого энергетического процесса, если нет различия в интенсивностях у приведенных во взаимоотношение резервуаров энергии, если же есть различие интенсивностей, то процесс **направляется** в сторону резервуара с низшей интенсивностью.

---

[12] Помимо указанной автором первой публикации этого очерка (П. П. фон Веймарн. Этюды по энергетике восприятия и творчества: I. О рациональной постановке физико-химического образования в целях поднятия научной и технической продуктивности страны. Петроград. 1915 г. Книгоиздательство «Естествоиспытатель»), он также публиковался в журнале Уральского горного института «Молодая Русь», № 1, май 1919 года. Екатеринбург, типография т-ва «Уральский Край». При публикации сразу была анонсирована вторая статья «выясняющая связь между креативной энергией страны и другими факторами её жизни и излагающая нормальную конструкцию рационально поставленной школы и проч.», которая должна была быть опубликована во втором номере этого журнала. Однако из-за эвакуации института во Владивосток (Екатеринбург был занят частями Красной армии в июле 1919 года), второй номер этого журнала так никогда и не вышел в свет *(прим. ред.)*.

[13] В основу этой статьи положены: мой доклад, сделанный 18 апреля 1915 г. общему собранию Постоянной комиссии по техническому образованию Русского технического общества в Петрограде и моя ректорская речь, произнесенная на торжественном публичном заседании Совета и Строительной комиссии Уральского горного института 9-го октября 1917 г.. в день открытия института.

[14] См. его сочинение «Великие люди» пер. Г. Кваша. Петроград, 1910 г.

[15] «Очерк натур-философии» пер. Г. А. Котлярова. Петроград, 1909 г., стр. 163.

[16] П. П. фон Веймарн. Этюды по энергетике восприятия и творчества. I. О рациональной постановке физико-химического образования в целях поднятия научной и технической продуктивности страны. Петроград. 1915.

[17] См., например, В. Оствальд «Очерки натурфилософии» стр. 162 и «Великие люди» стр. 298. «Лекции по натур-философии» стр. 377. Лейпциг, 1905. Первое издание этой книги вышло на немецком языке в 1902 г.

[18] Подробнее см. напр. В Оствальд «Основы физической химии» перевод под моей редакцией. Петроград 1911. Стр. 323 и следующие.

[19] Этот закон не абсолютен (см. В. Оствальд «Основы физической химии», стр. 328).

II. Аккумулятивные и креативные виды психической энергии. Кривая работоспособности. Первый вывод для рациональной постановки образования. Взаимоотношение между аккумулятивными и креативными видами энергии. Второй вывод для рациональной постановки образования. Созидатели и ремесленники.

Первый закон энергетики может быть выражен следующим равенством, если под буквой А будем разуметь сумму «сырых (или превращаемых) видов» энергии, под буквой В – сумму «полезных видов» и под буквой С – сумму «побочных видов» энергии, которые представляются в данных процессах нам бесполезными (напр. тепловая энергия в трущихся частях машин и т. п.):

$$A = B + C, \qquad (I)$$

т. е. в изолированной системе для всех превращений всевозможных видов энергии имеет место выражение I.

Классификация на «сырые» (превращаемые), «полезные» и «побочные» виды энергии зависят исключительно от того, что мы хотим получить от энергетического процесса, т. е. какой вид энергии нам нужен.

Поэтому один и тот же вид энергии может быть, смотря по процессу, и «сырым» (превращаемым), и «полезным», и «побочным».

Второй закон энергетики удобнее всего выразить в форме **коэффициента продуктивности процесса**.

Ввиду того, что согласно этому закону никакой вид **покоящейся** энергии не может самопроизвольно переходить в работоспособное состояние, то коэффициент продуктивности процесса должен быть определенным.

Невозможно, например, заставить теплоту без побочных энергетических изменений подняться самопроизвольно до высшего значения интенсивности (температуры).

Поэтому никогда невозможно весь «сырой» (превращаемый) вид энергии превратить нацело в полезный, почему

$$\text{Коэффициент продуктивности} = B / A \qquad (II)$$

всегда меньше единицы.

При анализе психической деятельности, полезные виды энергии нам выгодно разбить на две группы:

$$B = E + K,$$

причем буквой Е обозначу сумму **аккумулятивных** видов психической энергии, а буквой К – сумму **креативных** (творческих) видов той же энергии[20]; тогда первое равенство запишется так:

$$A = (K + E) + C. \qquad (I')$$

Этих равенств и уже собранных экспериментальных данных из психической деятельности различных представителей науки и техники и наблюдений над процессами восприятия и творчества уже достаточно для того, чтобы ответить на основные вопросы рациональной постановки образования.

Совершенно естественно требовать, чтобы большая часть **аккумулятивных** психических процессов в жизни человека падала на период его пребывания в школе (низшей, средней и высшей), в то время как процессы **креативные** совершались, главным образом, в его деятельности по окончании образования.

Из биографий различных ученых и техников достаточно точно устанавливается вид нормальной кривой работоспособности (кривой творчества) в зависимости от возраста.

Если по оси абсцисс отложить возраст, а по оси ординат значения креативной энергии, измеряемой продуктивностью умственной работы, то получим линию, общее очертание которой приближается к кривой с довольно пологим максимумом, от которого опускаются две ветви к возрастам раннего младенчества и глубокой старости, где эти ветви становятся почти соприкасающимися с осью абсцисс.

Истинная форма кривой более сложна, но я на ней здесь остановиться не могу.

Максимум креативной энергии находится в большинстве случаев между 20 и 35 годами, причем чаще всего этот максимум лежит недалеко от 25-летнего возраста и очень часто вблизи 28 лет.

За максимальной точкой кривая медленно опускается, причем за 50-летним возрастом уклон становится значительным.

Из этих данных непосредственно следует, что среднее и высшее образование в совокупности не должно превосходить 10 лет и **было бы рациональным посвящать максимум 6 лет на среднюю школу и 4 на высшую, т. е. кончать образование к 19–20 годам.**

Это первый вывод.

Второй, очень важный, **вывод** получится, если мы постараемся выяснить связь между аккумулятивными и креативными видами **энергии**.

Прежде всего я хочу обратить внимание, что аккумулятивные виды энергии, аккумулирование знаний важно независимо от **истинно** творческих процессов, почему аккумулятивные виды энергии и отнесены мною к «полезным» видам психической энергии.

Поясню это примером.

Представим себе человека **средних** знаний и с **малыми творческими** способностями в **высококультурной** стране; в своей стране такой человек не может много сделать в смысле **значительного** и **быстрого** поднятия культуры на ещё высшую степень **интенсивности,** ибо согласно второму закону энергетики он может быть полезен только тем представителям своего народа, **интенсивность психической энергии которых меньше значения интенсивности его личной психической энергии.**

Но представьте того же человека, переселенного в **малокультурную** страну, **средняя** интенсивность психической энергии которой значительно меньше значения интенсивности индивидуальной психической энергии этого человека.

Подобно тому, как водоем, лежаний в равнине, может произвести значительное количество работы, если около него образуется глубокий провал, так и рассматриваемый нами человек может поднять **значительно** и **быстро** культуру народа, стоящего на низшем культурном **уровне.**

На этом примере мы ясно видим, что энергетическое учение о **«свободной энергии»** имеет такое же значение для психической энергии, как и для всякой другой.

Однако было бы совершенно неправильным заключение, что чем больше аккумулировано знаний, тем больше и креативная энергия.

Психическая энергия, как отдельный вид энергии, кроме подчинения двум общим для всех видов энергии законам, имеет и свои специфические законы.

Вам известно, конечно, что напр. объемная энергия газа имеет также свой специфический **предельный** закон, именно, что объем газа обратно пропорционален давлению.

Специфического закона для психической энергии нам пока неизвестно, что и понятно, если подумать, что в психической энергии мы имеем один из высших и для нас один из наиболее сложных видов энергии.

Но и теперь можно сказать, что фактор емкости психической энергии не является пропорциональным весу мозга, как это принято думать, **но** находится несомненно в прямой зависимости от отношения поверхности мозга к его весу, т. е. к **удельной мозговой поверхности.**

Что касается фактора интенсивности психической энергиии, то для него характерна быстрая изменяемость во времени и на поверхности мозга, что ясно указывает на легкую превращаемость психической энергии в другие виды и легкую восстановляемость из них; экспансивные и контрактивные поверхностные и объемные энергии, совместно с различными видами энергии химической, играют несомненно важнейшую роль в превращениях психических видов энергии.

Но нам важно сейчас не установление специфического закона для психической энергии, закона вроде вышеприведенного для объемной энергии газа, а выяснение связи между аккумулятивными и творческими видами психической энергии.

И эта связь может быть до известной степени установлена.

Действительное и непосредственное наблюдение показывает с полнейшей несомненностью, что ученые и техники, **представляющие** [собой] **передвигающиеся энциклопедии,** очень мало или совершенно неспособны к творчеству.

Знаменитый английский естествоиспытатель Вильям Рамзай вполне определенно указал[21], что **слишком большие знания являются преградой для творчества.**

На основании этой связи между аккумулятивными и креативными видами энергии получается второй вывод для рациональной постановки образования:

В рационально поставленных школах должен быть соблюден **мудрый** предел[22] знаний, ибо только при этом условии коэффициент продуктивности творческой деятельности будет достигать своего предельного, для данного индивидуума, значения.

В чем же заключается этот **мудрый** предел знаний?

На этот вопрос дают ответ опять-таки наблюдения и опыт.

Как на сильно разыгранном бильярде шар не повинуется или с трудом повинуется воле игрока, стремясь катиться по проторенным дорожкам, как граммофонная пластинка никогда не скажет ничего того, что на ней не записано, так и мозг людей, начиненный **догматическими** знани-

[20] Эту терминологию я нахожу лучшей из всех, какие мне приходили в голову.
[21] См. об этом. В. Оствальд «Великие люди», стр. 343.
[22] Необходимость определенного предела для объема аккумулированных знаний может быть выведена из анализа «несвободного» и «свободного» творчества; этот анализ будет дан мною в одном из последующих очерков по энергетике культуры.

