ISSN 0536-1028 (Print) ISSN 2686-9853 (Online)

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

Научно-технический журнал. Издается с 1958 года

Выходит 8 раз в год **№ 7, 2020**

Учредитель и издатель

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор

Е. Ф. ЦЫПИН, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Заместитель главного редактора

Ю. И. ЛЕЛЬ, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

Редакционная коллегия

Валиев Н. Г. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Гордеев В. А. *Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар*
Душин А. В. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Зелинская Е. В. *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск*
Игнатьева М. Н. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Калмыков В. Н. *Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск*
Картозия Б. А. *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*
Кашников Ю. А. *Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь*
Козин В. З. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Косарев Н. П. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Косолапов А. И. *Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*
Лапин Э. С. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Литвиненко В. С. *Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*
Мочалова Л. А. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Панкратенко А. Н. *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*
Петров В. Л. *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*
Пучков Л. А. *Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва*
Рыльникова М. В. *Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва*
Сёмин А. Н. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Стровский В. Е. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
Шевченко Л. А. *Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово*
Яковлев В. Л. *Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург*

Иностранные члены редакционной коллегии

Битимбаев М. Ж. *Корпорация Казахмыс, г. Караганда, Республика Казахстан*
Дондов Д. *Монгольский государственный университет науки и технологий, г. Улан-Батор, Монголия*
Дребенштедт К. *Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия*
Пивняк Г. Г. *Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина*
Топалов С. Й. *Университет горного дела и геологии Св. Иоанна Рыльского, г. София, Болгария*
Трыбальский К. *Научно-технический университет им. С. Сташица, г. Краков, Польша*

© «Известия высших учебных заведений. Горный журнал», 2020

ISSN 0536-1028 (Print) ISSN 2686-9853 (Online)

IZVESTIYA VYSSHIKH UCHEBNYKH ZAVEDENII

GORNYI ZHURNAL

Scientific and technical journal. First published in 1958

8 issues a year **No. 7, 2020**

Founder and publisher

URAL STATE MINING UNIVERSITY

Editor-in-chief

E. F. TSYPIN, Ural State Mining University, Ekaterinburg

Deputy editor-in-chief

Iu. I. LEL, Ural State Mining University, Ekaterinburg

Editorial board

Valiev N. G. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Gordeev V. A. *Kuban State Technological University, Krasnodar*
Dushin A. V. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Zelinskaya E. V. *National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk*
Ignatieva M. N. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Kalmykov V. N. *Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, Magnitogorsk*
Kartoziia B. A. *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow*
Kashnikov Iu. A. *Perm National Research Polytechnic University, Perm*
Kozin V. Z. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Kosarev N. P. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Kosolapov A. I. *Siberian Federal University, Krasnoiarsk*
Lapin E. S. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Litvinenko V. S. *St. Petersburg Mining University, St. Petersburg*
Mochalova L. A. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Pankratenko A. N. *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow*
Petrov V. L. *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow*
Puchkov L. A. *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow*
Rylnikova M. V. *Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, RAS, Moscow*
Semin A. N. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Strovskii V. E. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
Shevchenko L. A. *Kuzbass State Technical University, Kemerovo*
Iakovlev V. L. *Institute of Mining of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg*

International members

Bitimbaev M. Zh. *Kazakhmys Corporation LLC, Karaganda, Republic of Kazakhstan*
Dondov D. *Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia*
Drebenshtedt K. *TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Germany*
Pivniak G. G. *National TU Dnipro Polytechnic, Dnepropetrovsk, Ukraine*
Topalov S. I. *University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria*
Trybalski K. *Scientific and Technical University named after S. Staszic, Krakow, Poland*

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ

Яковлев В. Л. **О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России** **5**

Лель Ю. И., Глебов И. А., Буднев А. Б., Исаков С. В., Ганиев Р. С. **К обоснованию параметров крутонаклонных автосъездов при вскрытии глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров** **21**

Чиркин А. А., Кантемиров В. Д. **Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок** **33**

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА

Матниязова Г. И., Хайдина М. П. **Оценка влияния геологических особенностей метаноугольного пласта на работу эксплуатационной скважины (In English)** **41**

Харисов Т. Ф., Мельник В. В., Замятин А. Л. **Геофизические поисково-оценочные исследования в условиях подземного рудника** **49**

ГЕОИНФОРМАТИКА

Калашник Н. А. **4D-моделирование консолидации грунтов ограждающей дамбы хвостохранилища обогатительной фабрики (In English)** **56**

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Игнатьева М. Н., Логвиненко О. А. **Минеральные ресурсы как составляющая природного капитала** **63**

ГЕОЭКОЛОГИЯ, РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Дмитрак Ю. В., Кожиев Х. Х., Дзапаров В. Х., Дзеранов Б. В. **Проблема минимизации химического загрязнения промышленными растворами при добыче металлов в горных регионах (In English)** **73**

Абатурова И. В., Савинцев И. А., Стороженко Л. А., Нугманова Э. Д., Козлов В. С. **Этапность изучения инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых от разведки до отработки** **83**

Петров Ю. В., Чепуштанов Д. И. **Результаты внедрения систем экологического и климатического менеджмента в уральской золотодобывающей отрасли (на примере АО «Золото Северного Урала»)** **92**

ГОРНАЯ МЕХАНИКА. ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ТРАНСПОРТ

Шишлянников Д. И. **Обеспечение надежной работы и эффективного сервиса проходческо-очистных комбайнов для добычи калийных руд** **103**

ИСТОРИЯ. ИНФОРМАЦИЯ. РЕЦЕНЗИИ

Курлаев Е. А. **Поиски серебряной руды на Южном Урале** **110**

Кафедре маркшейдерского дела УГГУ – 100 лет (1920–2020) **120**

CONTENTS

GEOTECHNOLOGY: UNDERGROUND, OPEN, CONSTRUCTIONAL

Iakovlev V. L. **Solid mineral deposits integrated development methodology for Russian mineral resource base development strategy..... 5**

Lel Iu. I., Glebov I. A., Budnev A. B., Isakov S. V., Ganiev R. S. **Rationale for the parameters of steeply inclined ramps of kimberlite pits deep horizons exposing..... 21**

Chirkin A. A., Kantemirov V. D. **Rationale for mobile crushing plants design methodology..... 33**

MINING AND OIL-AND-GAS GEOLOGY, GEOPHYSICS

Matniiazova G. I., Khaidina M. P. **Assessing the impact made by the geological features of a coalfield on producing well's operation (In English)..... 41**

Kharisov T. F., Melnik V. V., Zamiatin A. L. **Geophysical researches in mine..... 49**

GEOINFORMATICS

Kalashnik N. A. **4D modeling of concentrating mill tailings dam protecting dike soil consolidation (In English)..... 56**

ECONOMICS AND MINING PRODUCTION CONTROL

Ignatieva M. N., Logvinenko O. A. **Mineral resources as a constituent part of natural capital..... 63**

GEOECOLOGY, RATIONAL NATURE MANAGEMENT

Dmitrak Iu. V., Kozhiev Kh. Kh., Dzaparov V. Kh., Dzeranov B. V. **Minimizing chemical contamination with commercial solutions when producing metal in highland regions (In English)..... 73**

Abaturova I. V., Savintsev I. A., Storozhenko L. A., Nugmanova E. D., Kozlov V. S. **Sequence of studying engineering and geological conditions of mineral deposits from exploration to development..... 83**

Petrov Iu. V., Chepushtanov D. I. **The results of environmental and climate management systems implementation in the Ural gold mining industry (by the example of Gold of Northern Urals CJSC)..... 92**

MINING MECHANICAL ENGINEERING. MINING MACHINERY AND TRANSPORT

Shishliannikov D. I. **Ensuring reliable operation and efficient service of heading and winning machines for potash ore extraction..... 103**

HISTORY. INFORMATION. REVIEWS

Kurlaev E. A. **Silver ore exploration in the Southern Urals..... 110**

The 100th anniversary of Mine Surveying Department of UrSMU, 1920–2020..... 120

УДК 622.014.3:553.042 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20

О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России

Яковлев В. Л.[1]
[1] Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: yakovlev@igduran.ru

Реферат

Введение. *В статье определено значение минерально-сырьевого потенциала в обеспечении экономической безопасности России. В создании надежной минерально-сырьевой базы и развитии горнодобывающих отраслей промышленности большая роль принадлежит горной науке.*

Актуальность и цель исследования. *Развитие горнодобывающих отраслей промышленности в ухудшающихся горнотехнических условиях, вызванных ростом глубины открытых горных работ, снижением содержания основных полезных компонентов в добываемом сырье, отработка запасов наиболее богатых месторождений потребовали совершенствования техники, технологии и организации комплексного освоения на глубоких горизонтах действующих горных предприятий и освоения месторождений невысокого качества в отдаленных регионах страны с неразвитой инфраструктурой. В связи с этим возникла необходимость коренного пересмотра стратегии развития минерально-сырьевой базы России.*

Методология. *Выполнен анализ подходов к обоснованию комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности с учетом переходных процессов с целью адаптации горнотехнических систем горных предприятий к изменяющимся условиям их функционирования.*

Результаты. *Дано определение стратегии разработки глубокозалегающих крутопадающих месторождений с учетом нарастания геологической, горнотехнической и технико-экономической информации в динамике развития горных работ. Выделены особенности освоения запасов месторождений в северных и приравненных к ним регионах, в том числе с учетом комплексного освоения территорий путем создания минерально-сырьевых центров.*

Ключевые слова: *горное дело; минеральное сырье; сложноструктурные месторождения; стратегия; комплексное освоение; методология; переходные процессы.*

Статья подготовлена по материалам исследований по Госзаданию № 075-01039-20-00, тема № 0405-2019-0005.

Введение. Проблемы эффективного и безопасного освоения минерально-сырьевых ресурсов планеты в целом и России в частности выходят за рамки горного производства, более того, они могут быть решены не только с участием геологов, горняков, металлургов, экономистов, но и специалистов других отраслей, так как носят геополитический характер.

Россия занимает одно из ведущих мест в мире по минерально-сырьевому потенциалу, который оценивается как достаточный для проведения независимой и эффективной экономической политики и обеспечения национальной безопасности.

Важность добычи полезных ископаемых для развития цивилизации уже на ранних стадиях своего развития нашла отражение в научном подходе к решению проблем горного дела и металлургии.

Первый русский академик М. В. Ломоносов, избранный членом академии в 1742 г., в опубликованном в 1763 г. труде «Первые основания металлургии или рудных дел» [1], являющемся фактически первым учебником горного дела в России, отметил: «Наука, которая учит минералы знать, приискивать и приводить в такое состояние, чтобы они в обществе человеческом были угодны, называется горная наука».

Эта оценка роли горной науки основывалась на его многогранном таланте в различных областях знаний, о чем свидетельствует список членов созданной в 1724 г. Российской академии наук [2], в котором после записи Ломоносов М. В. (1711–1765 гг.) указан перечень научных специальностей: физик, химик, астроном, специалист в области горного дела, географ, историк, филолог, поэт.

Таблица 1. Наименование специальностей в области горных наук при избрании в члены Российской академии наук
Table 1. List of specialties in the field of mining for membership in the Russian Academy of Sciences

Специальность	Годы избрания	Число членов академии
Горное дело	1935, 1939, 1960, 1962, 1981	6
Горное дело и металлургия	1958	1
Технические науки, горное дело	1935	1
Горные науки, разработка твердых полезных ископаемых	1979, 1981, 2000	5
Разработка твердых полезных ископаемых	1997	1
Горное дело и экология	1991	6
Горные науки	1976, 1994, 2013, 2016	5
Горное дело. Промышленный транспорт	1935	1
Геология, геофизика, горное дело	1984	1
Геофизика, горные науки	1997	1
Геология, геофизика, геохимия, горные науки	1990, 1992	5
Петрология, горное дело	2006	1
Геология твердых полезных ископаемых	1991	2
Комплексное освоение минеральных ресурсов, геоинформатика	2000	1
Итого	1935–2016	37

4 октября 1736 г. для обучения горному делу и металлургии М. В. Ломоносов был направлен в Германию в Марбургский университет, где он обучался до 1739 г., а 8 июня 1741 г. вернулся в Санкт-Петербург и приступил к составлению каталога собраний минералов и окаменелостей минерального кабинета кунсткамеры.

Обучаясь горному делу в Германии, М. В. Ломоносов ознакомился с трудами Георга Агриколы (1494–1555), который в исторически значимом труде «О горном деле и металлургии» [3], ставшем энциклопедией, дал полное представление об искусстве горного промысла к середине XVI в. В книге I этого труда Г. Агрикола дал высокую оценку значимости горного дела: «…великие выгоды и удобства приобретаются при добыче полезных ископаемых. Разумеется, мы были бы ли-

шены этих выгод и удобств, если бы не было изобретено людьми горное искусство, совершенно необходимое для рода человеческого. Горное дело преумножает достаток честными и достойными способами».

В Российской академии наук определение «горная наука» получило дальнейшее развитие в наименовании специальностей при избрании в члены академии (табл. 1).

К числу основополагающих исследований проблем горных наук, опубликованных в период 1950–2000 гг., относятся труды академиков РАН Н. В. Мельникова [4], В. В. Ржевского [5, 6], М. И. Агошкова [7], К. Н. Трубецкого [8, 9], Ю. И. Малышева, членов-корреспондентов РАН Д. В. Каплунова, Л. А. Пучкова [8], профессоров Е. Ф. Шешко [10], М. Г. Новожилова [11], М. В. Васильева [12], охватывающие значительный период становления и развития горного дела.

Таблица 2. Нарастание информации о месторождении и принятие основных технологических решений
Table 2. Growth of information about the field and basic process solutions

Этапы разведки	Результаты	Принимаемые решения
Предварительная	Обоснование кондиций. Подсчет запасов по категориям C_1 и C_2	Разрабатывается технико-экономическая документация: обосновывается целесообразность освоения, способ разработки, технологии добычи и переработки, степень и характер комплексности месторождения, определяются технико-экономические параметры добычи, обогащения и металлургического передела
Детальная	Уточнение геологического строения, форм, условий залегания тел полезного ископаемого, его качества, гидрогеологических и горнотехнических условий предполагаемой разработки. Перевод запасов категорий C_1 и C_2 в категории А и В	При положительной оценке принимается решение о проектировании горного предприятия. Основные геологические параметры, определяющие выбор способа разработки, техники и технологии добычи и переработки, принимаются обычно с ошибками вследствие недостаточной достоверности информации
Эксплуатационная, ведется весь период отработки месторождения	Устранение неопределенности в геологической обстановке	Планирование добычи полезного ископаемого по сортам, корректировка типоразмеров горных машин и технологии добычи, режимов усреднения и обогащения

Заканчивая краткую историческую справку о роли горного дела в жизни общества, приводим выдержку из труда В. В. Путина, который, еще не будучи президентом России, в «Записках горного института» отмечал: «Устойчивое развитие экономики России в ближайшие годы должно базироваться... прежде всего за счет минерально-сырьевого потенциала. Под устойчивым развитием... подразумевается гарантированное обеспечение экономической безопасности страны путем создания надежной минерально-сырьевой базы для удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики России с учетом экологических, социальных, демографических, оборонных и других факторов» [13].

Методика и результаты исследования. К числу факторов природной изменчивости геологических параметров сложноструктурных месторождений, обосновывающих необходимость исследования и учета переходных процессов в технологии их разработки, относятся:

Таблица 3. Закономерности развития горнодобывающей промышленности
Table 3. Laws of mining industry development

Закономерности	Причины, их порождающие, и способы учета при разработке методологии освоения георесурсов
Рост объемов добычи полезных ископаемых	Рост народонаселения в мире, научно-технический прогресс, потребности человечества в тепле, жилье, энергии и материалах. Разрыв в уровнях потребления полезных ископаемых на душу населения в индустриально-развитых и развивающихся странах
Рост глубины разработки месторождений полезных ископаемых	За XX в. прирост максимальной глубины разработки угольных и рудных месторождений составил более 1 км, а средние темпы роста – более 10 м/год. Рост глубины извлекаемых ежегодно запасов минерального сырья требует поэтапного перехода на новые параметры техники и технологии горного производства
Уменьшение среднего содержания главных полезных компонентов в добываемом сырье	Среднее содержание меди в начале XX в. – 2 %, к 1960 г. – 1 %. В настоящее время на некоторых месторождениях, разрабатываемых открытым способом, снизилось до 0,5 %. Для получения товарной продукции нужного качества приходится увеличивать добычу и переработку более бедных руд во все больших объемах
Распределение размеров месторождений	Чем крупнее месторождение по запасам, тем их меньше. Месторождения бедных руд являются более крупными. По данным акад. В. И. Вернадского [15], 65 % мировых запасов имеют низкое содержание минералов, 30 % – среднее и только 5 % – высокое, но они уже практически выработаны
Запасы руды и металла есть функция бортового содержания (минеральное содержание в краевых пробах рудного тела)	Запасы руды и металла могут увеличиваться при принятии более низкого бортового содержания. Длительные сроки отработки месторождений и изменения показателей кондиций требуют периодической геолого-экономической переоценки месторождений
Опережающий рост извлекаемых объемов горной массы по сравнению с ростом объемов основного конечного продукта	На железорудных карьерах РФ за период с 1990 по 2016 г. выход товарной руды снизился с 41,1 до 35,8 %, в то время как объемы добычи сырой руды возросли с 263 до 298,1 млн т, т. е. на 1 т товарной руды прирост сырой руды составил 2 т
Повышение доли попутных компонентов в общей ценности минерального сырья и рост доли комплексных месторождений	Все месторождения полезных ископаемых являются потенциально комплексными, однако в процессе переработки основного полезного компонента (железа, меди) попутные компоненты, содержащиеся в сырье в малых количествах, накапливаются в полупродуктах или отходах производства. В цветной металлургии из 74 извлекаемых химических элементов 62 являются попутными
Расширение и смена номенклатуры источников минерального сырья и направлений его использования	Еще 350 лет тому назад были известны всего 15 химических элементов. В XVIII в. были открыты 14 элементов, в том числе титан, хром, марганец, никель, стронций, иттрий, молибден, теллур, вольфрам, платина. Основная масса элементов была открыта в XIX в., а периодическая система элементов – в 1869 г. Расширение номенклатуры источников минерального сырья привело к открытию сотен месторождений новых промышленно-генетических типов и других источников минерального сырья
Решающая зависимость технико-экономических показателей работы горных предприятий от природных условий	Обзор и классификация факторов, влияющих на систему экономических показателей горных предприятий, даны акад. Н. В. Мельниковым [4]. Горно-геологическая группа: запасы, их качество, категория сложности геологического строения, мощность покрывающих пород, угол падения залежи, глубина разработки, коэффициент вскрыши и др. Физико-географическая группа: температура воздуха района, характер рельефа, географическая широта и долгота, наличие вечной мерзлоты. Важнейшее значение имеют также: годовая производственная мощность предприятия, показатели кондиций, системы вскрытия и разработки месторождения, характеристика инфраструктуры района освоения

1. Тела полезного ископаемого залегают в виде жил, линз, пластов переменной мощности, содержат включения пустых пород или некондиционных руд разных размеров и формы, осложнены складчатыми или разрывными тектоническими нарушениями;

2. Элементы залегания, устойчивость горных пород, их трещиноватость, естественная блочность, сложность, пределы прочности и деформационные свойства меняются в широких пределах;

3. По мере развития горных работ изменяется качественный состав полезного ископаемого, имеет место закономерная или случайная зональность общего баланса минералов, высокая неравномерность их содержания и гранулометрического состава от сплошных до тонковкрапленных руд.

Все это требует детальной геометризации размещения полезного ископаемого в недрах и учета при выборе горной техники и технологии, адаптивных к изменениям геологической среды, планирования горных работ в режимах селективной выемки и усреднения, создания инновационных технологий добычи и рудоподготовки с учетом закономерностей переходных процессов при изменении условий функционирования горнообогатительного предприятия.

Все месторождения полезных ископаемых уникальны, а их запасы исчерпаемы и невозобновимы, большинство месторождений минерального сырья являются комплексными. Информация о месторождении по мере его разработки нарастает (табл. 2), а основные решения, принятые при проектировании в условиях неопределенности, требуют периодической корректировки.

К числу наиболее значимых вопросов, решаемых при проектировании и разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений большой глубины с целью адаптации горнотехнической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования в динамике развития горных работ, относятся:

1. Оценка объема и качества запасов, принятие решения о целесообразности их комплексного освоения;

2. Обоснование способа разработки глубокозалегающего месторождения и возможности (целесообразности) перехода от открытого к подземному или комбинированному способу;

3. Обоснование границ карьера, его глубины, углов откоса бортов, последовательность развития рабочей зоны, выделение этапов разработки;

4. Формирование транспортной системы карьера во взаимосвязи с развитием карьерного пространства и его рабочей зоны, применение новых видов технических средств и схем транспорта с заменой действующих, но чаще в дополнение к ним;

5. Поэтапная разработка месторождений, формирование временно нерабочих бортов карьеров и последующая их разработка с использованием специальных технологий и технических средств взрывания, экскавации, транспорта.

6. Вскрытие новых горизонтов, в том числе с возможным изменением физико-механических свойств и вещественного состава слагающих их горных пород;

7. Разработка месторождений сложного геологического строения залежей основного полезного ископаемого при наличии попутных полезных компонентов, значительной изменчивости их содержания и других свойств, требующих селективной разработки, усреднения и периодического изменения параметров систем разработки, рудоподготовки и обогащения.

Закономерности развития горного дела обуславливаются объективными законами развития природы и общества, общими закономерностями научно-технического прогресса, особенностями концентрации минерального сырья в недрах и спецификой их добычи и переработки [14].

В табл. 3 приведены закономерности развития горнодобывающей промышленности, а также причины, их порождающие, и способы учета при разработке методологии освоения георесурсов.

В связи с необходимостью учета особенностей освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых, их комплексности и высокой изменчивости геологических параметров требуется коренной пересмотр методологического подхода к обоснованию стратегии комплексного освоения запасов минерального сырья.

Необходимость комплексного использования добываемого сырья осложнена при реализации этого важного источника минеральных ресурсов вследствие имевшего место отраслевого подхода к освоению недр, когда все технологические процессы от забоя до товарной продукции горно-обогатительных комбинатов были нацелены на извлечение основного полезного компонента (железа, меди и др.).

Начало новому этапу в развитии горных наук положило издание коллективной монографии практически всех ведущих ученых в области освоения недр [8], в которой представлена классификация горных наук, в совокупности охватывающая вопросы горного недроведения, горной системологии, геотехнологии, обогащения полезных ископаемых.

Вице-президент РАН акад. Н. П. Лаверов в предисловии к монографии дал высокую оценку этого научного труда: «Данная книга представляет собой необычный научный труд… выход наук на принципиально новые позиции в понимании предмета, содержания и в целом их идеологии и методологии».

В развитие методологии и технологий освоения недр в период 1997–2010 гг. были опубликованы научные труды, в которых рассмотрены: состояние, проблемы и перспективы развития горнодобывающей промышленности России и стран СНГ [16]; развитие открытых горных разработок во второй половине XX в. [17]; методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов [18]; методические подходы к учету общих закономерностей и региональных особенностей при выборе стратегии освоения месторождений полезных ископаемых [19]; развитие теории проектирования и реализация идей комплексного освоения недр [20]; новая концепция разработки месторождений глубокими карьерами [21]; комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья [22].

В период с 2010 г. участие ИГД УрО РАН в исследованиях по Программам Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН, интеграционных проектах с институтами Сибирского и Дальневосточного отделений РАН способствовало разработке нового подхода к применению программно-целевых методов исследований на основе совокупного использования принципов: системности, комплексности, междисциплинарности, инновационной направленности (табл. 4). Такой подход впервые был применен в фундаментальных исследованиях ИГД УрО РАН:

1. Программа № 27 Президиума РАН (координаторы – акад. Д. В. Рундквист, акад. Л. И. Леонтьев), проект «Разработка инновационных технологий добычи и рудоподготовки стратегического минерального сырья на основе геолого-технологической оценки месторождений и техногенных объектов Уральского региона»;

2. Программа № 3 ОНЗ РАН (координатор – акад. К. Н. Трубецкой), проект «Технологический и инновационный потенциал энерго- и ресурсосбережения при комплексном освоении недр в сложных условиях»;

3. Междисциплинарный проект Президиума УрО РАН «Освоение недр Земли: перспективы расширения и комплексного освоения рудной минерально-сырье-

вой базы горно-металлургического комплекса Урала». В исследованиях принимали участие ученые Института металлургии и ряда других институтов УрО РАН;

4. Интеграционный проект с ИГД ДВО РАН «Научные принципы и теоретические основы формирования минерально-сырьевых комплексов и горнопромышленных районов».

Сущность методологии комплексного освоения запасов месторождений достаточно аргументированно изложена в монографиях [23, 24] по результатам исследований, выполненных ИГД УрО РАН.

Таблица 4. Основные принципы методологического подхода к решению проблем освоения недр

Table 4. Main principles of the methodological approach to the problems of subsoil development

Принцип	Сущность
Системность	Раскрытие основных правил исследования, эксплуатации или освоения минерального объекта, выявление многообразных типов внешних и внутренних связей, влияющих на построение обобщенной модели исследуемой системы
Комплексность	Исследование не только явлений и процессов разработки месторождений, но и возможности наиболее полного использования всех компонентов минерального сырья, освоения и развития территорий и регионов их расположения
Междисциплинарность	Объединение усилий в смежных областях научных знаний для разносторонней оценки полезного эффекта и поиска нетрадиционных подходов к использованию богатств недр
Инновационная направленность	Обязательное требование, призванное обеспечить материализованный результат, полученный от вложения средств в научные исследования, новую технику или технологию, в новые формы организации производства, безопасности и управления

На основе анализа исторического опыта развития научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ и результатов фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН по проектам Программ Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН, Комплексной программы УрО РАН сформулировано определение инновационного базиса как научно-технологической основы комплексного освоения ресурсов минерального сырья, включающего:

– обоснование необходимости нового методологического подхода к решению проблем освоения недр, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности с учетом особенностей проектирования освоения новых месторождений, планирования и управления технологическими процессами на действующих горнодобывающих предприятиях;

– определение стратегии разработки глубокозалегающих крутопадающих месторождений с учетом нарастания геологической, горнотехнической и технико-экономической информации в динамике развития горных работ;

– особенности освоения запасов месторождений в северных и приравненных к ним регионах путем создания минерально-сырьевых центров – основы комплексного освоения недр и территорий в сложных природно-климатических условиях;

– инновационный технический, технологический и организационный потенциал основных процессов горного производства;

– ГИС-технологии – инструмент для принятия решений по комплексным проблемам освоения недр;

– оценку ресурсного потенциала и перспектив развития минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала;

– технологическую возможность и экологическую эффективность вовлечения в эксплуатацию отходов добычи руд черных и цветных металлов.

К основному направлению инновационного совершенствования технологических параметров процессов горного производства и обеспечения стабилизации его показателей с ростом глубины карьеров и ухудшением условий эксплуатации следует отнести техническое перевооружение и модернизацию геотехники, обеспечивающей энерго- и ресурсосбережение при ведении горных работ.

Сформулирован новый принцип размещения рудоподготовительных комплексов – максимальное приближение к местам выемки. Для карьеров это размещение установок сухой магнитной сепарации в прибортовой зоне или в непосредственной близости к отвалам пустых пород, для подземных рудников – организация подземных рудоподготовительных комплексов, что приведет к существенному снижению уровня загрязнения атмосферы и общему снижению транспортных расходов.

Сформирована комплексная модель инновационной технологии добычи и переработки титаномагнетитовых руд, основными элементами которой являются: типизация руд по текстуре, содержанию и обогатимости; отказ от существующей валовой выемки руд с развитием селективной добычи; организация усреднения и рудоподготовки с переработкой руд по типам и получением обособленных (или коллективных) высококачественных концентратов; модернизация технологии плавки железорудного высокотитанистого сырья, а также сырья с повышенным содержанием ванадия.

Освоение новых месторождений и расширение сырьевой базы в северных районах Урала, Якутии и Дальнего Востока требует принципиально нового подхода к выработке стратегии формирования горнопромышленных комплексов с единой открытой производственной инфраструктурой для разработки нескольких месторождений в каждом из районов их расположения, включающей источники энергии, водоснабжения, ремонтные базы, объекты социальной сферы, перерабатывающие предприятия и т. п. Таким образом, принцип комплексного освоения недр дополняется принципом комплексного освоения территорий.

Разработанный методологический подход возможно реализовать непрерывным мониторингом развития горнотехнической системы горнообогатительного предприятия, своевременной разработкой переходных процессов на всех стадиях освоения месторождения и реализацией рекомендаций по совершенствованию требующих изменения параметров и технологий в связи с изменяющимися внутренними и внешними условиями функционирования горного предприятия.

Особое внимание уделено минерально-сырьевой базе уральских предприятий, которая сокращается, но не истощается. Она или недоразведана, или не обеспечена современной проектной документацией, или нуждается в совершенствовании технологии добычи и переработки. Современный этап развития горнодобывающего комплекса требует разработки стратегии развития его сырьевой базы, обеспечивающей реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии, промышленности строительных материалов и других (легированные стали, энергетическая безопасность, машиностроение для арктических регионов), основанной на опережающем целевом поиске и ускоренной комплексной геологической разведке месторождений твердых полезных ископаемых, углей, редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр. полезных ископаемых. Резервами, восполняющими погашаемые запасы горнорудного сырья, следует считать балансовые запасы глубоких горизонтов, забалансовые

руды, ресурсы техногенных образований. Ресурсы арктической зоны Урала рекомендуется поэтапно осваивать в соответствии со сформулированным принципом комплексного освоения территорий.

Развитие программно-целевого метода исследований проблем освоения недр обосновано путем введения принципиально нового понятия «переходные процессы» и разработки методов учета их закономерностей при проектировании и освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых с целью адаптации горнотехнических систем горных предприятий на основе исследования и систематизации основных факторов, определяющих изменение горнотехнических условий развития горных работ при переходе на уточненные параметры основных технологических процессов горного производства [24].

Применительно к горно-обогатительному производству переходные процессы – это комплекс организационных, технических и технологических мероприятий, необходимых для перевода всех подсистем предприятия в состояние, учитывающее изменение условий (внешних и внутренних) для его успешного функционирования и развития.

В научном плане исследование переходных процессов – это новое направление развития методологического подхода к решению проблем освоения недр. Реализация такого подхода особенно необходима при переходе от плановой к рыночной экономике. Этот подход позволяет перейти от организации и параметров системы, созданной в условиях неполноты информации, путем реализации обоснованных исследованием изменяющихся условий функционирования горнотехнической системы конкретного разрабатываемого или осваиваемого вновь месторождения, к новой структуре, организационно, технологически и технически соответствующей изменившимся характеристикам горнотехнических и горно-геологических параметров вновь вскрываемых запасов минерального сырья, требующих других технологий его добычи и переработки, в том числе с учетом изменения параметров внешней среды.

Для реализации методологического подхода, основанного на учете переходных процессов, необходимы:

– оценка современного состояния конкретного горнодобывающего предприятия, в том числе его структуры, системы управления, параметров технологии всех звеньев горнотехнической системы;

– количественная и качественная оценка вскрытых, добываемых и перспективных запасов и периодическая их переоценка;

– установление соответствия параметров систем разработки и параметров технологических процессов (разрушения горной массы, погрузки, транспортирования, селекции и усреднения, рудоподготовки и обогащения), сформировавшимся и перспективным условиям их функционирования;

– оценка запасов нижележащих блоков залежей на основе уточнения бортового содержания, количества и качества основного и попутных полезных ископаемых;

– корректировка границ карьера по глубине горных работ с учетом прогноза горно-геологических условий, российских и мировых тенденций производства и потребления минерального сырья;

– формирование карьерного пространства с учетом устойчивости бортов карьеров;

– выбор способа вскрытия новых горизонтов, уточнение объемов добычных и вскрышных работ с выбором оптимального режима горных работ;

– оценка соответствия машин и механизмов всех действующих технологических процессов сформировавшимся и перспективным условиям их эксплуатации и, как результат, обоснование долгосрочной стратегии развития предприятия

с учетом периодического перехода на новые технологии, в том числе от открытой к подземной или комбинированной технологии разработки запасов месторождения.

Сущность новизны исследования переходных процессов при проектировании и разработке глубокозалегающих месторождений состоит в том, что если при оценке динамики развития горнотехнической системы и показателей ее функционирования возникает необходимость изменить параметры техники или технологии горнообогатительного производства, то следует установить необходимость, совокупность и последовательность ряда действий (мероприятий), чтобы принять и реализовать принятые технологические инновационные решения.

Впервые выделены переходные процессы в части буровзрывных работ, сформулированы требования к новым буровым станкам, обеспечивающим высокоэффективное бурение скважин в условиях интенсивной разработки крутопадающих месторождений.

Предложена методика получения информации о прочностных и технологических свойствах массива горных пород, получаемых в процессе бурения, включая дополнительную информацию об угле наклона и координатах скважины, состоянии электродвигателей бурового станка, степени износа бурового инструмента.

Новизна исследований в формировании транспортных систем карьеров, с учетом зарубежного опыта [25], заключается в обосновании целесообразности: расположения перегрузочных пунктов при применении автомобильно-конвейерного транспорта на борту карьера с начальной стадии отработки месторождения; обоснование возможности применения съездов с крутым уклоном при использовании гусеничных самосвалов; предложены варианты развития транспортной системы карьера в переходные периоды разработки месторождения.

Обоснован методический подход к адаптации горнотранспортных систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегающих месторождений, базирующийся на следующих принципах:

– обоснование параметров транспортных систем карьеров (ТСК) должно базироваться на многовариантном подходе, основанном на имитационном компьютерном моделировании функционирования ТСК во взаимосвязи с ключевыми параметрами горно-технологической системы в целом (через трехмерное компьютерное моделирование и т. п.);

– методика технико-экономического сравнения вариантов является адаптивной и базируется на результатах экономико-математического моделирования, позволяющего рассматривать варианты не только традиционных, но и новых видов (инновационных конструкций) транспорта;

– выбор предпочтительного варианта адаптации осуществляется не по дискретным значениям, а на сплошных многомерных (многофакторных) моделях (в простейшем случае – трехмерных), что существенно повышает точность прогнозирования и обоснованность принимаемых решений.

Совместное использование усовершенствованной методики технико-экономического сравнения видов транспорта и инновационных решений в области геотехнологии позволило установить, что на карьерах, разрабатывающих глубокозалегающие месторождения, циклично-поточную технологию с автомобильно-конвейерным транспортированием руды целесообразно вводить с самого начала ее добычи.

Первым этапом разработки систем управления качеством минерального сырья является всестороннее изучение и определение контрастности качественных характеристик полезных ископаемых, выделение технологических типов и сортов руд.

Важным этапом рудоподготовки является моделирование качественных характеристик полезного ископаемого с помощью ГИС-технологий [26, 27], вклю-

чая блочное моделирование и геометризацию параметров объектов (рудных тел, распределения в рудном теле рудообразующих минералов, показателя обогатимости, контрастности, засоренности, содержания ценных компонентов и др.) с целью районирования в карьерном пространстве технологических типов руд.

Новизной разработанной методики по выявлению закономерностей изменения содержания ценных компонентов в руде является геометризация комплексного показателя обогатимости, который учитывает текстуру и структуру руд. На основе полученной методики возможно выделение перспективных для разработки участков в плане и по глубине, а также производство календарного планирования объемов добычи с решением задачи управления качеством минерального сырья.

Признанием объективной необходимости исследования переходных процессов в качестве нового научного направления при разработке теоретических основ стратегии и технологии комплексного освоения месторождений явилось включение в план научно-исследовательских работ ИГД УрО РАН в качестве государственного задания темы фундаментальных исследований на 2016–2018 гг. «Теоретические основы стратегии комплексного освоения месторождений и технологий их разработки с учетом особенностей переходных процессов в динамике развития горнотехнических систем» (рег. № 0405-2015-0010) и Темы 1 плана НИР на 2019–2021 гг. «Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых» (рег. № 0405-2019-0005).