ями, или **перегруженный** ими, с трудом может совершать или совсем не совершает творческой работы.

Поэтому преподавание той или другой научной дисциплины должно состоять не в детальном сообщении мельчайших подробностей опытов, не в требовании запоминания сложных теоретических выводов и формул, а в **изложении руководящих общих идей того иди другого опыта, в объяснении основных черт того или другого доказательства и в указаниях характера связи величин, входящих в формулы**.

При преподавании надо особенно выдвигать **обобщающие** точки зрения и никогда нельзя допускать **одностороннего догматического** изложения предмета; существенно важно не замалчивать научные разногласия и никогда не упускать случая посвящать учащегося в состояние **спорных** областей преподаваемой науки.

Необходимо указать учащимся, что детальные знания, когда им это понадобится, они всегда найдут в книгах и научных журналах, и **очень важно их научить быстро ориентироваться в таких литературных изысканиях**.

Только при соблюдении всех этих условий можно надеяться на поднятие значения величины коэффициента продуктивности творчества у учащихся, а следовательно и на поднятие общей научной и технической продуктивности страны.

В отношении творческом, человеческий организм должен быть сравнен с трансформатором не творческих видов энергии в креативные (творческие).

Конечно, полезное действие таких трансформаторов в каждом индивидуальном случае зависит от целого ряда еще не вполне выясненных биологических законов, но нельзя забывать, что и биологические законы подчинены указанным выше законам энергетики.

Задача школы состоит в том, **чтобы полезное действие трансформатора, возможное для данного индивидуума по биологическим законам, было бы действительно достигнуто,** и большего от школы требовать нельзя, ибо она конечно не может из каждого сотворить гения, но школа **не должна давить** гениальных натур, которые в неё иногда попадают, что, как известно из истории науки, имело не раз место.

Наша школа, особенно высшая техническая, нарушает в той или другой степени все основные законы энергетики восприятия и творчества: человек со **средними** способностями, с громадными затратами энергии едва успевает окончить ее в семь лет, его заставляют запоминать для экзамена сложные доказательства, которые он вполне забывает через неделю, понизив, конечно, **трансформационные** функции мозга; кончая свое высшее образование в возрасте около 30 лет с уже изношенным **трансформационным аппаратом**, он уже конечно не способен сделаться **техником-созидателем** и в самом лучшем случае играет в последующей своей жизни роль добросовестного **техника-ремесленника** или **техника-подмастерья**.

Только люди очень одаренные и с резко выраженной индивидуальностью, после окончания наших высших технических школ не теряют оригинальности своего мышления и образуют небольшой кадр техников-созидателей.

В силу аналогичных же причин, хотя пожалуй в несколько меньшей степени, и наши университеты дают слишком большой процент **ученых-ремесленников** или **ученых-подмастерьев**, которые в лучшем случае всю свою деятельность посвящают экспериментальной подстановке **в** определенную, **уже установленную другими учеными схему** то того, то другого вещества.

Несомненно, и **ученые-ремесленники** делают почтенную работу и они нужны в науке.

Если такие ученые возникают в силу биологических законов, то с этим ничего не поделаешь, ибо это есть естественное явление жизни, не поддающееся пока регулировке человека, но если **ученые-ремесленники** являются продуктами не рациональности постановки образования, если из них могли бы при другой постановке школ получиться **ученые-созидатели**, то с этим мириться нельзя.

Подробному изложению нормальной конструкции рационально поставленных школ и ученых учреждений будет посвящен один из следующих очерков по энергетике культуры.

ОЧЕРК ВТОРОЙ

Развитие естествознания, как показатель культуры народов

В. Оствальд[23] в своем замечательном сочинении «Великие люди» пишет: «*Наука является последним и высшим продуктом продолжительного культурного развития, и мы только там можем ожидать развития науки, где налицо эта предпосылка. Другими словами, только старые культуры могут развиваться до этого пункта. Так, мы находим науку у египтян, греков, арабов только после продолжительного периода непрерывного развитая «мирных искусств». Точно так же, новейшая наука берет свое начало в старейшей тогда культурной стране, Италии, переходит во Францию, Голландию, Англию, чтобы в настоящее время основаться в Германии, в то время как Северная Америка уже занята мыслью перенести ее центры тяжести через Атлантический океан.*

То, что возраст культуры не стоит в прямом отношении к существующей научной деятельности, вытекает из того, что, например, в настоящее время Италия осталась значительно позади других стран, и что тревожные признаки научного регресса заметны и во Франции. Такая старая культурная страна, как Испания, вносит в интернациональную сокровищницу науки лишь весьма ничтожные вклады, в то время как гораздо более молодые культуры скандинавских стран могут гордиться относительно весьма высокими научными работами. Таким образом, роль играет и другой фактор, который должен оплодотворять почву, для того, чтобы наука процветала.

Этот фактор – экономическое положение людей науки. Это звучит отчаянно материалистически, когда я должен утверждать, что наука отстает везде, где отсутствуют такие формы гражданской жизни, которые освобождали бы человека науки от повседневных забот. Но факты налицо, и их нужно понять и использовать. Уже у греков наука оказывается достоянием только зажиточных классов, особенно даровитые представители которых, в силу хозяйства, основанного на труде рабов, располагали необходимым досугом для того, чтобы отдаваться требующему времени и напряженной работы научному мышлению. Точно так же весьма действенным, хотя и не безупречным, средством насаждения науки оказывалось, начиная с Александрийской академии и кончая современными учреждениями такого рода, создание таких должностей, которые оставляют достаточную часть времени и энергии для свободной научной работы. Конечно, научные работы возможны не только при наличности этого условия: уже древность на примере Сократа и стоиков показывает, что базис для научных занятий может создать не только состояние или постоянный доход, но и отказ от ненужной роскоши и соответствующее уменьшение забот о материальном существовании. И до новейшего времени мы найдем обе эти формы согласования научной деятельности с требованиями повседневной жизни. Но ввиду того, что занятие наукой, вследствие умножения проблем, становится и фактически дороже, требуя больших средств, то вторая, более несовершенная, форма должна исчезнуть: более или менее крупные общины и союзы, на первом плане государства, должны брать на себя расходы по содержанию и доставлению средств тем лицам, которые могут быть полезными для науки.

Таким образом, даже маленькие страны могут успешно конкурировать с величайшими странами. Благодаря тому, что Берцелиус рано сделался членом Академии в Стокгольме и добился таким образом возможности свободно отдаваться науке, маленькая Швеция в течение нескольких десятилетий пользовалась научной гегемонией в области химии. Если бы Берцелиус вынужден был, как в свое время Шееле, выполнить свои работы в сельской аптеке и при этом сильно подорвать свое здоровье, то он сделал бы гораздо меньше, и Швеция не занимала бы того положения в европейской науке, какое она заняла благодаря ему. И расходы на это не особенно велики. Однако правительства, к сожалению, до сих пор еще не прониклись осознанием громадного значения научных работ для положения каждой нации в семье народов, и как раз самые выдающиеся и замечательные работы преподносятся их творцами нации и всему миру все еще в виде добровольного подарка».

Я нарочно привел эту длинную цитату, ибо она очень хорошо показывает, что наука есть действительно показатель высших степеней культуры народов.

Под словом «наука», как В. Оствальд в своем сочинении «Великие люди», так и я в настоящей статье, понимаем естествознание, т. е. науку о природе, в самом широком смысле этого слова.

Сюда относятся все отдельные науки, построенные на естественно-научном базисе; совокупности же знаний, вроде юридических и им подобных, само собою понятно, не относятся к тем действительным наукам, которые объединены под общим понятием «естествознание».

Признаком действительных наук, при достаточном их развитии, является возможность, для обладающих этими науками, предсказывать или предвидеть будущее.

«*Кто постиг закон явлений*», говорит великий Гельмгольц в одной из своих речей, «*тот не только обладает знанием, но приобретает власть, при соответственных условиях, вмешиваться в течение процессов природы и заставлять их работать по своему желанию и в свою пользу.*

[23] В. Оствальд «Великие люди», стр. 312-314.

Он обладает проникновением в будущее этих процессов; он приобретает поистине те способности, которыми в суеверные времена наделяли пророков и магов».

Чем дальше идет развитие естествознания, тем шире становится область, на которую распространяется научное предвидение.

Выше было указано на два фактора, влияющих на развитие естествознания: 1) высота культуры народов и 2) экономическое положение людей науки у данной нации.

Изменение этих факторов в ту или другую сторону, конечно, должно влиять соответственно на развитие естествознания.

Понижение высоты культуры может вызываться разнообразными причинами.

В старой по культуре стране, Испании, инквизиция сделала свое антикультурное дело, вырвав из жизни наиболее оригинальные умы и задавив свободу школы и науки.

Регресс Италии объясняется несколько иными причинами: «*Итальянские университеты*», пишет В. Оствальд[24], «*благодаря господству католической церкви, не находятся больше на той высоте, которая в начале нового времени поставила их во главе научного движения; в Германии, наоборот, влияние реформации на университеты, несмотря на некоторые вредные стороны его, которых отрицать нельзя, было, все же, освободительным и содействовало, в общем, прогрессу науки. В Италии невежество, в котором намеренно удерживались широкие массы народа, вместе с ограничением высшего преподавания, строго предписанной наукой, заглушило самостоятельное научное творчество, и теперь, когда все это уже осознано и частью устранено, университеты еще слишком много страдают от общей ограниченности своего бюджета, мешающего профессорам вполне свободно отдаваться научной деятельности*».

Во Франции некоторое понижение в научном творчестве является следствием «централизации» науки в Париже.

В этом виноват Наполеоновский университетский устав, который низвел провинциальные университеты до положения средних школ, преподавательский персонал которых назначался из Парижа; провинциальным университетам были тогда оставлены, как говорит Оствальд[25], «*печальные остатки крайне ограниченного самоуправления. Благодаря этому в университетской коллегии не могло быть никакого единства; не могло возникнуть благожелательного соревнования между различными учреждениями*».

Все вышеизложенное, я полагаю, достаточно ясно показывает, как легко может наступить регресс культуры и в старых культурных странах, если у руководителей жизнью народа нет ясного представления о тех условиях, которые необходимо создать в стране для поднятия культуры на высшие ступени.

Если теперь обратиться к вопросу, из каких сословий выходит наибольшее число естествоиспытателей-креаторов, то получим вполне естественный ответ, что наибольшее число ученых-творцов дает то сословие, которое в течение наиболее долгого времени было носителем образования.

Статистика показывает, что родители великих естествоиспытателей-креаторов почти исключительно принадлежат к средним общественным слоям.

«*Среди коронованных особ*», пишет Оствальд[26], «*мы не находим ни одного выдающегося исследователя, хотя некоторые из них и добивались этой славы. Причины последнего явления нужно прежде всего искать в том, что в этих семействах практикуется или до сих пор практиковалась довольно строгая тренировка. Они достигали своего положения благодаря особенным качествам, преимущественно военным и политическим, и эти особенные качества были развиты благодаря тому, что они заранее предназначали и готовили своих детей для военной и политической карьеры. Долгое время они даже считали другие занятия, кроме этих и сельского хозяйства, неподобающими их званию. Таким образом, научные наклонности в этих семействах в известной степени атрофировались, т. к. существующие способности не только не упражнялись, но и подавлялись. Вспомним характеристику, которую Гете дает маленькому сыну Геца фон Берлихингена; как этот маленький, вкус которого развивается на лошадях и оружии, презирает в других наклонность к книгам и рассказам. У католических семейств высшей знати научные наклонности атрофировались еще больше ввиду того, что все более или менее даровитые в научном отношении предназначались для духовной карьеры, и таким образом они не оставляли никакого потомства, по крайней мере, законного, и их особенности не могли передаваться фамилии*».

Причина того, что именно среднее сословие дает наибольшее число естествоиспытателей-творцов, лежит в том, что оно обычно и является носителем образования народа, причем научные наклонности многих из представителей этого сословия не атрофировались, как у знати, вследствие упражнения других качеств, необходимых для политической карьеры.

В тех странах, например, в Англии, где среднее сословие в XVIII столетии получало жалкое образование и где известная часть знати приобретала очень солидное образование и имела вкус к научным изысканиям, там возможны некоторые исключения: например, Кэвендиш, Бойль, Релей, – эти выдающиеся естествоиспытатели, – принадлежат к высшей аристократии Англии.

Этот факт не представляет исключения по существу вопроса, ибо **выдающиеся люди**, как уже сказано выше, **получаются из того сословия, которое наиболее долго является носителем образования,** и в аристократии могут быть такие семейства, которые этому основному условию не меньше удовлетворяют, чем семейства среднего сословия[27].

Но и в Англии в новейшее время число выдающихся ученых из знати ничтожно по сравнению с их числом, даваемым средними слоями общества.

«*Низшие сословия*», пишет Оствальд[28], «*с ничтожным образованием и плохими условиями жизни дают в класс великих исследователей лишь исчезающе малые непосредственные вклады. Наоборот, посредственные вклады, в том смысле, что деды или, вообще, предки великих людей происходили из таких кругов, весьма значительны.*

Мое утверждение, что из низших слоев народа происходит только исчезающе малое число великих исследователей, противоречит в известной степени популярному мнению, охотно представляющему себе гения поднимающимся из бедности и униженности к неслыханному блеску. Это, пожалуй, справедливо в известной степени относительно выдающейся деятельности в других областях, например, относительно составления крупных состояний, но не относительно чистой науки. Здесь я должен установить, что как доступные мне данные относительно родителей великих людей, так и личный мой опыт над молодыми выдающимися людьми обнаруживают отсутствие этого типа.

Причину определить не трудно. Подобно тому, как различные народы стоят на различных ступенях культурного развития, точно так же и в среде одного и того же народа различные слои находятся на неодинаковой культурной высоте, а ниже известной высоты не рождаются вожди человечества. Здесь приходится слишком низко начинать и нельзя уже впоследствии подняться на особенную высоту. С одной стороны, здесь большею частью недостает интеллектуального наследства, а там, где таковое наследство налицо (это, кажется, бывает иногда в продолжение немногих поколений среди низших слоев), это приобретение общих знаний, культурной основы, стоит больших трудов. Таким образом происходят только подготовляющие люди, которые так часто оказываются отцами великих людей; тогда на их детях осуществляются счастье и успехи, в которых им было отказано. Вместе с интеллектуальностью и силой воли они часто передают сыновьям значительную долю честного идеализма, качества, без которого большие работы вообще невыполнимы».

Таким образом, объективные статистические данные вполне точно устанавливают положение, что как из высших, так и из низших общественных слоев выходит исчезающе малое число выдающихся естествоиспытателей, и что **для появления из того или другого сословия выдающихся ученых-креаторов необходимо, чтобы это сословие было в течение достаточно большого промежутка времени носителем образования.**

Весьма распространенный взгляд о большом числе гениев, скрывающихся в среде неграмотных слоев народа, является воззрением, не имеющим никаких научных оснований.

Уничтожение этого предрассудка очень важно, т. к. **должно убедить всех, кому дорога культура своего народа, о необходимости самых быстрых и решительных мер к планомерному введению рационально поставленного всеобщего образования**.

Тогда и «низшие слои» народа, через некоторый промежуток времени, дадут несомненно значительное число выдающихся естествоиспытателей-креаторов.

Необходимость известного интеллектуального наследства для появления из той или иной среды выдающегося последователя может быть установлена также из законов наследственности (закон Менделя и др.); на этом выводе я не буду останавливаться, ибо для этого потребовалось

[24] «Великие люди», стр. 316.
[25] «Великие люди», стр. 216.
[26] «Великие люди», стр. 309.
[27] Подробнее см. В. Оствальд «Великие люди», стр. 309–310.
[28] «Великие люди», стр. 310.

бы значительно увеличить объем настоящего очерка, причем такой вывод не внес бы чего-либо особенно существенного.

В начале этого очерка сказано, что развитие естествознания знаменует высшую степень культуры народов.

Было, конечно, интересно попробовать выразить, исходя из этой мысли, более или менее точно степень культуры той или другой нации.

В этом направлении уже было сделано несколько попыток.

Само собою понятно, что о вполне точном количественном выражении для степени культуры нации в настоящее время, благодаря сложности задачи и вследствие незнания меры для психической энергии, не может быть и речи.

Поэтому, всякая попытка дать количественный учет культуры того или другого народа имеет характер приблизительной оценки и не свободна от произвола.

Астроном Гарвардского университета Е. С. Пиккеринг в 1909 г. взял за фактор оценки культуры нации, например, отношение числа всего населения к числу ученых данной нации, выбранных членами по меньшей мере двух иностранных академий.

При такой оценке культуры, Испания и Португалия совершенно не попали в таблицу Пиккеринга, вся Азия, Африка и Австралия тоже; Россия находится на последнем месте, ибо на одного русского ученого, выбранного в две иностранные академии, приходится 48,9 миллионов населения, в то время, как в Норвегии – 0,7, Саксонии – 0,8, Дании – 0,9, Англии – 2,4, Франции – 3, Италии – 10,8, Соединенных Штатах (стоят непосредственно перед Россией) – 14,4.

В. Оствальд[29] считает более правильным фактором отношение числа всего населения к числу ученых обществ, т. е. число миллионов населения, приходящихся на одно ученое общество; однако, такой пересчет данных Пиккеринга вносит лишь небольшое улучшение в попытку американского астронома.

По моему мнению, для более точной оценки культуры страны надо взять два коэффициента: первый относится к **настоящему культурному состоянию страны,** второй же **учитывает потенциальную возможность культурного развития данной нации.**

Первый коэффициент должен определяться отношением числа выдающихся естествоиспытателей-креаторов данной нации к числу всего населения; второй же отношением того же числа выдающихся ученых-творцов к числу населения, имеющего определенный образовательный ценз.

Оба коэффициента, как легко понять, даже и для наиболее культурных наций, будут представлять весьма малые дроби, в среднем порядка 10^{-7}, т. е. дробь со знаменателем 10.000.000. Если определение знаменателя предлагаемых мною коэффициентов культуры не представляется особенно трудным и может быть сделано с достаточной точностью, то нельзя того же сказать по отношению к числителю.

Считать за выдающихся естествоиспытателей-творцов только тех естествоиспытателей, которые выбраны членами, по меньшей мере, двух академий, как это делает Пиккеринг, совершенно неправильно.

Конструкция известных мне академий такова, что нет никаких оснований полагать, что все выдающиеся естествоиспытатели-творцы могут рассчитывать быть выбранными в две или больше академий.

Нет также никаких оснований придавать суждению академий какой-либо особый вес, по сравнению с другими учеными обществами и учреждениями.

По одной и той же специальности, например, по химии, или по физике, редко бывают два или больше действительных академика; обычно ограничиваются одним.

Таким образом, один или два академика данной специальности играют доминирующую роль при выборе «почетных» академиков или членов-корреспондентов, каковые звания только и даются иностранцам.

Именно от одного или, в крайнем случае, двух академиков, зависит предложение того или другого иностранного ученого в члены-корреспонденты или почетные академики.

Остальные члены академической коллегии по другим отделам науки редко выступают против кандидатов не по их «специальности», почему так и часты «единогласные» избрания.

Кроме того, в большинстве академий в действительные академики выбирались и теперь еще выбираются старые ученые, обычно имеющие за собою двадцатипятилетнюю или еще более длинную научно-педагогическую деятельность.

Престарелым же ученым весьма трудно, как будет выяснено в одном из следующих моих очерков по энергетике культуры, признать значение новой творческой работы, особенно если она разрушает сложившийся у них за долгую жизнь круг научных идей.

Более объективной оценкой является поэтому присуждение премий или избрание в почетные члены со стороны однородных научных обществ (например, химических обществ – для химика, физических – для физика и т. д.); эта оценка, конечно, тем более объективна, чем большее число членов способно оценить работы награждаемого ученого.

Однако и в этом случае степень объективности не достигает возможного для нее предела.

Истинно-творческая научная работа оценивается так или иначе учеными данной специальности всего мира.

О такой работе появляются отзывы на всех языках, о ней упоминается во всяком объективном учебнике, обзоре или истории данной науки.