Исследование переходных процессов – это объективно необходимый путь перевода горнотехнической системы предприятия в состояние, учитывающее изменение условий (внешних и внутренних) для ее успешного доразвития и функционирования, от организационной структуры и ее параметров, созданных в условиях неполноты информации, к системе, обоснованной исследованием изменяющихся условий функционирования горнотехнической системы конкретно осваиваемого месторождения, к новой организационной структуре, технологически и технически оснащенной, соответствующей изменившимся геологическим характеристикам и другим параметрам вновь вскрываемых запасов минерального сырья, требующим других технологий добычи и переработки, в том числе с учетом изменения параметров внешней среды.

Предлагаемый методологический подход, основанный на исследовании переходных процессов, является универсальным, и может использоваться при проектировании освоения глубокозалегающих месторождений, планировании, организации и управлении добычей и рудоподготовкой минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической информации, внедрения разработанных инновационных мероприятий, изменения параметров и показателей горнотехнической системы горного предприятия по мере развития горных работ.

В целом, предлагаемый методологический подход позволяет более полно учесть геологические, горнотехнические, экологические и организационные особенности оцениваемых месторождений и районов их расположения, а также обеспечить предпосылки для системного принятия наиболее эффективных энерго- и ресурсосберегающих технологических решений.

Распоряжением правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-Р утверждена «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» как основа для формирования и реализации государственной политики в области геологического изучения недр, воспроизводства и использования минерально-сырьевой базы на федеральном и региональном уровнях, а также для разработки государственной программы Российской Федерации.

Минприроды России поручено, с учетом заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, разработать и утвердить в 3-месячный срок план мероприятий по реализации Стратегии и обеспечить его выполнение. Вызывает сомнение вероятность разработки и утверждения плана мероприятий, а тем более выполнение их в установленные сроки.

Распоряжением рекомендуется «органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации в пределах своей компетенции руководствоваться положениями Стратегии при разработке программ социально-экономического развития субъектов Российской Федерации, нормативных правовых актов и иных документов».

Приоритетными направлениями исследований в качестве научного сопровождения «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации», с учетом изложенных в статье результатов исследований, предлагается считать:

– вовлечение в освоение ранее выявленных месторождений с бедными и труднообогатимыми рудами с использованием новых технических и технологических решений;

– разработку и внедрение современных геолого-технолого-экономических методик ускоренной переоценки запасов полезных ископаемых на основе рыночных требований;

– разработку инновационных технологий, направленных на увеличение коэффициентов извлечения минерального сырья и сокращение его потерь при добыче и переработке;

– разработку и внедрение технологий добычи и комплексного использования сырья, попутного извлечения полезных ископаемых, в том числе из вскрышных и вмещающих пород, а также при переработке забалансовых руд и отходов недропользования.

Основные методологические подходы и научно-организационные мероприятия по эффективному освоению недр при освоении месторождений в регионах сводятся к следующему:

1. Разработать Программы освоения и развития минерально-сырьевой базы регионов на период до 2030–2050 гг.;

2. Выполнить геолого-эколого-экономическую оценку месторождений, находящихся в эксплуатации, проектируемых и подлежащих доразведке и последующему освоению с учетом запасов по категориям А, В и С1 и С2;

3. Выделить объекты первоочередного освоения по основным видам минерального сырья с учетом состояния и перспектив развития инфраструктуры, отдавая предпочтение комплексному освоению территорий путем создания минерально-сырьевых центров;

4. Провести технологический аудит на действующих горных предприятиях с целью разработки инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки, обогащения и производства товарной продукции с учетом внутренней и внешней потребности в сырье и ценовой перспективы, в том числе с учетом перспектив развития минерально-сырьевой базы региона.

Выводы. На основе анализа исторического опыта развития научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ и результатов фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН по проектам Программ Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН, Комплексной программы УрО РАН сформулировано определение инновационного базиса как научно-технологической основы стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья, включающего:

– обоснование необходимости нового методологического подхода к решению проблем освоения недр, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности с учетом особенностей проектирования освоения новых месторождений, планирования и управления технологическими процессами на действующих горнодобывающих предприятиях;

– создание минерально-сырьевых центров – основы комплексного освоения недр и территорий в сложных природно-климатических условиях;

– инновационный технический, технологический и организационный потенциал основных процессов горного производства.

Главным показателем, характеризующим высокую степень новизны исследований, является дальнейшее развитие программно-целевого методологического подхода к исследованию проблем освоения недр путем введения принципиально нового понятия «переходные процессы» и учета закономерностей их развития при разработке инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья.

Предложена формулировка сущности методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых.

Стратегия освоения глубокозалегающего сложноструктурного месторождения – долгосрочный план действий на всех этапах разведки, проектирования и разработки месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической информации о месторождении при принятии заранее спланированных технологических и технических решений в качестве реакции на изменения внутренних и внешних условий функционирования горного предприятия, включая исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при принятии инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья.

Переходные процессы – технические, технологические и организационные действия при реализации принимаемых инновационных решений по адаптации горнотехнической и организационно-технологической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования.

Многолетний опыт участия ИГД УрО РАН в выполнении фундаментальных и прикладных исследований по Программам Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН, междисциплинарным и интеграционным проектам с институтами Уральского, Сибирского и Дальневосточных отделений РАН позволяет говорить о необходимости коренного пересмотра Стратегии развития минерально-сырьевой базы России и методологии обоснования комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Приведенные в статье результаты исследований академических институтов горного профиля соответствуют целям и задачам Стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ не только до 2035 года, но и на более далекую перспективу и могут быть учтены при дальнейшей ее доработке, в том числе органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ломоносов М. В. Первые основания металлургии, или рудных дел. СПб: Печ. при Имп. Акад. наук, 1763. 416 с.

2. Список членов Российской академии наук. М.: Наука, 2009. 681 с.

3. Georgius Agricola. De Re Metallica (1556).

4. Мельников Н. В. Краткий справочник по открытым горным работам. М.: Недра, 1962. 414 с.

5. Проектирование, планирование и управление производством на карьерах посредством ЭВМ / под общ. ред. В. В. Ржевского. М.: Недра, 1966. 238 с.

6. Ржевский В. В. Проблемы горной промышленности и комплекса горных наук. М.: МГИ, 1991. 242 с.

7. Агошков М. И. Научные основы оценки экономических последствий потерь полезных ископаемых при разработке месторождений. М.: АН СССР, ИФЗ, 1972. 150 с.

8. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / К. Н. Трубецкой [и др.]. М.: Академия горных наук, 1997. 478 с.

9. Трубецкой К. Н., Корнилков С. В., Яковлев В. Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. 2012. № 1. С. 15–19.

10. Шешко Е. Ф. Основы теории вскрытия карьерных полей. М.–Л.: Углетехиздат, 1953. 216 с.

11. Новожилов М. Г., Селянин В. Г., Троп А. Е. Глубокие карьеры. М.: Госгортехиздат, 1962. 276 с.

12. Васильев М. В., Яковлев В. Л. Научные основы проектирования карьерного транспорта / отв. ред. Н. В. Мельников. М.: Наука, 1972. 202 с.

13. Путин В. В. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития Российской экономики // Записки Горного института. 1999. Том 144(1). С. 3–9.

14. Батугин С. А., Яковлев В. Л. Закономерности развития горного дела. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. 116 с.

15. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Недра, 1972. 149 с.

16. Яковлев В. Л. Состояние, проблемы и перспективы развития горнодобывающей промышленности России и стран СНГ // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения): докл. Междунар. конф. / ИГД УрО РАН. В 4 т. Екатеринбург, 1998. Т. 4. С. 3–36.

17. Хохряков В. С. Бурное развитие открытых разработок во второй половине XX века и их современные проблемы // Итоги и проблемы производства, науки: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: УГГГА, 2002. С. 11–30.

18. Яковлев В. Л., Гальянов А. В. Методологические аспекты стратегии освоения минеральных ресурсов. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 152 с.

19. Яковлев В. Л., Корнилков С. В. Методические подходы к учету общих закономерностей и региональных особенностей при выборе стратегии освоения месторождений полезных ископаемых // ГИАБ. 2007. ОВ № 15: Дальний Восток-2. С. 22–31.

20. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В. Развитие теории проектирования и реализация идей комплексного освоения недр // ГИАБ. 2008. № 4. С. 20–41.

21. Мельников Н. Н., Козырев А. А., Лукичев С. В. Новая концепция разработки месторождений глубокими карьерами // Горный журнал. 2009. № 11. С. 7–11.

22. Трубецкой К. Н., Чантурия В. А., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. М.: Наука, 2010. 440 с.

23. Яковлев В. Л., Корнилков С. В., Соколов И. В. Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / под ред. чл.-кор. РАН В. Л. Яковлева // Екатеринбург: УрО РАН, 2018. 360 с. DOI: 10.25635/IM.2018.18.37360

24. Яковлев В. Л. Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов. Екатеринбург: УрО РАН, 2019. 284 с. DOI: 10.25635/IM.2020.54.57311

25. Minkin A., Bötsting P., Becker N. Pipe conveying the next stage – a new technology for steep incline high capacity open pit conveying // Bulk Solids Handling. 2016. No. 2/3. URL: https://news.bulk-online.com/category/bulk-solids-handling-archive

26. Badel M., Angorani S., Panahi M. S. The application of median indicator kriging and neural network in modeling mixed population in an iron ore deposit // Computers & Geosciences. 2011. Vol. 37. Issue 4. P. 530–540.

27. Afeni T. B., Akeju V. O., Aladejare A. E. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit // Geoscience Frontiers, in press, journal pre-proof. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987120300876 (8 April 2020).

28. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / Институт горного дела Севера СО АН СССР. Новосибирск: Наука СО, 1989. 238 с.

29. Яковлев В. Л., Корнилков С. В. Методологические особенности освоения недр на современном этапе // Вестник УрО РАН. Наука. Общество. Человек. 2013. № 4. С. 11–18. (Программа № 27 Президиума РАН).

Поступила в редакцию 13 июля 2020 года

Сведения об авторах:

Яковлев Виктор Леонтьевич – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: yakovlev@igduran.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20

Solid mineral deposits integrated development methodology for Russian mineral resource base development strategy

Viktor L. Iakovlev[1]
[1] Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. *The article evaluates the importance of mineral resource potential for Russian economic security. The mining science plays crucial role in creating reliable mineral resource base and in mining development.*

Research aim and relevance. *The development of mining sectors in the deteriorating mining engineering conditions, which were caused by increasing depth of opencasting, the impoverishment of mined raw materials, and reserves depletion in the richest deposits required improved engineering, technology and organization of integrated development in the deep horizons of operating mining enterprises and development of low quality deposits in remote regions with poor infrastructure. In this regard, it is required to drastically revise the strategy of Russian mineral resource base development.*

Methodology. *Approaches to solid mineral deposits integrated development rationale were analyzed based on the principles of consistency, complexity, interdisciplinarity and innovation taking into account the transition processes in order to adapt mining engineering systems of mining enterprises to changing operating conditions.*

Results. *The definition is given to the strategy of deep-seated pitching deposits exploitation, taking into account the growth of geological, mining and technical, and economic information in the dynamics of mining development. The aspects of developing deposits in northern regions and in the regions considered equivalent to northern are highlighted, including complex development of territories through mineral resource centers creation.*

Key words: *mining; mineral raw materials; complex deposits; strategy; integrated development; methodology; transition processes.*

Acknowledgements. *The article was prepared based on research on the state task no. 075-01039-20-00, topic no. 0405-2019-0005.*

REFERENCES

1. Lomonosov M. V. *The first foundations of metallurgy, or ore affairs*. St. Petersburg: Pech. pri Imp. Akad. nauk Publishing; 1763. (In Russ.)
2. *Members of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Nauka Publishing; 2009. (In Russ.)
3. Georgius Agricola. De Re Metallica (1556).
4. Melnikov N. V. *Quick reference on opencasting*. Moscow: Nedra Publishing; 1962. (In Russ.)
5. Rzhevskii V. V. (ed.) *Computer-aided process design, planning, and control in open pits.* Moscow: Nedra Publishing; 1966. (In Russ.)
6. Rzhevskii V. V. *Problems of mining industry and mining sciences*. Moscow: MGI Publishing; 1991. (In Russ.)
7. Agoshkov M. I. *Scientific foundations of the assessment of the economic consequences of commercial minerals loss occurring upon deposits development*. Moscow: AS USSR, IPE; 1972. (In Russ.)
8. Trubetskoi K. N. et al. *Mining sciences. Development and conservation of the Earth's interior*. Moscow: Akademiia gornykh nauk Publishing; 1997. 478 c. (In Russ.)
9. Trubetskoi K. N., Kornilkov S. V., Iakovlev V. L. On new view points for ensuring stable development of mining production. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2012; 1: 15–19. (In Russ.)
10. Sheshko E. F. *The fundamentals of quarry field opening*. Moscow–Leningrad: Ugletekhizdat Publishing: 1953. (In Russ.)
11. Novozhilov M. G., Selianin V. G., Trop A. E. *Deep open pits*. Moscow: Gosgortekhizdat; 1962. (In Russ.)
12. Vasiliev M. V., Iakovlev V. L., Melnikov N. V. (ed.) *Scientific fundamentals of designing quarry transport.* Moscow: Nauka Publishing; 1972. (In Russ.)
13. Putin V. V. Mineral resources in the development strategy of the Russian economy. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 1999; 144(1): 3–9. (In Russ.)
14. Batugin S. A., Iakovlev V. L. *Laws of developing mining*. Yakutsk: YSC SB RAS; 1992. (In Russ.)
15. Vernadskii V. I. *Chemical constitution of terrestrial biosphere and its surroundings*. Moscow: Nedra Publishing; 1972. (In Russ.)
16. Iakovlev V. L. Condition, problems and prospects of mining in Russia and CIS countries. In: *Problems of geotechnology and geology (Melnikov readings): Internat. Conf. proceedings. IM UB RAS in 4 vol*. Ekaterinburg; 1998. Vol. 4. p. 3–36. (In Russ.)
17. Khokhriakov V. S. Rapid development of opencasting in the later half of the 20th century and their current problems. In: *Outcomes and problems of production and science: Proceedings of Internat. Scient-pract. Conf.* Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2002. p. 11–30. (In Russ.)

18. Iakovlev V. L., Galianov A. V. *Methodological aspects of the strategy of mineral resources development*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing: 2003. (In Russ.)

19. Iakovlev V. L., Kornilkov S. V. Methodological approach to taking into account common principles and regional characteristics when choosing the strategy of deposits development. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2007; special issue 15: Far East-2: 22–31. (In Russ.)

20. Kaplunov D. R., Rylnikova M. V. Developing the design theory and implementing the ideas of integrated subsoil development. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2008; 4: 20–41. (In Russ.)

21. Melnikov N. N., Kozyrev A. A., Lukichev S. V. New approaches to realization of the concept of development of deposits by deep open-cut mines. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2009; 11: 7–11. (In Russ.)

22. Trubetskoi K. N., Chanturiia V. A., Kaplunov D. R., Rylnikova M. V. Integrated development of deposits and advanced processing of mineral raw material. Moscow: Nauka Publishing; 2010. (In Russ.)

23. Iakovlev V. L. (ed.), Kornilkov S. V., Sokolov I. V. *Innovative framework of the strategy of mineral resources integrated development*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2018. (In Russ.)

24. Iakovlev V. L. *Transition processes analysis is a new trend in developing the methodology of georesources integrated development*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2019. (In Russ.)

25. Minkin A., Bötsting P., Becker N. Pipe conveying the next stage – a new technology for steep incline high capacity open pit conveying. *Bulk Solids Handling*. 2016; 2/3. Available from: https://news.bulk-online.com/category/bulk-solids-handling-archive

26. Badel M., Angorani S., Panahi M. S. The application of median indicator kriging and neural network in modeling mixed population in an iron ore deposit. *Computers and Geosciences*. 2011; 37(4): 530–540.

27. Afeni T. B., Akeju V. O., Aladejare A. E. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit. *Geoscience Frontiers, in press, journal pre-proof*. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987120300876 (8 April 2020).

28. Iakovlev V. L. *Theory and practice of selecting transport for deep pits*. Novosibirsk: Nauka SO Publishing; 1989. (In Russ.)

29. Iakovlev V. L., Kornilkov S. V. Methodological features of subsoil development at the present time. *Vestnik UrO RAN. Nauka. Obshchestvo. Chelovek = Bulletin of UB RAS. Science. Society. Human*. 2013; 4: 11–18. (In Russ.)

Received 13 July 2020

Information about authors:

Viktor L. Iakovlev – DSc (Engineering), Professor, corresponding member of RAS, senior researcher, Institute of Mining UB RAS. E-mail: yakovlev@igduran.ru

Для цитирования: Яковлев В. Л. О методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых для разработки стратегии развития минерально-сырьевой базы России // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 5–20. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20

For citation: Iakovlev V. L. Solid mineral deposits integrated development methodology for Russian mineral resource base development strategy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 5–20 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-5-20

УДК 622.684:629.3 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-21-32

К обоснованию параметров крутонаклонных автосъездов при вскрытии глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров

Лель Ю. И.[1]*, Глебов И. А.[2], Буднев А. Б.[1], Исаков С. В.[1], Ганиев Р. С.[1]
[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
[2] Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: lel49@mail.ru

Реферат

Цель работы *– обоснование оптимальных уклонов автодорог при эксплуатации полноприводных автосамосвалов и разработка аналитического метода расчета объема дополнительного разноса нерабочих бортов карьера от размещения автотранспортных коммуникаций при вскрытии глубоких кимберлитовых карьеров трассами спиральной формы.*

Актуальность исследования. *Переход на вскрытие крутонаклонными автосъездами при использовании полноприводных автосамосвалов является одним из основных направлений повышения эффективности отработки глубоких кимберлитовых карьеров. В связи с этим весьма актуальными становятся вопросы обоснования уклонов автодорог и разработка метода расчета дополнительного разноса бортов карьера от размещения автотранспортных коммуникаций.*

Методика проведения исследований. *При обосновании уклона автодорог для полноприводных автосамосвалов использовался физический принцип наименьшего действия, тягово-динамические, тормозные и топливные характеристики самосвалов, а также экспериментальные данные. Введено новое понятие «удельное действие». Оптимальный уклон по критерию удельного действия соответствует минимальным энергозатратам на подъем горной массы при максимальной производительности транспортных средств. Разработанный аналитический метод расчета объема дополнительного разноса бортов карьера характеризуется комплексным учетом основных технологических параметров вскрытия. Предложен графический метод определения угла нерабочего борта карьера, являющегося контролируемым параметром при вскрытии крутонаклонными автосъездами.*

Результаты. *Установлено, что оптимальные значения уклонов по физическому критерию удельного действия определяются зависимостями КПД трансмиссии, скоростей движения и удельного расхода топлива полноприводными автосамосвалами от суммарного сопротивления движению на уклонах. Для автосамосвалов CAT-745C оптимальные значения уклонов автодорог со щебеночным покрытием находятся в диапазоне 0,18–0,24. Установлены закономерности влияния основных горнотехнических факторов на объем дополнительного разноса бортов от размещения автотранспортных коммуникаций. Наибольшее влияние на объем разноса оказывает глубина карьера, уклон спиральных автосъездов и мощность рудного тела. При увеличении мощности рудного тела влияние уклона снижается. Таким образом, внедрение крутонаклонного вскрытия в первую очередь рекомендуется на кимберлитовых карьерах при разработке рудных тел небольшой мощности.*

Область применения результатов. *Полученные результаты рекомендуется использовать в практике проектирования и эксплуатации глубоких кимберлитовых карьеров при внедрении полноприводных автосамосвалов. Результаты могут найти применение на рудных карьерах при вскрытии глубоких горизонтов спиральными автосъездами.*

Ключевые слова: *карьер; глубина карьера; полноприводный автосамосвал; уклон автосъезда; принцип наименьшего действия; расход топлива; дополнительный разнос борта; угол откоса борта; мощность рудного тела.*

Введение. Одним из технологических решений по повышению эффективности отработки глубоких карьеров и расширению области применения открытого способа разработки при освоении коренных месторождений алмазов является переход с определенной глубины на вскрытие крутонаклонными автосъездами. Термин «крутонаклонные автосъезды» был впервые применен в трудах институ-

та «Якутнипроалмаз» в связи с рассмотрением перспектив использования при отработке глубоких кимберлитовых карьеров специализированных автосамосвалов (гусеничных или полноприводных с шарнирно-сочлененной рамой), способных работать на уклонах автодорог, значительно превышающих 8–10 %, характерные для автосамосвалов с колесной формулой 4 × 2 [1]. В связи с конструктивными недостатками, низкой экономичностью и отсутствием серийного производства карьерных гусеничных автосамосвалов в настоящее время в проектах рассматриваются только полноприводные шарнирно-сочлененные автосамосвалы с колесной формулой 6 × 6, в основном фирм VOLVO и CATERPILLAR, получивших достаточно широкое распространение в отечественной горной промышленности (табл. 1).

Таблица 1. Технические характеристики полноприводных автосамосвалов
Table 1. Technical characteristics of four-wheel drive dump trucks

Фирма-производитель	Модель	Грузоподъемность G, т	Вместительность кузова $V_а$, м^3	Мощность двигателя $N_д$, кВт	Собственная масса $G_а$, т	Ширина автосамосвала $B_а$, мм	Коэффициент тары $k_т$	Удельная мощность $N_{уд}$, кВт/т
CATERPILLAR	725C	23,6	11,0	239,0	22,9	2820	0,96	4,50
	730C	28,0	13,3	280,0	23,7	2900	0,83	4,44
	735C	32,7	15,0	337,0	31,0	3300	0,91	4,34
	745C	41,0	18,5	381,0	32,9	3450	0,80	5,15
VOLVO	A25D	24,0	11,7	224,0	21,6	2859	0,90	4,90
	A30D	28,0	13,6	252,0	23,0	2941	0,82	4,97
	A35D	32,5	15,2	289,0	28,3	3208	0,87	4,75
	A40D	37,0	16,9	313,0	31,3	3432	0,85	4,60

Основные преимущества полноприводных автосамосвалов заключаются в использовании крутонаклонных автосъездов (i до 25–30 %) и транспортных берм меньшей ширины по сравнению с автосамосвалами с колесной формулой 4 × 2, что позволяет увеличить углы наклона нерабочих бортов карьеров, сократить дополнительный объем вскрыши от размещения транспортных коммуникаций и повысить экономические показатели открытого способа разработки [2–4]. В настоящее время на отечественных глубоких карьерах имеется ограниченный опыт эксплуатации полноприводных автосамосвалов. В связи с этим остается актуальным вопрос обоснования оптимального уклона автодорог для указанных моделей автотранспортных средств. Нормативными документами, регламентирующими величины уклонов карьерных автодорог, являются *СНиП 2.05.02-91. Промышленный транспорт*, разработанный институтом «ПромтрансНИИпроект», а также *Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых (СНиП 2.05.02-91. Промышленный транспорт. Минстрой России. М.: ЦИТП Минстроя России, 1996. 128 с.; Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» / Утв. Приказом Ростехнадзора от 11.12.2013 № 599. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2015. 212 с.*).

В соответствии с требованиями СНиП 2.05.02-91 продольный уклон автодорог с твердым покрытием при движении по ним автосамосвалов с колесной формулой 6 × 6 составляет 15–17 %. На карьерных автодорогах III-й категории со сроком службы до одного года допускается увеличивать уклон на 3 %, т. е. до 18–20 %. В 2012 г. была утверждена актуализированная редакция СНиП 2.05.02-91,

согласно которой для автосамосвалов с колесной формулой 6 × 6 допускается увеличение продольного уклона автодорог в соответствии с данными предприятия изготовителя, типом и состоянием дорожного покрытия, а также техническим состоянием автомобиля. В случае необходимости, определяемой горнотехническими условиями эксплуатации, уклоны внутрикарьерных автодорог могут быть повышены при соответствующем технико-экономическом обосновании и обеспечении безопасного движения автосамосвалов [5], (*СП 37.13330.2012. Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91* (с Изменениями № 1, 2, 3*). Официальное издание. М.: Минрегион России, 2012. 248 с.). Исследованиями, выполненными ОАО «Белорусский автозавод», рекомендуется ограничивать уклон автодорог для полноприводных автосамосвалов в реальных карьерных условиях (регионы с выпадением осадков в виде дождя и мокрого снега) условиями сцепления шин с автодорогой (φ = 0,25–0,40) на уровне 20–22 %. В то же время авторами отмечается, что применительно к карьерным условиям по проходимости и максимально допустимому уклону автодорог гусеничный движитель не имеет существенных преимуществ перед колесным [6, 7]. Институтом «Якутнипроалмаз» в 2012 г. проведены успешные опытно-промышленные испытания полноприводных автосамосвалов CAT-740B в условиях карьера «Удачный» на уклонах автодорог до 24 % [8]. Таким образом, теоретическое обоснование и однозначные рекомендации по величине уклонов карьерных автодорог для полноприводных автосамосвалов в настоящее время отсутствуют.

При переходе на вскрытие крутонаклонными автосъездами важное значение имеет расчет объема дополнительного разноса нерабочих бортов карьера от размещения автотранспортных коммуникаций, в значительной степени определяющего целесообразность и эффективность перехода. Обычно на практике строятся объемные модели карьеров в системах AutoCAD и MINEFRAME с различным уклоном вскрывающих выработок, рассчитываются объемы вскрыши в конечных контурах карьеров и производится сравнение этих объемов. Однако такой метод является весьма сложным и трудоемким для установления основных закономерностей влияния параметров крутонаклонных автосъездов на разнос бортов карьеров. В этом случае лучше использовать аналитические методы расчета. Анализ существующих аналитических методов показывает, что ни один из них не обеспечивает комплексного учета технологических параметров вскрытия и необходимой точности расчетов. Таким образом, разработка аналитического метода является также актуальной задачей.

Методология проведений исследований. В УГГУ разработана методика обоснования оптимальных уклонов автодорог при эксплуатации автосамосвалов с колесной формулой 4 × 2 на нагорно-глубинных карьерах [9]. Методика базируется на физическом принципе наименьшего действия. Основные положения методики применимы и для полноприводных автосамосвалов. Принцип наименьшего действия относится к интегральным вариационным принципам механики, согласно которым из всех возможных движений механической системы истинным является то, для которого некоторая физическая величина, называемая **действием**, имеет за время перемещения системы экстремум, обычно **минимум**. Наиболее распространенной формой представления принципа является форма Гамильтона. В указанной форме принцип наименьшего действия утверждает, что из всех возможных траекторий перемещения истинной будет та, для которой действие, равное интегралу от разности между кинетической и потенциальной энергией, соответствующей этим траекториям, имеет минимальное значение. В последние годы принцип наименьшего действия широко применяется для решения прикладных задач механики и термодинамики, в частности для оптимизации параметров системы *жесткое колесо–деформируемый рельс*, моделировании качения

деформируемого колеса и др. [10]. С определенными допущениями этот принцип можно распространить на транспортные системы карьеров. В этом случае действие – это физическая величина, представляющая собой произведение количества энергии, расходуемой на перемещение горной массы транспортным средством, и времени его перемещения. Введенное авторами понятие *удельное действие* (D) представляет собой произведение удельных затрат энергии на подъем горной массы транспортным средством на 1 м и времени подъема горной массы на 1 м.

Можно записать

$$D = PT,$$

где D – удельное действие, г · с/т · м; P – величина удельных затрат энергии (дизельного топлива) автосамосвалом на подъем 1 т горной массы на 1 м, г/т · м; T – суммарное время движения автосамосвала по уклону в грузовом и порожняковом направлениях при подъеме горной массы на 1 м, с.

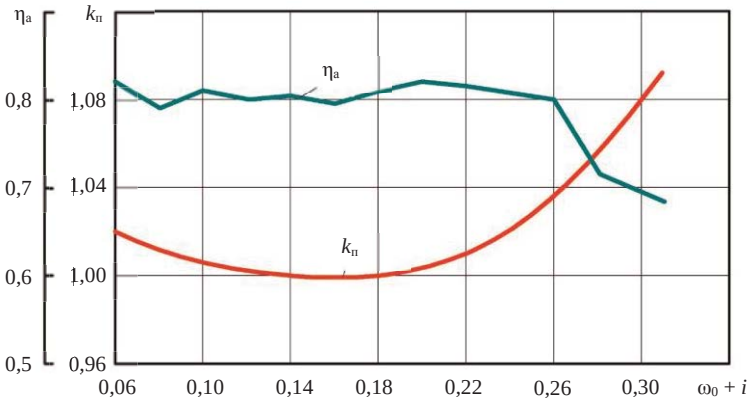

Рис. 1. Зависимости КПД трансмиссии автосамосвала CAT-745C $\eta_а$ и поправочного коэффициента, учитывающего изменение удельного расхода топлива при номинальной нагрузке двигателя $k_п$, от суммарного сопротивления движению ($\omega_0 + i$)

Fig. 1. Dependences of the efficiency coefficient of the CAT-745C dump truck transmission $\eta_а$ and the correction coefficient, which takes into account the change in the specific fuel consumption at the rated engine load $k_п$, on the total resistance to movement ($\omega_0 + i$)

Преимущества критерия *удельное действие* по сравнению с удельной энергоемкостью P и временем движения T (производительностью) заключается в его комплексности. Оптимальный уклон по критерию удельного действия должен соответствовать минимальным удельным энергозатратам на подъем горной массы на 1 м при максимальной производительности транспортных средств (минимальном времени движения по уклону в грузовом и порожняковом направлениях).

Тогда удельное действие D, г · с/т · м, при работе автосамосвалов на подъем горной массы

$$D = \left[\frac{2,725\cdot 10^{-3} g_н \left(k_т + 1\right)\left((\omega_0 / i) + 1\right)}{\eta_а} + \frac{g_х}{1000 i G v_{пi}}\right] \times \\ \times \left[\frac{3,6\left(G_а + k_г G\right)\left((\omega_0 / i) + 1\right)}{0,367 N_д k_N \eta_а} + \frac{3,6}{i v_{пi}}\right], \quad (1)$$

где G – грузоподъемность автосамосвала, т; $G_а$ – собственная масса автосамосвала; $k_г$ – коэффициент использования грузоподъемности; $k_т$ – коэффициент тары автосамосвала; ω_0 – коэффициент сопротивления качению; i – уклон участка трассы; $\eta_а$ – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала; $g_н$ – удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя, г/кВт · ч; $g_х$ – удельный расход топлива при движении порожних автосамосвалов в тормозном режиме, кг/ч; $v_{пi}$ – скорость порожнего автосамосвала на спуске с уклоном i, км/ч; k_N – коэффициент использования мощности двигателя.

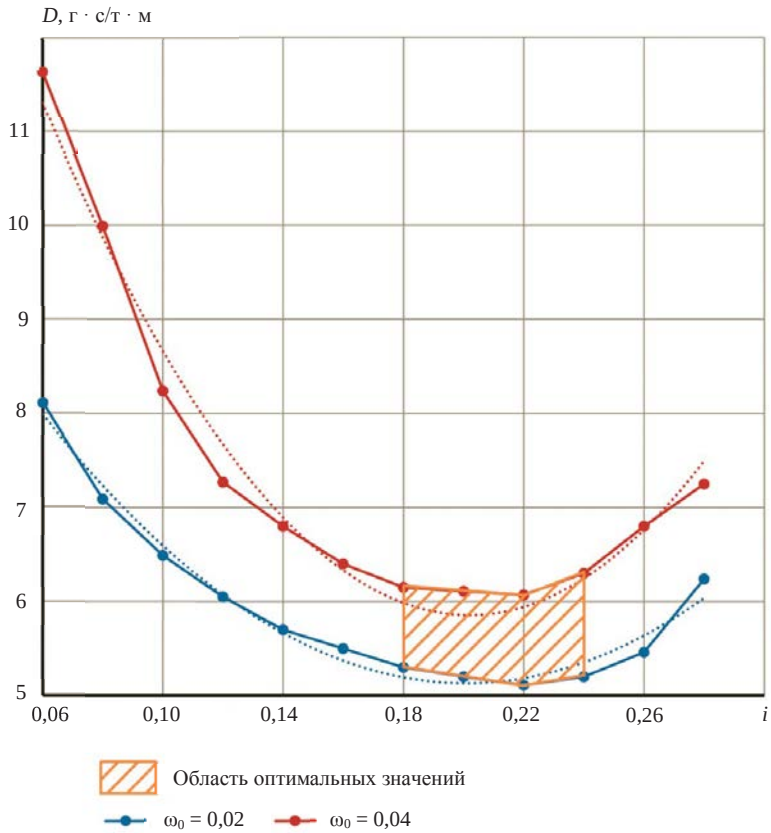

Рис. 2. Зависимость удельного действия D автосамосвалов CAT-745C от продольного уклона автодороги i и сопротивления качению ω_0

Fig. 2. Dependence of the specific action D of CAT-745C dump trucks on the longitudinal slope of the road i and rolling resistance ω_0

Пользуясь указанной методикой, проведем расчет удельного действия для полноприводных автосамосвалов CAT-745C, планируемых для использования при доработке кимберлитовых карьеров АК «АЛРОСА». Техническая характеристика автосамосвала: $G = 41$ т; $G_а = 32{,}87$ т; $k_т = 0{,}80$; $k_г = 1{,}0$; двигатель CAT C18 ACERT; $N_д = 381$ кВт; $g_н = 210$ г/ кВт · ч. Скорости на уклонах автодорог со щебеночным покрытием определяются по тягово-динамической и тормозной характеристикам автосамосвала.

В этом случае формулу (1) можно представить в виде

$$D = \left[\frac{2{,}725 \cdot 10^{-3} g_н \left(k_т + 1\right)\left((\omega_0 / i) + 1\right)}{\eta_а}\right] \times \left[\frac{3{,}6}{i v_{гi}} + \frac{3{,}6}{i v_{пi}}\right],$$

где $v_{гi}$, $v_{пi}$ – скорости при движении груженого автосамосвала на подъем и порожнего при движении на спуск соответственно, установленные по тягово-динамической и тормозной характеристикам при суммарном сопротивлении движению ($\omega_0 + i$), км/ч.

Выражением $g_x/1000iGv_{пi}$ можно пренебречь, так как его значение не превышает 2–3 % от общего расхода дизельного топлива при движении груженого и порожнего автосамосвалов и не влияет на точность расчетов. Коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала $\eta_а$ при известных значениях скоростей при движении на подъем рассчитывается по выражению

$$\eta_а = \frac{v_{гi}\left(G_а + k_г G\right)\left(\omega_0 + i\right)}{0,367 N_д},$$

где $v_{гi}$ – скорость груженого автосамосвала на уклоне i при сопротивлении качению ω_0, км/ч.

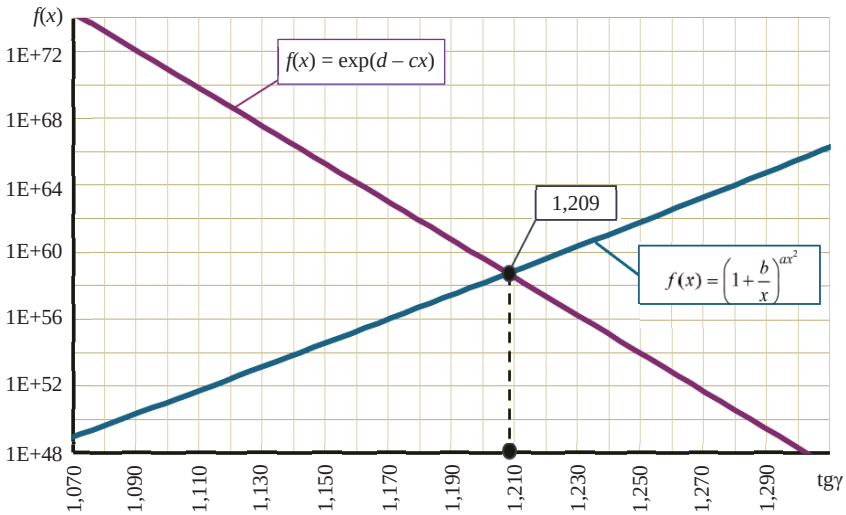

Рис. 3. Пример определения тангенса угла нерабочего борта карьера tgγ
Fig. 3. Example of determining the tangent of the non-working side of the quarry tgγ

Расчеты произведены при изменении сопротивления качению от 0,02 до 0,04, характерном для щебеночного покрытия автодорог, и изменении продольного уклона автодорог от 0,04 до 0,28. Установлено, что значение $\eta_а$ в диапазоне изменения суммарного сопротивления движению 0,06–0,26 характеризуется относительной стабильностью и варьируется в диапазоне 0,79–0,82. При увеличении ($\omega_0 + i$) с 0,26 $\eta_а$ снижается до 0,68–0,72.

Удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя $g_н$ – паспортная величина, характеризующая фактический расход топлива для получения одного кВт · ч полезной энергии. Вместе с тем $g_н$ также не является постоянной величиной, а зависит от степени использования мощности двигателя и числа оборотов, которые в свою очередь определяются суммарным сопротивлением движению ($\omega_0 + i$). На рис. 1 представлена зависимость поправочного коэффициента $k_п$, учитывающего изменение $g_н$ в зависимости от суммарного сопротивления движению, полученная на основании топливно-экономической характеристики

автосамосвала по методике И. С. Шлиппе [11]. При значительных нагрузках $[(\omega_0 + i) > 0{,}22]\ g_н$ увеличивается до 10 % от номинального значения.

Оптимальное значение уклонов по критерию удельного действия будет соответствовать условию

$$D \to \min.$$

Установлено, что для автосамосвалов CAT-745C оптимальное значение уклонов автодорог со щебеночным покрытием в карьерных условиях по критерию удельного действия будет находиться в диапазоне 0,18–0,24 (рис. 2).

Анализ современных методов расчета дополнительного разноса бортов от размещения автотранспортных коммуникаций показывает, что наиболее приемлемым для горнотехнических условий кимберлитовых карьеров при вскрытии крутопадающих рудных тел округлой формы спиральными автосъездами является аналитический метод, разработанный в Криворожском горнорудном институте [12]. Дополнительный объем разноса бортов V, м^3, при спиральной форме трассы определяется по формуле:

$$V = \frac{BH_к^2}{2i} K_д, \tag{2}$$

где B – ширина транспортной бермы, м; $H_к$ – глубина карьера, м; i – уклон спиральной трассы, доли ед.; $K_д$ – коэффициент, учитывающий дополнительное увеличение объема горных работ, обусловленное необходимостью разноса бортов карьера для размещения системы спиральных съездов при вскрытии новых горизонтов, ед.,

$$K_д = \frac{\left[\left(H_к + r_0 \mathrm{tg}\gamma\right)^2 + \left(H_к + r_0 \mathrm{tg}\gamma\right) B \mathrm{tg}\gamma\right] \ln\left(1 + \left(H_к / r_0 \mathrm{tg}\gamma\right)\right) - \left(H_к^2 / 2\right) - H_к \mathrm{tg}\gamma \left(r_0 + B\right)}{H_к^2}, \tag{3}$$

где r_0 – радиус дна карьера, м; γ – среднее значение угла откоса нерабочих бортов карьера, град.

Основным недостатком рассматриваемого метода является то, что в формуле (1) используется уже известное значение угла откоса нерабочего борта γ. В то же время угол γ определяется конструкцией нерабочего борта и зависит от уклона спиральной трассы i, ширины транспортной бермы B, количества витков спиральной трассы $n_в$, высоты уступа $h_у$ и других факторов. Угол откоса нерабочего борта является также контролируемым параметром и не должен превышать значения, установленного по условиям устойчивости. При этом учитываются следующие физико-механические свойства горных пород: плотность, угол внутреннего трения, сцепление в образце и коэффициент структурного ослабления в массиве. Среднее значение конструктивного угла нерабочего борта карьера определяется по формуле:

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{H_к}{\left(\left(H_к / h_у\right) - 1\right) b_б + n_в B + H_к \mathrm{ctg}\alpha}, \tag{4}$$

где $h_у$ – высота нерабочего уступа, м; $b_б$ – ширина бермы безопасности, м; $n_в$ – среднее количество витков спиральной трассы; α – угол откоса нерабочего уступа, град.

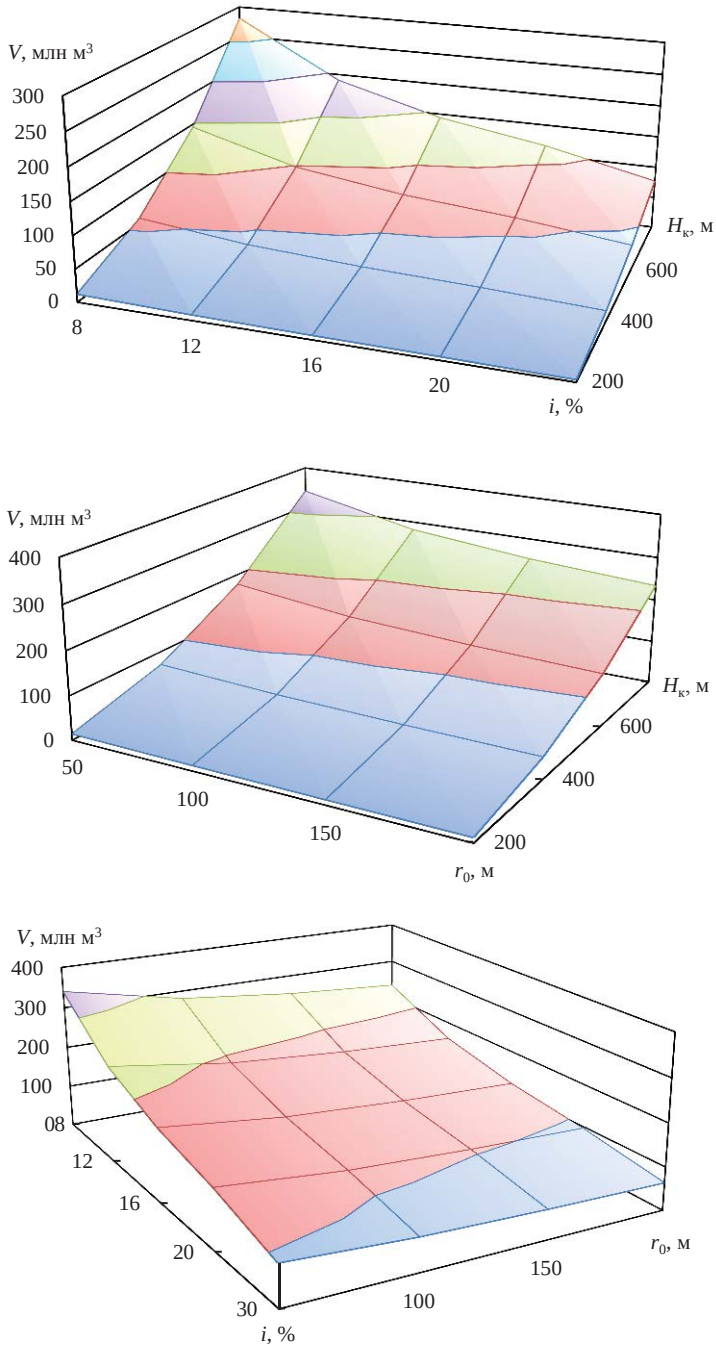

Рис. 4. Закономерности изменения объема дополнительного разноса бортов V от руководящего уклона спиральной трассы i, глубины карьера $H_к$ и радиуса дна карьера r_0 (автосамосвалы CAT-745C)

Fig. 4. Regularities of changes in the volume of additional spacing of the sides V from the leading slope of the spiral route i, the depth of the quarry $H_к$ and the radius of the bottom of the quarry r_0 (dump trucks CAT-745C)

В свою очередь, согласно [12]:

$$n_{\text{в}} \approx \frac{\text{tg}\gamma}{2\pi i}\ln\left(1+\frac{H_{\text{к}}}{r_0\text{tg}\gamma}\right). \quad (5)$$

Подставив выражение (5) в формулу (4) и обозначив x = tgγ; $a = B/2\pi i$; $c = (H_{\text{к}}/h_{\text{у}} - 1)b_{\text{б}} + H_{\text{к}}\text{ctg}\alpha$; $d = H_{\text{к}}$, получим уравнение:

$$ax^2\ln\left(1+\frac{b}{x}\right)+cx-d=0.$$

После преобразования получим

$$\left(1+\frac{b}{x}\right)^{ax^2}=\exp\left(d-cx\right).$$

Данное уравнение решается графически путем нахождения точки пересечения графиков двух функций

$$\begin{cases} f(x)=\left(1+\dfrac{b}{x}\right)^{ax^2}, \\ f(x)=\exp(d-cx). \end{cases}$$

Таким образом, задавая исходные данные $H_{\text{к}}$, $h_{\text{у}}$, B, i, r_0, α, графически определяя tgγ, находим значение $K_{\text{д}}$ и объем дополнительного разноса бортов карьера V по формулам (2), (3). Пример определения тангенса угла нерабочего борта карьера tgγ приведен на рис. 3. Исходные данные: $H_{\text{к}}$ = 450 м; $h_{\text{у}}$ = 30 м; $b_{\text{б}}$ = 10 м; $B_{\text{т}}$ = 30 м; i = 0,08; r_0 = 100 м; α = 75°. Получаем tgγ = 1,21 или γ = 50,4°.

Результаты. Анализ и обсуждение. Разработана методика обоснования оптимальных уклонов автодорог при эксплуатации полноприводных автосамосвалов в глубоких карьерах. Оптимальные уклоны по критерию удельного действия следует рассматривать как базовые значения, которые рекомендуется принимать при проектировании транспортных систем глубоких карьеров. Установленный диапазон оптимальных уклонов для автосамосвалов CAT-745C (i = 0,18–0,24) не противоречит действующим нормативным документам, регламентирующим эксплуатацию полноприводных автосамосвалов. Вместе с тем предложенная методика позволяет дать четкое теоретическое (физическое) обоснование рациональных условий эксплуатации данных транспортных средств в глубоких карьерах. Окончательное решение по руководящим уклонам следует принимать на основе экономических критериев, учитывающих влияние уклона на технологические параметры горных работ, с учетом условий безопасной эксплуатации и результатов опытно-промышленных испытаний на конкретных предприятиях. Расчеты следует проводить для конкретных моделей полноприводных самосвалов на основе их тягово-динамических характеристик.

На основе разработанной методики установлены закономерности влияния основных горнотехнических факторов на объем дополнительного разноса бортов карьера от размещения автотранспортных коммуникаций (рис. 4). Расчеты проводились на примере гипотетического карьера с горнотехническими условиями,

максимально приближенными к условиям кимберлитовых карьеров АК «АЛРОСА» (ПАО). Диапазон изменения радиуса дна карьера (мощности рудного тела) был также принят по реальным параметрам кимберлитовых карьеров (r_0 = 50–400 м). В результате расчетов установлено, что наибольшее влияние на дополнительный разнос бортов оказывает глубина карьера, уклон спиральных автосъездов и мощность рудного тела. Ввиду ограниченной грузоподъемности полноприводных автосамосвалов (до 40–45 т) ширина транспортных берм не оказывает существенного влияния на объем дополнительного разноса. При увеличении мощности рудного тела от 50 до 400 м влияние уклона снижается, что объясняется сокращением количества витков спиральной трассы. Так, при уклоне 8 % и глубине карьера 700 м при увеличении мощности рудного тела с 50 до 400 м объем дополнительного разноса бортов сокращается с 339,8 до 223,1 млн м^3 (на 106,7 млн м^3), а при уклоне автосъездов 30 % объем сокращается на 20,6 млн м^3, т. е. в 5 раз меньше. Таким образом, эффективность крутонаклонного вскрытия также снижается с увеличением мощности рудного тела, что подтверждается экономическими расчетами.

Область применения результатов. Полученные результаты рекомендуется использовать в практике проектирования и эксплуатации глубоких кимберлитовых карьеров при внедрении полноприводных автосамосвалов. Результаты могут найти применение на рудных карьерах при вскрытии глубоких горизонтов спиральными автосъездами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акишев А. Н., Костырин В. Ф. Оптимизация проектных решений по отработке карьера «Юбилейный» // Горный журнал. 2000. № 7. С. 33–35.

2. Чантурия В. А., Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р., Чаадаев А. С., Махрачев А. Ф. Комплексные исследования и внедрение инновационных геотехнологий добычи и глубокой переработки кимберлитов // Горный журнал. 2011. № 1. С. 10–13.

3. Акишев А. Н., Лель Ю. И., Ильбульдин Д. Х., Мусихина О. В., Глебов И. А. Технологические решения по вскрытию и отработке глубоких горизонтов Нюрбинского карьера АК «АЛРОСА» // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 7. С. 4–12.

4. Акишев А. Н., Лель Ю. И., Бокий И. Б., Исаков С. В., Глебов И. А. Инновационная технология открытой разработки кимберлитовых месторождений с изменяемой геометрией нерабочих бортов // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 8. С. 5–16.

5. Haiyong T., Yanhua S., Wenming Z., Chun J. Slip ratio control for articulated dump truck based on fuzzy sliding mode // 2011 Int. Conf. on Consumer Electronics, Communications and Networks, CECNet 2011 – Proceedings. 2011. P. 4404–4407.

6. Мариев П. Л., Егоров А. Н., Войтов В. Т. Особенности работы карьерных самосвалов в условиях глубоких карьеров и повышенных уклонов // Горный журнал. 2011. № 10. С. 63–66.

7. Brown D., Heather R. Development of off-highway articulated dump trucks // SAE Technical Paper, D. J. B. Engineering Ltd. 1979. 12 c.

8. Зырянов И. В., Цымбалова А. И. Испытания CAT-740 B на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА» // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 9. С. 22–25.

9. Лель Ю. И., Горшков Э. В., Ермолаев А. И., Ворошилов Г. А., Неволин Д. Г., Довженок А. С. Обоснование оптимальных уклонов автодорог при разработке нагорно-глубинных карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2012. № 2. С. 5–12.

10. Веретенников В. Г., Синицын В. А. Метод переменного действия. М.: Физматлит, 2005. 272 с.

11. Артамонов М. Д., Иларионов В. А., Морин М. М. Теория автомобиля и автомобильного двигателя. М.: Машиностроение, 1968. 283 с.

12. Вилкул Ю. Г., Слободянюк В. К., Максимов И. И. Теоретические основы определения объемов горнокапитальных работ при вскрытии глубоких карьеров трассами спиральной формы // ГИАБ. 2007. № 7. С. 17–23.

Поступила в редакцию 3 августа 2020 года

Сведения об авторах:

Лель Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: lel49@mail.ru

Глебов Игорь Андреевич – младший научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: i.glebov@igduran.ru

Буднев Алексей Борисович – аспирант кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: a.budnev96@yandex.ru
Исаков Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: hemul92@mail.ru
Ганиев Руслан Салаватович – старший преподаватель кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета. E-mail: sunmail2003@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-21-32

Rationale for the parameters of steeply inclined ramps of kimberlite pits deep horizons exposing

Iurii I. Lel[1], Igor A. Glebov[2], Aleksei B. Budnev[1], Sergei V. Isakov[1], Ruslan S. Ganiev[1]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.
[2] Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
Research aim *is to substantiate optimal road grade when operating 4WD dump trucks and to develop analytical method of calculating the volume of additional spacing of non-mining slopes of an opencast from motor transport lanes placement when exposing deep kimberlite pits with spiral routes.*
Research relevance. *Transition to steeply inclined ramps and 4WD dump trucks is a basic trend in improving the efficiency of deep kimberlite pits mining. In this regard, the issues of substantiating road grades and developing the method of calculating the volume of additional spacing of non-mining slopes of an opencast from motor transport lanes placement are becoming increasingly relevant.*
Research methodology. *When substantiating road grade for 4WD dump trucks the physical principle of minimal action was used as well as dump trucks tractive and dynamic, braking and fuel conditions together with some experimental data. A new notion of "specific action" has been introduced. Optimal grade by the criterion of specific action complies with minimum energy for mined rock lifting under maximum hauling capacity. The elaborated analytical method of calculating the volume of additional spacing of non-mining slopes of an opencast is characterized by the integrated record of basic process parameters of uncovering. Graphical method of finding the angle of the non-mining slope has been proposed being a controlled parameter at uncovering with steeply pitching ramps.*
Results. *It has been determined that optimal grade value by physical criterion of specific action are determined by the dependences between transmission efficiency, road speed and specific fuel consumption by 4WD dump trucks and the total traction resistance in slopes. For CAT-745C dump trucks optimal values slopes for macadamized roads within the range of 0.18–0.24. The patterns of basic mine engineering factors influence on the volume of additional spacing of slopes from motor transport lanes placement. Major effect on the volume of flattening is brought about by the depth of the pit, spiral ramps grade and ore body thickness. So, the introduction of steeply inclined uncovering is primarily recommended in kimberlite open pits when mining thin ore bodies.*
Scope of results. *The obtained results may be applied in deep kimberlite open pits design and operation when introducing 4WD dump trucks. The results may also be applied in ore open pits when uncovering deep horizons by spiral ramps.*

Key words: *open pit; pit depth; 4WD dump truck; ramp inclination; principle of minimal action; fuel consumption; additional spacing of a slope; angle of slope; ore body thickness.*

REFERENCES

1. Akishev A. N., Kostyrin V. F. Optimising solution on Iubileinyi open pit development. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2000; 7: 33–35. (In Russ.)
2. Chanturiia V. A., Trubetskoi K. N., Kaplunov D. R., Chaadaev A. S., Makhrachev A. F. Integrated study and introduction of innovative geotechnologies of extraction and deep processing of kimberlites. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2011; 1: 10–13. (In Russ.)
3. Akishev A. N., Lel Iu. I., Ilbuldin D. Kh., Musikhina O. V., Glebov I. A. Technological solutions for the Alrosa group Nyurbinsky open pit deep horizons exposing and processing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2017; 7: 4–12. (In Russ.)
4. Akishev A. N., Lel Iu. I., Bokii I. B., Isakov S. V., Glebov I. A. Kimberlite deposits opencast mining innovative technology with variable geometry of non-mining open pit edges. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 8: 5–16. (In Russ.)
5. Haiyong T., Yanhua S., Wenming Z., Chun J. Slip ratio control for articulated dump truck based on fuzzy sliding mode. *2011 Int. Conf. on Consumer Electronics, Communications and Networks, CECNet 2011 – Proceedings*. 2011. p. 4404–4407.

6. Mariev P. L., Egorov A. N., Voitov V. T. Features of mine dump truck working in the conditions of deep quarry and higher slopes of pit roads. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2011; 10: 63–66. (In Russ.)

7. Brown D., Heather R. Development of off-highway articulated dump trucks. *SAE Technical Paper, D. J. B. Engineering Ltd*. 1979.

8. Zyrianov I. V., Tsymbalova A. I. CAT-740 B trial at steeply inclined ramps of Udachny pit of ALROSA. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2013; 9: 22–25. (In Russ.)

9. Lel Iu. I., Gorshkov E. V., Ermolaev A. I., Voroshilov G. A., Nevolin D. G., Dovzhenok A. S. Justification of optimal highway slopes at working of mountain-deep opencast mines. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2012; 2: 5–12. (In Russ.)

10. Veretennikov V. G., Sinitsyn V. A. *The method of alternating action*. Moscow: Fizmatlit Publishing; 2005. (In Russ.)

11. Artamonov M. D., Ilarionov V. A., Morin M. M. *The theory of an automobile and auto engine*. Moscow: Mashinostroenie Publishing; 1968. In Russ.)

12. Vilkul Iu. G., Slobodianiuk V. K., Maksimov I. I. Theory of determining the amount of main development when uncovering deep open pits by spiral ramps. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2007; 7: 17–23. (In Russ.)

Received 3 August 2020

Information about authors:

Iurii I. Lel – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: lel49@mail.ru
Igor A. Glebov – junior researcher, Institute of Minign UB RAS. E-mail: i.glebov@igduran.ru
Aleksei B. Budnev – PhD student, Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: a.budnev96@yandex.ru
Sergei V. Isakov – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: hemul92@mail.ru
Ruslan S. Ganiev – senior lecturer, Department of Opencast Mining, Ural State Mining University. E-mail: sunmail2003@mail.ru

Для цитирования: Лель Ю. И., Глебов И. А., Буднев А. Б., Исаков С. В., Ганиев Р. С. К обоснованию параметров крутонаклонных автосъездов при вскрытии глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 21–32. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-21-32
For citation: Lel Iu. I., Glebov I. A., Budnev A. B., Isakov S. V., Ganiev R. S. Rationale for the parameters of steeply inclined ramps of kimberlite pits deep horizons exposing**.** *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 21–32 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-21-32

УДК 622.271.3.001.63:621.926.2 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40

Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок

Чиркин А. А.[1], Кантемиров В. Д.[2]*

[1] Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Россия

[2] Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

e-mail: ukrkant@mail.ru

Реферат

Введение. *На современных горнодобывающих предприятиях в России и за рубежом широко применяется открытый способ разработки рудных полезных ископаемых. При этом эффективно используется циклично-поточная технология с передвижными дробильно-перегрузочными установками (ПДПУ) различной конструкции.*

Цель работы. *Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок.*

Методология. *Работа проектировщиков и конструкторов по выбору типа компоновочной схемы ПДПУ и элементов ее конструкции, а также по совершенствованию установки в целом в значительной мере затруднена из-за отсутствия единого методического подхода к проектированию передвижных дробильно-перегрузочных установок в модульном (блочном) исполнении. Многовариантность разработанных компоновочных решений передвижных дробильно-перегрузочных установок требует формулирования общих принципов, предъявляемых к проектированию установок данного типа. В статье выполнены анализ конструкций ПДПУ и обоснование оптимальной компоновочной схемы установки в модульном исполнении в составе транспортной схемы карьера.*

Результаты. *Выполненные исследования, в том числе в ИГД УрО РАН, позволили разработать исходные требования к проектированию установок данного типа, в соответствии с которыми конструкторами производственного объединения «Уралмашзавод» был разработан технический проект передвижной установки ПДПУ-2000 производительностью 2000 м^3/ч, состоящей из трех модулей на базе конусной дробилки ККД 1500/180.*

Выводы. *К перспективным конструкциям ПДПУ в модульном исполнении, разрабатываемым в настоящее время, следует отнести двух- и трехмодульные установки, оснащаемые щековыми и конусными дробилками крупного дробления. Перенос на новое место модулей установки производится с помощью многоцелевого гусеничного транспортера грузоподъемностью до 1000 т. К этим типам ПДПУ в последнее время проявляется повышенный интерес, о чем свидетельствует большое количество запатентованных технических решений.*

Ключевые слова: *передвижная дробильно-перегрузочная установка; конусная дробилка; производительность; гусеничный транспортер; ленточный конвейер; открытые горные работы.*

Введение. На современном этапе развития открытых горных работ как на отечественных, так и на зарубежных карьерах все большее значение приобретает применение циклично-поточной технологии (ЦПТ) с передвижными дробильно-перегрузочными установками в модульном (блочном) конструктивном исполнении. Применение модульного принципа конструктивного исполнения вызывает необходимость формулирования комплекса требований, которые должны определять компоновочную структуру каждого модуля (блока) карьерной передвижной дробильно-перегрузочной установки. Данный комплекс требований должен учитывать все многообразие горно-технологических факторов, конструктивные особенности карьерной передвижной дробильной установки как в целом, так и отдельных модулей, входящих в установку.

Отличительной особенностью открытых горных работ является стойкая тенденция к увеличению глубины карьеров, росту расстояний транспортирования горной массы и, следовательно, снижению производительности всей транспортной системы в карьере, энергоэффективности и экономической эффективности системы в целом. Учитывая динамику горных работ в карьере, применение передвижной дробильной установки как связующего звена между цикличным автомобильным и непрерывным конвейерным транспортом не должно вызывать отрицательных, сдерживающих факторов для транспортной системы карьера, быть экономически эффективным на протяжении всего периода производства горных работ в карьере [1–5]. Дробильно-перегрузочная установка должна удовлетворять понятию «технологичности», но данное понятие довольно широко и может меняться в зависимости от конкретных горнотехнических условий, что определяет разработку нового методического подхода к проектированию установок данного типа.

Проведение исследований. Современный этап развития открытых горных работ на отечественных и зарубежных карьерах характеризуется увеличением единичной мощности оборудования во всех звеньях транспортной системы карьера. Одновременно с увеличением единичной мощности оборудования происходит увеличение и глубины карьеров, что нередко приводит к техническому противоречию с необходимостью поддерживать экономически эффективную мощность карьера как по полезному ископаемому, так и по вскрышным работам. Поиск экономически эффективной технологии добычи полезных ископаемых открытым способом, который активно начался еще в середине прошлого века, привел к идее перенести первичную стадию крупного дробления в карьер с одновременным вводом конвейерного транспорта, который на тот период достиг высокого технического уровня. При этом значительно увеличилась экономическая эффективность автомобильного транспорта и соответственно транспортной системы карьера в целом. Дробильно-перегрузочные пункты, оснащенные конусными либо щековыми дробилками крупного дробления, размещались, как правило, на временно нерабочем борту карьера и представляли собой дробильно-обогатительный корпус, расположенный в карьере. Размещение стационарного дробильно-перегрузочного пункта в карьере сдерживало развитие горных работ, приводило к увеличению расстояния транспортирования автомобильным транспортом, что в конечном итоге сводило на нет те преимущества, которые были получены первоначально при введении стадии крупного дробления в карьер. Данный факт определил начало нового этапа в развитии циклично-поточной технологии поиска новых технических и технологических решений для повышения эффективности транспортной системы. На отечественных и зарубежных карьерах стали появляться дробильно-перегрузочные пункты для перегрузки с автомобильного на конвейерный транспорт в виде установок, которые монтировались на сборных металлоконструкциях без массивных железобетонных фундаментов. Данный тип установок получил название полустационарных дробильно-перегрузочных пунктов, в отличие от стационарного дробильно-перегрузочного пункта, и имел возможность разборки и переноса на новый концентрационный горизонт.

При комплектации полустационарного дробильно-перегрузочного пункта использовалось серийное заводское оборудование и металлоконструкции, которые доставлялись в карьер на транспортных средствах, а монтаж производился непосредственно в карьере. Сроки монтажа полустационарного дробильно-перегрузочного пункта в два-три раза меньше, чем стационарного и составляют от шести до десяти месяцев. Применение полустационарных дробильно-перегрузочных пунктов стало значительным техническим прорывом в развитии циклично-поточной технологии. Однако к 1980–1990-м гг., когда произошло сокращение вре-

мени подготовки горной массы к транспортировке за счет сокращения цикла буровзрывных работ и процесса экскавации и увеличились темпы углубки горных работ, данный тип установок стал сдерживающим фактором в развитии технологии горных работ в карьере. Исследования в области создания внутрикарьерных дробильно-перегрузочных установок активно велись в ИГД МЧМ СССР (ИГД УрО РАН), что позволило разработать теоретические основы применения подобных установок. В этот период на карьерах США, Канады стали применяться передвижные дробильно-перегрузочные установки с высокой степенью готовности, которые доставлялись в карьер специальным транспортным средством на гусеничном ходу, при этом строительно-монтажные работы в карьере были сведены до минимума.

Несмотря на наличие значительного количества решений по конструктивному исполнению передвижных дробильно-перегрузочных установок в модульном исполнении, поиск наилучших решений продолжается в России и за рубежом [5–12]. Одной из причин является отсутствие единого методологического подхода при выборе оптимальной компоновочной схемы из всех возможных вариантов конструкторских решений.

Результаты. Предлагается для конструкций передвижных дробильно-перегрузочных установок в модульном исполнении рассматривать три типа компоновки.

Первый тип компоновки – одномодульный, представляет собой единый модуль, в который входит опорная конструкция, выполненная в виде рамы, на которую установлены, как правило, конусная либо щековая дробилка, загрузочный бункер, разгрузочный питатель. В случае применения щековой дробилки рекомендуется применять пластинчатый питатель тяжелого типа. Применение конусной дробилки допускает возможность прямой загрузки через приемный бункер. Однако по технологическим условиям это не всегда целесообразно, так как необходимо сформировать уступ 25 м и более со строительством вертикальных подпорных стенок из бетона для того, чтобы расположить дробильно-перегрузочную установку вплотную к уступу для организации разгрузочной площадки. В случае отказа от вертикальных подпорных стен и установки ПДПУ в нише необходимо монтировать разгрузочные рампы с опиранием их на опорную раму установки. В этом случае возникают дополнительные динамические нагрузки при разгрузке автомобиля. При применении одномодульной компоновки ПДПУ разгрузка в бункер-питатель осуществляется с разгрузочной площадки для автомобилей с вышележащего уступа. Общая ширина площадки определяется как сумма площадки горизонта установки собственно ПДПУ и разгрузочной площадки для автомобилей. При данной компоновке общая масса ПДПУ может достигать 1000 т, для перемещения установки необходимо автономное гусеничное транспортное средство соответствующей грузоподъемности.

Второй тип компоновки – двухмодульный, представляет собой два модуля – модуль бункера-питателя и модуль дробилки с разгрузочным конвейером. При этом оборудование каждого модуля устанавливается на собственной несущей раме. Габаритные размеры каждого модуля примерно одинаковые, что позволяет перемещать модули по карьерным автодорогам, масса каждого из них не превышает 700 т. Перемещение модулей также осуществляется с помощью автономного гусеничного транспортера. Для монтажа и работы установки достаточно 15-метрового уступа. Для устройства разборной разгрузочной площадки устанавливаются специальные металлические колонны с опиранием на них разгрузочных рамп. При данной конструкции разгрузочной площадки не происходит передача на нее дополнительных динамических нагрузок при разгрузке автосамосвалов. При двухмодульной компоновке увеличиваются размеры площадки

для установки ПДПУ на габаритную величину одного модуля, при этом размеры разгрузочной площадки остаются прежними.

Вариант трехмодульной компоновки ПДПУ отличается от предыдущего тем, что разгрузочный конвейер выполнен как самостоятельный модуль на колесном ходу, что облегчает его монтаж и демонтаж при ремонтных работах.

Опыт эксплуатации передвижных дробильно-перегрузочных установок и технико-экономический анализ показывают, что для рудных карьеров необходимо иметь установки с производительностью в пределах 600–2000 м^3/ч [13].

При выборе компоновочной схемы ПДПУ и определения ее экономической эффективности необходимо учитывать весь комплекс факторов (рис. 1).

Рис. 1. Факторы, учитываемые при проектировании передвижной дробильно-перегрузочной установки
Fig. 1. Factors taken into account in the design of a mobile crushing plant

По результатам исследований, выполненных в ИГД МЧМ СССР (ИГД УрО РАН), были разработаны исходные требования к проектированию передвижной дробильно-перегрузочной установки. В соответствии с исходными требованиями ИГД в АО «Уралмашзавод» разработан технический проект установки ПДПУ-2000 производительностью 2000 м^3/ч. В состав установки входит три модуля: модуль с конусной дробилкой ККД 1500; модуль бункера-питателя, рассчитанного на два места разгрузки; модуль разгрузочного конвейера. Перемещение модулей дробильной установки производится с помощью автономного гусеничного транспортного средства грузоподъемностью 1000 т. Для размещения установки достаточно 15-метрового уступа, для разгрузки автосамосвалов монтируется разгрузочная площадка на два места разгрузки (рис. 2).

Для определения технического уровня спроектированной установки были проведены патентные исследования, которые позволили определить ближайший аналог, которым является передвижная дробильно-перегрузочная установка фирмы «Дювэл» (США). Результаты сравнительного анализа приведены в табл. 1.

Как показывает сравнительный анализ, по основным технико-экономическим показателям ПДПУ-2000 превосходит дробильно-перегрузочную установку фирмы «Дювэл». Кроме того, применение в ПДПУ-2000 питателя оригинальной конструкции позволяет производить разгрузку автосамосвалов в приемный бункер как с горизонта установки модуля дробилки, так и с вышележащего горизонта, на котором устраивается разгрузочная площадка, что расширяет технологические возможности дробильно-перегрузочной установки.

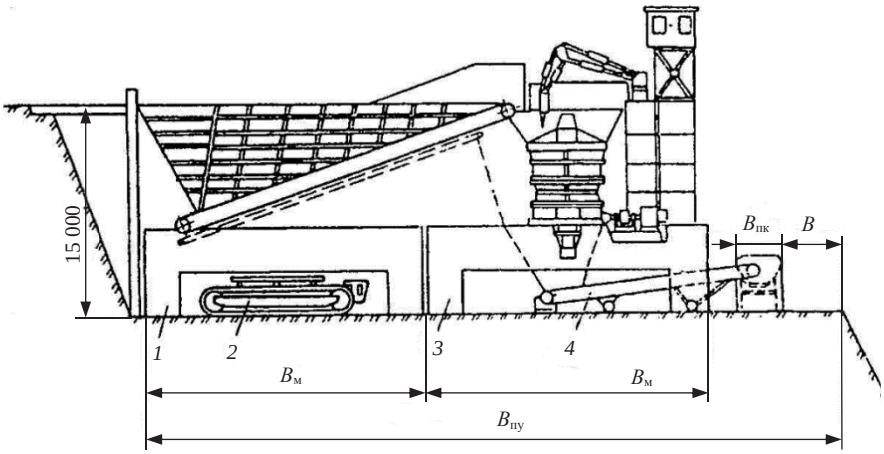

Рис. 2. Передвижная дробильно-перегрузочная установка ПДПУ-2000:
1 – модуль бункера-питателя; *2* – гусеничный транспортер ТГ-1000; *3* – модуль дробилки; *4* – разгрузочный конвейер; *B* – ширина полосы безопасности, м; $B_м$ – длина опорной конструкции модуля, м; $B_{пк}$ – ширина передвижного ленточного конвейера, м; $B_{пу}$ – ширина площадки для установки ПДПУ-2000, м

Fig. 2. Mobile crushing plant PDPU-2000:
1 – feeder hopper module; *2* – tracked conveyor TG-1000; *3* – crusher module; *4* – discharge conveyor; *B* is the width of the safety strip, m; B_m – length of the module support structure, m; B_{mb} – the width of the mobile belt conveyor, m; B_{pi} – width of the platform for installing PDPU-2000, m

Большое значение с точки зрения технологии горных работ имеют габаритные размеры установки, которые определяют параметры площадки для размещения ПДПУ в карьере с учетом маневров автосамосвалов при разгрузке рудного сырья. Ширина площадки в варианте установки питателя, когда совмещается горизонт установки модуля-дробилки и горизонт разгрузки, составляет 95 м, а при устройстве разгрузочной площадки горизонтом выше ширина площадки составляет 75 м.

Предложенная компоновочная схема в ПДПУ-2000 позволяет сократить габаритные размеры установки и, следовательно, уменьшить площадку для ее расположения в карьере [13, 14].

Выводы. Опыт эксплуатации передвижных дробильно-перегрузочных установок в модульном исполнении и технико-экономические исследования их применения показывают, что внедрение передвижных дробильно-перегрузочных установок расширяет область эффективного использования циклично-поточной технологии.

Обсуждение типов компоновочных схем ПДПУ показывает, что в данном вопросе необходим тщательный технико-экономический анализ всех вариантов. Определяющими факторами являются условия эксплуатации, производитель-

ность, экономическая эффективность всего комплекса циклично-поточной технологии с ПДПУ.

Наибольшее распространение получили двух- и трехмодульные варианты исполнения ПДПУ, перенос которых производится автономным транспортным средством на гусеничном ходу грузоподъемностью до 1000 т. Применение данных компоновочных решений позволяет получить наиболее оптимальные габаритные размеры установки, а следовательно, размеры площадок для их размещения в карьере, что особенно важно при доработке глубоких карьеров. В сложных условиях эксплуатации при дроблении весьма твердой рудной массы, когда возникают значительные динамические нагрузки при разгрузке автомобилей в бункер-питатель при одновременной разгрузке двух автомобилей, необходимо принимать дополнительные меры по их снижению. К таким мерам можно отнести

Таблица 1. Технико-экономические показатели дробильно-перегрузочных установок
Table 1. Technical and economic indicators of crushing plants

Тип ПДПУ	Ширина приемной щели, мм	Номинальная ширина разгрузочной щели, мм	Наибольший размер кусков питания, мм	Производительность техническая / удельная, т/ч / (т/ч)/мм	Масса, не более*, т	Установленная мощность, кВт	Удельная масса, т/(т/ч)	Удельный расход электроэнергии, кВт · ч/т
ПДПУ-2000 с конусной дробилкой	1500	180	1200	4000 / 22,2	1250	850	0,31	0,21
ПДПУ фирмы «Дювэл»	1520	180	1216	2900 / 16,1	1620	1368	0,55	0,47

* Модуль бункера-питателя и дробильный модуль.