Если в каком-либо учебнике такая работа и пройдена молчанием, то легко обнаружить «психологические» причины такого замалчивания[30].

Взяв несколько подробных иностранных[31] учебников данной научной дисциплины, можно с весьма значительной степенью объективности установить число выдающихся ученых-творцов в этой научной области.

Если бы такая работа была сделана по каждой отдельной отрасли науки для каждой нации, и числа затем суммированы по национальностям и приняты за числители обоих коэффициентов культуры, то значения этих коэффициентов могли бы действительно считаться за достаточно объективные критерии настоящей и потенциальной культуры народов.

К сожалению в этом направлении почти ничего не сделано.

По отношению к химии в целом, русский академик П. И. Вальден определил в процентах долю участия русских химиков в общей химической работе, подсчитав по различным сочинениям истории химии число имен ученых, русских и иностранных, в них упоминаемых[32].

Размер участия русских химиков в мировой химической работе по такому подсчету составляет в среднем 6 %.

Я должен вновь повторить, что относительно правильное суждение о числе выдающихся естествоиспытателей-креаторов можно получить только путем подсчета имен по сочинениям, излагающим отдельные (сравнительно небольшие) отрасли науки.

Обычные сочинения, излагающие историю всей химии, для этой цели мало пригодны, ибо автор такого сочинения не может знать одинаково полно историческое развитие всех отделов химии, многие из которых в настоящее время распались в свою очередь на весьма обширные подотделы.

Несомненно, что для подсчета числителя в обоих коэффициентах культуры потребуется коллективная работа представителей всех отдельных отраслей естествознания.

Однако и теперь можно сказать, что для России коэффициент культуры для современной эпохи столь мал, что она не может претендовать на более высокое место, чем ей отведено в таблице американского астронома Пиккеринга.

Однако число 48,9 миллионов человек на одного выдающегося ученого несомненно не отвечает степени участия России в общей культурной работе человечества.

Для химии, например, по данным английского историка химии Хильдича, это число должно быть уменьшено до 16 миллионов человек[33] на одного выдающегося русского химика, для Швеции и Норвегии при таком же подсчете получается число 1,9, для Германии – 1,4.

В прилагаемой таблице мною приведены некоторые статистические данные[34] и значения коэффициентов современной и потенциальной культуры для различных наций.

---

[29] «Великие люди», стр. 314.

[30] Об этих «психологических» причинах см. один из следующих моих очерков по энергетике культуры.

[31] Принимая во внимание, хотя далеко не всегда справедливое, изречение «нет пророка в своем отечестве», предпочтительно руководствоваться иностранной литературой.

[32] См. П. И. Вальден. О развитии химии в России. Журн. Русского химического Общества. Т. 44. Стр. 100–118 (1912). См. также П. И. Вадьден. «Очерк истории химии в России», составляющий добавление к переводу сочинения А. Ладенбурга «История развития химии», Издание Матезис. Одесса. 1917 г.

[33] См. И. И. Вальден. Журн. Русск. Химич. О-ва. Т. 44. Стр. 115. 1912 г. У Вальдена стоит число 12,8, но я не могу согласиться, что В. Оствальд и К. Бишоф русские химики, поэтому изменил число.

[34] К сожалению, статистические данные в различных справочниках не совпадают, и трудно остановить свой выбор на том или другом числе.

Таблица коэффициентов культуры для различных народов.

	Население в миллионах	Процент неграмотных	Число выдающихся естествоиспытателей по Пиккерингу	Число выдающихся химиков по Хильдичу	Коэффициент современной культуры (Веймарн)		Коэффициент потенциальной культуры (Веймарн)	
					Расчет по числам Пиккеринга	Расчет по числам Хильдича	Расчет по числам Пиккеринга	Расчет по числам Хильдича
Дания	2,6	ок. 2%	3	2	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$7,7 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-7}$
Скандинавия	7,5	ок. 2%	6	4	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$8,2 \cdot 10^{-7}$	$5,4 \cdot 10^{-7}$
Швейцария	3,3	ок. 3%	2	—	$6,1 \cdot 10^{-7}$	—	$6,2 \cdot 10^{-7}$	—
Голландия	5,8	ок. 2%	3	3	$5,2 \cdot 10^{-7}$	5,2.10”7,	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$
Германия	65	2%	30	49	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{-7}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$7,7 \cdot 10^{-7}$
Франция	39	15%	12	29	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$8,7 \cdot 10^{-7}$
Англия	45,5	8%	13	25	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$6,0 \cdot 10^{-7}$
Италия	34,5	56%	3	3	$8,7 \cdot 10^{-8}$	$8,7 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$
Бельгия	7,1	ок.15%	1	—	$1,4 \cdot 10^{-7}$	—	$1,4 \cdot 10^{-7}$	—
Россия	170,3	78,9% (86%)	3	8	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$4,7 \cdot 10^{-8}$	$8,3 \cdot 10^{-8}$ ($1,3 \cdot 10^{-7}$)	$2,2 \cdot 10^{-7}$ ($1,3 \cdot 10^{-7}$)
Австро-Венгрия	51	41,6%	4	—	$7,8 \cdot 10^{-8}$	—	$1,3 \cdot 10^{-7}$	—
Соед. Штаты Сев. Америки	92	10,7 %	6	—	$6,5 \cdot 10^{-8}$	—	$7,3 \cdot 10^{-8}$	—

Примечания:
1. В графе «процент грамотности» для стран, где перед цифрой стоит слово «около», я не мог найти более или менее точных данных о грамотности.
2. Вальден (см. текст) относит выдающихся ученых почему-то только к Европейской России, забывая, например, что Д. И. Менделеева дала Сибирь. Если принять население только Европейской России (138,3 млн), то конечно, коэффициенты культуры несколько повысятся, например, для коэффициентов современной культуры получим $2,2 \cdot 10^{-8}$ и $5,8 \cdot 10^{-8}$.

Из этой таблицы видно, что коэффициент современной культуры для России наименьший из всех, приведенных в таблице и ближе всех к коэффициенту для Сев. Амер. Соедин. Штатов.

Что же касается коэффициента потенциальной культуры, то получается несколько более утешительный результат.

Весьма трудно сказать, каков в действительности процент грамотных в России, ибо у нас под понятием «грамотный» подразумевается совсем иное, чем в Западной Европе или Америке, где под «грамотным» подразумевают человека, умеющего сознательно читать и писать, а не как у нас – лицо, которое едва читает или с трудом подписывает свою фамилию.

По официальным статистическим данным у нас «грамотных» 21 %, но я думаю, что не сделаю ошибки, если буду считать, что сознательно грамотных в России около 14 % (т. е. если уменьшу официальный процент грамотных на треть).

Но и при таком числе грамотных (см. таблицу, числа в скобках), коэффициент потенциальной культуры в России по своему значению, становясь близким к Италии, Австро-Венгрии и Соединенным Штатам[35], значительно меньше по величине коэффициентов для других стран, как для Дании, Скандинавии, Германии, Франции и Англии и др., хотя уже и сравнялся с ними по порядку величины (10^{-7}).

Было бы, конечно, особенно интересно взять за знаменатель коэффициента потенциальной культуры не число грамотных данной нации, но число лиц данного народа, получивших высшее образование, ибо не имеющие последнего исключительно редко поднимаются до вершин научного творчества.

К сожалению, за неимением статистических данных по этому вопросу, такого подсчета дать нельзя.

Рассмотрение коэффициентов современной и потенциальной культуры народов, данных в вышеприведенной таблице, наводит на мысль о введении децимальной классификации народов по степени их культуры.

Если под буквой А условимся подразумевать число большее единицы и меньшее десяти, то можно разбить народы по принципу децимальной классификации на четыре группы: первая группа с величиной коэффициентов $A \cdot 10^{-6}$, вторая $A \cdot 10^{-7}$, третья $A \cdot 10^{-8}$ и четвертая меньше $A \cdot 10^{-8}$, т. е. $A \cdot 10^{-9}$ и проч.; к последней группе должны быть отнесены все нации, не вошедшие в таблицу, приведенную выше.

Если для примера распределить народы по этой классификации, взяв за основание принцип определения числа выдающихся естествоиспытателей по Пиккерингу[36], то получим следующие результаты:

Классификация по коэффициенту современной культуры

I группа. $A \cdot 10^{-6}$. Дания.

II группа. $A \cdot 10^{-7}$. Скандинавия, Швейцария, Голландия, Германия, Франция, Англия, Бельгия.

III группа. $A \cdot 10^{-8}$. Италия, Австро-Венгрия, Соединенные Штаты, Россия.

IV группа. $A \cdot 10^{-9}$ и меньше: остальные народы.

Классификация по коэффициенту потенциальной культуры

I группа. $A \cdot 10^{-6}$. Дания.

II группа. $A \cdot 10^{-7}$. Скандинавия, Швейцария, Голландия, Германия, Франция, Англия, Италия, Бельгия, (Россия), Австро-Венгрия.

III группа. $A \cdot 10^{-8}$. Россия, Соединенные Штаты.

IV группа. $A \cdot 10^{-9}$ и меньше: остальные народы.

Если взять число выдающихся химиков по Хильдичу[37], то получим следующие таблицы:

Классификация по современному коэффициенту культуры

I группа. $A \cdot 10^{-6}$. — — —

II группа. $A \cdot 10^{-7}$. Дания, Германия, Франция, Англия, Скандинавия, Голландия.

III группа. $A \cdot 10^{-8}$. Италия, Россия.

Классификация по потенциальному коэффициенту культуры

I группа. $A \cdot 10^{-6}$. — — —

II группа. $A \cdot 10^{-7}$. Франция, Дания, Германия, Англия, Скандинавия, Голландия, Россия, Италия.

Таким образом, если руководствоваться числом выдающихся химиков, данных Хильдичем, то все народы, данные в Таблице **коэффициентов культуры для различных народов (см. выше),** по коэффициенту потенциальной культуры попадают в одну группу $A \cdot 10^{-7}$, причем Россия находится между странами со старыми культурами, [такими] как Голландия и Италия.