независимое устройство разгрузочной эстакады и модуля бункера-питателя установки, исключающее возможность передачи дополнительных динамических нагрузок от разгрузочной эстакады к бункеру-питателю, а также рациональной конструкции самого бункера-питателя с определением оптимальных углов наклона приемных стенок бункера и правильным выбором пластинчатого питателя тяжелого типа. Расширить область применения данных вариантов компоновки можно путем использования конусных дробилок крупного дробления, позволяющих производить их прямую загрузку без применения пластинчатого питателя.

Выбор оптимальной компоновочной схемы передвижной дробильно-перегрузочной установки в модульном исполнении зависит от результатов технико-экономической оценки вариантов на стадии проектирования циклично-поточной технологии в составе транспортной схемы карьера. Предварительные расчеты показывают высокую экономическую эффективность схем ЦПТ с ПДПУ для глубоких рудных карьеров, что является предпосылкой их широкого внедрения в практику открытых горных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев В. Л. Состояние, проблемы и пути совершенствования открытых горных разработок // Горный журнал. 2009. № 11. С. 11–14.

2. Яковлев В. Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров // Горный журнал. 2003. № 4/5. С. 51–56.

3. Яковлев В. Л. Некоторые перспективные направления исследований в области карьерного транспорта // Матер. междунар. науч.-техн. конф. по карьерному транспорту. Екатеринбург, 2002. С. 15–20.

4. Фаддеев Б. В., Чапурин Н. А. Дробильные установки на карьерах. М.: Недра, 1981. 161 с.

5. Sassos M. P. In pit crushing and conveying sistems // Engineering and Mining Journal. 1984. Vol. 85. No. 4. P. 46–59.
6. Muller G. Shenkung der betriebsconsten im Festgesteein – Tagebau durch Einsatz von Brecher-Band System // Fordern und Heben. 1986. Bd. 36. N 8. S. 556–559.
7. Engineering Contractors // Mining Magazin. 1998. Vol. 179. No. 2. P. 75.
8. Marek T. M. In-pit crushing and conveying-mine planning and operations // Skillings Mining Review. 1985. Vol. 74. No. 22. P. 6–10.
9. Utley R. W. In-pit crushing. In: SME Mining Engineering Handbook, 3rd ed. P. Darling, ed. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2011. P. 941–957.
10. Londono J. G., Knights P., and Kizil M. Review of in-pit crusher conveyor (IPCC) application. In: 2012 Australian Mining Technology Conference. 2012. P. 63–82.
11. Чиркин А. А. Опыт проектирования и внедрения передвижных дробильно-перегрузочных установок для открытых горных работ // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XIV Междунар. науч.-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека / УГГУ. Екатеринбург, 2016. С. 208–211.
12. Дробильно-перегрузочная установка: пат. 2168631 Рос. Федерация. МПК7 E 21 C 41/26, B 02 C 21/02. № 98100368/03; заявл. 05.01. 98; опубл. 10.06.01. Бюл. № 16. 3 с.
13. Чиркин А. А., Кантемиров В. Д. Технологические аспекты эксплуатации передвижных дробильно-перегрузочных установок на открытых горных работах // Тяжелое машиностроение. 2003. № 8. С. 28–32.
14. Кантемиров В. Д. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз // ГИАБ. 2014. № 6. С. 369–373.

Поступила в редакцию 26 февраля 2020 года

Сведения об авторах:

Чиркин Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры мехатроники, Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: chirkin2013@yandex.ru
Кантемиров Валерий Даниилович – кандидат технических наук, заведующий сектором управления качеством минерального сырья Института горного дела УрО РАН. E-mail: ukrkant@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40

Rationale for mobile crushing plants design methodology

Aleksei A. Chirkin[1], Valerii D. Kantemirov[2]
[1] Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia.
[2] Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
Introduction. *Modern mining enterprises in Russia and abroad use opencast mining on a wide scale making the best use of the cyclic-flow technology with mobile crushing plants (PDPU) of various designs.*
Research aim *is to substantiate the methodology of designing mobile crushing plants.*
Methodology*. The work of designers and constructors in choosing the type of PDPU layout scheme and elements of its design, as well as in improving the installation as a whole, is difficult due to the lack of a unified methodological approach to the design of mobile crushing plants in a modular (block) design. Multiple layout solutions in mobile crushing plants design required the formulation of general principles for such plants. PDPU structures were analyzed in the article, and the optimal layout of the plant in a modular design was substantiated as a part of the open-pit transport scheme.*
Results. *The research, including the research carried out in IM UB RAS, made it possible to develop initial requirements for such plants design. In accordance with the requirements the designers of the Uralmash Machine-Building Corporation developed the technical design of the PDPU-2000 mobile unit with a capacity of 2000 m^3/ h, consisting of three modules based on the cone crusher KKD 1500/180.*
Conclusions. *Two and three-module plants equipped with large-sized jaw and cone crushers are promising modular PDPU designs currently being developed. The transfer of installation modules to a new location is carried out using a multi-purpose tracked conveyor with a lifting capacity of up to 1000 tons. Recently, there has been an increased interest in this type of PDPU, as evidenced by the large number of patented technical solutions.*

Key words: *mobile crushing plant; cone crusher; capacity; tracked vehicle; a conveyor belt; open pit mining.*

REFERENCES

1. Iakovlev V. L. Condition, problems and method of improvement of open cast mining. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2009; 11: 11–14. (In Russ.)

2. Iakovlev V. L. Step-ahead solutions in cyclic-flow technology of deep pits. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2003; 4/5: 51–56. (In Russ.)

3. Iakovlev V. L. Some perspective trends in opencast transport study. In: *Proceedings of Internat. Science to pract. Conf. on opencast transport*. Ekaterinburg; 2002. p. 15–20. (In Russ.)

4. Faddeev B. V., Chapurin N. A. *Crushing plants in open pits*. Moscow: Nedra Publishing; 1981. (In Russ.)

5. Sassos M. P. In pit crushing and conveying systems. *Engineering and Mining Journal*. 1984; 85 (4): 46–59.

6. Muller G. Shenkung der betriebsconsten im Festgesteein – Tagebau durch Einsatz von Brecher-Band System. *Fordern und Heben*.1986; 36(8): 556–559.

7. Engineering Contractors. *Mining Magazine*. 1998; 179(2): 75.

8. Marek T. M. In-pit crushing and conveying-mine planning and operations. *Skillings Mining Review*. 1985; 74(22): 6–10.

9. Utley R. W., P. Darling (ed.) In-pit crushing. In: *SME Mining Engineering Handbook, 3rd ed. Society for Mining, Metallurgy and Exploration*. 2011. P. 941–957.

10. Londono J. G., Knights P., and Kizil M. Review of in-pit crusher conveyor (IPCC) application. In: *2012 Australian Mining Technology Conference*. 2012. P. 63–82.

11. Chirkin A. A. Experience in design and implementation of mobile crushing plants for opencast mining. In: *Process equipment for oil and gas industry: proc. of 14th Internat. Science to pract. Conf. V. R. Kubakhek Readings*. UrSMU Publishing. Ekaterinburg; 2016. p. 208–211. (In Russ.)

12. Iakovlev V. L., Chirkin A. A., Kantemirov V. D. *Crushing plant*. Patent RF no. 2168631.

13. Chirkin A. A., Kantemirov V. D. Process aspects of mobile crushing plants operation in opencast mining. *Tiazheloe mashinostroenie = Heavy Engineering*. 2003; 8: 28–32. (In Russ.)

14. Kantemirov V. D. Process flow features of new mineral bases exploitation. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 6: 369–373. (In Russ.)

Received 26 February 2020

Information about authors:

Aleksey A. Chirkin – PhD (Engineering), associate professor of Mechatronics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia. E-mail: chirkin2013@yandex.ru

Valery D. Kantemirov – PhD (Engineering), quality management sector chief, Institute of Mining UB RAS. E-mail: ukrkant@mail.ru

Для цитирования: Чиркин А. А., Кантемиров В. Д. Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 33–40. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40

For citation: Chirkin A. A., Kantemirov V. D. Rationale for mobile crushing plants design methodology. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 33–40 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-41-48

Assessing the impact made by the geological features of a coalfield on producing well's operation

Galina I. Matniiazova[1], Mariia P. Khaidina[1]*
[1] National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow, Russia
e-mail: mmp2003@inbox.ru

Abstract

Introduction. *Coalbed methane extraction increases the economic efficiency of coal mining being a main measure mitigating coal mining risks. Research aim was to assess the impact made by host rocks with different reservoir properties on coalbed methane production dynamics before and after hydraulic fracturing.*

Methodology. *A coal seam model has been constructed using software systems; the coal seam has been represented as an integrated deposit of two minerals, coal and gas. Gas production scenarios with and without impact on the seam have been calculated as well. A model of a coal bed with a hydraulic fracture was constructed in application program package Petrel (Shlumberger).*

Results. *The calculation results showed the development of gas migration from the coal matrix to the surrounding rock through the fracture system during gas production. The use of hydraulic fracturing has positive impact on the dynamics of gas production from coal seams. Hydraulic fracturing revealed the growth of desorbed gas migration into the host interlayers. Analysis of coal methane migration to the surrounding rock has shown that the host rock can be considered as a transportation route for coalbed methane production.*

Key words: *coal seam; adsorption; hydraulic fracturing; host rock; double porosity; coal gas migration.*

Introduction. The unfavorable factors, coal and gas outbursts and mines' deformations, become greater as the depth of coal mining becomes deeper.

The solution to gas and rock outbursts problem is complicated by the fact that a coal seam with adsorbed methane is a fractured-porous medium that includes a genetically and spatially linked system of organic matter of coal, absorbed gas, gas-saturated water, and natural fractures in coal (cleavage) [1–3].

Coalbed methane extraction increases the economic efficiency of coal mining being a main measure mitigating coal mining risks.

Methane production is particularly difficult at the preparation stage, when the coal bed is not much affected by the development and there is no developed network of degassing channels. Insufficient degree of degassing at this stage contributes to further increase of risk of catastrophic results of gas-dynamic phenomena and decrease of productivity of coal mining [4–5].

Efficient and cost-effective recovery of methane out of coal seams by wells drilled from the surface is achieved by applying advanced technologies of hydraulic fracturing, pneumatic and hydrodynamic impact on beds with caverns formation (cavitation), and carbon dioxide injection.

The fracture volume in the bed is negligibly small compared to the total volume of solid skeleton and voids. Coalbed hydraulic fracturing promotes to making links between the natural fracture network and the well [6–10].

Most problems during coal bed hydraulic fracturing are related to coal mass heterogeneous properties, including geomechanical properties and the length of the natural fracture network in the coal. As a result, induced fractures are highly dependent on strata stress curves and their changes during drilling and hydraulic fracturing. The cleavage system affects the fracture trajectory and may result in complex fractures, which increases the injection pressure. Bottomhole rock parts or coal dust from hydraulic fracturing also increase the injection pressure. Cross-linked gels, water, and foams are used as fracturing fluids. The organic surface of coal can adsorb fracturing fluid (or drilling fluid) components in contrast to the inorganic surface of conventional reservoirs. Adsorption and physical capture of fracturing fluid molecules limit the permeability of main and secondary cleavages, tertiary fractures, methane desorption, gas diffusion and further gas filtration to wells [11–14].

A significant volume of a deposit by thickness in multi-layer basins with thin layers of coal (e. g., Black Warrior, Canada) is occupied by the host rock. Some characteristic properties of coal and host rock obtained from minifrac tests are presented in table 1 [4, 15–16].

Table 1. Input data for the model
Таблица 1. Исходные данные модели

Depth	850 m
Reservoir pressure	8,5 MPa
Coal methane capacity	20 m^3/t
Grid size	1250×1250×10 m
Number of cells	100×100×10 pcs
Fracture height	13 m
Fracture half-length	68 m

The table shows the values of Young's module (Erock, MPa) and Poisson's coefficient of coal and host rock for different coal basins.

High Young’s modulus of other rocks with low modulus for coal, as well as strata stresses, affect fracture growth and propagation [9].

Research aim was to assess the impact made by host rocks with different reservoir properties on coalbed methane (CBM) production dynamics before and after hydraulic fracturing.

Table 2. Input data of interlayers in the double porosity model
Таблица 2. Исходные данные прослоек в модели двойной пористости

Number of layer	Rock	*h*, m	*m* matrix/fracture, portions	*k* matrix/fracture, 10^{-12} m^2
1	Sand	2	0 / 0.2000	0 / 0.1020
2	Coal	1	0.2 / 0.0010	0.00001 / 1.0200
3	Siltstone	2	0.2 / 0.0001	0.00001 / 0.0001
4	Coal	3	0.2 / 0.0010	0.00001 / 1.0200
5	Siltstone	5	0.3 / 0.0001	0.00001 / 0.0001

The Naryksko-Ostashkinskoye deposit’s coal bed reservoir properties, its methane content research results, and the results of fracture geometry (half-length and height) after coal bed hydraulic fracturing at a depth of 850 meters were taken as initial data (tables 2, 3).

A model of a coal bed with a hydraulic fracture was constructed in application program package Petrel (Shlumberger). The coal bed model is implemented using the double porosity model consisting of two interrelated systems representing a coal matrix

and a system of highly permeable fractures. Physical processes are described by modified Warren and Ruth model involving sorption and diffusion processes [8]. Fluid flows mainly through fractures and major reserves are in porous blocks. There are also local filtration flows from blocks to fractures. Design grid parameters, modifiable interval, fracture half-length, and fracture's height and direction were introduced to model the hydraulic fracture.

Table 3. The results of observing changes in the coal bed gas saturation without affecting the formation

Таблица 3. Результаты наблюдения за изменением газонасыщенности угольного пласта без воздействия на пласт

Rock	Gas saturation (fractures)				
	1 well (3 mos)	1 well (5 mos)	1 well (8 mos)	2 wells (3 mos)	2 wells (5 mos)
Sand	–	–	–	–	–
Coal	–	–	–	–	–
Siltstone	–	0.5	0.7	0.5	0.6
Coal	–	0.6	0.8	0.5	0.7
Siltstone	–	–	0.4	–	0.5

Methodology. The work consisted of two parts. The first part included the study of the impact made by the host rock when recovering gas from the coalbed in models with one and two wells without hydraulic fracturing.

In both cases, the well uncovered the entire coal patch as shown in figure 1. The fractures were initially occupied by water. So, the first step was to dry the coal patch and observe the subsequent release of the adsorbed methane from coal layers 2 and 4.

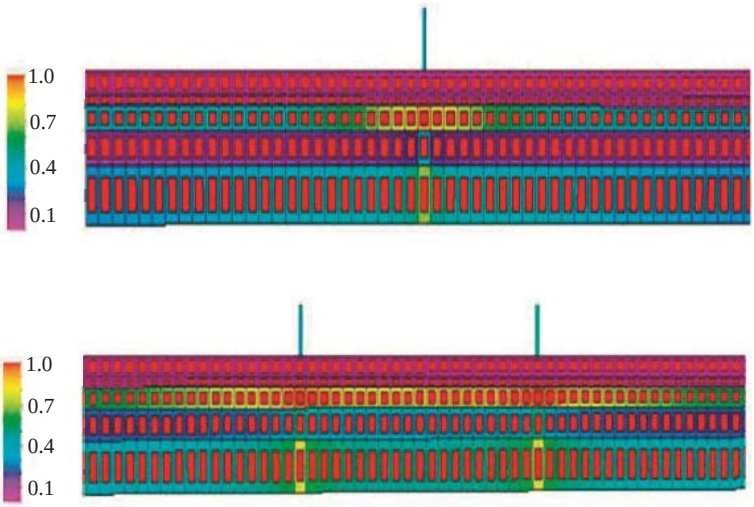

Fig. 1. Gas saturation distribution one year after production starts (1 and 2 wells)
Рис. 1. Распределение газонасыщенности через год после начала добычи (1 и 2 скважины)

Calculations in models with one well and two wells were made with pressure and gas saturation measurements after 1 day; 3, 5, 8, 12 months from the start of production (figures 1, 2).

In a single well model, after 5 months gas saturation changed from 0 to 0.5 in layers 3 and 4 (clay siltstone and coal) (table 4). One year after the start of water pumping,

free gas filled layer 3 (clay siltstone), layer 4 (coal bedrock), and layer 5 (fissured clay siltstone) (figure 1).

In a two wells model, the distance between the wells is 250 m, which is typical for the development of coalfields. The same mode was set to simulate wells. Three months

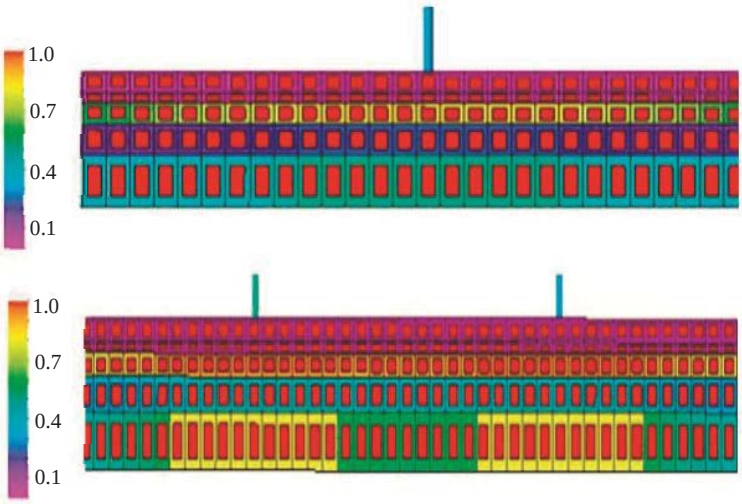

Fig. 2. Gas saturation distribution one year after production starts (1 and 2 simulated wells)
Рис. 2. Распределение газонасыщенности через год после начала добычи (1 и 2 моделируемые скважины)

after the start of water pumping, layers 3 and 4 (clay siltstone and coal) became saturated (table 4). Figure 2 shows the state of gas saturation in the reservoir one year after the start of development. It can be seen that two wells development is more intense in terms of gas saturation compared to a single well model.

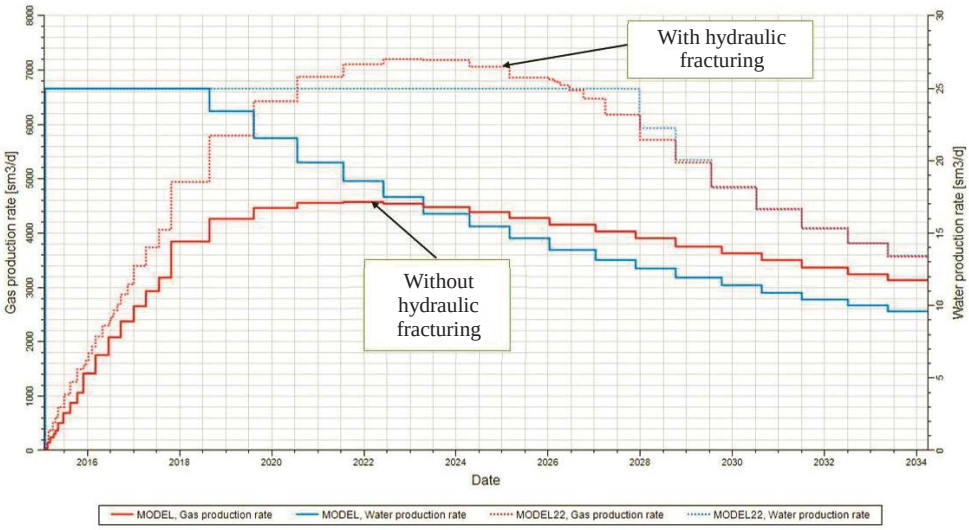

Fig. 3. Changes of gas and water rates (1 well)
Рис. 3. Изменения дебитов газа и воды (1 скважина)

The second part of the work included the study of the impact made by the hydraulic fracturing operation on CBM production, as well as the assessment of host rocks impact on methane production after hydraulic fracturing.

Fracture dimensions at one of Naryksko-Ostashkinskoye field wells were taken as initial data, namely, the fracture height (13 m) and its half-length (68 m). Input data for the model were used in accordance with tables 2, 3.

The efficiency of hydraulic fracturing is significantly affected by the mechanical properties of rocks and associated stresses. In the case of the Naryk-Ostashkinskoye deposit, coal seams are uncovered in patches that include coal and enclosing rock

Two development scenarios were considered with hydraulic fracturing at the start of production at one well in the center of the seam model and at two symmetrical wells.

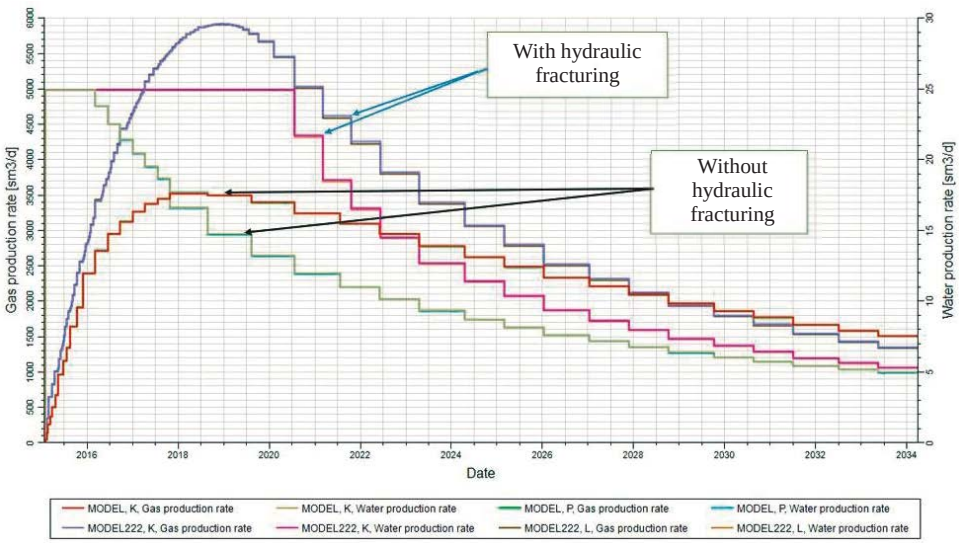

Fig. 4. Changes of gas and water rates (2 wells)
Рис. 4. Изменения расходов газа и воды (2 скв.)

Figure 3 shows pressure distributions in the interbedded layers the next day after hydraulic fracturing at one well. Hydraulic fracturing was carried out on the first day of production. It can be seen that pressure in the fracturing zone has changed by 0.1 MPa in comparison with the initial strata pressure (8.5 MPa) in coal interlayers and sandstone, in fissured siltstones to a lesser extent (interlayer 3) and a little in the last formation 5. Such pressure distribution is due to different formation reservoir properties of the interlayers. Fissured siltstone has the lowest fracture permeability. In addition, figure 4 shows the effect of wells interaction caused by reservoir pressure decrease in the model and gas production intensification.

Analyzing the results of alternate designs with one and two fractured wells, significant quantitative changes in free gas distribution across the interbedded layers were recorded one year after the start of the calculation.

Peak gas rate at a single well development with hydraulic fracturing is reached after 10 years; in the case of two fractured wells, the peak rate is reached after 3 years. This can be explained by the depression cone created during the two wells development and by pressure reduction below the desorption pressure, which caused rapid release of gas from the matrix. The fracture, in turn, created a link between the well and natural fracture system and ensured fluid flow to the well.

Results. The comparison of CBM production with two wells in two scenarios, (a) hydraulic fracturing and (b) gas production without any impact on the formation, has made it possible to make the following conclusions:

1) Gas rates after hydraulic fracturing are 1.5 times higher than CBM production without any impact on the formation;

2) Water rates after hydraulic fracturing doubled and remained at the initial level for 10 years in comparison with the model without hydraulic fracturing. However, peak gas rate in both scenarios is reached after 3 years. The dynamics can be explained by the effect of the fracture connecting the well and the network of water-saturated fractures;

3) After hydraulic fracturing at two wells, methane from the coal interlayer migrates to the host rocks 2 months earlier than in the one well scenario;

Table 4. The results of observing changes in the coal bed gas saturation with hydraulic fracturing

Таблица 4. Результаты наблюдений за изменением газонасыщенности угольных пластов при ГРП

Number of layer	Rock	Gas saturation with and without fracturing			
		1 well (5 mos)	1 well (8 mos)	1 fractured well (3 mos)	1 fractured well (5 mos)
1	Sand	–	–	–	–
2	Coal	–	–	–	–
3	Siltstone	0.5	0.7	0.3	0.5
4	Coal	0.6	0.8	0.4	0.5
5	Siltstone	–	0.4	–	0.3

4) Migration to sandstone and upper coal occurs after 8 years in case two wells are operated without any impact on the formation. When calculating the model with hydraulic fracturing, it is observed that methane migrates from the upper coal to the overlying sandstone after 5 years.

The use of hydraulic fracturing has positive impact on the dynamics of gas production from coal seams [17]. Compared to the scenario of CBM production without hydraulic fracturing, gas flow rates after hydraulic fracturing increased by 1.5–2 times.

Calculations prove the occurrence of gas migration from the coal matrix to the surrounding host rocks through the system of fractures during reservoir development. Host rock can be considered as a transportation route for coalbed methane production.

REFERENCES

1. Malinnikova O. N. The conditions of methanogenesis from coal at fracturing. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2001; 5: 95–99. (In Russ.)

2. Zakharov A. G. Absorption of real gases and its interconnection with their state parameters. *Khimiia tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*. 2006; 3: 53–67. (In Russ.)

3. Ettinger I. L. *Huge resources and unpredictable disasters*. Moscow: Nauka Publishing; 1988. (In Russ.)

4. Rogers R. E., Rudi E. *Coalbed methane. Principle & Practice, 3rd edition*. Oktibbeha Publishing Co. 2007. 510 p. Available from: https://ru.scribd.com/doc/140765110/Coalbed-Methane-Principle-Practice.

5. Jeffrey R. G., Enever J. R., Ferguson T., and Bride J. *Small-scale hydraulic fracturing and mineback experiments in coal seams. Proc. International Coalbed Methane Symposium*. Vol. I. Birmingham, Alabama (May 1993). P. 79–88.

6. Morales H. and Davidson S. *Analysis of coalbed hydraulic fracturing behavior in the bowen basin (Australia). Proc. International Coalbed Methane Symposium*. Vol. I. Birmingham, Alabama (May 1993). P. 99–109.

7. Layne A. W. and Byrer C. W. Analysis of coalbed methane stimulations in the warrior basin. Alabama. SPEFE (September 1988) 3. No. 3. P. 663–669.

8. Barenblatt G. I., Entov V. N., Ryzhik V. M. *Theory of nonstationary fluid and gas filtration*. Moscow: Nedra Publishing; 1972. (In Russ.)

9. Krevelen van D. W. *Coal. Coal Science and Technology 3*. Elsevier Scientific Publishing Co., New York (1981). 407 p.

10. Schuyer J., Dijkstra H., and van Krevelen D. W. *Fuel*. 33 (1954) P. 409.

11. McBane R. A. (ed.) *Quarterly review of methane from coal seams technology* (June 1987) 3. No. 1. P. 38.

12. Penny G. S. and Conway M. W. *Coordinated studies in support of hydraulic fracturing of coalbed methane*. Annual report. GRI Contract No. 5090-214-1983 (April 1992) P. 73–74.

13. Roberto Aguilera. *Naturally fractured reservoirs and their link to tight and shale petroleum reservoirs*. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 27–31 July 2020, Virtual.

14. Hani Qutob, Micheal Byrne. *Formation damage in tight gas reservoirs*. SPE European Formation Damage Conference and Exhibition, 3–5 June 2015, Budapest, Hungary.

15. Chen Guo, Yucheng Xia, Dongmin Ma. Geological conditions of coalbed methane accumulation in the Hancheng area, southeastern Ordos Basin, China: implications for coalbed methane high-yield potential. *Energy Exploration & Exploitation*. 2019; 37(3): 922–944. DOI: 10.1177/0144598719838117

16. Xia P., Zeng F., Song X., Li K., Wang J., Feng S., Sun B. Geologic structural controls on coalbed methane content of the no. 8 coal seam, Gujiao Area, Shanxi, China. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2017; 15(1): 51–68.

17. Shu Tao, Shida Chen, Zhejun Pan. Current status, challenges, and policy suggestions for coalbed methane industry development in China: a review. *Energy Science & Engineering*. Published by the Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons Ltd, 2019. P. 1059–1074.

Received 12 March 2020

Information about authors:

Galina I. Matniiazova – PhD student, Department of Gas and Gas Condensate Field Development and Operation, National University of Oil and Gas “Gubkin University”. E-mail: gala.13@bk.ru
Mariia P. Khaidina – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Gas and Gas Condensate Field Development and Operation, National University of Oil and Gas “Gubkin University”. E-mail: mmp2003@inbox.ru

УДК 550.8.013 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-41-48

Оценка влияния геологических особенностей метаноугольного пласта на работу эксплуатационной скважины

Матниязова Г. И.[1], Хайдина М. П.[1]
[1] Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, Москва, Россия.

Реферат

Введение. *Извлечение метана из угольных пластов повышает экономическую эффективность добычи угля, а также является одной из главных мер по снижению рисков, возникающих при разработке угольных месторождений. Целью исследования являлась оценка влияния вмещающих пород с различными фильтрационно-емкостными свойствами на динамику добычи метана из угольных пластов до и после проведения ГРП (гидравлический разрыв пласта).*

Методология. *С использованием программных комплексов построена модель угольного пласта как комплексного месторождения двух ископаемых – угля и газа – и рассчитаны варианты добычи газа с воздействием на пласт и без воздействия на пласт. В пакете прикладной программы Petrel (Shlumberger) построена модель угольного пласта с трещиной ГРП.*

Результаты. *Установлено, что миграция газа из угольной матрицы во вмещающие близлежащие породы происходит по системе трещин в период добычи газа. Применение технологии ГРП положительно влияет на динамику добычи газа из угольных пластов. После проведения ГРП выявлен рост миграции десорбированного газа во вмещающие прослои. Результаты исследований миграции угольного метана в близлежащие породы показали, что вмещающие породы можно рассматривать как транспортные пути при добыче метана из угольных пластов.*

Ключевые слова: *угольный пласт; адсорбция; ГРП; вмещающая порода; двойная пористость; миграция угольного газа.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малинникова О. Н. Условия образования метана из угля при разрушении // ГИАБ. 2001. № 5. С. 95–99.

2. Захаров А. Г. Адсорбция реальных газов и ее взаимосвязь с параметрами их состояния // Химия твердого топлива. 2006. № 3. С. 53–67.

3. Эттингер И. Л. Необъятные запасы и непредсказуемые катастрофы. М.: Наука, 1988. 175 с.

4. Rogers R. E., Rudi E. Coalbed methane. Principle & Practice, 3rd edition. Oktibbeha Publishing Co. 2007. 510 p. URL: https://ru.scribd.com/doc/140765110/Coalbed-Methane-Principle-Practice.

5. Jeffrey R. G., Enever J. R., Ferguson T., and Bride J. Small-scale hydraulic fracturing and mineback experiments in coal seams. Proc. International Coalbed Methane Symposium. Vol. I. Birmingham, Alabama (May 1993). P. 79–88.

6. Morales H. and Davidson S. Analysis of coalbed hydraulic fracturing behavior in the bowen basin (Australia). Proc. International Coalbed Methane Symposium. Vol. I. Birmingham, Alabama (May 1993). P. 99–109.

7. Layne A. W. and Byrer C. W. Analysis of coalbed methane stimulations in the warrior basin. Alabama. SPEFE (September 1988) 3. No. 3. P. 663–669.

8. Баренблатт Г. И., Ентов В. Н., Рыжик В. М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М: Недра, 1972. 288 с.

9. Krevelen van D. W. Coal. Coal Science and Technology 3. Elsevier Scientific Publishing Co., New York (1981). 407 p.

10. Schuyer J., Dijkstra H., and van Krevelen D. W. Fuel. 33 (1954) P. 409.

11. McBane R. A. (ed.) Quarterly review of methane from coal seams technology (June 1987) 3. No. 1. P. 38.

12. Penny G. S. and Conway M. W. Coordinated studies in support of hydraulic fracturing of coalbed methane. Annual report. GRI Contract No. 5090-214-1983 (April 1992) P. 73–74.

13. Roberto Aguilera. Naturally fractured reservoirs and their link to tight and shale petroleum reservoirs. SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 27–31 July 2020, Virtual.

14. Hani Qutob, Micheal Byrne. Formation damage in tight gas reservoirs. SPE European Formation Damage Conference and Exhibition, 3–5 June 2015, Budapest, Hungary.

15. Chen Guo, Yucheng Xia, Dongmin Ma. Geological conditions of coalbed methane accumulation in the Hancheng area, southeastern Ordos Basin, China: implications for coalbed methane high-yield potential. Energy Exploration & Exploitation. 2019; 37(3): 922–944. DOI: 10.1177/0144598719838117

16. Xia P., Zeng F., Song X., Li K., Wang J., Feng S., Sun B. Geologic structural controls on coalbed methane content of the no. 8 coal seam, Gujiao Area, Shanxi, China. Applied Ecology and Environmental Research. 2017; 15(1): 51–68.

17. Shu Tao, Shida Chen, Zhejun Pan. Current status, challenges, and policy suggestions for coalbed methane industry development in China: a review. Energy Science & Engineering. Published by the Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons Ltd, 2019. P. 1059–1074.

Поступила в редакцию 12 марта 2020 года

Сведения об авторах:

Матниязова Галина Икромовна – аспирант кафедры разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина. E-mail: gala.13@bk.ru

Хайдина Мария Павловна – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений Российского государственного университета нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина. E-mail: mmp2003@inbox.ru

Для цитирования: Матниязова Г. И., Хайдина М. П. Оценка влияния геологических особенностей метаноугольного пласта на работу эксплуатационной скважины // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 41–48 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-41-48

For citation: Matniiazova G. I., Khaidina M. P. Assessing the impact made by the geological features of a coalfield on producing well's operation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 41–48. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-41-48

УДК 550.8.05 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55

Геофизические поисково-оценочные исследования в условиях подземного рудника

Харисов Т. Ф.[1, 2]*, Мельник В. В.[1], Замятин А. Л.[1]
[1] Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
[2] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: timur-ne@mail.ru

Реферат

Введение. *Геофизические методы исследования массива горных пород являются одним из наиболее эффективных способов решения различных задач в горном деле и широко применяются в горной, газовой и нефтяной промышленности, а также в науке. Они позволяют дистанционно вести поисковые и поисково-оценочные работы, выявлять структурные неоднородности, пустоты, зоны контактов различных сред в массиве горных пород с достаточно высокой точностью. В настоящей работе представлен пример решения задачи, заключающейся в поиске упавшего и расклиненного проходческого трехъярусного полка в эксплуатируемом стволе.*

Методика проведения исследований. *Для поисков были применены следующие геофизические методы: метод спектрального сейсмопрофилирования, метод георадарного зондирования. Метод спектрального сейсмопрофилирования основан на использовании зависимости между спектральным составом колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на обнаженную поверхность горного массива, и структурным строением этого массива. Основой метода георадарного зондирования является отражение электромагнитной волны от границ между средами, имеющими различные электрофизические свойства.*

Результаты исследований. *Использование геофизических методов позволило выявить следующие границы расположения металлического полка, заваленного горной массой в вертикальном стволе: 5,5–6,0 м, 10,5–11,0 м, 15 м. Совмещенные результаты двух методов измерений и их сравнительный анализ показывают достаточно высокую сходимость, а значит, подтверждается и достоверность полученных результатов. Разведочное бурение наклонных скважин из горизонтальной выработки подтвердило полученные результаты.*

Ключевые слова: *георадар; геофизические исследования; пробка; ствол шахты; горный массив; спектральное сейсмопрофилирование.*

Введение. Геофизические методы исследования массива горных пород являются одним из наиболее эффективных способов решения различных задач в горном деле и широко применяются в горной, газовой и нефтяной промышленности, а также в науке. Они позволяют дистанционно вести поисковые и поисково-оценочные работы, выявлять структурные неоднородности, пустоты, зоны контактов различных сред в массиве горных пород с достаточно высокой точностью [1–9].

Специалистами Института горного дела УрО РАН геофизические методы применяются в том числе для решения нестандартных задач на подземных рудниках и карьерах. Одной из таких задач в 2015 г. было определение мощности пробки из грунта и обломков крепи в стволе «Шахты им. С. М. Кирова» для оценки возможности ее устранения и разработки необходимых мероприятий по ликвидации аварийного ствола [10–13].

В настоящей работе представлен пример решения задачи, заключающейся в поиске упавшего и расклиненного проходческого трехъярусного полка в эксплуатируемом стволе. Исходя из предоставленной информации, причиной падения полка явилась скопившаяся на нем за несколько лет горная масса в виде россыпи в процессе выдачи руды, а также разгрузка скипа в ствол. Объем упавшей породы

со скипа составил приблизительно 14–30 м^3. Совокупность воздействия данных факторов повлекла за собой срыв полка с креплений и его падение по стволу. Необходимо отметить, что на основании имеющейся информации, предоставленной специалистами рудника, ствол на момент падения был частично затоплен. Падение полка на скопившуюся в стволе воду и последующая деформация металлоконструкций от удара о воду привели к его расклиниванию между стенок ствола. Отметка, на которой находился полок после падения, точно не определена.

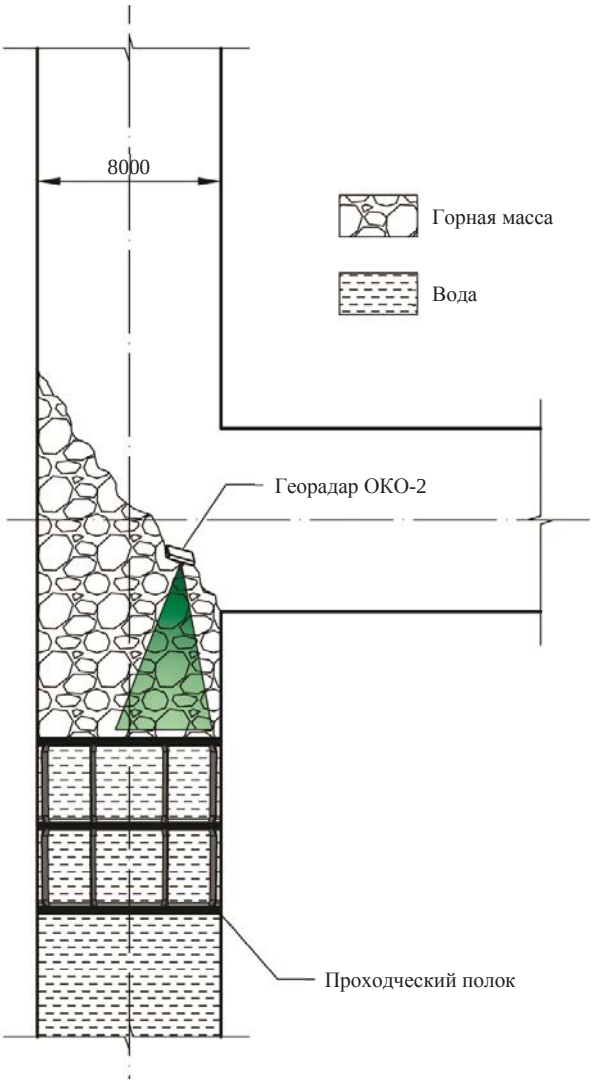

Рис. 1. Схема проведения геофизических исследований
Fig. 1. Scheme of geophysical research

Сложность данной ситуации заключалась еще и в том, что объем скопившейся горной массы на полке точно не известен. Визуальное обследование пробки с горизонта, с которого есть доступ, не дало положительных результатов, так как с почвы горизонта видна только верхняя часть горной массы, а мощность ее неизвестна. Каких-либо частей полка, торчащих из горной массы, не наблюдалось (рис. 1).

Методика проведения исследований. С целью определения мощности образовавшейся пробки из горной массы и отметки расположения металлического полка в стволе для последующего устранения аварийной ситуации были применены следующие геофизические методы:

– метод спектрального сейсмопрофилирования (ССП);

– метод георадарного зондирования.

Метод спектрального сейсмопрофилирования основан на использовании зависимости между спектральным составом колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на обнаженную поверхность горного массива, и структурным строением этого массива.

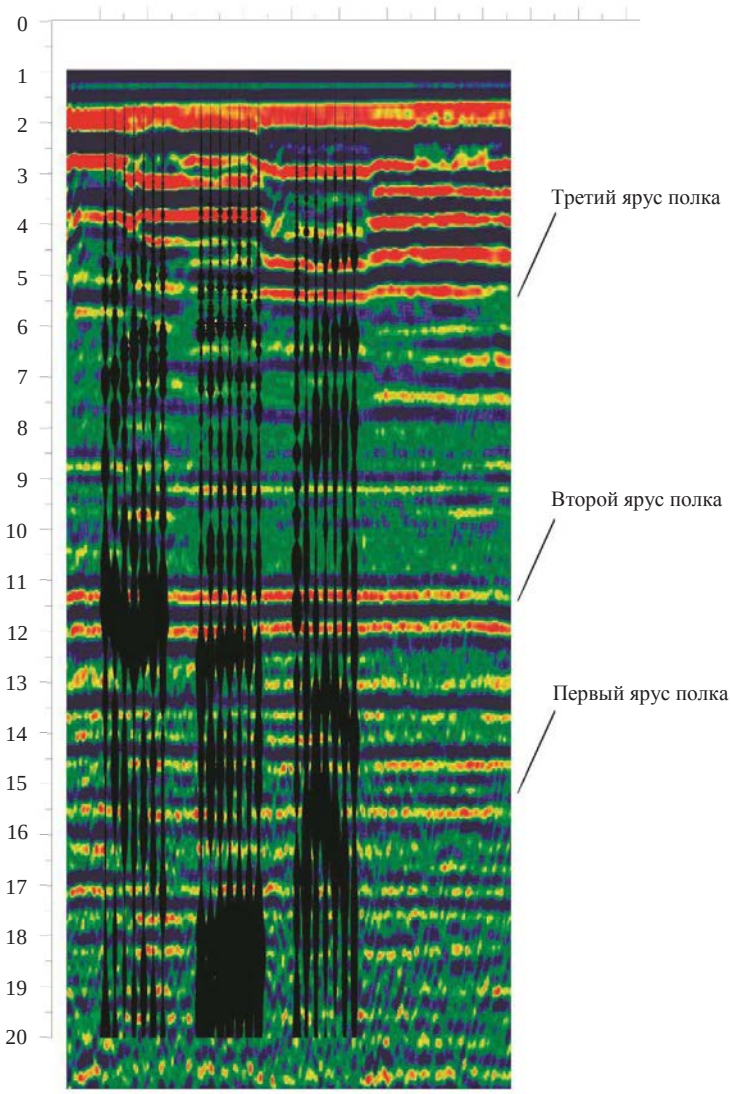

Рис. 2. Совмещенные результаты геофизических исследований
Fig. 2. Combined results of geophysical research

Границы, выявляемые данным методом, представляют собой поверхности, по которым возможно взаимное проскальзывание соседних сред, т. е. трещины и контакты горных пород. Основными объектами, выявляемыми методом ССП,

являются как открытые, так и сомкнутые трещины и их совокупности, т. е. зоны трещиноватости. Использование ССП для поиска металлоконструкций в подземных условиях специалистами отдела геомеханики ИГД УрО РАН ранее не производилось. Однако наработан достаточно большой опыт проведения исследований методом ССП в подземных условиях [12–14].

Для увеличения точности и достоверности результатов параллельно было выполнено георадарное зондирование исследуемого участка.

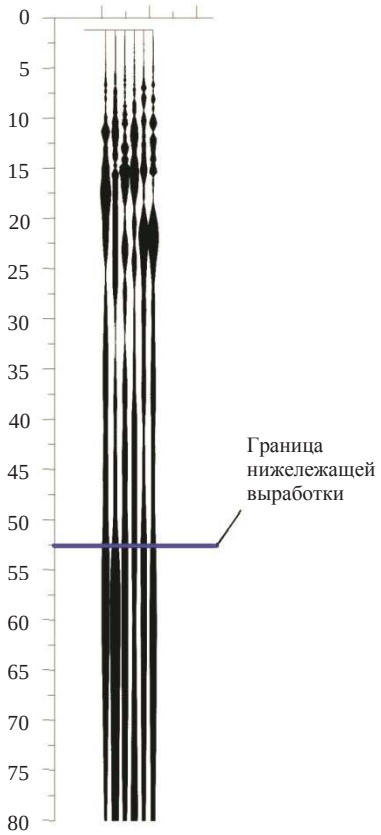

Рис. 3. Результаты спектрального сейсмопрофилирования
Fig. 3. Results of spectral seismic profile

Основой метода георадарного зондирования является отражение электромагнитной волны от границ между средами, имеющими различные электрофизические свойства. В работе использовался георадар ОКО-2 с экранированными антенными блоками. Он позволяет исследовать горный массив на глубину до 30 м с ранжированием породного блока по электромагнитным свойствам. Принцип действия георадара основан на излучении сверхширокополосных наносекундных импульсов, приеме сигналов, отраженных от границ раздела пород или иных отражающих объектов, обработке принятых сигналов и последующем измерении временных интервалов между отраженными импульсами. Основная задача, решаемая с использованием данного метода, состояла в определении положения границ раздела в изучаемых конструкциях. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между материалом и воздухом, контакты между материалами различных свойств и состава. Модель среды представляется в виде слоистой толщи с постоянными электрофизическими свойствами внутри каждого слоя и локальных объектов, отличающихся по электрофизическим свойствам от вмещающего материала. Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в различных средах, являются удельное затухание и скорость распространения электромагнитных волн в среде, которые определяются ее электрическими свойствами. Затухание определяет глубинность зондирования, скорость – расстояние до отражающей границы [15].

Результаты исследований. Полученные результаты выполненного комплексного геофизического исследования с помощью георадарного зондирования и спектрального сейсмопрофилирования были совмещены для сравнительного анализа и представлены на рис. 2, где отображена совокупность слоев.

На глубине около 5,5 м проявляется четкая граница нескольких сред с различной диэлектрической проницаемостью. Верхняя часть слоев до глубины 5,5 м соответствует раздробленной горной массе, состоящей преимущественно из руды, которая находится на третьем ярусе металлического полка. Нижняя часть слоев до глубины 11 м имеет иные характеристики и является водной средой,

которая заполняет пространство между ярусами полка. Граница на глубине около 11 м является вторым ярусом. Нижняя часть профиля зондирования представлена сигналами, отраженными от металлических конструкций полка и скопившейся горной массы, и их интерпретация затруднительна.

Результаты метода спектрального сейсмопрофилирования представлены тремя профилями, которые соответствуют трем измерениям на различных участках пробки (рис. 2). На нем отображено изменение плотности спектра, которое характеризует различные границы, через которые проходит сигнал.

Приблизительные границы, на которых происходит увеличение плотности спектра, следующие: 5,5–6,0 м, 10,5–11,0 м, 15 м. При этом на каждом из профилей границы несколько отличаются, что, возможно, вызвано деформацией полка и металлоконструкций. Совмещенные результаты двух методов измерений и их сравнительный анализ показывают достаточно высокую сходимость, а значит, подтверждается и достоверность полученных результатов.

В качестве эксперимента также были выполнены геофизические измерения в 20 м от ствола. Результаты серии измерений, выполненных в почве горизонтальной выработки для поиска нижележащего горизонта, представлены на рис. 3.

Изменение плотности спектра отслеживается на глубине около 55 м, что совпадает с фактической отметкой расположения нижележащей выработки, что также подтвердило достоверность получаемой методом спектрального сейсмопрофилирования информации в подземных условиях.

Выводы. Использование геофизических методов в вариантах спектрального сейсмопрофилирования и георадарного зондирования выявило следующие границы расположения металлического полка, заваленного горной массой в вертикальном стволе: 5,5–6,0 м, 10,5–11,0 м, 15 м. Разведочное бурение наклонных скважин из горизонтальной выработки подтвердило полученные результаты.

На основании выполненных исследований можно сделать вывод о том, что представленный комплекс геофизических исследований позволяет достоверно определять границы выработанного пространства и производить поиски металлических конструкций в массиве горных пород или раздробленной горной массы в подземных горных выработках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрианов С. В. Мониторинг состояния заобделочного пространства горных выработок методом георадиолокации // ГИАБ. 2019. № 5. С. 124–132.

2. Гапонов Д. А., Фоменко Л. Н., Шеремет Р. Д. Применение георадара для контроля качества закрепления грунтов // Инженерный вестник Дона. 2016. № 3(42). С. 68.

3. Серегин М. Ю. Перспективы развития георадиолокации // Наука и бизнес: пути развития. 2012. № 5(11). С. 70–72.

4. Носкевич В. В., Федорова Н. В. Использование метода георадиолокации для исследований древнего медного рудника «Воровская яма» на Южном Урале // Известия Уральского государственного горного университета. 2018. № 4(52). С. 61–67.

5. Калашник А. И., Дьяков А. Ю. Георадарное исследование геолого-структурного строения рабочего уступа карьера // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 6. С. 73–78.

6. Fischanger F., Morelli G., Ranieri G., Santarato G., Occhi M. 4D crossborehole electrical resistivity tomography to control resin injection for ground stabilization: a case history in Venice (Italy) // Near Surface Geophysics. 2013. Vol. 11. P. 41–50.

7. Santarato G., Ranieri G., Occhi M., Morelli G., Fischanger F., Gualerzi D. Three-dimensional Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils // Engineering Geology. 2011. Vol. 119. P. 18–30.

8. Elsayed I. S., Alhussein A. B., Gad E., Mahfooz A. H. Shallow seismic refraction, two-dimensional electrical resistivity imaging, and ground penetrating radar for imaging the ancient monuments at the Western Shore of old Luxor City, Egypt // Archaeological Discovery. 2014. Vol. 2. No. 2. P. 31–43.

9. Conyers L. B. Ground-penetrating radar for geoarchaeology. Analytical methods in earth and environmental science. N. Y.: Wiley, 2016. 160 p.

10. Харисов Т. Ф., Замятин А. Л., Ведерников А. С. Особенности ликвидации ствола шахты им. С. М. Кирова Турьинского медного рудника // Проблемы недропользования. 2015. № 2(5). С. 19–24.

11. Харисов Т. Ф., Замятин А. Л., Ведерников А. С. Инженерно-геофизические исследования при ликвидации ствола шахты им. С. М. Кирова Турьинского медного рудника // ГИАБ. 2016. № 3. С. 350–357.

12. Мельник В. В., Замятин А. Л. Исследование структурных особенностей массива горных пород подземных сооружений // Известия вузов. Горный журнал. 2008. № 8. С. 165–171.

13. Мельник В. В. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для оценки геомеханического состояния массива горных пород вокруг шахтных выработок // ГИАБ. 2005. № 10. С. 69–74.

14. Гликман А. Г. Применение спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) для поисков месторождений полезных ископаемых // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2001. № 3. С. 31–35.

15. Набатов В. В. Повышение эффективности георадиолокационного обследования конструкций тоннелей метрополитенов за счет уменьшения помехового влияния прямой волны // ГИАБ. 2014. № S1. С. 43–55.

Поступила в редакцию 29 сентября 2019 года

Сведения об авторах:

Харисов Тимур Фаритович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геомеханики подземных сооружений Института горного дела УрО РАН, доцент кафедры шахтного строительства Уральского государственного горного университета. E-mail: timur-ne@mail.ru
Мельник Виталий Вячеславович – кандидат технических наук, заведующий отделом геомеханики Института горного дела УрО РАН. E-mail: melnikvv74@mail.ru
Замятин Алексей Леонидович – научный сотрудник лаборатории технологии снижения риска катастроф при недропользовании Института горного дела УрО РАН. E-mail: melnikvv74@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55

Geophysical researches in mine

Timur F. Kharisov[1, 2], Vitalii V. Melnik[1], Aleksei L. Zamiatin[1]
[1] Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.
[2] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. *Geophysical methods of rock mass research are among the most effective ways of solving various mining problems being widely used in mining, gas and oil industry, as well as in science. They allow to conduct prospecting and prospect evaluation remotely, to reveal structural heterogeneity, cavities, zones of contacts of various environments in the rock mass with rather high precision. The article contains an example of solution to the problem of finding a fallen and spread through three-tier shelf in an operated shaft.*

Research methodology. *Spectral seismic profile (SSP) method and GPR were used for prospecting. SSP is based on the dependence between the spectral composition of the oscillatory process occurring when rock mass exposed surface undergoes impact effect, and the structure of the rock mass. GPR method is based on the reflection of the electromagnetic wave from boundaries between media with different electrophysical properties.*

Research results. *Geophysical methods have made it possible to identify the following boundaries of the metal shelf filled with rock mass inside the vertical shaft: 5.5–6.0 m, 10.5–11.0 m, 15 m. Combined results of the two measurement methods and their comparative analysis show rather high convergence therefore confirming the reliability of the obtained results. Exploration drilling of downholes from the level working confirmed the obtained results.*

Key words: *GPR; geophysical research; rock cork; shaft; rock mass; spectral seismic profile.*

REFERENCES

1. Andrianov S. V. GPR monitoring of space between lining and rock in underground mines. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2019; 5: 124–132. (In Russ.)

2. Gaponov D. A., Fomenko L. N., Sheremet R. D. Applying GPR to control the quality of soil stabilization. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Journal of Don*. 2016; 3(42): 68. (In Russ.)

3. Seregin M. Iu. Future development of ground-penetrating radars. *Nauka i biznes: puti razvitiia = Science and Business: Ways of Development*. 2012; 5(11): 70–72. (In Russ.)

4. Noskevich V. V., Fedorova N. V. Using the ground penetrating radar method for research of the ancient "Vorovskaya Yama" copper mine in the South Ural. *Izvestiia Uralskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta = News of the Ural State Mining University*. 2018; 4(52): 61–67. (In Russ.)

5. Kalashnik A. I., Diakov A. Iu. Georadar research of geological-structural configuration of open pit working bench. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015; 6: 73–78. (In Russ.)

6. Fischanger F., Morelli G., Ranieri G., Santarato G., Occhi M. 4D crossborehole electrical resistivity tomography to control resin injection for ground stabilization: a case history in Venice (Italy). *Near Surface Geophysics*. 2013; 11: 41–50.

7. Santarato G., Ranieri G., Occhi M., Morelli G., Fischanger F., Gualerzi D. Three-dimensional Electrical Resistivity Tomography to control the injection of expanding resins for the treatment and stabilization of foundation soils. *Engineering Geology*. 2011; 119: 18–30.

8. Elsayed I. S., Alhussein A. B., Gad E., Mahfooz A. H. Shallow seismic refraction, two-dimensional electrical resistivity imaging, and ground penetrating radar for imaging the ancient monuments at the Western Shore of old Luxor City, Egypt. *Archaeological Discovery*. 2014; 2(2): 31–43.

9. Conyers L. B. *Ground-penetrating radar for geoarchaeology. Analytical methods in earth and environmental science*. N. Y.: Wiley, 2016. 160 p.

10. Kharisov T. F., Zamiatin A. L., Vedernikov A. S. Some aspects of S. M. Kirov shaft abandonment in the Turinsky copper mine. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2015; 2(5): 19–24. (In Russ.)

11. Kharisov T. F., Zamiatin A. L., Vedernikov A. S. Engineering and engineering research at S. M. Kirov shaft abandonment in the Turinsky copper mine. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 3: 350–357. (In Russ.)

12. Melnik V. V., Zamiatin A. L. Investigation of structural peculiarities of rock massif in surrounding of underground structures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2008; 8: 165–171. (In Russ.)

13. Melnik V. V. Applying the method of spectral seismic profile to assess the state of rock mass around mine workings. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2005; 10: 69–74. (In Russ.)

14. Glikman A. G. Applying the method of spectral seismic profile for mineral deposits prospecting. *Geologiia, geofizika i razrabotka neftianykh i gazovykh mestorozhdenii = Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. 2001; 3: 31–35. (In Russ.)

15. Nabatov V. V. Reduction of interfering influence of the direct wave when GPR survey of subway tunnels through suppression of artifacts processing of experimental data. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; S1: 43–55. (In Russ.)

Received 29 September 2019

Information about authors:

Timur F. Kharisov – PhD (Engineering), senior researcher, Laboratory of Geomechanics of Underground Structures, Institute of Mining UB RAS, associate professor of the Department of Mine Construction, Ural State Mining University. E-mail: timur-ne@mail.ru
Vitalii V. Melnik – PhD (Engineering), Head of Geomechanics Department, Institute of Mining UB RAS. E-mail: melnikvv74@mail.ru
Aleksei L. Zamiatin – researcher, Laboratory of Technologies for Disaster Risk Reduction in Subsoil Use, Institute of Mining UB RAS. E-mail: melnikvv74@mail.ru

Для цитирования: Харисов Т. Ф., Мельник В. В., Замятин А. Л. Геофизические поисково-оценочные исследования в условиях подземного рудника // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 49–55. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55
For citation: Kharisov T. F., Melnik V. V., Zamiatin A. L. Geophysical researches in mine. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 49–55 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-49-55

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-56-62

4D modeling of concentrating mill tailings dam protecting dike soil consolidation

Nadezhda A. Kalashnik[1]
[1] Mining Institute KSC RAS, Apatity, Russia
e-mail: kanad2805@mail.ru

Abstract

Introduction. *The research aims to study concentrating mill tailings dam protecting dike soil consolidation on the example of a mining enterprise of the Kola Peninsula.*

Research methodology. *The research is based on 4D modeling (taking into account a time factor) using PLAXIS software solution. The computer hydro-geomechanical 3D model of the concentrating mill tailings dam fragment has been developed allowing to investigate both geomechanical and filtration processes, and their collateral influence on protecting dike and alluvial beach soil consolidation. The following options of tailings dam hydro-geomechanical condition development are considered: a reference state at the current parameters of operation, increase in the level of water-saturated tail deposits and the subsequent consolidation of bulk and alluvial soils within 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 50 and 80 days.*

Research results and analysis. *The received results have been analyzed on the dynamics of the tailings dam hydro-geomechanical condition therefore revealing its behavior in time. It has been established that the nature of bulk and alluvial soils consolidation is identical, however, differs significantly in terms of quantity.*

Conclusions. *Dependences of bulk and alluvial soils consolidation of the tailings dam hydraulic engineering construction on consolidation time are established providing a scientific and technical basis for its mechanical state and stability assessment, and for engineering recommendations about the terms of the following stage of dams building.*

Key words: *tailings storage; hydro-geomechanical 3D model; 4D modeling; soil; consolidation; sustainability.*

Introduction. As a rule, concentrating mill tailings dams of Kola enterprises were constructed on relatively soft ground in ravines or river basins [1, 2]. As concequence, the hydrogeological conditions of tailings dams operation due to both high natural groundwater level and regular storage of water-saturated pulp tailings from concentrating mills, conditions increased pore water pressure in soils of all hydrotechnical structures of the tailings dam. As a result, effective stress in soils turns out to be low requiring the adopted time periods for intermediate soil compaction due to consolidation in order to ensure reliable operation of a tailing storage and dam stability [3–5]. Due to soil consolidation, excess pore water pressure disperses and reduces, and soil can acquire "skeletal" rigidity providing shearing strength required for dam operation [6, 7]. Therefore, the research aims to study concentrating mill tailings dam protecting dike soil consolidation on the example of a mining enterprise of the Kola Peninsula.

Research methodology. The research is based on 4D modeling (taking into account a time factor) using PLAXIS software solution [8]. To assess soil consolidation degree and determine the dependences in their consolidation due to excess pore pressure dispersion in water-saturated soil of a tailing storage as a function of time (automatic

time discretization), computer modeling of deformation-filtration processes has been carried out (soil consolidation) by the example of the concentrating mill tailings dam of a mining enterprise on the Kola Peninsula.

For PLAXIS environment, a hydro-geomechanical 3D model for a tailings dam fragment located at the subjacent geological base has been created including the protecting dike and alluvial tail deposits; the model is equivalent to geometric dimensions from fig. 1. The parameters of physicomechanical characteristics of dam soils, alluvial deposits and basement rocks of the geological basis used for calculations, are shown in table 1.

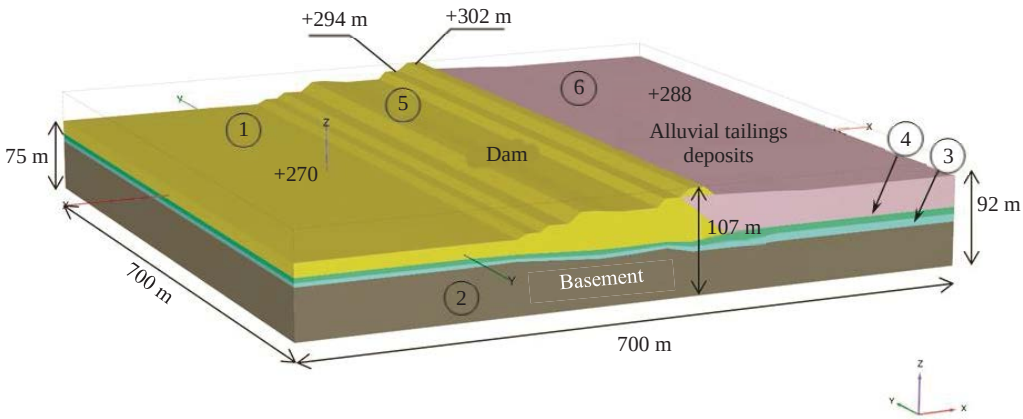

Fig. 1. Hydro-geomechanical 3D model of the tailings dam fragment (the 1–6th – types of soils and rock according to table 1)
Рис. 1. Гидрогеомеханическая 3D-модель фрагмента хвостохранилища (1–6 – типы грунтов и пород согласно табл. 1)

Consolidation processes were modeled with PLAXIS software units, which make it possible to simulate the realistic process by means of introducing various boundary conditions for stresses and pore pressure, and by setting an extra parameter of time interval [8–10], so, 4D modeling of soil consolidation was in fact carried out. The regularities in hydro-geomechanical state change were studied of a hydrotechnical system of the tailing dam in time, within the periods from 1 to 80 days. In total, 12 variants of tailings dam hydro-geomechanical state were modeled: a reference state at the current parameters of operation (1), increase in the level of water-saturated tail deposits (2), and the subsequent consolidation of soil within a day (3), 2 days (4), 3 days (5), 5 days (6), 10 days (7), 15 days (8), 20 days (9), 30 days (10), 50 days (11) and 80 days (12).

While modeling it is assumed that in the process of soil consolidation, the filtration ratio remains constant.

Research results and analysis. As a result of modeling, the patterns of soil movement and hydro-geomechanical state of the tailings dam have been obtained making it possible to trace the dynamics of their change in time. Fig. 2 shows the most contrasting patterns of soil consolidation in the model illustrating the trends of tailings dam hydro-geomechanical state variation. Within the first day, soil consolidates in practically whole bulk part of the protecting dike with gradual attenuation until the 10th and further until the 50th day. However, general increments of soil movements are related to alluvial tailing deposits to a greater extent, which are highly water-saturated. Soil consolidation here is intensive within 10 days with further stabilization.

Based on the results of the variants of filtration-deformation computer simulation, the dependences between tailings dam soil movement and consolidation time have been determined [10–12]. It has been stated that the most active soil consolidation takes place in the first day, the values of movements may increase by 1.5–2 times. After that within subsequent 8–10 days, deformational processes attenuate gradually and the hydro-geomechanical situation stabilizes.

Table 1. The parameters of physicomechanical characteristics of dam soils, alluvial deposits and basement rocks of the geological basis used for calculations

Таблица 1. Параметры физико-механических характеристик грунтов дамбы, намывных отложений и подстилающих пород геологического основания, используемые для расчетов

Parameter	Rock, soil*					
	Moraine**	Gneissoid granite***	Strong gneissoid granite ***	Gravel-cobble soil***	Gravelly sand**	Tailings deposits**
γ_{unsat} (specific weight of soil), kN/m^3	18.7	25.3	25.8	22.5	19.8	18.0
γ_{sat} (specific weight of saturated soil), kN/m^3	19.2	25.5	26.7	23.5	20.0	19.0
k_x (*X*-direction filtration ratio), m/day	10	0.01	0.05	5	1	20
k_y (*Y*-direction filtration ratio), m/day	10	0.01	0.05	5	1	20
k_z (*Z*-direction filtration ratio), m/day	10	0.01	0.05	5	1	20
E (modulus of deformation), kN/m^2	25 000	40 000	500 000	30 000	30 000	56 000
ν (Poisson's ratio)	0.3	0.25	0.2	0.3	0.3	0.4
c_{ref} (cohesion), kN/m^2	2	6	37	4.4	2	5
φ (angle of shear resistance), degrees	25	34	37	26	30	38.5
ψ (dilatancy angle), degrees	0	4	7	0	0	3.5

* Model type – Mohr Coulomb; ** soil behavior type – drained; *** soil behavior type – undrained.

Note that the expected values of the absolute movements of the tailings dam alluvial part make up 0.10–0.15 m; it is actually a proper vertical shrinkage which may reach 0.08–0.12 m. For the alluvial part (crest and the downstream slope) of the protecting dike, total soil movements make up 0.27–0.32 m, soil compaction up to 5 cm may be vertical, and horizontal up to 2 cm. Such consolidation processes distribution is explained by the fact that water is "displaced" more intensely out of the alluvial soils reducing pore pressure and soil particles consolidate more actively in a vertical direction, while the alluvial part of the protecting dam is under the subhorizontal pressure from the alluvial tailing deposits [13].

Taking into account the compression speed being an important feature of soil consolidation, the calculations have been made; the results are presented in fig. 3.

Based on the analysis it has been determined that the speed of consolidation of the protecting dam crest, alluvial beach, and the downstream slope of the protecting dam have practically identical character with higher intensity in the crest and the alluvial part of the dam. Soil consolidation speed in the downstream slope of the protecting dam where the compression was initially lower, is significantly lower. According to the results of the three simulation variants and the curves in fig. 3, it can be stated that the basic consolidation of soil will take place within first 10 days with further general attenuation to the 80th day. The revealed regularities lay groundwork for some practical recommendations on the time of further stage of dikes' build-up. The next level of the dike is to be built up not earlier than 80 days after the alluviation (pulp flush) of tailings deposits.

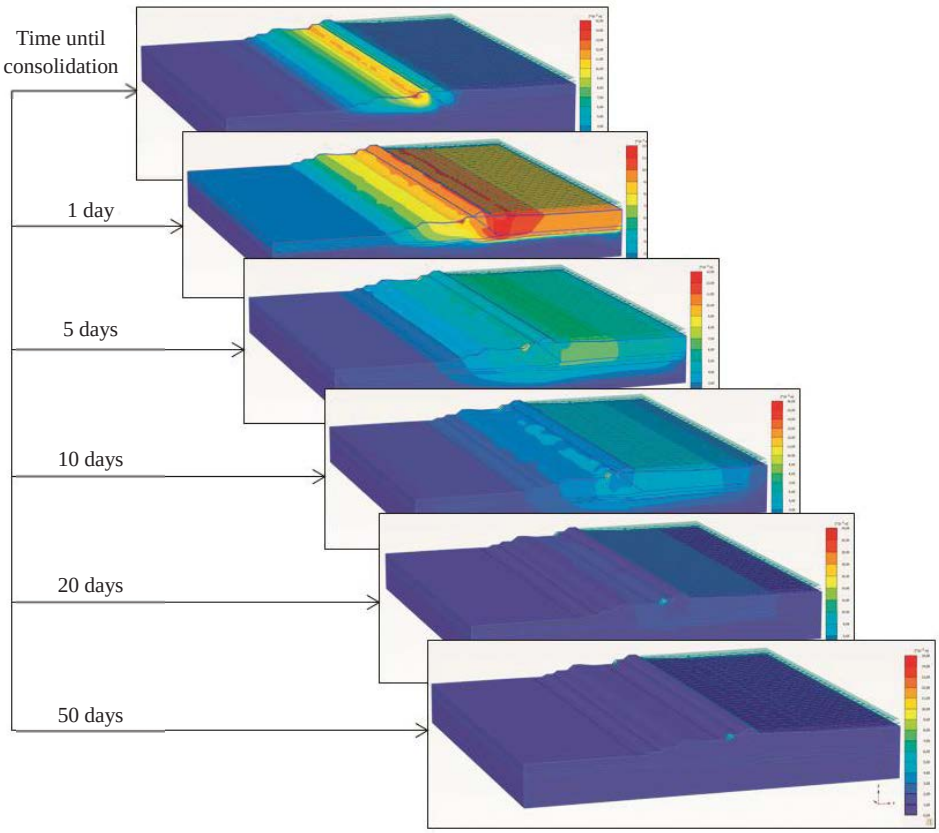

Fig. 2. Trends in the overall increments of soil movements over time due to their consolidation
Рис. 2. Тенденции изменения общих приращений перемещений грунтов с течением времени вследствие их консолидации

Conclusions. A computer hydro-geomechanical 3D model of a fragment of mining enterprise concentrating mill tailings dam protecting dike has been developed which makes it possible to study both geomechanical and filtration processes and their joint effect on the state of bulk soil and alluvial tailings deposits. Based on the computer 4D modelling (with the account of the time factor) the dependences have been determined between the filtration-deformation processes in the tailings dam hydrotechnical system and soil consolidation time, representing the deterministic basis for the assessment of protecting dikes stability and the reliability of the hydraulic engineering structures of a

tailings dam as a complex water-saturated natural-technical system. It has been revealed that the main compression of soil takes place within the first 1–5 days when compression speed of structural particles falls from 3–6 to 1 cm/day with further attenuation of

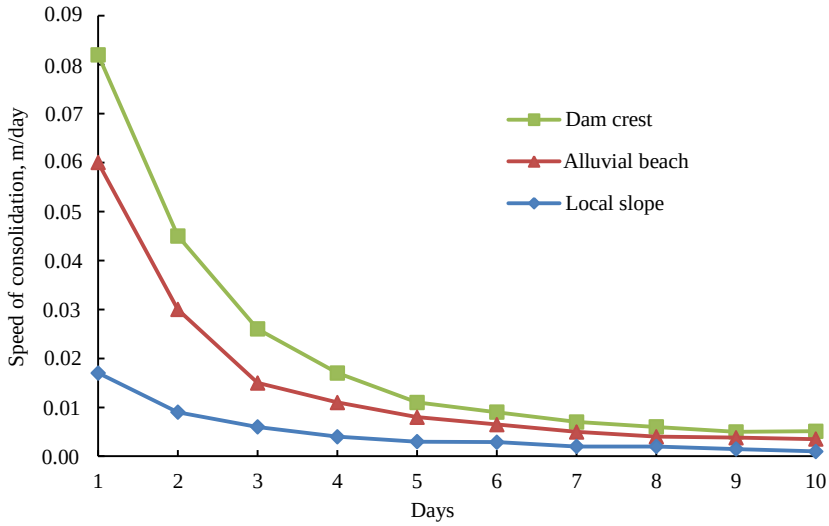

Fig. 3. Dependences of soils consolidation speed on time
Рис. 3. Зависимости скорости консолидации грунтов от времени

filtration processes. It has been determined that filtration and deformation totally attenuate up to 80 days predetermining the basis for engineering recommendations about the terms of the following stage of dams building.

REFERENCES

1. Melnikov N. N. et al. *Scientific progress at the mining enterprises of the Arctic*. Leningrad: Nauka Publishing; 1988. (In Russ.)

2. Melnikov N. N., Kalashnik A. I., Kalashnik N. A., Zaporozhets D. V. The use of modern methods for complex studies of the hydrotechnical structures of the Barents sea region. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Scientific Journal of Murmansk State Technical University*. 2017; 20; 1(1): 13–20. (In Russ.)

3. Kalashnik A. I., Kalashnik N. A., Zaporozhets D. V. Evaluation of bulk earth structure on morainic foundation. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2014; 6(143): 92–98. (In Russ.)