Факт, что и коэффициент потенциальной культуры России оказался все же недостаточно высоким, легко объясняется двумя причинами, тормозящими культурное развитие нации:

Одна из причин – это материальная необеспеченность деятелей науки; общее влияние этой причины на развитие культуры народов настойчиво и неоднократно отмечал В. Оствальд.

Другой причиной является громоздкость конструкции и неправильность самого принципа оплаты труда деятелей Высших школ, неправильность, которая вызывает внутренние трения в академической среде, весьма вредно сказывающиеся как на научной, так и на педагогической деятельности ученых корпораций.

Рассмотрению нормальной конструкции Высших школ будет мной посвящен один из следующих очерков по энергетике культуры, поэтому в настоящем очерке я ограничусь немногими общими замечаниями по этому вопросу.

Ведь для всякого нормально развитого человека совершенно ясно, что представляется полной несообразностью и явной несправедливостью, лицам с вполне одинаковым учебным цензом и научными достоинствами присваивать различные наименования и права, и различно оплачивать их труд.

Это вызывает справедливое неудовольствие и вносит рознь в академическую корпорацию.

Поэтому целесообразно установить лишь три категории преподавателей Высшей школы: 1) профессора, 2) доценты, 3) приват-доценты.

[35] Надо отметить, что Соединенные Штаты в настоящее время значительно поднялись в научном отношении, благодаря ряду энергичных мероприятий в деле образования, поэтому справедливо считать, что Россия по коэффициенту потенциальной культуры не превосходит Соединенные Штаты.
[36] Данные Пиккеринга о числе выдающихся ученых относятся к 1908 г.
[37] Надо прямо удивляться Хильдичу, как он мог выпустить из своего подсчета, например, такого выдающегося американского химика, как В. Гиббс и проч. и считать, что Америка не дала ни одного выдающегося химика.

Приват-доценты[38] составляются из лиц, получивших высшее образование и желающих посвятить себя работе в Высшей школе, но еще не выявивших своих способностей к научной деятельности[39].

Доценты – из лиц, уже проявивших себя на научном и педагогическом поприще, но не имеющих еще таких научных работ, которые могли бы служить диссертациями на звание профессора.

Профессора – из лиц, защитивших диссертацию.

Исполнение обязанностей профессоров может быть возлагаемо на наиболее подготовленных к этому доцентов, но на срок не более трех лет, при условии в течение этого срока защитить диссертацию; в противном случае доцент должен оставить должность профессора, которая замещается лицом, защитившим диссертацию.

Далее, так как научный труд является отличительным признаком преподавателей Высшей школы от преподавателей школ низших ступеней, то само собой понятно, что особо **выдающаяся** научная деятельность должна особо высоко цениться и оплачиваться в культурном государстве.

К сожалению, в старой России, научный труд далеко не всегда и не везде оценивался, несмотря на то, что наиболее сильно разрушает организм именно истинное творчество вообще, и научное в частности (см. жизнеописания Фарадея, Больцмана, Друде и мн. др.) и несмотря на то, что государственная польза от продуктов научного творчества неизмеримо больше, чем от работы педагогической, и не оканчивается со смертью творящего индивида, ибо развивается дальше в своих практических приложениях и работами его последователей.

Поэтому, не выслуга лет является главным фактором при оценке деятельности профессора, как это принято в старых законоположениях, а качество его научной деятельности.

Основываясь на этом бесспорном положении, совет Уральского горного института считает, что **заслуженным** профессором, по существу, является не тот, кто прослужил на одном месте 26 лет, но тот, кто проявил особо **выдающуюся** научную деятельность, кто пользуется почетной научной известностью, чьи работы отмечены почетными наградами ученых обществ и учреждений. Сообразно с этим, совет единогласно постановил влить новое содержание в старое звание заслуженного профессора[40] и присвоить таким профессорам повышенный оклад, по меньшей мере, на 50 % [выше] обычного профессорского оклада.

Всякое культурное государство должно особо высоко ценить своих выдающихся ученых и особенно высоко оплачивать их труд.

Вышеизложенная конструкция[41] была своевременно выработана и введена в жизнь советом Уральского горного института.

Не могу не отметить, что против этой конструкции выставлялись «оригинальные» возражения со стороны некоторых лиц, обнаруживших этой «оригинальностью» полное непонимание коренных вопросов рациональной постановки образования, необходимой для поднятия культуры страны.

Наиболее «оригинальным» из этих возражений является возражение, что конструкцию Уральского горного института нельзя сохранить потому, что для Высших школ всех типов должна быть установлена одинаковая конструкция, одинаковые нормы, т. е. проведен «одинаковый общегосударственный масштаб».

Последняя громкая фраза, по-видимому, должна [была бы] служить неоспоримым, «убийственным» аргументом.

Стремление дать одинаковые общие нормы для Высших школ всех типов без предварительных долголетних опытов представляется совершенно неправильным с научной точки зрения.

Ни одному естествоиспытателю не могло бы прийти в голову постановить с такой, поразительно наивной, примитивностью решение проблемы со сложным многообразием явлений.

Совершенно ведь ясно, что нельзя обобщать не обобщаемое, во-первых, а во-вторых, чтобы иметь элементы для будущих возможных обобщений, надо поставить длительные опыты, т. е. в данном случае, предоставить Высшим школам существовать по различным конструкциям и брать для обобщений конструктивные элементы из тех школ, которые окажутся на особой высоте.

Сколько было, например, в свое время сделано возражений со стороны «деятелей» школы с университетским образованием против особой конструкции Петроградского горного института, дающей [этому] институту право замещать кафедры по чистым наукам **своими питомцами** (наравне с универсантами) после защиты ими **одной диссертации** и устанавливающей для замещения профессорских должностей одну ученую степень магистра или адъюнкта.

Блестящая научная деятельность института по кафедрам математики, химии и цикла геолого-минералогических наук заставила замолчать «оригинальных» сторонников «общегосударственного масштаба».

Интересно отметить, что законодательные Учреждения (Государственная Дума и Государственный Совет), при прохождении в 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.

Таким образом законодательные учреждения, учтя блестящие результаты «особенностей» конструкции Петроградского горного института, не стали равнять созидаемый институт по большинству других Высших технических школ России, этих «особенностей» не имеющих, но приравняли, на основании данных опыта, к единственному высшему учебному заведению, эти «особенности» имеющему и доказавшему их государственную полезность.

Пусть и современные сторонники «общегосударственного масштаба» прочтут в книге академика П. И. Вальдена «История химии в России» об ученой деятельности питомцев Петроградского горного института, пусть посмотрят списки академиков по кафедре химии и кафедрам геолого-минералогических наук, пусть прочтут предисловие французского академика Дарбу к трудам профессора математики И. П. Долбни, изданным в Париже и пусть узнают, кто получил недавно звание почетного доктора чистой математики от Киевского университета.

Если они все это сделают, то хорошо будут знать, что дало в культурном отношении несоблюдение «общегосударственного масштаба» для Петроградского горного института[42].

Общегосударственный масштаб в Высшей школе, как и в других государственных учреждениях, казалось бы действительно должен был сказаться в другом отношении, [а] именно, в одинаковом материальном обеспечении со стороны государства равнозначных должностей в близких по типу школах, например, Высших технических учебных заведениях.

Но замечательно, что здесь-то они и не соблюдаются. Чтобы в этом убедиться, достаточно сравнить в этом отношении Омский политехнический и Уральский горный институты; тогда станет ясно, что последний поставлен в значительно худшие материальные условия[43].

В заключение настоящего очерка хочу обратить внимание на одно мероприятие, принятое Соединенными Штатами Америки, в целях поднятия продуктивности научной работы.

В 1916 г. комиссиями Американской ассоциации для развития наук было предложено тех профессоров Высших школ, которые объективными признаками доказали свою научную продуктивность, так называемых «профессоров-исследователей», освобождать, по их желанно, совершенно или отчасти[44], от несения педагогических и административных обязанностей, дабы они, будучи поставлены при этом в особо благоприятные материальные условия, могли всецело отдаться творческой научной работе.

Эта мера, имеющая большое значение для Америки, в случае ее проведения в России имела бы для последней особенно важное значение.

Этой мерой было бы достигнуто рассеяние центров исследования по Высшим школам всей России[45] и из этих центров, несомненно, скоро вышли бы новые поколения ученых, которые столь необходимы для замещения кафедр во вновь открытых высших учебных заведениях Урала и Сибири.

---

[38] Званию «приват-доцент» привыкли давать нисколько иное содержание, которое однако утрачивается с введением звания «доцента». Во избежание смещения понятий можно для третьей категории преподавателей установить новый термин, напр., кандидат-доцент.

[39] Если приват-доценты (кандидат-доценты) в течение определенного срока не проявили себя способными к ученой деятельности, то они должны оставить Высшую школу.

[40] Новое содержание для звания «заслуженного профессора» было предложено деканом института, проф. С. Н. Петровым. Быть может, до тех пор, пока в общее сознание не внедрится элементарная мысль, что для ученого «заслугами» может быть, главным образом, ученая деятельность, а не число лет службы, целесообразнее и здесь ввести новый термин «заслуженный профессор-исследователь» (см. конец очерка о «профессорах-исследователях в Америке).

[41] Эта конструкция была принята советом Уральского горного института единогласно.

[42] Советую деятелям школы, трактующим о «государственном масштабе», прочесть стр. 336 сочинения В. Оствальда «Великие люди».

[43] К этому надо еще прибавить, что существование в Екатеринбурге значительно дороже, чем в Омске.

[44] Тоже по их желанию.

[45] В Уральском горном институте звание «заслуженного профессора» почти совпадает с содержанием термина «профессор-исследователь».

Корректное исчисление продолжительности жизни человека

К. С. Иванов

В старых горнопромышленных районах России проблемы геоэкологии вошли в число наиболее приоритетных, а загрязненность значительно влияет на продолжительность жизни. К тому же во многих руководящих документах подчеркивается, что мы, ученые России, должны работать не только для выявления фундаментальных закономерностей строения и развития природы, но и «производить продукт», интересный простому налогоплательщику.