4. Shestakov V. M. *Hydrogeomechanics*. Moscow: MSU Publishing; 1998. (In Russ.)

5. Ramzan M., Saba Inam, Shehzad S. A. Three dimensional boundary layer flow of a viscoelastic nanofluid with Soret and Dufour effects. *Alexandria Engineering Journal*. 2016; 55 (1): 311–319.

6. Kalashnik A. I., Zaporozhets D. V., Kalashnik N. A. Identification of filtration-deformation processes in the body of protecting dam of enrichment tails store. *Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN = Herald of the Kola Science Centre of RAS*. 2013; 2 (13): 13–16. (In Russ.)

7. Fernandha Batista Lafayette et al. Experimentation and modeling of soil evaporation in underground dam in a semiarid region. RBRH, Porto Alegre. 2019; 24 (E 2): 11. Available from: http://www.scielo.br/pdf/rbrh/v24/2318-0331-rbrh-24-e2.pdf [Accessed 5 March, 2020].

8. Yan Yu, Damians Ivan P., Bathurst Richard J. Influence of choice of FLAC and PLAXIS interface models on reinforced soil-structure interactions. *Computers and Geotechnics*. 2015; 65: 164–174.

9. Golub S., Voitiuk K. The experience of applying 4D simulation for technical upgrade. In: *GOING DIGITAL conference. Moscow, 19 September, 2019*. Available from: https://www.bentley.com/ru/global-events/going-digital-events/2019/moscow [Accessed 25 November, 2019]. (In Russ.)

10. Kalashnik N. A. 4d computer modelling of filtration-deformation processes in a protective tailing dam. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2019; S37: 393–400. (In Russ.)

11. Bazyrov I., Glazyrina A., Lukin S., Alchibaev D., Salishchev M., Ovcharenko Yu. Time-dependent hydro-geomechanical reservoir simulation of field production. *Procedia Structural Integrity*. 2017; 6: 228–235.

12. Wu Juan, Zheng Bingru, Chen Die. Research on the methods of BIM reliability prediction with the construction schedule in the application of project of Chushandian reservoir. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019; 304: 022084.

13. Danilkin A. A., Kalashnik A. I., Zaporozhets D. V., Maksimov D. A. Monitoring of a condition of a protecting dam in a zone of working off of a technogenic deposit Kovdorsky GOK. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 7: 344–351. (In Russ.)

Received 23 March 2020

Information about authors:

Nadezhda A. Kalashnik – researcher, Mining Institute Kola Scientific Center RAS. E-mail: kanad2805@mail.ru

УДК 622.17:004.923 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-56-62

4D-моделирование консолидации грунтов ограждающей дамбы хвостохранилища обогатительной фабрики

Калашник Н. А.[1]
[1] Горный институт КНЦ РАН, Апатиты Мурманской обл., Россия.

Реферат

Введение. *Целью работы являлось исследование процессов консолидации грунтов ограждающей дамбы хвостохранилища обогатительной фабрики на примере одного из горнорудных предприятий Кольского полуострова.*

Методология исследований. *Исследования выполнены на основе 4D-моделирования (с учетом фактора времени) с использованием программного комплекса PLAXIS. Разработана компьютерная гидрогеомеханическая 3D-модель фрагмента хвостохранилища обогатительной фабрики, позволяющая исследовать как геомеханические, так и фильтрационные процессы, а также их совместное влияние на состояние грунтов насыпной ограждающей дамбы и намывного пляжа отстойника. Рассмотрены следующие варианты развития гидрогеомеханического состояния хвостохранилища: исходное состояние при текущих параметрах эксплуатации, повышение уровня водонасыщенных хвостовых отложений и последующая консолидация насыпных и намывных грунтов в течение 1, 2, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 50 и 80 дней.*

Результаты исследований и их анализ. *Полученные результаты проанализированы по динамике гидрогеомеханического состояния хвостохранилища, в результате чего выявлены тенденции его изменения во времени. Установлено, что характер консолидации насыпных и намывных грунтов идентичен, но количественно существенно различается.*

Выводы. *Установлены зависимости уплотнения насыпных и намывных грунтов гидротехнического сооружения хвостохранилища от времени консолидации, что предоставляет научно-техническую основу для оценки его механического состояния и устойчивости, и для инженерных рекомендаций по срокам следующего этапа наращивания дамб.*

Ключевые слова: *хвостохранилище; гидрогеомеханическая 3D-модель; 4D-моделирование; грунты; консолидация; устойчивость.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Научно-технический прогресс на горнорудных предприятиях Заполярья / Н. Н. Мельников [и др.]. Л.: Наука, 1988. 239 с.
2. Мельников Н. Н., Калашник А. И., Калашник Н. А., Запорожец Д. В. Применение современных методов для комплексных исследований состояния гидротехнических сооружений региона Баренцева моря // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. № 1(1). С. 13–20.
3. Калашник А. И., Калашник Н. А., Запорожец Д. В. Исследование состояния насыпного гидротехнического сооружения на моренном основании // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 6(143). С. 92–98.
4. Шестаков В. М. Гидрогеомеханика. М.: МГУ, 1998. 72 с.
5. Ramzan M., Saba Inam, Shehzad S. A. Three dimensional boundary layer flow of a viscoelastic nanofluid with Soret and Dufour effects // Alexandria Engineering Journal. 2016. Vol. 55. Is. 1. P. 311–319.
6. Калашник А. И., Запорожец Д. В., Калашник Н. А. Идентификация фильтрационно-деформационных процессов в теле ограждающей дамбы хвостохранилища // Вестник Кольского научного центра РАН. 2013. № 2 (13). С. 13–16.
7. Fernandha Batista Lafayette et al. Experimentation and modeling of soil evaporation in underground dam in a semiarid region // RBRH, Porto Alegre. 2019. Vol. 24. E 2. 11 p. DOI: 10.1590/2318-0331.2431920170167. URL: http://www.scielo.br/pdf/rbrh/v24/2318-0331-rbrh-24-e2.pdf (дата обращения 05.03.2020).
8. Yan Yu, Damians Ivan P., Bathurst Richard J. Influence of choice of FLAC and PLAXIS interface models on reinforced soil-structure interactions // Computers and Geotechnics. 2015. Vol. 65. P. 164–174.

9. Голуб С., Войтюк К. Опыт применения 4D-моделирования для реализации технического перевооружения // Конференция GOING DIGITAL. Москва, 19 сентября 2019 г. URL: https://www.bentley.com/ru/global-events/going-digital-events/2019/moscow (дата обращения: 25.11.2019).

10. Калашник Н. А. 4D-компьютерное моделирование фильтрационно-деформационных процессов в ограждающей дамбе хвостохранилища // ГИАБ. 2019. № S37. С. 393–400.

11. Bazyrov I., Glazyrina A., Lukin S., Alchibaev D., Salishchev M., Ovcharenko Yu. Time-dependent hydro-geomechanical reservoir simulation of field production // Procedia Structural Integrity. 2017. Vol. 6. P. 228–235.

12. Wu Juan, Zheng Bingru, Chen Die. Research on the methods of BIM reliability prediction with the construction schedule in the application of project of Chushandian reservoir // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 304. P. 022084.

13. Данилкин А. А., Калашник А. И., Запорожец Д. В., Максимов Д. А. Мониторинг состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техногенного месторождения Ковдорского ГОКа // ГИАБ. 2014. № 7. С. 344–351.

Поступила в редакцию 23 марта 2020 года

Сведения об авторах:

Калашник Надежда Анатольевна – научный сотрудник Горного института Кольского научного центра РАН. E-mail: kanad2805@mail.ru

Для цитирования: Калашник Н. А. 4D-моделирование консолидации грунтов ограждающей дамбы хвостохранилища обогатительной фабрики // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 56–62 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-56-62

For citation: Kalashnik N. A. 4D modeling of concentrating mill tailings dam protecting dike soil consolidation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 56–62. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-56-62

УДК 330.15 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-63-72

Минеральные ресурсы как составляющая природного капитала

Игнатьева М. Н.[1]*, Логвиненко О. А.[1]
[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: rinis@mail.ru

Реферат

Актуальность. *В последние десятилетия во многих странах мира все шире используется экономическая оценка природного капитала территории, которая представляет собой механизм, позволяющий наиболее обоснованно выбирать варианты его освоения в целях социально-экономического развития, которое благоприятствует жизнедеятельности людей и одновременно сохраняет экологическое равновесие. Достоверность оценки требует уточнения структуры природного капитала и реализуемых функций.*

Цель исследования *– уточнение структуры построения природного капитала и функций, реализуемых его составляющими.*

Методология и методы. *Теоретической основой исследования является теория и методология природного капитала и теория экосистемных услуг. В процессе исследования выполняются обобщение и анализ данных, систематизация и группировка, используется сравнительный метод, а также качественный анализ.*

Результаты исследования. *Исследовано содержание природно-ресурсного потенциала, включающее в свой состав доступные ресурсы и потенциальные запасы. На примере минерально-сырьевого потенциала показана возможность перехода потенциальных запасов (забалансовых и списанных запасов, а также техногенных минеральных образований) в число доступных минеральных ресурсов, формирующих минерально-сырьевую базу. Выполнен анализ наиболее известных общепризнанных классификаций экосистемных услуг и сформированы рекомендации, ориентированные на совершенствование подобной классификации, которая найдет всеобщее применение. Все компоненты природной среды рассмотрены с позиции возможности предоставления экосистемных услуг. Установлено, что их поставляют как биотические, так и абиотические компоненты (подобные функции присущи даже литосфере). Сформулирована авторская позиция относительно рассмотрения экоуслуг в виде экологических ресурсов. Доказан антропоцентрический характер подхода в определении природного капитала, который рассматривается лишь с позиции «потока дохода» для человека, а его сохранность обусловливается необходимостью постоянства этого потока. Раскрывается сущность ресурсного и экосистемного подходов в построении структуры природного капитала. Рекомендуется использование смешанного варианта, построение которого базируется на приводимых в статье принципах.*

Выводы. *Достоверность оценки природного капитала требует однозначности в построении структуры природного капитала и реализуемых функций. Предлагается использование смешанной структуры природного капитала, в которой отражены реализуемые ресурсные и экосистемные функции.*

Ключевые слова: *минеральные ресурсы; природно-ресурсный потенциал; экосистемные услуги; природный капитал; структура; функции.*

Введение. Социально-экономическое развитие территории во многом определяется величиной и эффективностью использования экономического потенциала, сосредоточенного в ее границах, неотъемлемой частью которой выступает природно-ресурсный потенциал [1–3 и др.]. В определении исследователей природно-ресурсный потенциал (ПРП) понимается как «совокупная способность всего многообразия естественных ресурсов и условий территории обеспечивать жизнедеятельность населения и удовлетворять потребности общественных произ-

водств на конкретном этапе исторического развития» [4, с. 6] либо как «совокупность природных ресурсов региона, которые используются или могут быть использованы в хозяйстве с учетом тенденций научно-технического прогресса» [5, с. 55]. Имеют место две точки зрения: ПРП – это либо сочетание природных ресурсов и условий, либо сочетание природных ресурсов. При этом к числу природных ресурсов относятся объекты и силы природы, которые на данном уровне развития производительных сил и их изученности могут быть использованы

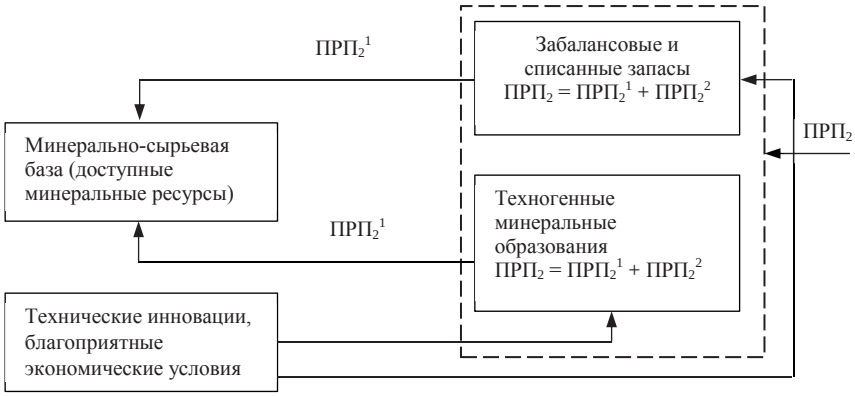

Рис. 1. Структура минерально-сырьевого потенциала:
ПРП$_2^1$ – потенциальные запасы, которые при появлении технических инноваций или улучшении экономических условий вовлекаются в хозяйственный оборот; ПРП$_2^2$ – потенциальные запасы, не вовлеченные в хозяйственный оборот

Fig. 1. Structure of mineral raw base potential:
NRP$_2^1$ – potential resources included in economic turnover when technical innovation come along or economic growth is increased; NRP$_2^2$ – potential resources not included in economic turnover

и используются для удовлетворения потребностей человеческого общества в форме непосредственного участия в материальной деятельности, т. е. являются предметами потребления и средствами производства (предметами труда и средствами труда). К числу природных условий – объекты и силы природы, которые на данном уровне развития производительных сил существенны для деятельности человеческого общества, но они не участвуют непосредственно в производственной и непроизводственной деятельности людей (климат, рельеф) [2, 6–9]. В составе природно-ресурсного потенциала выделяют частные потенциалы: минерально-сырьевой, водный, земельный, биологический (растительный и ресурсы животного мира). В ряде случаев исследователи включают в число природных ресурсов климатические, что авторами статьи не поддерживается. По мнению [9], граница между природными ресурсами и условиями чисто номинальная, так как условия могут получить экономическую оценку и начинают рассматриваться как природные ресурсы. Уровень технического прогресса, а также экономики, экологическая доступность, а также степень изученности позволяют в составе ПРП выделять фактические (доступные) ресурсы и потенциальный запас ресурсов. Фактические (доступные) ресурсы – это те, которые технически и экономически доступны, использование которых предполагает соблюдение экологических ограничений, имеет приемлемую степень изученности. Потенциальные ресурсы (запасы) – это объекты и силы природы, освоение которых будет возможно в будущем по техническим или экономическим причинам.

$$ПРП = ПРП_1 + ПРП_2,$$

где $ПРП_1$ – фактические (доступные) природные ресурсы; $ПРП_2$ – потенциальный запас природных ресурсов.

При этом в состав $ПРП_1$, как и в $ПРП_2$, входят техногенные ресурсы. Для условий минерально-сырьевого потенциала его структура будет иметь следующий вид (рис. 1).

Среди всех частных природных потенциалов наибольшая значимость принадлежит минерально-сырьевому, в котором более 70 % приходится на ресурсы топливно-энергетического комплекса (нефть, газ, уголь). Из размещения природно-ресурсного потенциала (табл. 1) [10] следует, что основная их доля сосредоточена в восточных районах, тогда как население и хозяйство в основном сконцентрированы в западной экономической зоне.

Таблица 1. Размещение природно-ресурсного потенциала, %
Table 1. Natural resource potential placement, %

Регион	Минеральные ресурсы		Лесные	Земельные	Гидро- и энерго-ресурсы
	топливные	сырьевые			
Европейский Север	3	3	10	1	4
Центральная Россия	1	70	4	22	2
Юг России		–	–	12	5
Урало-Поволжье		6	5	34	4
Западная Сибирь	17	2	13	16	8
Восточная Сибирь	49	14	38	11	35
Дальний Восток	30	5	30	4	42

Результаты. В конце 70-х годов XX столетия В. Вестман и Г. Дейли положили начало исследованиям, связанным с «изучением полезных функций экосистем как услуг в целях повышения общественного интереса к сохранению биоразнообразия» [11, 12]. В классической работе «Услуги природы: общественная зависимость от природных экосистем» под редакцией Г. Дейли [13] в качестве примера экоуслуг перечисляются такие, как борьба с вредителями и болезнями, стабилизация климата и др. Определение же экосистемных услуг, данное в документах международных организаций, звучит следующим образом: «Экосистемные услуги – это выгоды, которые люди получают от экосистем». В глоссарии TEEB (2010) – The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB – экосистемные услуги определяются как «прямой или косвенный вклад экосистем в благосостояние людей» [14, с. 44]. В настоящее время в мире исследования, связанные с экосистемными услугами, получают все большее распространение. В числе международных фундаментальных исследований: «Оценка экосистемных услуг на пороге тысячелетия», Millennium Ecosystem Assessment, 2003, 2005; проект Европейского сообщества «Экономика экосистем и биоразнообразия», The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2008, разработка экологического департамента Всемирного банка, Международного союза охраны природы JUCN 2000-х гг. и др. [15]. Согласно существующей классификации (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) [16] все экоуслуги подразделяются на четыре категории: обеспечивающие, регулирующие, культурные и поддерживающие (табл. 2).

На сегодня существует ряд классификаций, в том числе общепризнанные классификации проекта «Оценка экосистемных услуг на пороге тысячелетия», международного проекта «Экономика экосистем и биоразнообразия» – TEEB [17], Европейского агентства по охране окружающей среды CICES (Common International Classification of Ecosystem Services), Национальной Стратегии сохранения биоразнообразия России [18] и целого ряда рекомендаций отдельных ис-

следователей [19]. Анализ классификаций позволил сформулировать ряд рекомендаций:

– не рассматривать в составе классификации категорию поддерживающих экоуслуг, не имеющих монетарной оценки;

– в целях сопоставимости обеспечить однозначность в содержательном наполнении основных групп экосистемных экоуслуг и исключить многообразие определений одной и той же категории экоуслуг: обеспечивающие (продукционные), или регулирующие (регулятивные, средообразующие), или социальные (информационные, культурные);

– все экоуслуги, удовлетворяющие нематериальные потребности человека (культурные, эстетические, образовательные, оздоровительные), объединить в одну категорию – социальные экоуслуги (более широкое понятие, чем культурные).

Таблица 2. Категории экоуслуг
Table 2. Eco services categories

Категория экоуслуг	Трактовка
Обеспечивающие	Продукты, получаемые от экосистем
Регулирующие	Выгоды, получаемые от регулировки экосистемных процессов
Культурные	Непрямые выгоды, которые люди получают от экосистем посредством духовного обогащения, развития познавательной деятельности, рекреации, эстетического опыта, рефлексии
Поддерживающие	Услуги, необходимые для поддержания всех других экосистемных услуг

В целом экосистемные услуги ЭУ складываются из трех составляющих:

$$ЭУ = ЭУ_1 + ЭУ_2 + ЭУ_3,$$

где $ЭУ_1$ – обеспечивающие экоуслуги; $ЭУ_2$ – регулирующие экоуслуги; $ЭУ_3$ – социальные экоуслуги.

В первую очередь их наличие связывают с биотой (лесными экосистемами). Биота является ведущей (движущей) силой ландшафта, она обеспечивает постоянство биотической регуляции, что способствует устойчивости окружающей среды. Биота земли определяется как «механизм поддержания пригодных для жизни условий окружающей среды в локальных и глобальных масштабах благодаря реализации экосистемных услуг» [20, с. 207]. Почва способствует росту сельскохозяйственных культур и рассматривается как природный ресурс, в то же время почва является источником ряда экосистемных услуг: регулирует состав атмосферного воздуха и грунтовых вод, влияет на формирование биопродуктивности наземных ландшафтов и т. д. Почву называют биокосной системой, которая включает твердую, жидкую и газовые фазы. Атмосфера и гидросфера, удовлетворяющие потребности человека как природные ресурсы, предоставляют и отдельные экосистемные услуги (пресная вода, чистый воздух, ассимиляция загрязнения). Литосферу (недра) принято считать источником невозобновимых природных ресурсов, однако в работах [21, 22] рассматриваются экологические функции литосферы: геодинамическая, геохимическая и геофизическая.

Таким образом, все компоненты природной среды: атмосфера, гидросфера, литосфера (почва и недра), биота, с одной стороны, выполняют ресурсные функции в качестве природных ресурсов, с другой стороны – осуществляют и экосистемные функции, т. е. поставляют поток экосистемных услуг.

Экосистемные услуги в ряде случаев рассматриваются с позиции экологических ресурсов. В частности, А. Г. Емельянов выделяет производственные (при-

родные) ресурсы и экологические, включающие «средообразующие компоненты и элементы природной среды (рекреационные, эстетические и др.) [23, с. 19]. Л. Г. Елкина, давая определение экологических ресурсов, совмещает понятие природных ресурсов и экосистемных услуг [24]. Понятие экосистемных ресурсов имеет место и в работе [25]. Авторы статьи считают, что экосистемные услуги не могут быть определены как экологические ресурсы в силу отсутствия важного условия – они не принимают непосредственного участия в производственном процессе.

Рис. 2. Структура природного капитала
Fig. 2. Natural capital structure

Признание наличия экосистемных услуг и их значимости позволило Х. Дейли и Г. Констанза в 1992 г. в работе «Природный капитал и устойчивое развитие» сформулировать определение природного капитала: это «запасы/активы (stoc) природной среды, дающие поток ценных товаров и услуг в будущем» [26]. В соответствии с их концепцией природный капитал (TNC) должен быть устойчивым (sustainable):

$$TNC = RNC + NNC,$$

где RNC – возобновляемый природный капитал; NNC – невозобновляемый природный капитал.

Реализация постоянства TNC означает, что доходы от невозобновляемого природного капитала при уменьшении TNC должны инвестироваться в возобновляемый природный капитал, который Х. Дейли и Г. Констанза называют активным в отличие от невозобновляемого, называемого пассивным. Возобновляемость природных ресурсов позволяет сравнивать их со средствами производства, подверженными амортизации, а невозобновляемость – с товарно-сырьевыми запасами, которые со временем уменьшаются. Сохранность TNC обеспечивает наличие постоянства потока дохода, что требуется от капитала [27].

Следует отметить, что в определении природного капитала явно просматривается антропоцентрический подход. Природный капитал рассматривается с позиции антропоцентризма, т. е. получения дохода и удовлетворения потребностей

человека. Более того, проявляя «ресурсный оптимизм», авторы [26] считают возможной замену природного капитала производственным. На самом деле возможность замены природного капитала весьма ограничена. На сегодня общепризнанным является необходимость сохранности естественных ненарушенных биотических сообществ (возобновляемых природных ресурсов), что обеспечивает потенциал биотической регуляции, который существовал с момента возникновения жизни на Земле. Биоразнообразие и суммарная биомасса у вторичных сообществ в 2 раза меньше, чем у ненарушенных, а у лесопосадок данные показатели еще меньше [28–30]. Существует предел, до которого человечество может использовать природный капитал и его важнейшие структурные единицы, что в первую очередь касается биоты.

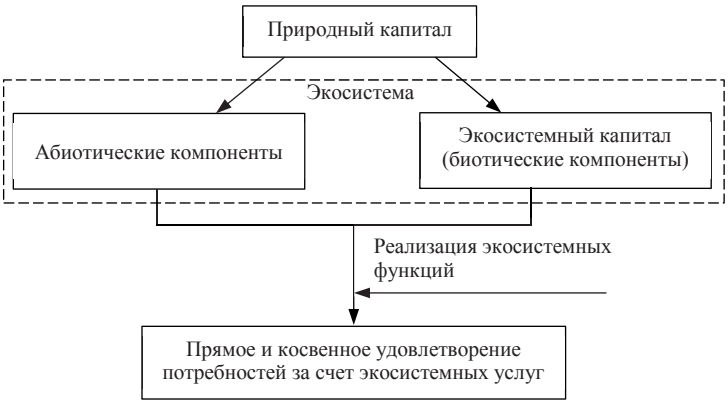

Рис. 3. Структура природного капитала
Fig. 3. Natural capital structure

Признание наличия экосистемных услуг потребовало обращения при структуризации природного капитала к экосистемам, представляющим собой биоценозные системы, в которых главным компонентом выступает биота. Словарь терминов определяет экосистему как «совокупность организмов и условий среды, в которой они обитают». Более объемное определение характеризует экосистему как «любую совокупность организмов и неорганических компонентов окружающей среды, в которой может осуществляться круговорот веществ» [31, с. 106]. Тогда при ресурсном подходе к построению структуры природного капитала его схематичное изображение будет иметь вид, представленный на рис. 2.

Внедрение экосистемного подхода позволяет использовать широкий подход к построению структуры природного капитала (рис. 3).

В данном случае считается, что выполняются только экосистемные функции, в том числе обеспечивающие. Правда, в отдельном случае в отношении абиотических компонентов речь идет об абиотических услугах. Учитывая, что природные ресурсы рассматриваются в числе основных компонентов экономики природопользования, считаем целесообразным использование смешанного варианта (рис. 4).

Смешанный вариант предполагает в структуре природного капитала наличие природных ресурсов и экосистемных услуг, при этом удовлетворение потребностей в чистом воздухе и воде рассматривается как экосистемные услуги, что позволяет говорить о смешанном варианте. При построении данной структуры руководствовались следующими принципами:

– признание за биотическими компонентами, составляющими основу экосистем, реализации лишь экосистемных функций, что дает возможность рассматри-

вать функции по удовлетворению потребностей в предметах потребления как экосистемных;

– удовлетворение потребностей в предметах потребления со стороны возобновляемых неистощаемых абиотических компонентов рассматривать также в качестве обеспечивающих экоуслуг в целях соблюдения однозначного подхода к их определению;

– плодородие почв (относительно возобновляемые компоненты природной среды) причислять к абиотическим компонентам.

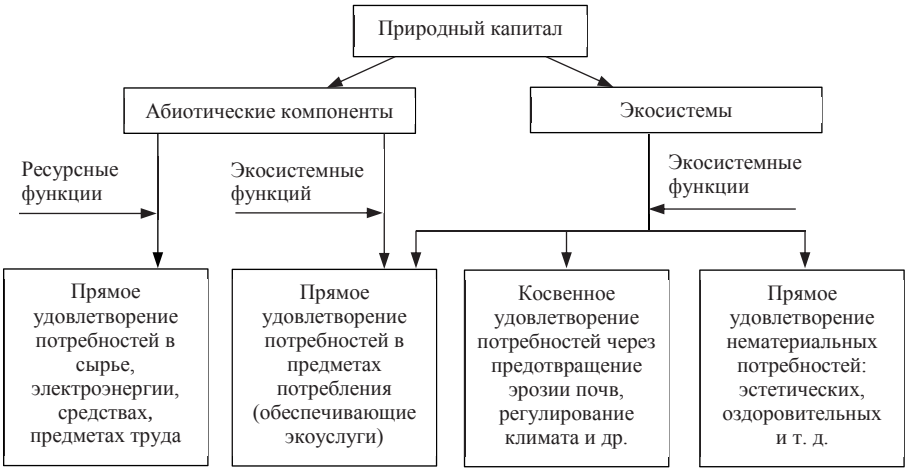

Рис. 4. Структура природного капитала
Fig. 4. Natural capital structure

В целом абиотические и биотические компоненты выполняют как ресурсные, так и экосистемные функции. При ресурсном подходе к построению структуры природного капитала внимание уделяют потоку «товаров» (результату ресурсных функций), при экосистемном – потоку экосистемных услуг (результат экосистемных функций).

Выводы. Из анализа структуры природного капитала и выполняемых функций следует, что наиболее целесообразно использование смешанной структуры природного капитала, в которой имеют место как ресурсные, так и экосистемные функции. Использование единых подходов к построению природного капитала и содержанию экосистемных услуг сделает возможным выполнение достоверного сравнительного анализа и расширение работ по оценке природного капитала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кириллов С. В. Использование природных ресурсов. СПб: Химия, 1985. 214 с.
2. Региональная экономика. Природно-ресурсные и экологические основы / под ред. В. Г. Глушковой, Ю. А. Симагина. М.: Кнорус, 2012. 320 с.
3. Незамейкин В. Н. Комплексное управление природными ресурсами территорий. М.: Экзамен, 2006. 191 с.
4. Яндыганов Я. Я. Природно-ресурсный потенциал региона (оценка и использование). Екатеринбург: УрГЭУ, 2000. 380 с.
5. Шимова О. С., Соколовский Н. К. Экономика природопользования. М.: Инфра-М, 2009. 377 с.
6. Курнышев В. В., Глушкова В. Г. Региональная экономика: основы теории и методы исследования. М.: КНОРУС, 2011. 272 с.
7. Косолапов О. В. Обоснование эколого-экономической устойчивости недропользования. Абакан: ХГУ, 2016. 280 с.
8. Развитие системности в освоении природного потенциала северных малоизученных территорий / под ред. А. И. Татаркина. Екатеринбург: ИЭ УрО РАН, 2015. 317 с.
9. Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.

10. Плисецкий Е. А. Коммерческая география России. М.: Мысль, 1990. 637 с.
11. De Grott R. Enviromental functions as unifying concept for ecology and economics // The Enviromentalist. 1987. Vol. 37(2). P. 105–109.
12. Westman W. How much are nature's services worth? // Science. 1977. P. 960–964.
13. Daily W. Nature's services: social dependence on natural ecosystems. Washington: Island Press, 1977. 392 p.
14. Проект «Экономика экосистем и биоразнообразия». Признание экономики природы. Синтез подхода, выводов и рекомендации ТЕЕВ. М: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2010. 49 с.
15. Бобылев С. Н., Захаров В. М. Экосистемные услуги и экономика. М.: Институт устойчивого развития. Центр экологической политики России. Общественная палата РФ, 2009. 71 с.
16. Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and human well-being // Syntheses Report. Island press, Washington DC, 2005. 160 p.
17. Проект ТЕЕВ «Экономика экосистем и биоразнообразия. Перспективы участия России и других стран СНГ». 2010. URL: https://biodiversity.ru/programs/international/teeb/briefing.html (дата обращения 01.08.2020).
18. Национальная Стратегия сохранения биоразнообразия России. URL: https://biodata.ecoinfo.ru/def/A25.html (дата обращения 30.07.2020).
19. Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги. М.: Центр дикой природы, 2013. 46 с.
20. Лосев К. С. Мифы и заблуждения в экологии. М.: Научный мир, 2011. 224 с.
21. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Содержание и значение учения об экологических функциях литосферы // Отечественная геология. 1999. № 3. С. 58–61.
22. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Теоретические основы экологической геологии // Известия РАН. Секция «Науки о Земле». Спец. вып. 1998. С. 50–70.
23. Емельянов А. Г. Основы природопользования. М.: Центр «Академия», 2009. 304 с.
24. Елкина Л. Г. Управление экологическими ресурсами. М.: Палеотип, 2005. 144 с.
25. Лукьянчиков Н. Н., Потравный И. М. Экономика и организация природопользования. М.: Юнити-ДАНА, 2002. 454 с.
26. Constanza R., Daly H. Natural capital and sustainable development. Conservation Biology. 1992. Vol. 6. No. 1. P. 37–46.
27. El Serafy S. The proper calculation of income from deflectable natural resources. In: Ahmad J. A., S. El Serafy and E. Lutz, eds. Environmental accounting for sustainable development. UNEP – World Bank Symposium. The World Bank. Washington D. C. 1989. P. 10–18.
28. Schwartz M. W., Brigham C. A., Hoeksema J. D., Lyons K. G., Mills M. H., and van Mantgem P. J. Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation biology // Ecology. 2000. Vol. 122. P. 297–305.
29. Tilman D. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles // Ecology. 1999. Vol. 80. P. 1455–1474.
30. Tilman D. Causes, consequences and ethics of biodiversity // Nature. 2000. Vol. 405. P. 208–211.
31. Денисов В. В., Кулакова Е. С., Денисова И. А. Экологические основы природопользования. Ростов-на-Дону: Феникс, 2014. 456 с.

Поступила в редакцию 17 августа 2020 года

Сведения об авторах:

Игнатьева Маргарита Николаевна – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и менеджмента Уральского государственного горного университета. E-mail: rinis@mail.ru
Логвиненко Оксана Александровна – старший преподаватель кафедры экономики и менеджмента Уральского государственного горного университета. E-mail: oksana.logvinenko@m.ursmu.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-63-72

Mineral resources as a constituent part of natural capital

Margarita N. Ignatieva[1], Oksana A. Logvinenko[1]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
Relevance*. In the recent decades a lot of countries around the world are increasingly using the economic appraisal of the territory's natural capital. The appraisal represents the mechanism which makes it possible to reasonably select the options for the natural capital development with the view of social-economic development being favourable to human life activity and preserving ecological balance at the same time. The appraisal's reliability requires specified structure of the natural capital and the implemented functions.* ***Research aim*** *is to specify the architecture of the natural capital and functions implemented by its components.*

Methodology and methods. *The theory and the methodology of the natural capital and the theory of ecosystem services were the theoretical basis for the research. The research contained data generalization and analysis, classification and grouping, comparative analysis, and qualitative analysis.*
Research results. *The content of the natural resources potential with available resources and potential reserves was studied. The possibility of transferring from potential reserves (off-balance and written-off reserves and technogenic mineral bodies) to accessible mineral resources which form the mineral resource base was shown by the example of the mineral raw potential. Universally recognized ecosystem services classifications were analyzed and recommendations were made aimed at improving such a classification for further universal application. All components of the natural environment are considered from the position of ecosystem services possibility. It has been determined that they are provided by both biotic and abiotic components (such functions reside even in the lithosphere). The authors' position has been formulated regarding eco services as ecological resources. Anthropocentric character of the approach has been proven in the definition of the natural capital, which is only considered from the position of the "income flow" for the sake of human, while its preservation is conditioned by the need for its permanency. The essence of resource and ecosystem approach is revealed when building the structure of the natural capital. It is recommended to use a combination of the options based on the principles from the present article.*
Summary. *Natural capital appraisal reliability required unambiguity in constructing the natural capital and the implemented functions. It is proposed to use the combined structure of the natural capital which reflects the implemented resource and ecosystem functions.*

Key words: *mineral resources; natural resources potential; ecosystem services; natural capital; structure; functions.*

REFERENCES

1. Kirillov S. V. *Natural resources use.* St. Petersburg: Khimia Publishing; 1985. (In Russ.)
2. Glushkova V. G., Simagin Iu. A. (eds.) *Regional economics. Natural resources and ecological fundamentals*. Moscow: Kronus Publishing; 2012. (In Russ.)
3. Nezameikin V. N. *Integrated natural resources management*. Moscow: Ekzamen Publishing; 2006. (In Russ.)
4. Iandyganov Ia. Ia. *Natural resources potential of the region (appraisal and use)*. Ekaterinburg: USUE Publishing; 2000. (In Russ.)
5. Shimova O. S., Sokolovskii N. K. *Economics of nature use*. Moscow: Infra-M Publishing; 2009. (In Russ.)
6. Kurnyshev V. V., Glushkova V. G. *Regional economics: theoretical basis and research methods*. Moscow: KNORUS Publishing; 2011. (In Russ.)
7. Kosolapov O. V. *Rationale for ecological-economic sustainability of subsoil use*. Abakan: KhSU Publishing; 2016. (In Russ.)
8. Tatarkin A. I. (ed.) *Developing consistency in natural resources development in northern understudied territories*. Ekaterinburg: IE UB RAS Publishing; 2015. (In Russ.)
9. Reimers N. F. *Natural resource management: glossary*. Moscow: Mysl Publishing; 1990. (In Russ.)
10. Plisetskii E. A. *Russia's commercial geography*. Moscow: Mysl Publishing; 1990. (In Russ.)
11. De Grott R. Enviromental functions as unifying concept for ecology and economics. *The Enviromentalist*. 1987; 37(2): 105–109.
12. Westman W. How much are nature's services worth? *Science*. 1977: 960–964.
13. Daily W. *Nature's services: social dependence on natural ecosystems*. Washington: Island Press, 1977. 392 p.
14. *"Economics of ecosystems and biodiversity" project. Recognition of environmental economics. Synthesis of approach, conclusions, and recommendations of TEEB*. Moscow: Izd-vo Tsentra okhrany dikoi prirody Publishing; 2010. (In Russ.)
15. Bobylev S. N., Zakharov V. M. *Ecosystem services and economics*. Moscow: Institute of sustainable development. Center for Russian Environmental Policy. Civic Chamber of RF; 2009. (In Russ.)
16. Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and human well-being. *Syntheses Report. Island press*. Washington DC; 2005. (In Russ.)
17. *"Economics of ecosystems and biodiversity. Prospects of Russia and CIS countries participation"* 2010. Available from: https://biodiversity.ru/programs/international/teeb/briefing.html [Accessed 01 August, 2020].
18. *National strategy of preserving biodiversity of Russia*. Available from: https://biodata.ecoinfo.ru/def/A25.html [Accessed 30 July 2020].
19. *Ecosystem services of Russia's terrestrial ecosystems*. Moscow: Tsentr dikoi prirody Publishing; 2013. (In Russ.)
20. Losev K. S. *Myths and misconceptions in ecology*. Moscow: Nauchnyi mir Publishing; 2011. (In Russ.)
21. Trofimov V. T., Ziling D. G. Content and significance of the theory on lithosohere's ecological functions. *Otechestvennaia geologiia = National Geology*. 1999; 3: 58–61. (In Russ.)
22. Trofimov V. T., Ziling D. G. Theoretical fundamentals of ecological geology. *Izvestiia RAN. Sektsiia "Nauki o Zemle" = Bulletin of RAS. Earth Sciences*. Spec. Edition; 1998: 50–70. (In Russ.)
23. Emelianov A. G. *The fundamentals of nature resource management*. Moscow: Tsentr *"*Akademiia*"* Publishing; 2009. (In Russ.)