Изучение продолжительности жизни – это одна из немногих тем, актуальных на все времена ещё и потому, что хозяйственная деятельность человечества постепенно становится одним из главных современных геологических процессов, что, в частности, видно и по статьям, публикуемым в данном журнале. Если посмотреть, например, в интернет-поисковиках новости про «науку», связанные с отмеченной темой (продолжительностью жизни), то регулярно можно видеть, что, как правило, *«ученые установили»* что-то может быть и верное, но известное ещё очень давно. Считается, что чтобы прожить долго, следует не курить, не пить спиртного, не жиреть, больше двигаться, избегать стрессов. Также лучше бы иметь родителей-долгожителей. И не есть (точнее, есть по минимуму) животных жиров, а особенно трансжиров типа пальмового масла, поставки которого в Россию, к сожалению, существенно выросли. А также жить в экологичном месте, дышать чистым воздухом, пия чистую воду и поедая чистые «зелёные» продукты, скажем, в виде «средиземноморской диеты» – морепродукты, зелень с оливковым маслом, козий сыр и т. п. Что, впрочем, ни от чего, увы, не гарантирует.

Попробуем и мы тоже рассмотреть проблему продолжительности жизни homo sapiens. С точки зрения геолога и где-то в прошлом даже стратиграфа-палеонтолога.

Отправных моментов несколько.

Максимально возможная в настоящее время продолжительность жизни составляет 100 лет [1–4 и др.]. Так, по [3] лишь одному из 6000 чел., т. е. 0,017 %, удаётся прожить до 100 лет и дольше. Правда, в некоторых благополучных местах планеты этот процент существенно выше. Так, было проведено исследование, которое длилось 55 лет, а участвовали в нём 855 жителей Швеции, рожденных в 1913 г. В течение всех 55 лет учёные из университета Гетеборга следили за их здоровьем и стилем жизни. 10 чел. из всех участников эксперимента дожили до 100 лет (т. е. 1,17 %). И, как выяснили исследователи, в их жизни было много совпадений. Например, ни один из них не курил. Все 10 были стройными. Все стали владельцами собственных домов до 50 лет (а это указывает на высокий уровень жизни). Все долгожители занимались спортом (в преклонном возрасте – фитнесом). И у всех матери жили долго, сообщает медицинский журнал “Scandinavian Cardiovascular Journal”. Их выводы [4] (*не курить; выпивать не больше 4 чашек кофе в день; быть оптимистом; поддерживать нормальный уровень артериального давления; поддерживать нормальный уровень холестерина в крови; следить за весом, оставаться стройным; к 50 годам стать владельцем своего дома (жилья); следить за осанкой, держать спину ровно*), по всей видимости, также полезны. Хотя некоторые из этих рекомендаций подвергаются сомнениям (так, *«быть оптимистом»* человеку достаточно легко, лишь когда он здоров, т. е. тут, возможно, путаются причина и следствие).

Но, в общем, для целей этой заметки это не так и важно. И что 0,017 %, что 1,17 % – большой разницы нет (хотя эти величины и отличаются в 68 раз, но обе они исчезающе малы для любого из нас), т. е. 100 лет – это наш абсолютный максимум жизни в данный исторический отрезок времени.

Ещё один очевидный, но важный пункт: понятно, что ценность жизни, скажем, лежачего 90-летнего старика, существенно ниже, чем в период его полноценной жизни. Причём ниже именно для него самого. Ниже уж никак не менее чем в 5 раз.

Всякое дело состоит, как известно, из трех фаз: подход; само дело; отход. И жизнь человека не является исключением.

Итак, всё предисловие сказано.

Предлагается следующая формула подсчета реальной (корректной) продолжительности жизни. Основной её отрезок («дело») продолжительностью 50 лет, с 14 до 63 лет включительно, «оценивается» год за год. Детство («подход»; 0–13 лет) и начальная старость (начало отхода; 64–76 лет, т. е. тоже 13 лет) оцениваются по 0,5 условных, скажем, «годин» за каждый реально прожитый в эти отрезки год жизни конкретного человека. Во второй фазе старости (отход; 77–100 лет) каждый прожитый год жизни приравнивается лишь к 0,33 условной «годины». И, наконец, есть лучшие, воистину золотые 20 лет жизни, скажем с 18 до 38 лет*, которые оцениваются по 1,5 годины за год жизни.

Итак, например, мой год рождения 1955, т. е. за первые 13 лет мне начисляется 6,5 «годин», за последующие (с 14 до 61) 48 «годин», плюс 10 «золотых»; итого я наберу 64,5 «годины». Ежели имярек дожил до максимальных 100 лет, то он набрал 13 + 50 + 10 золотых + (24 : 3) = 81 «годину».

Таким образом, если кто-то, например, умрёт в 70 лет, это уже совсем немало, поскольку при этом он проживет отнюдь не 70 из 100 лет, т. е. как бы 70 % дарованного свыше. Совсем нет! Человек, доживший до 70 лет, набирает по предложенной, думаю, более корректной формуле продолжительности жизни (13 : 2) + 50 + 10 + (7 : 2) = 70 «годин» из максимально возможной 81 «годины», т. е. 86,4 % из того абсолютного максимума, отпущенного природой и Господом. Что, особенно учитывая войны, кризисы, революции, перестройки и т. п., очень неплохо.

Понятно, что в предложенном методе много огрублений. Так, переходы в расценках между разными периодами жизни более корректно было бы сделать плавными, а не ступенчатыми, как сейчас. Выявить и внести в формулу разницу между мужчинами и женщинами, странами и т. п. Возможно, это и будет полезно сделать. Но сила формулы в её простоте.

Предложение выше – это, по сути, попытка определить некую «площадь жизни» взамен невыразительной одномерной линии, с помощью которой человечество и вычисляло до сих пор такую важнейшую для каждого величину, как продолжительность жизни. Но жизнь – это и не «площадь», она объёмнее и сложнее, т. е. как минимум – объём. В качестве третьего измерения может выступить ещё какой-либо важный жизненный параметр. Например, совокупное количество потомства – детей + внуков + правнуков, которое у человека появилось до конца его жизни. Или, скажем, количество полученных им благ, которое, в первом приближении, можно выразить в количестве истраченных на себя денег. Ну, или количество сделанных за жизнь научных открытий и т. п. Фактически все эти и другие важные параметры могут быть учтены формулой «объёма жизни», которая сведётся к вычислению интегрального объёма, причем объёма не трехмерного, а n-мерного «куба». Описать формулами и вычислить это совсем не сложно. Главная трудность – понять, в каких единицах и как учитывать итоги прожитых лет. Трудность, впрочем, вполне преодолимая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oeppen J., Vaupel J. W. Demography. Broken limits to life expectancy // Science. 2002. Vol. 296. pp. 1029–1031.
2. Carnes B. A., Olshansky S. J., Grahn D. Biological evidence for limits to the duration of life // Biogerontology. 2003. Vol. 4. pp. 31–45.
3. Ген Мафусаила. URL: http://www.zdorovieinfo.ru›exclusive/gen_mafusaila
4. Шведские ученые выяснили, как дожить до 100 лет // Scandinavian Cardiovascular Journal. URL: http://www.kp.ru.daily/26378/3257163

Кирилл Святославич Иванов,
доктор геолого-минералогических наук
ivanovks@igg.uran.ru
Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого
Россия, Екатеринбург, ул. Ак. Вонсовского, 15

* Эти данные очень любопытно сравнить с данными, приведёнными в статье П. П. фон Веймарна на с. 104–105 *(прим. ред.)*.

Рецензии

Переиздание актуального пособия

О. М. Гуман

Рецензия на учебное пособие В. А. Королёва «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем» / под ред. В. Т. Трофимова. М.: КДУ, 2007 и 2015 гг.

Вышедшее в 2007 г. в издательстве «Книжный Дом "Университет"» тиражом 1 тыс. экз. учебное пособие профессора геологического факультета Московского государственного университета В. А. Королёва «Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем» для студентов вузов, изданное под редакцией В. Т. Трофимова, довольно быстро стало библиографической редкостью. Это пособие широко известно и используется во многих вузах страны при подготовке инженер-геологов, геоэкологов и экогеологов. Исходя из большой востребованности этой книги, спустя восемь лет в 2015 г. в том же издательстве вышло второе стереотипное переиздание пособия.

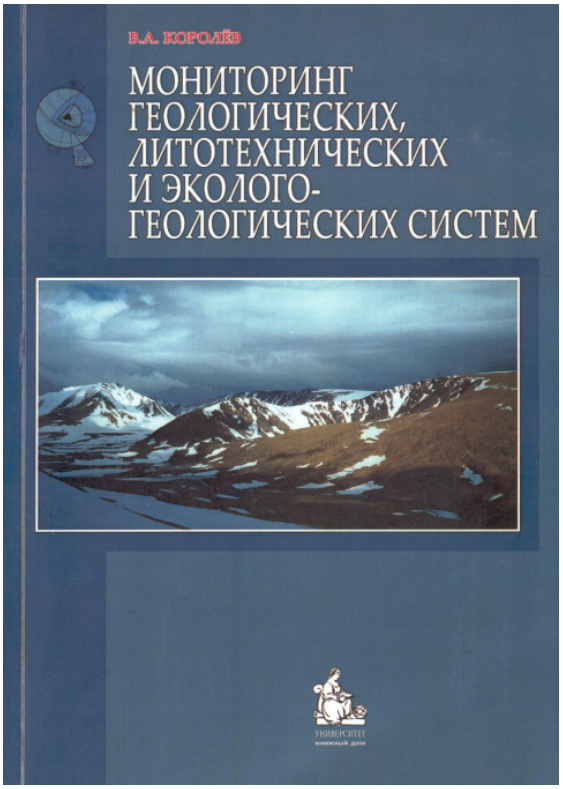
В рецензируемом учебном пособии рассматриваются теоретические и практические вопросы организации мониторинга природных геологических, литотехнических и эколого-геологических систем разных иерархических уровней: детального, локального, регионального, национального и глобального. Основой для пособия послужил учебник В. А. Королёва «Мониторинг геологической среды»*, изданный в 1995 г. и ставший первым в мире учебником в этой области.

Настоящее учебное пособие представляет собой существенно переработанное и дополненное издание этого учебника. Но за период, прошедший со времени его публикации, накопилось много новой информации по теории, методике и методологии мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. В России произошли различные организационные мероприятия на федеральном и региональных уровнях, способствующие совершенствованию федеральной системы мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем, в том числе в рамках существовавшей, но затем реорганизованной Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ) России. Новая информация по мониторингу, методам и подходам должна была быть отражена и в соответствующей новой учебной литературе, используемой в настоящее время в вузах страны при подготовке студентов по различным специальностям в рамках направления «Геология». В этой связи рассматриваемое учебное пособие, безусловно, является актуальным и своевременным.

Несмотря на то, что в разных вузах РФ читаются учебные курсы и спецкурсы, так или иначе рассматривающие разные виды мониторинга (например, курсы «Мониторинг геологической среды», «Мониторинг природных ресурсов», «Эколого-геологический мониторинг», «Мониторинг окружающей среды», «Экологический мониторинг» и др.), соответствующей учебной литературы по этим курсам не было, а учебник В. А. Королева 1995 г. издания стал недоступен за прошедшее время. Для восполнения указанного пробела было необходимо издание и последующее переиздание рассматриваемого учебного пособия.

В первой части пособия рассматриваются общие теоретические вопросы. В первой главе автором рассматриваются геологические, литотехнические и эколого-геологические системы как объекты мониторинга, приводятся их определения, соотношение, общая характеристика и особенности состава и структуры. Здесь анализируются особенности взаимодействия объектов литосферы, техносферы и биоты, детально характеризуются техногенные воздействия на рассматриваемые системы и приводится их классификация, даются количественные показатели техногенных воздействий на системы, рассматриваются вопросы устойчивости систем к техногенным воздействиям и критерии оценки состояния этих систем.

Вторая глава посвящена основным понятиям мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. Здесь рассматриваются виды мониторинга, приводятся их определения, история, соотношение, системы и службы мониторинга, назначение и содержание мониторинга, организационные вопросы функционирования ЕГСЭМ, существующие службы мониторинга в РФ, включая Госцентр «Геомониторинг», и др.



В третьей главе анализируются структура, принципы информационного и технического обеспечения систем мониторинга. Дается общая структура мониторинга, он характеризуется как особая геоинформационная система. Затем рассматриваются автоматизированная информационная система (АИС) мониторинга, математическое обеспечение АИС, локальные и региональные информационные сети, техническое обеспечение мониторинга.

В четвертой главе пособия характеризуются методы мониторинга. В ней анализируются: наблюдательные сети и программы наблюдений (виды наблюдений, наблюдательные сети и принципы разбивки системы пунктов получения информации, программы наблюдений и др.); дистанционные методы наблюдений; наземные методы наблюдений (включая методы наблюдений и съемок опасных геологических процессов, геофизические методы непосредственных наблюдений опасных геологических процессов и явлений и др.). Также рассматриваются особенности организации систем мониторинга опасных эндогенных процессов: мониторинг вулканоопасных территорий (влияние вулканизма на экосистемы, методы мониторинга вулканизма, особенности ГИС, структура мониторинга вулканоопасных территорий) и сейсмический мониторинг. Далее анализируются факторы и особенности организации систем мониторинга различных экзогенных геологических процессов (ЭГП): учет генетических и режимообразующих факторов, учет особенностей режима, типизация ЭГП и унификация информации о них и др. В заключение приводятся основы методики оценки техногенных воздействий на эколого-геологические системы, методы суммарной оценки измененности эколого-геологических систем, эколого-геологическое картирование территорий и составление карты-схемы организации мониторинга.

В пятой главе анализируются вопросы моделирования и прогноза в системе мониторинга. Здесь рассматривается место моделирования в этой системе, анализируются постоянно действующие модели в системе

* Королёв В. А. Мониторинг геологической среды: учебник // Под ред. В. Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 272 с.

мониторинга, виды и методы прогнозирования изменений систем, прогнозные карты изменения систем, прогноз опасных геологических процессов и явлений на основе геоинформационных технологий.

В шестой главе анализируются вопросы управления в системе мониторинга. Здесь даются основные понятия теории управления, анализируются методы принятия управляющих решений, экспертные оценки и решения, обоснование управления в системе мониторинга (в том числе рассматривается обоснование управления составом и свойствами горных пород, геологическими и инженерно-геологическими процессами и явлениями, эколого-гидрогеологическими условиями, изменением рельефа, эколого-геокриологическими условиями, литотехническими системами и др.).

Завершающая первую часть седьмая глава посвящена созданию и обоснованию целевой комплексной программы мониторинга. В ней приводится цель и назначение программы, её структура и этапы реализации.

Вторая часть учебного пособия посвящена особенностям организации систем мониторинга различных природно-технических систем с учетом разных типов хозяйственного освоения территории РФ. В ней рассматриваются особенности организации мониторинга в районах развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, нефтегазодобычи, топливно-энергетических комплексов, металлургической промышленности, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности, химической промышленности, машиностроения, промышленности строительных материалов, легкой и пищевой промышленности, военно-промышленного комплекса, территорий городских агломераций, сельскохозяйственного и гидромелиоративного освоения; радиационный мониторинг, а также мониторинг территорий линейных сооружений.

Важно отметить, что каждая глава этой части написана по единому плану, и это делает её удобной для восприятия студентами: вначале приводится характеристика особенностей данной ПТС (литотехнической или эколого-геологической систем): её структуры, функционирования, размещения на территории России, состава, характера техногенных воздействий и т. п., а затем рассматриваются вопросы организации систем мониторинга ПТС с учетом этих особенностей. Все главы в учебном пособии завершаются контрольными вопросами для студентов, с помощью которых можно осуществлять рубежный контроль и самоконтроль обучения в процессе прохождения учебного курса. Необходимо также отметить, что пособие снабжено обширным списком необходимой литературы, приложениями с некоторыми нормативными и законодательными документами.

Научный уровень содержательной части рассматриваемого учебного пособия В. А. Королева высокий и отвечает современным требованиям инженерной и экологической геологии. Методический уровень пособия также соответствует современным требованиям преподавания, он полностью адаптирован к студентам и существующим образовательным технологиям в области инженерной и экологической геологии, а также иных геологических дисциплин вузов.

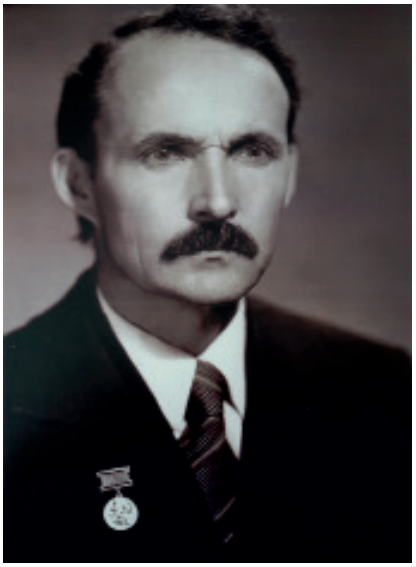
Психолого-педагогические требования к трактовке излагаемого в пособии материала удачно соблюдены авторами. Сложные теоретические вопросы в пособии освещены доходчиво и доступны для понимания, последовательное изложение материала идёт от простого к сложному. Эти преимущества делают пособие В. А. Королева удобным к применению в учебном процессе.

Учебное пособие на высоком современном уровне трактует базовые научные положения и основные принципы организации мониторинга, что делает его необходимым для использования не только студентами-геологами вузов, но и аспирантами, а также специалистами смежных областей знаний.

Ольга Михайловна Гуман,
доктор геолого-минералогических наук
guman2007@mail.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Потери науки

Памяти Александра Алексеевича Богомола (16.10.1927 – 04.05.2016)



4 мая 2016 г. после продолжительной болезни на 90-м году жизни скончался кандидат геолого-минералогических наук, доцент Александр Алексеевич Богомол.

А. А. Богомол родился 16 октября 1927 г. в с. Губиника Новомосковского района Днепропетровской области Украины. В 1944 г. окончил школу в городе Черемхово Иркутской области, где в то время проживали родители, и поступил на геолого-разведочный факультет Ленинградского горного института, находившегося в эвакуации в г. Иркутске. В 1945–1950 гг. он продолжил и завершил с отличием учебу в Ленинграде, куда вернулся Горный институт.

В период 1947–1950 гг. А. А. Богомол совмещал учебу с работой в Тувинской экспедиции ВСЕГЕИ. В эти годы он принимал непосредственное участие в открытии и разведке Ховуаксинского месторождения кобальта в Тувинской АССР. По окончании института продолжил работу на этом месторождении. В 1952 г. за открытие и разведку Ховуаксинского месторождения А. А. Богомол был удостоен звания лауреата Сталинской премии (позднее переименованной в Государственную премию 1 степени).

В декабре 1953 г. он был назначен главным геологом горной экспедиции Главгеологоразведки Министерства геологии СССР, образованной на безе бывших Тувинской и Ермаковской экспедиций, а в апреле 1959 г. – начальником этой экспедиции. В эти годы экспедицией открыт и разведан ряд месторождений кобальта, ртути, колчеданно-полиметаллических руд, редких металлов, железа и других полезных ископаемых.

В марте 1962 г., в связи с ликвидацией горной экспедиции, А. А. Богомол переведен на Урал старшим, а с 1964 г. – главным геологом Центральной Уральской партии Главгеологоразведки Министерства геологии СССР (с 1966 г. – Западной группы партий Степной экспедиции). В 1962–1969 гг. под его руководством и при участии проведены поисковые работы на Южном Урале. По результатам этих работ и выданных рекомендаций Оренбургским геологическим управлением в 1967–1969 гг. открыты Летнее и Осеннее медно-колчеданные месторождения.