24. Elkina L. G. *Ecological resources management*. Moscow: Paleotip Publishing; 2005. (In Russ.)
25. Lukianchikov N. N., Potravnyi I. M. *Natural resource use management*. Moscow: Iuniti-DANA Publishing; 2002. (In Russ.)
26. Constanza R., Daly H. Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*. 1992; 6 (1): 37–46.
27. El Serafy S. The proper calculation of income from deflectable natural resources. In: Ahmad J. A., S. El Serafy and E. Lutz, eds. *Environmental accounting for sustainable development. UNEP – World Bank Symposium. The World Bank*. Washington D. C.; 1989. P. 10–18.
28. Schwartz M. W., Brigham C. A., Hoeksema J. D., Lyons K. G., Mills M. H., and van Mantgem P. J. Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation biology. *Ecology*. 2000; 122: 297–305.
29. Tilman D. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*. 1999; 80: 1455–1474.
30. Tilman D. Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature*. 2000; 405: 208–211.
31. Denisov V. V., Kulakova E. S., Denisova I. A. *Ecological fundamentals of natural resource use*. Rostov-on-Don: Feniks; 2014. (In Russ.)

Received 17 August 2020

Information about authors:

Margarita N. Ignatieva – DSc (Economics), Professor, professor of the Department of Economics and Management, Ural State Mining University, leading researcher of the Institute of Economics UB RAS. E-mail: rinis@mail.ru
Oksana A. Logvinenko – senior lecturer, Department of Economics and Management, Ural State Mining University. E-mail: oksana.logvinenko@m.ursmu.ru

Для цитирования: Игнатьева М. Н., Логвиненко О. А. Минеральные ресурсы как составляющая природного капитала // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 63–72. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-63-72
For citation: Ignatieva M. N., Logvinenko O. A. Mineral resources as a constituent part of natural capital. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 63–72 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-63-72

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-73-82

Minimizing chemical contamination with commercial solutions when producing metal in highland regions

Iurii V. Dmitrak[1], Khambi Kh. Kozhiev[1], Viacheslav Kh. Dzaparov[1]*, Boris V. Dzeranov[2]

[1] North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy, Vladikavkaz, Russia

[2] Geophysical Institute – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russia

e-mail: dzapa64@yandex.ru

Abstract

The research aims *to work out in details the measures taken to limit ecological risks when producing ore in highland regions.*

Research methodology *includes applying the methods of X-ray fluorescence spectrometry, neutron activation analysis, and mass spectrometry to study the mechanism and indicators of environmental ecosystems chemical pollution with the products of synergetic interaction among the ingredients in metallic minerals.*

Research results and scope. *The data on the role of water in mining have been introduced. The features of mining industrial wastes impact in the conditions of the Caucasus highland. The leading role played by metallic ore mill tailings in chemical pollution of highlands has been numerically proved by the example of the major fields. The idea has been formulated that highland territories are weakened and public health is deteriorated due to chemical contamination of highland environment by mining waste. Quantitative parameters of mining and smelting impact on public health have been determined, and the prospects of measures taken to protect population from the negative impact of mining have been forecasted. It has been shown that overall protection of environment from chemical pollution is possible only in case of advanced recycling of waste. Advanced methods of trade effluent reclamation have been recommended. Research results may be applied at the underground development of metallic ore deposits.*

Summary. *In the conditions of highlands, ecosystems contamination with the products of synergetic interaction among the ingredients of metallic materials in the process of metal production increases. Environmental protection from chemical contamination with liquid products of mining is possible by extracting chemically dangerous metallic ingredients and reducing their concentration down to the level of hygienic standards with the use of new natural and resource saving technologies.*

Key words: *mining; trade effluent; ecology; mill tailings; ecosystem; public health.*

Introduction. The efficiency of mining is strongly influenced by mine effluent, i. e. groundwater, interstatial water, middle water or fissure water which contains dissolved metals, organic and chemical compounds, and mineral particles. Russian ore mining and processing enterprises surface more than 1.3 billion m^3 of effluents annually.

Many enterprises have been experiencing difficulties within a long time due to deposits inundation. So, 2100–2200 m^3/h of water from the underground mine workings and 700 m^3/h more from opencast mines have been pumped out in the Lebedinsky pit of the Kursk magnetic anomaly. A mean efficiency mine discharges about 1000 m^3/h of sewage to the surface.

Mining facilities deliver mill tailings to the natural environment together with discharges and filtrates from mineral thickening and dewatering, atmospheric and natural effluents drained into the mine workings, and effluent from current flow processes.

In the traditional scheme of field development all the water is delivered to surface, the liquid phase of mill tailings is added, and the whole thing is discharged to the surface, often with no purification. Metal solutions are drained through the underlayer and migrate to the surrounding environment (fig. 1).

In the overwhelming majority of cases, sewage is discharged into the surface watercourses. The main part of water pumped out at field dewatering comes to rivers changing their water regimes. Vast local depressions of groundwater are developed in the mining regions.

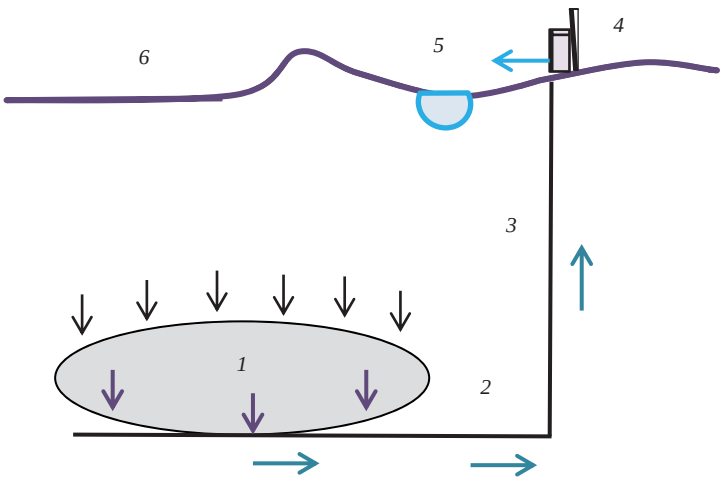

Fig. 1. Movement of water flows at underground mining of a deposit:
1 – deposit; *2* – collecting mine working; *3* – producing miner working; *4* – mine's surface; *5* – river; *6* – relief

Рис. 1. Движение водных потоков при подземной разработке месторождения:
1 – месторождение; *2* – сборная выработка; *3* – выдающая выработка; *4* – шахтная поверхность; *5* – река; *6* – рельеф

When opencasting minerals from placer deposits, water regimes alternation is the consequence of peat and sand preliminary dewatering carried out under hydraulic, bulldozer and excavating methods of development with the help of stream diversion and drainage channels.

During ore fields underground development with conventional technologies, water is used in flow processes of drilling, delivery, dust removal, etc.

Mill waste accumulation in tailings dams is the main reason for the environmental impact of mining. With time, a dome with water mineralization manifold exceeding the threshold limit value (TLV) develops under the storage facility. The dome is the exciter of chemical contaminants discharge into the environment.

Water which leaves the boundaries of the tailings dam contains copper, iron, and sulphur, the concentration of which is often commensurable with their concentration in ore. Dam water drainage in the tailings dam, where the uranium crude processing waste is stored, has radiative forcing on the environment. The main factor of the environmental impact is waste water contamination with sulphates, nitrates, marganese, molybdenum, and other toxic maters.

At small-scale mining, sewage does not significantly contaminate water bodies and watercources, but distributes along the surface differentiating in the soil layer. Water contamination may manifold exceed TLV.

In new methods of development with leaching and dissolution, metal solutions which haven't been isolated from the environment are referred to pollutants.

Polluted water is actively involved in domestic and agricultural cycle affecting flora, fauna and people. The most severe consequence of hydrogeological and thermal regimes alternation is the deterioration of the hydrobiological situation in seas and lakes rivers run into. For the Caucasus it is the Caspian Sea.

Ecological tension in the zone of mining activity has reached its critical level of territory's contamination with heavy metals. For that reason, a prior task of environmental protection is to monitor public health in the mining region.

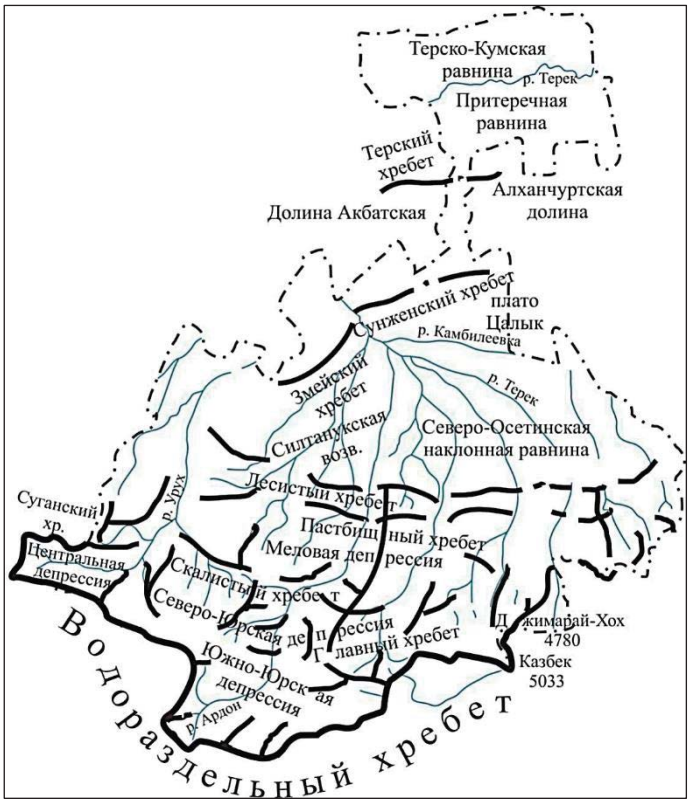

Fig. 2. Orography of the Ossetian part of the Central Caucasus
Рис. 2. Орография осетинского участка Центрального Кавказа

In the organism's reaction to the effect of ecotoxicants, including heavy metals, a crucial role is played by the development of ROI, intensification of lipid peroxidation, membrane damage, DNA damage, which stimulates the development of cancer formation, CVD, neurodegenerative diseases, and mutagenesis.

The issues of minimizing the rate of environmental chemical contamination by mining industry form the problem of global importance. The object of research are the large-scale allotments of industrial production including mineral deposits exploitation in highland regions which are the most insecure areas of the Earth.

The research aims to work out in details the measures taken to limit the ecological risks from mining ore in highland regions of the Russian Caucasus.

Object, tasks, and methodology. The mechanisms and results of environmental ecosystems chemical contamination with the products of synergetic interaction among polymetallic ore mill tailings ingredients in storage facilities have been studied using the integrated method including mill tailings, soil, and water sampling.

The methods of X-ray fluorescence spectrometry, the neutron activation analysis, and mass spectrometry have been used to obtain the information on the content of elements-toxicants.

Research results and discussion. Mining is most hazardous in the conditions of the mountainous terrain which is characterized by diverse conditions, dissected relief and high amplitudes of altitudes. The Caucasus orography controls and intensifies the processes of chemicalization of the natural environment, localizing contamination zones and preventing from concentration reduction across a larger area (fig. 2).

Table 1. Metal concentration in the River Baksan in peak phases
Таблица 1. Концентрация металлов в р. Баксан в пиковые фазы

Interval of the River Baksan	Metal	Concentration, mkg/l					
		minimum		maximum		average	
		winter	summer	winter	summer	winter	summer
40 km	Chrome	0.20	0.95	0.80	5.98	0.45	2.96
	Nickel	0.45	0.72	1.06	3.22	0.82	1.55
	Molybdenum	0.47	0.91	8.35	8.37	2.77	4.03
	Lead	0.27	0.20	0.49	3.62	0.38	1.12
	Zinc	1.50	1.50	2.51	11.76	1.75	4.89
55 km	Chrome	0.20	0.74	0.47	4.20	0.29	1.83
	Nickel	0.90	0.70	0.97	1.91	0.56	1.28
	Molybdenum	2.50	0.92	7.40	16.4	2.89	5.71
	Lead	0.20	0.33	0.53	1.93	0.37	0.96
	Zinc	1.50	1.50	1.50	8.13	1.50	4.01
70 km	Chrome	0.20	0.39	0.38	8.80	0.28	3.65
	Nickel	0.20	0.40	0.68	3.58	0.52	1.88
	Molybdenum	1.34	0.20	6.38	12.03	3.28	4.76
	Lead	0.20	0.20	0.57	2.64	0.31	0.98
	Zinc	1.31	1.30	7.06	5.51	3.72	3.15

Environmental footprint and water streams pollution grows with the expansion of residential mountainous territories; and not in every instance the nature can cope with that. The main collectors of technogenic pollution are the River Baksan and the River Ardon which collect effluent from large mining enterprises, the Tyrnyaus Tungsten-Molybdenum Plant (Kabardino-Balkaria) and the Sadonsk Lead-Zink Plant (Republic of North Ossetia –Alania).

Baksan flows from under the glacial shell of mount Elbrus and accepts more than 15 tributaries, including the River Cheget and the River Cherek. In the valley of the River Baksan, the towns of Tyrnyaus, Baksan, Prokhladny and many other communities are situated. Water is mildly alkaline and neutral, in the winter period pH varies within 7.5–8.0 units, and within 8.0–8.1 in the summer.

Human impact on Baksnan water is most pronounced in the territory of the Tyrnyaus Tungsten-Molybdenum Plant.

Old tailings dam with mill tailings is situated 2 km downhill and represents an embankment 15–20 m high with slopes 30–60 m steep, filled up with 10–15 cm soil layer with vegetation. The main tailings dam is situated at the 55th km marker near Bylym village and includes a retention pond with the area of 70 ha, 2 km long and 220 million m^3 capacity confined by the earth-fill dam 110 m high.

In Baksan water, TLV of copper, for instance, is exceeded by 20–30 times. In the area of the Molybdenum mine and its tailings dam the concentration of copper is exceeded by 50 times.

Baksan water is continuously contaminated by tailings dam effluent. Systematic contamination of water with metal is recorded at the distance from 40 to 70 km (table 1).

It follows from table 1 that almost all components of river water are governed by a general rule: metals concentration decreases with the distance from the contamination source, which proves the tailings dam's role in chemical pollution.

The tailings dam is classified as ecologically hazardous facility, as soon as in case of inundation or earthquake it threatens with destruction to the outlet water tunnel of the River Gizhgit. The River Gizhgit may come back to its natural river-bed, overfill of retention pond, destroy the dam and carry away the mill tailings to the river-bed of Baksan all the way to Terek.

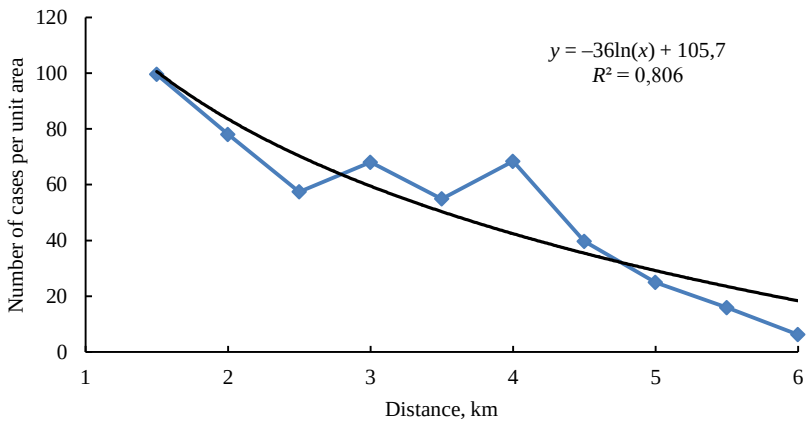

Fig. 3. Dependence between the number of oncological cases and the distance to industrial facilities
Рис. 3. Зависимость числа случаев онкологических заболеваний от расстояния до промышленных объектов

The content of metals in vegetable and grain products is abnormal as soon as people use water for household and practical needs, which may cause irreversible damage to the metabolism of local population.

The impact of the Sadonsk Lead-Zink Plant is the same. Ore extracted from its deposits since 1929 have been dressed at the plant in Mizur town. At its time the plant processed up to 20 thousand ton of ore a day, and the concentrates obtained by selective flotation contained: Pb, Bi, Sb, Ag, Au, Cu, Zn, Co, As and other metals. Up to 1984 tailings have been stored in a narrow side valley of the left tributary of Ardon located over the Mizur town. From 1929 to 1984 some tailings were discharged into the River Ardon polluting it with metals all through. For that reason, in 1984 a new tailings dam was built. The tailings dams of Sadonsky mines are situated in the floodplains of rivers, which promotes to chemically active trade effluent travel.

The River Ardon accepts impure effluent from the mines and the tailings dam 150 × 280 m in size with an earth-fill dam up to 30 m high in the valley of the River Ardon.

Effluent from the lower part of the tailings dam has highly alkaline value (pH 11.2), its total mineralization radically differs from other samples and makes up 10 746 mg/l.

The value of pH of natural water is close to neutral, pH varies from 6.9 to 7.4. Samples higher than the tailings dam are close to each other and refer to hydrocarbonate-sylphate natrium-calcium water. It proves the presence of synergetic processes in the mass of the tailings dam.

In high winds, finely dispersed fraction of mill tailings pollutes the soil of pastures, farming lands and water of Ardon negatively affecting public health. Comparison with the baseline sample in Sadonka water in the vicinity of the tailings dam revealed the excess in the concentration of arsenic by 25 times; uranium – by 14 times; stibium, tellurium, molybdenum – by 6 times; tungsten, lead, and vanadium – by 4 times; and other metals – by 2–3 times.

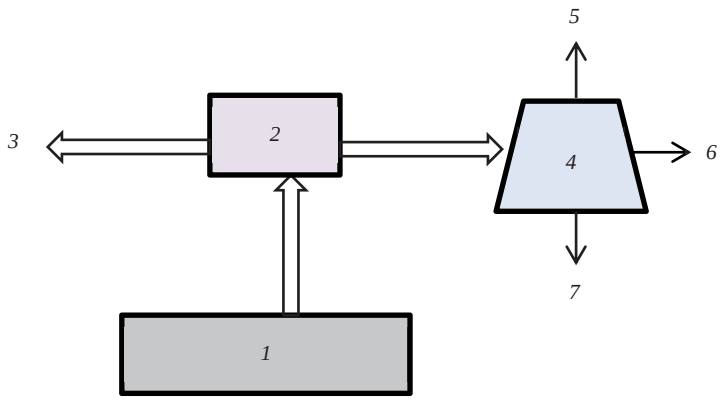

Fig. 4. Movement of water flows when mining with traditional methods:
1 – deposit; *2* – ore processing; *3* – concentrate; *4* – mill tailings dam; *5* – water into the atmosphere; *6* – water into the hydrosphere; *7* – water into the lithosphere

Рис. 4. Движение водных потоков при разработке традиционными способами:
1 – месторождение; *2* – переработка руд; *3* – концентрат; *4* – хранилище хвостов переработки; *5* – вода в атмосферу; *6* – вода в гидросферу; *7* – вода в литосферу

Comparison with the baseline sample in water covering the surface of the tailings dam has revealed abnormal excess of metal concentration: arsenic – by 41 430 times; tellurium – by 17 720; stibium – by 10 430; selenium – by 10 230; tungsten – by 1520; lead – by 930; molybdenum – by 390; vanadium – by 105; germanium – by 70; tin – by 50; and other metals – by 2–26 times.

In a large city of the North Caucasian Federal District, Vladikavkaz, health indicators of adult and child population of the city were studied, including the incidence rate in the following directions: neoplasms, blood diseases, diseases of genitourinary, nervous, and endocrine systems, diseases of ear and respiratory system, caused by the man-induced impact of ore mining and processing products.

Increase in the number of neoplasms among the population was systematized according to the principle of the clinical zoning. The information was plotted on the city map. The dependence between diseases incidence and steelworks vicinity in the north-eastern part of the city was determined experimentally. Heavy metals dispersion halo was discovered in the area of about 40 km^2 where metals concentration exceeded mean concentration by an order.

The number of diseases per unit area decreased with increasing distance from industrial facilities. Quantitative parameters of negative impact from mining and smelting on public health have been determined (fig. 3).

Analysis and discussion. The development of metal ore fields in the mountainous territories of the Caucasus is accompanied by the contamination of highland environment, industrial waste growth, vegetation degradation, and public health deterioration in urban territories especially in the vicinity of mining enterprises.

Analysis of ideas about the minimization of mining impact on the hydrosphere shows that safe methods of storing ore mill tailings do not exist. Overall protection

of environment from chemical pollution is possible only in case of advanced recycling of industrial waste.

Contaminated effluent comes into the environment after flowing out of mine workings to the surface or travels with mill tailings to the tailings dams.

The following options for minimizing the region's chemicalization are available for mining enterprises:

– traditional extraction of metals by means of breaking it in blocks, transporting to the surface and processing at a plant with the uncontrolled mechanism of interaction between natural-technogenic solutions and ecosystems (fig. 4);

– extracting metal from ore in underground mine workings using mining methods with leaching, and managing the flows of solutions by means of localizing them technologically (entrapment and extraction of metals) (fig. 5).

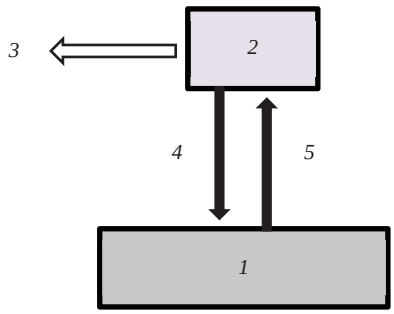

Fig. 5. Movement of water flows when mining with leaching:
1 – deposit; *2* – ore processing; *3* – concentrate; *4* – chemical solution; *5* – production solution

Рис. 5. Движение водных потоков при разработке способом выщелачивания:
1 – месторождение; *2* – переработка руд; *3* – концентрат; *4* – раствор реагента; *5* – продукционный раствор

Hydrometallurgical processing methods with processes activity increase by mechanochemical treatment in desintegrators and other devices may be in demand for waste disposal.

Known technologies of trade effluent purification before discharge into the environment, for instance, liming and chlorination, are harmful for the environment and may cause side effects. Electrochemical, sorption and other technologies make it possible to purify effluent up to the standards of fish industry, but they are expensive and therefore not applied for mine effluents cleaning.

The results of clinical-biochemical examination of residents in the Alagirsky region hosting the mining enterprise, who are influenced by chemically active water streams associated with contamination with heavy metals as a result of the lead-zinc plant activity, have shown serious violation of antioxidant status and development of oxidative stress among the population.

Violation of *prooxidant–antioxidant* system's balance in blood of population can be considered as the manifestation of the metal-induced toxicity, which promotes to poor resistance of the survey organisms to the disturbing factors of the environment and to the development of severe and practically untreatable pathological processes.

By means of managing the flows of solutions in the process of metal production, it is possible not only to reduce the environmental impact on mining regions and receive necessary metal and construction materials, but also reduce the risk of incidence among the population and technogenic catastrophes associated with possible dam failure, or other forms of water streams impact.

Research results may be helpful when upgrading the technologies of underground mining in the ore fields with particular conditions of location.

Conclusion. Liquid ingredients are the instruments for chemical contamination of natural environments being the transporting system for natural and process flow solutions of metals and salt.

Mine effluent plays crucial role in a system of mining impact being the product of synergetic interrelation among ore mill tailings ingredients in tailings dams.

The impact of mineral production and processing wastes on living matter must be assessed with the account of production and processing waste hazardous ingredients migration halo.

Overall environmental protection from chemical contamination with liquid products of mining is only possible by extracting chemically dangerous metallic ingredients from mineral waste up to the hygienic standards using machines-activators.

REFERENCES

1. Golik V. I., Ermolenko A. A., Lazovskii V. F. *Business problems of applying natural resources of the Southern Federal District*. Krasnodar; 2008. (In Russ.)

2. Golik V. I. et al. *Theory and practice of ore production and processing*. Vladikavkaz; 1997. (In Russ.)

3. Muller N. Z., Mendelsohn R., Nordhaus W. Environmental Accounting for pollution in the United States economy. *American Economic Review*. 2011; 101(5): 1649–1675.

4. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap leaching technology – current state, innovations, and future directions: a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2016; 37(2): 73–119.

5. Ismailov T. T., Golik V. I., Dolnikov E. B. *Special methods of mining mineral deposits*. Moscow; 2006. (In Russ.)

6. Vorobiev A. E. et al. *High technologies of ore production and processing*. Vladikavkaz; 1998. (In Russ.)

7. Golik V. I., Pagiev K. Kh., Gabaraev O. Z. *Energy-saving technologies of ore production*. Vladikavkaz; 1995. (In Russ.)

8. Liashenko V. I. et al. *Cement-free backfill at mining enterprises*. Moscow; 1992. (In Russ.)

9. Bowman S. D. *Interferometric synthetic aperture radar (InSAR). Background and application: guidelines for investigating geologic hazards and preparing engineeringgeology reports, with a suggested approach to geologic-hazard ordinances in Utah*. Utah: University of Utah, 2016. P. 198–203.

10. Doifode S. K., Matani A. G. Effective industrial waste utilization technologies towards cleaner environment. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. 2015; 4 (Special Issue). NCSC. P. 536–540.

11. Rachwa M., Magiera T., Wawer M. Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Chemosphere*. 2015; 138: 863–873.

12. Golik V. I., Ismailov T. T. *Managing the state of the massif*. Moscow; 2005. (In Russ.)

13. Griazev M. V., Kachurin N. M., Zakharov E. I. The Tula State University: 85 years on duty. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2016; 2: 25–29. (In Russ.)

14. Razorenov Iu. I., Golik V. I., Kulikov M. M. *Mining economics and management*. Novocherkassk; 2010. (In Russ.)

15. Vrancken C., Longhurst P. J., Wagland S. T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: informing material recovery and fuel production. *Waste Management*. 2017; 61: 40–57.

16. Golik V. I., Komashchenko V. I., Stradanchenko S. G., Maslennikov S. A. Increasing the completeness of subsoil use by deep utilization of waste coal. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2012; 9: 91–95. (In Russ.)

17. Golik V. I., Doolin A. N., Komissarova M. A., Doolin R. A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste. *International Business Management*. 2015; 9(6): 1119–1123.

18. Randolf E., Miller Sh., Miller G. Minimizing acid consumption in mixed oxide/supergene and sulfide heap leach. *Proceedings of the 3rd International Conference on Heap Leach Solution*. Lima, 2015. P. 36–44.

19. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*. 2015; 157: 306–324.

20. Golik V. I., Razorenov Iu. I., Stradanchenko S. G., Khasheva Z. M. Principles and economic efficiency of ore mining technology combination. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2015; 326(7): 6–14. (In Russ.)

21. Kaplunov D. R., Radchenko D. N. Design philosophy and choice of technologies for sustainable development of underground mines. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2017; 11: 52–59. (In Russ.)

22. Chanturiia V. A. (ed.) *Advanced methods of dressing and integrated processing of natural and technogenic mineral raw materials (Plaksin Readings-2014): Proc. Internat. Meeting, 16–19 September, 2014*. Almaty; 2014. (In Russ.)

23. Rylnikova M. V., Radchenko D. N. Methodological aspects of designing the system of feed streams control in the full cycle of ore fields integrated development. *Ratsionalnoe osvoenie nedr = Mineral Mining and Conservation*. 2016; 3: 36–41. (In Russ.)

24. Dmitrak Iu. V., Kamnev E. N. AO "Leading Planning-Surveying and Scientific-Research Institute of Industrial Technology". The 65-year trip. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2016; 3: 6–12. (In Russ.)

25. Krupskaia L. T., Golubev D. A., Volobueva N. G. Assessing ecological situation in the territory within the catchment zone of a tailings dam with toxic waste. *Sovremennye tendentsii razvitiia nauki i tekhnologii = Current Trends in Scientific and Technological Development*. 2016; 1-2: 97–100.

Received 10 August 2020

Information about authors:

Iurii V. Dmitrak – DSc (Engineering), Professor, Head of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy. E-mail: dmitrak@yandex.ru
Khambi Kh. Kozhiev – DSc (Engineering), Professor, professor of the Mining Department, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy. E-mail: hambi@list.ru
Viacheslav Kh. Dzaparov – PhD (Engineering), associate professor of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy. E-mail: dzapa64@yandex.ru
Boris V. Dzeranov – PhD (Geology and Mineralogy), senior researcher, Geophysical Institute – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. E-mail: dzboris@gmail.com

УДК 504.55.054:622(470.6) DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-73-82

Проблема минимизации химического загрязнения промышленными растворами при добыче металлов в горных регионах

Дмитрак Ю. В.[1], Кожиев Х. Х.[1], Дзапаров В. Х.[1], Дзеранов Б. В.[2]
[1] Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ, Россия.
[2] Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Владикавказ, Россия.

Реферат

Цель работы *– детализация мер ограничения экологических рисков при добыче руд в горных регионах.*

Методология проведения работы. *Исследование механизма и показателей химического загрязнения экосистем окружающей среды продуктами синергетического взаимодействия ингредиентов металлосодержащих минералов методами рентгенофлюоресцентной спектрометрии, нейтронно-активационного анализа и масс-спектрометрии.*

Результаты работы и область их применения. *Приведены сведения о роли воды в горном производстве. Охарактеризованы особенности влияния промышленных стоков горных предприятий в условиях гористых ландшафтов Кавказа. На примере крупных месторождений дано количественное подтверждение ведущей роли хвостов обогащения металлических руд в химическом загрязнении горных территорий. Сформулирована концепция ослабления экологии горных территорий и ухудшения здоровья населения вследствие химического загрязнения горной среды отходами горного производства. Определены количественные параметры влияния горно-металлургического производства на здоровье населения и дан прогноз перспектив мер по защите населения от негативного влияния горного производства. Показано, что радикальная защита окружающей среды от химического загрязнения возможна только при глубокой утилизации отходов, рекомендованы прогрессивные методы утилизации промышленных стоков. Результаты исследования могут быть использованы при разработке месторождений металлосодержащих полезных ископаемых подземным способом.*

Выводы. *В условиях гористых ландшафтов загрязнение экосистем продуктами синергетического взаимодействия ингредиентов металлосодержащих веществ в процессе производства металлов усиливается. Защита окружающей среды от химического загрязнения жидкими продуктами горного производства реально возможна при извлечении химически опасных металлических ингредиентов и снижении их содержания до уровня санитарных норм с использованием новых природо- и ресурсосберегающих технологий.*

Ключевые слова: *горное производство; промышленные стоки; экология; хвосты обогащения; экосистема; здоровье людей.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голик В. И., Ермоленко А. А., Лазовский В. Ф. Организационно-экономические проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа. Краснодар, 2008. 323 с.
2. Теория и практика добычи и переработки руд / В. И. Голик [и др.]. Владикавказ, 1997. 545 с.
3. Muller N. Z., Mendelsohn R., Nordhaus W. Environmental Accounting for pollution in the United States economy // American Economic Review. 2011. Vol. 101. No. 5. P. 1649–1675.
4. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap leaching technology – current state, innovations, and future directions: a review // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2016. Vol. 37. No. 2. P. 73–119.
5. Исмаилов Т. Т., Голик В. И., Дольников Е. Б. Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых. Москва, 2006. 331 с.
6. Наукоемкие технологии добычи и переработки руд / А. Е. Воробьев [и др.]. Владикавказ, 1998. 510 с.
7. Голик В. И., Пагиев К. Х., Габараев О. З. Энергосберегающие технологии добычи руд. Владикавказ, 1995. 375 с.
8. Бесцементная закладка на горных предприятиях / В. И. Ляшенко [и др.]. Москва, 1992. 95 с.

9. Bowman S. D. Interferometric synthetic aperture radar (InSAR). Background and application: guidelines for investigating geologic hazards and preparing engineeringgeology reports, with a suggested approach to geologic-hazard ordinances in Utah. Utah: University of Utah, 2016. P. 198–203.

10. Doifode S. K., Matani A. G. Effective industrial waste utilization technologies towards cleaner environment // International Journal of Chemical and Physical Sciences. 2015. Vol. 4. Special Issue. NCSC. P. 536–540.

11. Rachwa M., Magiera T., Wawer M. Coke industry and steel metallurgy as the source of soil contamination by technogenic magnetic particles, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons // Chemosphere. 2015. No. 138. P. 863–873.

12. Голик В. И., Исмаилов Т. Т. Управление состоянием массива. Москва, 2005. 331 с.

13. Грязев М. В., Качурин Н. М., Захаров Е. И. Тульский государственный университет: 85 лет на службе Отечеству // Горный журнал. 2016. № 2. С. 25–29.

14. Разоренов Ю. И., Голик В. И., Куликов М. М. Экономика и менеджмент горной промышленности. Новочеркасск, 2010. 251 с.

15. Vrancken C., Longhurst P. J., Wagland S. T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: informing material recovery and fuel production // Waste Management. 2017. Vol. 61. P. 40–57.

16. Голик В. И., Комащенко В. И., Страданченко С. Г., Масленников С. А. Повышение полноты использования недр путем глубокой утилизации отходов обогащения угля // Горный журнал. 2012. № 9. С. 91–95.

17. Golik V. I., Doolin A. N., Komissarova M. A., Doolin R. A. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste // International Business Management. 2015. Vol. 9. No. 6. P. 1119–1123.

18. Randolf E., Miller Sh., Miller G. Minimizing acid consumption in mixed oxide/supergene and sulfide heap leach // Proceedings of the 3rd International Conference on Heap Leach Solution. Lima, 2015. P. 36–44.

19. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: challenges and future prospects // Hydrometallurgy. 2015. Vol. 157. P. 306–324.

20. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Страданченко С. Г., Хашева З. М. Принципы и экономическая эффективность комбинирования технологий добычи руд // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 7. С. 6–14.

21. Каплунов Д. Р., Радченко Д. Н. Принципы проектирования и выбор технологий освоения недр, обеспечивающих устойчивое развитие подземных рудников // Горный журнал. 2017. № 11. С. 52–59.

22. Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения–2014): матер. междунар. совещ., 16–19 сентября 2014 г. / под общ. ред. В. А. Чантурия. Алматы, 2014. 624 с.

23. Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Методологические аспекты проектирования системы управления минерально-сырьевыми потоками в полном цикле комплексного освоения рудных месторождений // Рациональное освоение недр. 2016. № 3. С. 36–41.

24. Дмитрак Ю. В., Камнев Е. Н. АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии». Путь длиной в 65 лет // Горный журнал. 2016. № 3. С. 6–12.

25. Крупская Л. Т., Голубев Д. А., Волобуева Н. Г. Оценка экологической ситуации территории в зоне влияния хвостохранилища с токсичными отходами // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1-2. С. 97–100.