С ноября 1969 г. А. А. Богомол работает в Свердловском горном институте, в составе Лаборатории поисков глубокозалегающих рудных месторождений под руководством профессоров П. А. Шехтмана и Г. П. Саковцева. В 1971 г. по результатам своих многолетних исследований в МГУ он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Структура рудного поля и закономерности локализации промышленного оруденения Ховуаксинского кобальтового месторождения» (научный руководитель – академик В. И. Смирнов). С октября 1971 г. А. А. Богомол старший преподаватель, а с июня 1974 г. – доцент кафедры геологии и разведки месторождений радиоактивных и редких металлов. За многие годы производственной деятельности он стал высококвалифицированным специалистом в области геологии и разведки рудных месторождений. О таких в народе говорят: «Геолог от Бога». Это положительно сказалось на подготовке кафедры инженеров высокого качества. Выпускниками кафедры открыты многие месторождения в различных районах страны.

За период работы на кафедре А. А. Богомол читал лекции и проводил практические занятия по курсам: «Разведка месторождений полезных ископаемых», «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», «Разведка месторождений радиоактивных и редких металлов», «Геолого-экономическая оценка рудных месторождений», «Структуры рудных полей и месторождений урана и редких металлов», «Геология и поиски месторождений урана с основами радиогидрогеологии»; руководил учебными и производственными практиками, курсовым и дипломным проектированием, а также принимал участие в методической работе, госбюджетных и хоздоговорных научно-исследовательских работах.

В 1989 г., проработав в Горном 20 лет, А. А. Богомол вышел на заслуженный отдых, но поддерживал связь с сотрудниками, коллегами, учениками.

Светлая память об Александре Алексеевиче Богомоле сохранится в сердцах его коллег и учеников.

Олег Николаевич Грязнов,
доктор геолого-минералогических наук, профессор

Памяти Гелия Николаевича Старцева (20.05.1925 – 06.05.2016)

6 мая 2016 г. скончался ветеран Великой Отечественной войны, бывший доцент кафедры геологии, поисков и разведки МПИ УГГУ, Гелий Николаевич Старцев.

Г. Н. Старцев поступил в Свердловский горный институт в 1950 году после окончания Великой Отечественной войны (принимал участие в освобождении Венгрии, Чехословакии, Австрии) и службы в Советской Армии. Окончил СГИ в 1955 г. по специальности инженер-геолог. Студентом активно участвовал в общественной и научно-исследовательской работе кафедры и после окончания института был оставлен на кафедре в должности ассистента. Одновременно принимал активное участие в работе по хоздоговорной тематике, занимаясь детальным геологическим картированием вулканитов Среднего Урала. В 1962 году Г. Н. Старцев защитил кандидатскую диссертацию на тему «Петрография и метаморфизм вулканогенных образований Полевского района». С 1964 г. – доцент кафедры, в 1965 г. получил звание доцента, читал курсы: «Полезные ископаемые», «Месторождения нерудных полезных ископаемых», вел лабораторные занятия по минераграфии и заведовал минераграфическим кабинетом, методические указания по минераграфии используются и в настоящее время.

С 1969 по 1972 гг. Г. Н. Старцев работал в качестве преподавателя в университете в Конакри (Народная республика Гвинея), в отраслевой лаборатории кафедры принимал участие в оценке рудоносности Полевского, Кировградского и Красноуральского меднорудных районов.

Г. Н. Старцев был активным общественником, председателем Совета ветеранов института.

Награжден орденом «Отечественной войны» II степени, медалями «За боевые заслуги», «За взятие Вены», «За победу над Германией», знаками «Отличный артиллерист», «Ветеран ВДВ», многими юбилейными медалями.

Коллектив кафедры ГПР МПИ

Юбилейные даты, объявления

Александру Григорьевичу Баранникову – 85 лет

Родился 4 апреля 1936 г. в Перми, в семье преподавателей вуза. Специалист в области прогнозирования, поисков и разведки месторождений золота; доктор геолого-минералогических наук (1992), профессор (1994); кандидатская диссертация: «Геология россыпей золота восточного склона Южного Урала» (1969); докторская дисссертация: «Россыпи золота Зауральского пенеплена и их коренные источники» (1992).

Окончил Свердловский горный институт им. В. В. Вахрушева в 1959 г. по специальности «Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых»: горный инженер-геолог. После окончания института работал в Уральской геолого-съемочной экспедиции в 1959–1968 геологом, старшим геологом, начальником отряда. С 1968 в Свердловском горном институте – Уральском государственном горном университете: 1968–1972 – старший преподаватель, 1973-1993 – доцент, с 1993 – профессор, 1994–1999 – заведующий кафедрой поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, с 1999 – профессор кафедры геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (ГПР МПИ); с 2004 – профессор кафедры поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного университета (по совместительству). Читает курсы лекций: «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых», «Поиски и разведка промышленных типов месторождений», «Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых». Основные труды посвящены решению вопросов региональной и локальной металлогении золота; при проведении региональных геолого-геоморфологических исследований в 60-е гг. на Южном Урале определил позиции более 30 перспективных участков, в 40 % которых позднее были обоснованы запасы россыпного золота; при структурно-геоморфологическом картировании ряда рудно-россыпных узлов в 70–80-е годы на Среднем и Южном Урале обосновал критерии и признаки пространственно-генетической связи коренных источников и россыпей, взятые за основу при подготовке рекомендаций на рудное золото для перспективных площадей; с середины 90-х гг. занимается разработкой геолого-генетических моделей концентрирования золота в продуктах мезозойской посторогенной активизации. Член экспертного совета журнала «Известия УГГУ» и редакционной коллегии журнала «Вестник Пермского университета»; член-корреспондент Международной академии минеральных ресурсов (1995); награжден нагрудными знаками: «Почетный разведчик недр» (2000), «Почетный работник высшего профессионального образования РФ» (2005), «Почетный знак УГГУ» (2011). Участник 13 Международных совещаний по геологии россыпей и месторождений кор выветривания, многих всероссийских и международных симпозиумов. Подготовил трех кандидатов наук. Автор и соавтор около 170 печатных работ, в том числе трёх монографий, более десяти учебных пособий и одного учебного кинофильма.

Из всех кристаллов-многогранников,
Обретших совершенный вид,
Профессор Александр Баранников –
Наиярчайший индивид.

Не перечесть его регалий,
Не охватить его заслуг,
И встретишь за свой век едва ли
Такого доктора наук.

Сотрудники кафедры ГПР МПИ

Объявление

Союз ученых Урала и фонд развития наук о Земле объявляют об учреждении **Почетной медали имени члена-корреспондента С. Н. Иванова «За выдающиеся результаты в области наук о Земле и достоинство».** В соответствии с научными интересами и областями знаний, в которых выдающийся геолог XX в. Святослав Несторович Иванов (1911–2003 гг.) оставил свой вклад, медаль будет присуждаться за исследования в областях:

1) геологии и геологического картирования;
2) изучения месторождений и открытия новых;
3) геотектоники и геодинамики;
4) геофизики и глубинного строения земной коры;
5) охраны природы и гидрогеологии.,
а также за стойкость и верность науке.

Премируемая работа должна содержать яркую идею, а не просто быть, скажем, толстой описательной монографией. Почетная медаль имени С. Н. Иванова также может быть присуждена за создание новых приборов, методов и технологий в области наук о Земле (непременное условие – они уже должны работать, а не планироваться к применению). В случае выдвижения на конкурс коллективной работы, Медаль могут получить не более 3 ее главных соавторов.

Почетную медаль им. С. Н. Иванова нельзя получить за исследование, уже отмеченное другой высокой наградой, а также за общее руководство работами.

Почетную медаль им. С. Н. Иванова присуждает научный совет фонда, в который в дальнейшем будут входить (при их желании) всё новые и новые Лауреаты почетной медали и широкая геолого-геофизическая общественность (голосованием: один электронный адрес = один голос). Пока можно голосовать за достойнейших на электронный адрес **ivanovks55@ya.ru**, в дальнейшем будет организовано голосование на сайте.

Медали начиная с 2017 г. будут присуждаться ежегодно в День геолога (первое воскресенье апреля), подача заявок – до 11 февраля (день рождения С. Н. Иванова). Претенденты на медали 2016 г. должны подать документы (выдвижение) в течение 3 месяцев (до 25 августа 2016 г.). Кандидатов на получение почтенной 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 ЖЕЛАТЕЛЬНО присылать в электронном виде, в качестве исключения – на почтовый адрес ИГГ УрО РАН (620016, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15, 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. Медаль одним и тем же человеком не может быть получена чаще, чем один раз в 10 лет.

Описание Почетной медали имени члена-корреспондента С. Н. Иванова «За выдающиеся результаты в области наук о Земле и достоинство». Медали выполнены из серебра 925 пробы (что подтверждено клеймом Пробирной палаты на каждом экземпляре), имеют диаметр 32 мм и вес 23,5 г, сделаны известной ювелирной фирмой.

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.

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.

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. Тригонометрические знаки (sin, cos, tg, arcsin и т. д.), знаки гиперболических функций (sh, ch, th, cth и т. д.), обозначения химических элементов (Al, Cu, Na и т. д.), некоторые математические термины (lim, In, arg, grad, const и т. д.), числа или критерии (Re – Рейнольдса и т. д.), названия температурных шкал (°С – градусы Цельсия и т. д.) набираются прямым шрифтом.

4. Физические единицы приводятся в системе СИ.

Графический материал

Рисунки, карты, чертежи предоставляются в электронном и бумажном виде, в цветном и/или черно-белом исполнении. Изображения должны быть четкими, контрастными. Таблицы и схемы должны быть пригодными для правки. Таблицы и схемы, сканированные как изображения, не принимаются.

На картах обязательно указывается масштаб. На чертежах, разрезах, картах должно быть отражено минимальное количество буквенных и цифровых обозначений, а их объяснение – в подрисуночных подписях. Ксерокопии и сканированные ксерокопии фотографий не принимаются. Рисунки с нечитаемыми или плохо читаемыми надписями, с подписями «от руки», слишком тонкими линиями не принимаются.

Подрисуночная подпись должна быть набрана 9 кеглем, экспликация – 8 кеглем, основной текст в таблице – 9 кеглем, шапка таблицы – 8 кеглем.

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

Ответственный секретарь Шорина Э. В.
Перевод Шиварёва Е. П.
Редактор Шорин А. Г.
Корректор Пихтовникова О. Г.

Подписано в печать 1.06.2016. Формат 60 × 84/8. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 13,5. Тираж 500. Заказ № 17.

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