Поступила в редакцию 10 августа 2020 года

Сведения об авторах:

Дмитрак Юрий Витальевич – доктор технических наук, профессор, ректор Северо-Кавказского государственного технологического университета. E-mail: dmitrak@yandex.ru

Кожиев Хамби Хадзимурзович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета. E-mail: hambi@list.ru

Дзапаров Вячеслав Хаматканович – кандидат технических наук, доцент Северо-Кавказского горно-металлургического института. E-mail: dzapa64@yandex.ru

Дзеранов Борис Витальевич – кандидат геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра РАН. E-mail: dzboris@gmail.com

Для цитирования: Дмитрак Ю. В., Кожиев Х. Х., Дзапаров В. Х., Дзеранов Б. В. Проблема минимизации химического загрязнения промышленными растворами при добыче металлов в горных регионах // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 73–82 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-73-82

For citation: Dmitrak Iu. V., Kozhiev Kh. Kh., Dzaparov V. Kh., Dzeranov B. V. Minimizing chemical contamination with commercial solutions when producing metal in highland regions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 73–82. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-73-82

УДК 624.131.3 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-83-91

Этапность изучения инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых от разведки до отработки

Абатурова И. В.[1]*, Савинцев И. А.[1], Стороженко Л. А.[1], Нугманова Э. Д.[2], Козлов В. С.[2]

[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

[2] Компания «ГИНГЕО», г. Екатеринбург, Россия

e-mail: gingeo@mail.ru

Реферат

Введение. *Разработка месторождений полезных ископаемых (МПИ) оказывает сильное преобразующее воздействие на геологическую среду. При этом активно изменяются все составляющие инженерно-геологических условий (ИГУ), сформировавшиеся в течение длительного времени: рельеф, структура массивов горных пород, гидрогеологические и геокриологические условия, активизируются геологические процессы и формируются горно-геологические, при этом на поверхности Земли образуются новые толщи техногенных образований, а зачастую и техногенные месторождения. Масштабы техногенеза в горном деле на сегодняшний день соизмеримы с результатами геологической деятельности, протекавшей на протяжении многих миллионов лет. Поэтому еще на ранних этапах изучения ИГУ МПИ необходимо понимание динамики изменения ИГУ с целью предусмотрения предварительных защитных мероприятий.*

Цель работы. *Рассмотрение ярких примеров динамики ИГУ МПИ (от разведки до отработки) с целью предусмотрения методов управления этими изменениями.*

Методология. *Рассмотрена этапность получения инженерно-геологической информации на период функционирования МПИ, которая позволит решить проблемы рационального использования недр и охраны геологической среды.*

Результаты. *На примере ряда объектов обозначены все этапы изучения ИГУ, рассмотрена динамика их изменения, которая привела к формированию инженерно-геологических процессов, неблагоприятно влияющих на дальнейшую отработку МПИ.*

Выводы. *Реакция геологической среды при разработке МПИ выражается в развитии масштабных инженерно-геологических процессов, которые зачастую не позволяют производить дальнейшую отработку МПИ и угрожают жизни людей. Поэтому еще на ранних этапах изучения ИГУ МПИ необходимо понимание динамики изменения ИГУ с целью предусмотрения предварительных защитных мероприятий.*

Ключевые слова: *инженерно-геологические условия; месторождения полезных ископаемых; динамика инженерно-геологических процессов.*

Введение. Инженерно-геологические условия (ИГУ) представляют собой целостную систему взаимосвязанных компонентов, определяющую сложность разработки месторождения, характер и масштабы изменений геологической среды под влиянием процессов горного производства [1].

Активное внедрение горного производства в верхние слои земной коры нарушает природное равновесие, сложившееся за миллионы лет, в результате чего возникает ряд изменений (процессов), имеющих геологическую природу (развитие экзогенных геологических процессов), которые осложняют технологию горного производства, угрожают жизни и здоровью людей, наносят вред окружающей среде [2].

Методика проведения исследования. Изучение закономерностей ИГУ, сформированных в геологическом времени, должно вестись последовательно, что по-

зволит установить их на этапе геологоразведочных работ и отследить динамику их изменения на этапе разработки месторождения с необходимой надежностью [3].

Последовательность изучения включает в себя три этапа (рис. 1):

первый – получение информации на стадии геологоразведочных работ;

второй – получение информации на стадии вскрытия;

третий – получение информации на стадии эксплуатации и рекультивации.

Результатом первого этапа изучения естественных закономерностей ИГУ и их взаимодействия с горными работами должна являться базовая инженерно-геологическая модель, которая на последующих этапах изучения будет основой для проведения расчетов конструктивных параметров карьеров и отвалов, изменения горного давления, а также крепления горных выработок [4].

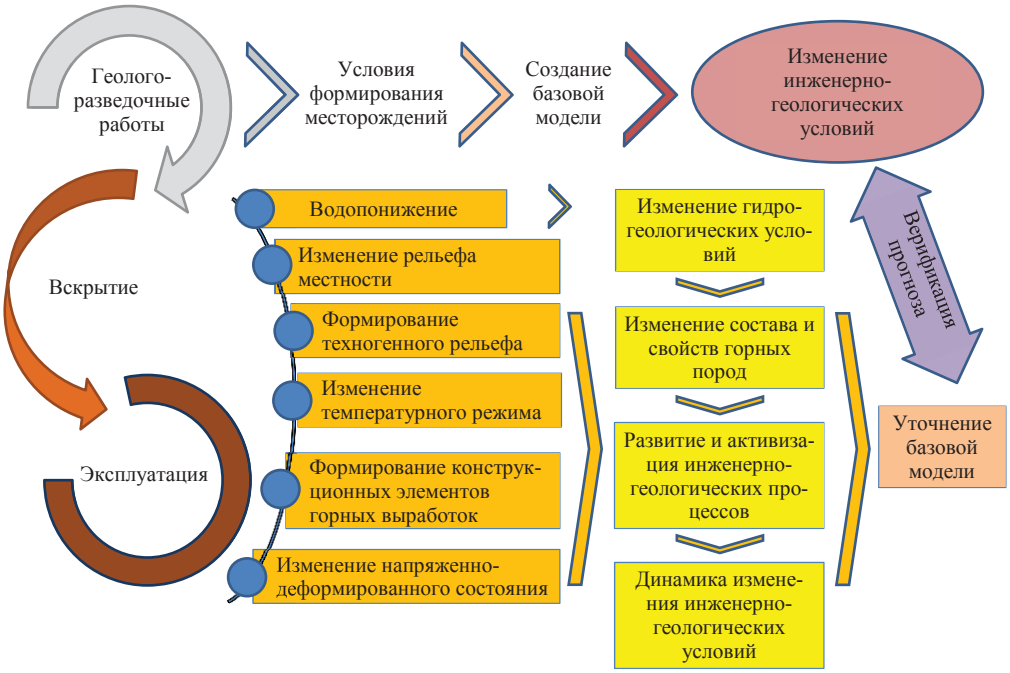

Рис. 1. Изменение инженерно-геологических условий на этапе изучения и развития
Fig. 1. Change in engineering and geological conditions at the stage of study and development

На втором и третьем этапах вскрытия и эксплуатации горных выработок необходимо проведение комплексного мониторинга с целью уточнения базовой модели ИГУ [5].

Повышение надежности геологического обоснования при решении ряда горно-геологических задач может стать вкладом инженерной геологии в разработку общей проблемы рационального использования недр и охраны геологической среды [6].

Техногенные воздействия при освоении МПИ проявляются в очень разнообразных формах, но из этого многообразия можно выделить три основные:

– формирование сфер влияния значительных размеров, что приводит к изменению естественного напряженного состояния огромных объемов горных пород;

– образование значительных площадей, вскрытых горными выработками пород, которые являются конструктивными элементами горных сооружений;

– воздействие на обнажившиеся массивы горных пород атмосферных осадков, температуры, взрывов, активизация процессов выветривания и т. д. [7].

Результаты. Рассмотрим динамику изменения инженерно-геологических условий на ряде объектов.

Месторождение хромитов Центральное (Полярный Урал). На этапе создания базовой инженерно-геологической модели месторождения (на стадии разведки) было установлено, что массив горных пород, вмещающий месторождение, сложен прочными и средней прочности дунитами и слаботрещиноватыми гарцбургитами. Породы относятся к категории морозных с температурами –1,5 °С…–2,0 °С. Гидрогеологические условия определяются наличием маломощного сезонно существующего горизонта надмерзлотных вод. Особенностью инженерно-геологических условий месторождения является наличие зон ослабления двух типов. Первый тип представлен системной трещиноватостью. Падение систем трещин совпадает с направлениями падения западного, юго-западного и северо-западного бортов карьера. Поверхности таких трещин покрыты корочками серпентинита, талька, кеммерретита. Поверхности трещин отличает низкое удельное сцепление, которое при водонасыщении падает до 0. Второй тип – это зоны раздробленных пород с блочностью от 2 до 5 см. Такие зоны приурочены к зонам тектонических нарушений [8].

Промышленная отработка запасов месторождения была начата в 2004 году и закончена в 2017 на глубине более 200 м. Еще в процессе открытой отработки в карьере начали формироваться инженерно-геологические процессы – обрушение блоков по плоскостям скольжения, по принципу опрокидывания и тектоническому клину.

К настоящему времени полностью завершена отработка запасов карьером, добыча ведется подземными горными выработками (штольнями) на более глубоких горизонтах. После окончания эксплуатации открытой горной выработки глубиной 200 м, площадью 0,5 км^2 была создана прибортовая зона шириной до 120 м, где увеличилась степень трещиноватости пород, формируются закольные трещины, идет активное погашение бортов карьера, в самом карьере инженерно-геологические процессы стали развиваться масштабно и затронули все борта (рис. 2).

Изменения геокриологических условий вокруг карьера проявлены в увеличении глубины сезонного слоя оттаивания: отметка с глубины 3,5 м увеличилась до 6,0 м за счет раскрытия трещин и образования новых. Строительство карьера привело к изменению естественного рельефа и образованию техногенных отвалов. В свою очередь, образовавшееся понижение в рельефе (карьер) привело к изменению гидрогеологических условий, а именно скоплению поверхностных и дренажных вод на дне карьера. Сложившаяся гидрогеологическая обстановка может оказывать существенное влияние на ИГУ залегающих под карьером подземных горных выработок.

Отработка месторождения Пуросан, расположенного на Южном Урале, проводится открытым способом. На стадиях разведки было установлено двухэтажное строение массива пород: нижний структурный этаж сложен эффузивными породами и их пирокластическими разностями – это альбитофиры кварцевые и фельзитовые, которые переслаиваются с диабазами, породы изменены процессами динамометаморфизма и гидротермальными процессами до состояния кварц-серицитовых и кварцево-хлорит-серицитовых сланцев, характеризуются разной степенью прочности – от средней до низкой, интенсивно трещиноваты и рассланцованы. В результате процессов выветривания сформировались древние элювиальные образования – суглинки, глины пестроцветные, перекрытые сверху глинистыми образованиями Светлинской свиты. Породы нижнего этажа интенсивно рассланцованы и трещиноваты.

Зоны рассланцевания и коры выветривания сформировали зоны ослабления, и – как результат – формирование значительных по масштабам оползневых подви-

жек, затронувших автомобильную дорогу и линию электропередач (рис. 3). Глубина карьера составляет 70–100 м, прибортовая зона, в которой формируются закольные трещины и развивается оползень, увеличила диаметр карьера на 50 м. Отвалы, размещенные непосредственно на борту карьера, также способствуют активизации оползневых подвижек.

Контуры развития инженерно-геологических процессов

Рис. 2. Естественный процесс погашения бортов карьера с активным развитием инженерно-геологических процессов
Fig. 2. The natural process of redeeming the sides of the quarry with the active development of engineering and geological processes

Таким образом, и здесь ярко выражена динамика ИГУ – изменение естественного и формирование техногенного рельефа, изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) пород, режима подземных вод, изменение состава, состояния и свойств пород и развитие инженерно-геологических процессов (ИГП).

Месторождения Кабан I, II, III, V, VII расположены в пределах Кабанской рудоносной полосы (Северный Урал). Их разработка была завершена в 1964 году. По проекту предусматривался комбинированный способ отработки месторождений Кабан V и I и подземный способ на Кабане II, причем на Кабане V и I предусматривалось строительство самостоятельных шахтных комплексов. Фактически строительство шахтного ствола не производилось. В результате в настоящее время существует разведочная шахта на месторождении Кабан II и комплекс подземных горных выработок, соединяющих между собой практически полностью отработанный комбинированным способом до глубины 90 м Кабан V и отработанный в настоящее время Кабан I.

В непосредственной близости от карьеров расположены отвалы, в которых в большом количестве отмечаются медноколчеданные некондиционные руды. По своему гипсометрическому положению карьеры являются приемником подземных, поверхностных и подотвальных вод. В современных условиях сложи-

лось динамическое равновесие между притоком воды в карьер и оттоком кислой (pH = 2–3) рудничной воды из него. Отток воды из карьеров происходит по трем логам в северо-восточном направлении. Здесь на всем протяжении потока разгружающихся карьерных вод практически уничтожена лесная растительность.

С инженерно-геологических позиций массив пород месторождений имеет двухэтажное строение: нижний этаж сложен прочными и средней прочности кварц-серицитовыми сланцами и альбитофирами, верхний – элювиальными образованиями. Элювиальные образования представлены суглинками, глинами с включениями сильновыветрелых обломков, над рудной зоной выделяется кварцевая и пиритная сыпучка и кавернозные полускальные бурые железняки.

Рис. 3. Формирование закольных трещин
Fig. 3. Formation of puncture cracks

На период 2011 года обследование карьера Кабан V показало развитие инженерно-геологических процессов. Активизация всех видов обрушений связана с поступающими в карьер поверхностными и подземными водами, а также современными процессами выветривания [9].

Выполненное инженерно-геологическое обследование карьера показало развитие инженерно-геологических процессов, причем деформации характерны для верхних уступов.

Основными видами деформаций являются [10]:

– оплывины, покровные оползни – поверхность скольжения имеет вид плавной кривой в нижней и средней частях, а вверху она заканчивается вертикальной трещиной отрыва; причиной возникновения таких оползней являются поверхностные воды, которые увеличивают водонасыщенность пород;

– промоины – формирование которых связано с эрозионной деятельностью поверхностных вод; отмечаются как единичные, так и целые системы параллельных промоин.

Анализ динамики изменения гидрогеологических и инженерно-геологических условий показал изменение химического состава воды за счет активного поступления подотвальных вод и процессов окисления в карьере, развитие инженерно-геологических процессов, увеличивающих размеры карьера, за счет процессов оползания, изменение состава почв, растительности.

Месторождение Дражное. Территория месторождения находится в пределах Оймяконского улуса республики Саха (Якутия). Рельеф низкогорный, пологоувалистый с абсолютными отметками от 740 до 1250 м. Месторождение расположено в зоне развития сплошной многолетней мерзлоты, мощностью более 300 м и температурами пород –6 °С…–9 °С. В геологическом строении месторождения выделяется два структурных этажа: верхний сложен дисперсными породами разной степени льдистости и льдом. Их сложное фациальное замещение как по глубине, так и по латерали, и невозможность их расчленения дали возможность назвать их «ледовым комплексом» [11]. Нижний ярус представлен алевролитами верхнего триаса, окварцованными, малопрочными, средней прочности и прочными, морозными.

Рис. 4. Формирование вывалов и осыпей в бортовых частях карьера Дражный
Fig. 4. Formation of dumps and screes in the side parts of the Drazhny quarry

Особенности строения нижнего структурного этажа имеют выраженные черты анизотропии и неоднородности, обусловленные степенью трещиноватости, раздробленности, рассланцевания пород, наличием неблагоприятно ориентированных зон и поверхностей ослабления, морфологией стенок трещин.

Структурно-тектоническое строение месторождения характеризуется как мозаичное, при котором структурно неоднородные области разделяются зонами смятия или участками повышенной трещиноватости и раздробленности. На фоне общего северо-западного простирания пород с моноклинальным залеганием выделяются участки крутозалегающего субмеридионального простирания, складчатости с ундулирующими шарнирами. Складчатое залегание нарушено крутопадающими хрупко-пластическими зонами и зонами ослабления. Сместители мелких трещин перемежаются с участками рассланцевания пород, перетертых до тонких тектонических глин, и сопровождаются зонками брекчирования и катаклаза мощностью от 0,5 до 1,0 м. Зоны рассланцевания часто приурочены к сводовым частям мелких антиклинальных складок, где алевролиты перетерты до глин.

Сложное геолого-структурное строение массива пород месторождения еще на этапе геологоразведочных работ указывало на необходимость его учета при выборе углов наклона бортов карьера. С 2014 года массив пород месторождения был вскрыт открытой горной выработкой, на сегодняшний момент глубина карьера составляет 100 м, занимаемая площадь – 0,7 км^2. На поверхности накоплены отвалы площадью 5,2 км^2, высотой до 40,0 м.

Обследование карьера в 2019 году показало динамику изменения ИГУ, которая выражается в интенсивном развитии значительных по объему осыпей, которые в верхней зоне карьера покрывают практически полностью предохранительные бермы; наличие системной трещиноватости, сопровождаемой зеркалами скольжения и совпадающей с падением бортов карьера, приводит к образованию вывалов (рис. 4), скольжению блоков, что делает работу горнотранспортного оборудования и людей небезопасной [12].

Вокруг карьера сформирована прибортовая зона шириной до 50 м, где изменено естественное напряженно-деформированное состояние пород и развиваются закольные трещины.

Раскрытие существующих трещин и формирование новых привело в весенне-летний период к изменению мерзлотно-гидрогеологической обстановки и накоплению поверхностных вод в карьере.

В накопленных отвальных массах происходит агрегация льда, что меняет физико-механические свойства пород и может способствовать деформациям отвалов.

Выводы. Таким образом, анализ инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых на этапах разведки-отработки показал, что в результате техногенного воздействия значительно изменяются инженерно-геологические условия, что выражается в изменениях абсолютных отметок рельефа, гидрогеологических условий, физико-механических свойств пород, степени и характера трещиноватости, глубины слоя сезонного оттаивания; увеличивается зона влияния карьерной выемки; происходит деградация и агрегация многолетнемерзлых пород; меняются геокриологические условия.

Реакция геологической среды не заставляет себя ждать и выражается в развитии масштабных инженерно-геологических процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абатурова И. В. и др. Проблемы получения геологической информации при проведении инженерно-геологических изысканий //13th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2017. 2017. С. 1–7. DOI: 10.3997/2214-4609.201700376

2. Наумов В. А. Концепция управления формированием месторождений на примере техногенных россыпей золота // Естественные и технические науки. 2010. № 2. С. 262–265.

3. Waltham T. Foundations of engineering geology. CRC Press, 2014. 780 p.

4. Шинкарюк В. А. Прогнозирование устойчивости горного массива в процессе проходки горных выработок // ГИАБ. 2013. № 4(1). С. 93–101.

5. Pisetsky V., Lapin S., Vlasov V. The problems and the results of practical application of seismic monitoring and risk assessment of hazardous processes in underground conditions //12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2016. P. 367–374. DOI: 10.3997/2214-4609.201600344

6. McLean A. C., Gribble C. D. Geology for civil engineers. Publication of: Allen (George) and Unwin. 2005. 348 p.

7. Mokhtari S. et al. Experimental study of sinkhole failure related to groundwater level drops // Journal of Testing and Evaluation. 2019. Vol. 48. No. 6. P. 48–49.

8. Звонарев Е. А. Стадийность изучения инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых с целью обеспечения безопасного проведения горных работ // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 3. С. 61–69. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-3-61-69

9. Bobrov D. V., Pisetskiy V. B., Tomin M. N. Geological and geophysical assessment of eluvial soils as the foundations of buildings and structures // Engineering and Mining Geophysics 2018. 2018. P. 1–7.

10. Bell F. G. Engineering geology and geotechnics. Elsevier, 2013. 504 p.

11. Калабин А. И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР // Труды ВНИИ-1. 1960. Т. 18. С. 18–27.

12. Нугманова Э. Д. и др. Анализ природных и техноприродных процессов на объектах транспортной инфраструктуры Тарынского хаба // Engineering and Mining Geophysics 2019 – 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019. Gelendzhik, 2019. P. 1–7.

Поступила в редакцию 26 мая 2020 года

Сведения об авторах:

Абатурова Ирина Валерьевна – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета. E-mail: gingeo@mail.ru
Савинцев Иван Андреевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета. E-mail: gingeo@mail.ru
Стороженко Любовь Александровна – кандидат геолого-минералогических наук, заведующая кафедрой защиты в чрезвычайных ситуациях Уральского государственного горного университета. E-mail: stor_luba@mail.ru
Нугманова Эльвина Дамировна – инженер-геолог «ГИНГЕО», аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета. E-mail: nugmanova_elvina@mail.ru
Козлов Владислав Сергеевич – инженер-геолог «ГИНГЕО», инженер кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Уральского государственного горного университета. E-mail: mr.vkla@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-83-91

Sequence of studying engineering and geological conditions of mineral deposits from exploration to development

Irina V. Abaturova[1], Ivan A. Savintsev[1], Liubov A. Storozhenko[1], Elvina D. Nugmanova[2], Vladislav S. Kozlov[2]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.
[2] Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology LLC, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. *The development of mineral deposits (MD) has a strong transformative effect on the geological environment. Actively change all the components of engineering-geological conditions (EGC), formed during the long geological time: the topography, structure of rocks, hydrogeological and permafrost conditions, are formed by geological processes and, at the same time on the surface of the Earth formed a new strata of man-made structures, and often man-made deposits. The scale of technogenesis in mining today is comparable to the results of geological activity that took place over many millions of years. Therefore, even at the early stages of studying the EGC MD, it is necessary to understand the dynamics of changes in the EGC in order to provide preliminary protective measures.*

Purpose of work. *Consideration of striking examples of the dynamics of the EGC MD (from exploration to development), in order to provide methods for managing these changes.*

Methodology. *The article considers the stages of obtaining engineering and geological information for the period of MD operation, which will solve the problems of rational use of the subsoil and protection of the geological environment.*

Results*. For example, the number of objects marked all the stages of learning to yoke the dynamics of their changes, which led to the formation of engineering-geological processes that adversely affect the further testing of MD.*

Summary*. The reaction of the geological environment in the development of MD is not long in coming and is expressed in the development of large-scale engineering and geological processes, which often do not allow further development of MD and threaten people's lives. Therefore, even at the early stages of studying the EGC MD, it is necessary to understand the dynamics of changes in the EGC in order to provide preliminary protective measures.*

Key words: *engineering-geological conditions; mineral deposits; dynamics of engineering-geological processes.*

REFERENCES

1. Abaturova I. V. et al. Problems of obtaining geological information during engineering and geological surveys. In: *13th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2017*. 2017. P. 1–7. (In Russ.)
2. Naumov V. A. The concept of managing the formation of deposits on the example of technogenic placers of gold. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Natural and Technical Sciences*. 2010; 2: 262–265. (In Russ.)
3. Waltham T. Foundations of engineering geology. CRC Press, 2014. 780 p.

4. Shinkaryuk V. A. Prediction of rock mass stability in the process of sinking mining. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2013; 4(1): 93–101. (In Russ.)

5. Pisetsky V., Lapin S., Vlasov V. The problems and the results of practical application of seismic monitoring and risk assessment of hazardous processes in underground conditions. In: *12th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2016*. 2016. P. 367–374.

6. McLean A. C., Gribble C. D. *Geology for civil engineers*. Allen (George) and Unwin Publishing; 2005. 348 p.

7. Mokhtari S. et al. Experimental Study of Sinkhole Failure Related to Groundwater Level Drops. *Journal of Testing and Evaluation*. 2019; 6: 48–49.

8. Zvonarev E. A. Step-by-step investigation of engineering and geological conditions of mineral deposits for safe mining. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 3: 61–69 (In Russ.)

9. Bobrov D. V., Pisetskiy V. B., Tomin M. N. Geological and geophysical assessment of eluvial soils as the foundations of buildings and structures. *Engineering and Mining Geophysics 2018*. 2018. P. 1–7.

10. Bell F. G. *Engineering geology and geotechnics*. Elsevier; 2013. 504 p.

11. Kalabin A. I. Permafrost and hydrogeology of the North-East of the USSR. *Transactions of VNII*. 1960; 18: P. 18–27. (In Russ.)

12. Nugmanova E. et al. Analysis of natural and techno-natural processes at the facilities of the transport infrastructure of the Taryn hub. In: *Engineering and Mining Geophysics 2019 – 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019*. Gelendzhik; 2019. P. 1–7. (In Russ.)

Received 26 May 2020

Information about authors:

Irina V. Abaturova – DSc (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Ural State Mining University. E-mail: gingeo@mail.ru
Ivan A. Savintsev – PhD (Geology and Mineralogy), associate professor of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Ural State Mining University. E-mail: gingeo@mail.ru
Liubov A. Storozhenko – PhD (Geology and Mineralogy), Head of the Department of Protection in Emergency Situations, Ural State Mining University. E-mail: stor_luba@mail.ru
Elvina D. Nugmanova – engineer-geologist of LLC "GINGEO", PhD student, Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Ural State Mining University. E-mail: nugmanova_elvina@mail.ru
Vladislav S. Kozlov – engineer geologist of LLC "GINGEO", engineer of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Ural State Mining University. E-mail: mr.vkla@mail.ru

Для цитирования: Абатурова И. В., Савинцев И. А., Стороженко Л. А., Нугманова Э. Д., Козлов В. С. Этапность изучения инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых от разведки до отработки // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 83–91. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-83-91
For citation: Abaturova I. V., Savintsev I. A., Storozhenko L. A., Nugmanova E. D., Kozlov V. S. Sequence of studying engineering and geological conditions of mineral deposits from exploration to development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 83–91 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-83-91

УДК 911.9 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-92-102

Результаты внедрения систем экологического и климатического менеджмента в уральской золотодобывающей отрасли (на примере АО «Золото Северного Урала»)

Петров Ю. В.[1]*, Чепуштанов Д. И.[1]
[1] Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия
e-mail: petrov19811201@gmail.com

Реферат

Введение. *В статье дана оценка результатам современного внедрения в золотодобывающей организации систем экологического и климатического менеджмента. Проведен SWOT-анализ и разработаны рекомендации по корректировке и уточнениям содержания основных управленческих направлений. В качестве информационной базы использованы только публичные информационные ресурсы и сведения, предоставленные организацией в ходе взаимодействия при реализации образовательной программы.*

Цель исследования. *Дать оценку внедрению систем экологического и климатического менеджмента в уральской золотодобывающей отрасли.*

Методология. *В работе проведены анализ и оценивание систем экологического и климатического менеджмента на основе использования инструментов SWOT-анализа и географической оценки пространственно-временных изменений. Систематизированы пространственные риски безопасного экологического развития организации с учетом ближайшего географического окружения.*

Результаты. *Разработан комплекс мероприятий по корректировке и изменениям основных управленческих решений систем экологического и климатического менеджмента уральской золотодобывающей организации.*

Выводы. *Дана удовлетворительная совокупная оценка результатам внедрения систем экологического и климатического менеджмента в организации; разработан комплекс мероприятий, который в целом может быть использован в региональной отрасли; сформулированы критические концептуальные замечания к содержанию текущих управленческих ключевых показателей эффективности.*

Ключевые слова: *система экоменеджмента; система климатического менеджмента; Воронцовское месторождение.*

Введение. Современная золотодобывающая отрасль представляет собой сочетание разнообразных видов промышленности, итоговым результатом деятельности которых выступает производство золота. Сама продукция имеет двойное экономическое назначение: потребности промышленного производства и медицины, спрос на ювелирные изделия и инвестиционный спрос [1]. Это отражается на всех видах деятельности, требованиях недропользователей и инвесторов, что определяет процесс освоения месторождения специфичным для конкретного объекта [2]. Системная стабильность в функционировании предприятий отрасли – вопрос государственной экономической безопасности, поэтому мировой рынок золота, в силу своей значимости, сохранил высокую степень секретности [3]. Географические характеристики месторождений золота (местоположение, запасы, категории и т. п.) закрыты для экологической общественности. С другой стороны, отрасль в 2020 г. является экспортно-ориентированной, доходы России от экспорта золота впервые превысили выручку от газа (*URL: https://www.rbc.ru/business/14/07/2020/5f0c193a9a7947421ec3859d*), что обязывает быть открытой, в том числе, в части экологической отчетности. Поэтому внедрение

экологического менеджмента у основных игроков – это не просто дань моде, это конъюнктурная необходимость.

Наряду с активизацией инструментария экоменеджмента инвестиционно-значимой стала и институционализация климатического управления (*Распоряжение Правительства РФ от 25.12.2019 № 3183-р «Об утверждении национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года»; ГОСТ Р ИСО 14090-2019 «Адаптация к изменениям климата. Принципы, требования и руководящие указания»*). Вероятно, можно согласиться с некоторыми исследователями, что тематика «переГрета» (*Александр Чернокульский. Через 50 лет борьба за климат обойдется дороже. URL: https://trends.rbc.ru/trends/green/5e7dbde09a7947b827f4d14e*), но в уральском регионе (в рамках данного исследования границы уральского региона принимаем равными границам Уральского федерального округа) экологические и климатические риски

Рис. 1. Местоположение Воронцовского месторождения золота (по материалам: Годовой отчет ОАО «МПО Полиметалл». 2018. 210 с.)
Fig. 1. Location of the Vorontsovskoye gold deposit (based on the materials of the Annual Report 2018 of JSC MPO POLYMETAL)

(ЭР и КР) являются мейнстримом стратегической повестки территориальных общностей людей [4]. Здесь резонансные актуальные примеры присутствуют в каждом регионе: протесты ханты и ненцев в автономных округах Тюменской области [5], Екатеринбурга и Тюмени – вокруг застройки скверов [6], дискуссия вокруг возобновления переброски стока рек Тюменской области на экспорт [7], социально-экологический конфликт в Далматовском районе Курганской области [8], «Стоп ГОК» в Челябинской области [9].

Таким образом, мы имеем, с одной стороны, привлекательную отрасль, которая в условиях «корономики» демонстрирует уверенный рост [10]. С другой стороны, ни европейские потребители, ни местные стейк-холдеры не готовы снижать экологические требования взамен экономической привлекательности. Первые (в силу рисков быть осужденными своими территориальными общностями людей) воздействуют через рыночные механизмы экологических заграждений. Вторые – через ужесточение региональных и местных экологических требований [11–19].

В этих условиях результаты оценки промежуточных итогов внедрения экоменеджмента и климатического менеджмента ведущей организацией отрасли в ре-

гионе позволяют выделить слабые стороны и наметить практические шаги. Фиксация ситуации в последующем позволит развивать ретроспективный анализ.

Цель исследования – дать оценку внедрению систем экологического и климатического менеджмента в уральской золотодобывающей отрасли.

Методика проведения исследований: оценка результатов внедрения систем экологического и климатического менеджмента [20] на золотодобывающем предприятии на основе SWOT-анализа планируемых и достигнутых показателей.

Рис. 2. Производственная инфраструктура на Воронцовском месторождении золота в 2009 г.
Fig. 2. Production infrastructure at the Vorontsovskoye gold deposit in 2009

Объект исследования – системы экологического и климатического менеджмента в АО «Золото Северного Урала» на предмет их соответствия современным социально-экономическим реалиям. Руководство по системе экологического менеджмента принято корпоративным приказом от 30.06.2017; стандарты системы климатического менеджмента «Управление выбросами парниковых газов», «Управление углеродным следом продукции», «Управление климатическими рисками» – приказом от 09.08.2019. Информационная база исследования: общедоступные корпоративные материалы в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», предоставленные организацией уточняющие сведения в рамках образовательного взаимодействия с ФГАОУ «Тюменский государственный университет», публичные сведения органов государственной исполнительной власти и научного сообщества по объекту исследования. Авторы придерживались принципа анализа только опубликованных официальных документов, заключений, мнений и суждений.

Основным объектом природопользования организации является Воронцовское месторождение золота, открытое в 1985 г. (*Годовой отчет ОАО «МПО Полиметалл». 2018. 210 с.*). Оно входит в крупный Ауэрбаховский рудный узел, включающий целую серию средних и мелких медно-железоскарновых, золоторудных и других объектов. Рудный узел сформирован двумя рудно-магматическими системами: Воронцовско-Песчанской и Турьинской [21]. С первой системой связано образование преимущественно железоскарновых и золоторудных

объектов, а со второй – серия медных месторождений, отрабатываемых с середины XVIII в. Турьинскими рудниками [22]. Данное месторождение является минералогическим объектом мирового уровня [22] за счет широкого распространения минералов таллия, включая впервые открытые здесь воронцовит и ферроворонцовит [23], цыганкоит [24], гладковскиит [25]. Месторождение находится в Свердловской области в 370 км (*Годовой отчет ОАО «МПО Полиметалл». 2018. 210 с.*) от областного центра (рис. 1).

Рис. 3. Производственная инфраструктура на Воронцовском месторождении золота в 2012 г.
Fig. 3. Production infrastructure at the Vorontsovskoye gold deposit in 2012

Результаты и их обсуждение. Любое управленческое решение осуществляется в пространстве (геотория в определенный момент времени [26]), которое имеет исходные экологические и климатические характеристики, тенденции. Регион относится к неблагополучным в экологическом отношении территориям страны (Свердловская область по итогам 2018 г. в экологическом рейтинге субъектов РФ ООО «Зеленый патруль» заняла последнее место, весной 2020 г. – 83-е из 85. *URL: https://greenpatrol.ru/ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga/ekologicheskiy-reyting-subektov-rf?tid=395*) [27], что накладывает дополнительные общественные ожидания на природопользователей.

Антропогенная нагрузка является локальной, что визуально подтверждается материалами дистанционного зондирования Земли (рис. 2, 3, 4). Как видно из материалов 2019 г. (рис. 4), транспортная инфраструктура уже претерпела значительные изменения с 2012 г., что свидетельствует о зрелости в разработке месторождения. С другой стороны, видны следы активного лесопользования в прилегающем лесном массиве западнее объекта (рис. 3, 4), что может ухудшать фоновые экологические и климатические характеристики этой территориальной общественной системы (ТОС) [28]. В документации организации не ведется интегрированного учета данного фактора, отчетности природоохранных организаций, менеджмента территории, что можно расценивать в качестве угроз.

Еще одним сопутствующим фактором является присутствие магистральных путепроводов. Статичное положение путепроводных линий свидетельствует об отсутствии здесь строительства, но само местоположение рядом с объектами

приводит к нагрузке на ассимиляционный потенциал окружающей среды (АПОС) [29]. В непосредственной близости также находится аграрное производство, но его воздействие имеет длительную историю и является элементом, ранее учтенным в оценках состояния окружающей среды (ОС).

Рис. 4. Производственная инфраструктура на Воронцовском месторождении золота в 2019 г.
Fig. 4. Production infrastructure at the Vorontsovskoye gold deposit in 2019

Транспарентность организации с точки зрения предоставления отчетности по материалам экологического и климатического менеджмента оцениваем высоко. С учетом специфики деятельности предприятия открытость является высокой. Такой подход может быть применен на всех объектах российской золотодобывающей отрасли.

Таблица 1. Внешние и внутренние факторы системы экологического менеджмента
Table 1. External and internal factors of the environmental management system

Факторы	Условия
Экологические условия	Исходное качество компонентов окружающей среды, вечная мерзлота, особенности рельефа и другие
Внешние обстоятельства	Законы, международные стандарты, отраслевые практики и другие
Корпоративные характеристики	Экологическая политика, управление рисками и устойчивым развитием

В рамках системы экологического менеджмента компания систематизировала внешние и внутренние факторы (табл. 1), которые определяют системные управленческие решения. Необходимо отметить, что выделены 3 фактора, которые в целом отражают взаимодействие организации с окружением, но сами их условия детализированы не в полной мере. Условия описаны без детализации внутри данного соответствия, которое возможно было соотнести с природными компонентами данной территориальной общественной системы: территориальная общность

людей, сложившаяся система природопользования, комплексная характеристика (ландшафтное планирование [30]), компонентная характеристика.

Внешние обстоятельства оставляют необходимость учитывать возникновение новых элементов. С другой стороны, возникает неопределенность, которая зависит от управленческого поведения субъекта. Здесь можно было бы рекомендовать выделение следующих условий: нормативные правовые акты (международные, федеральные, региональные, муниципальные, отраслевые и корпоративные) и

Таблица 2. Критерии для оценки результативности системы экологического менеджмента

Table 2. Criteria for assessing the effectiveness of the environmental management system

Критерии	Расчет критерия
Степень выполнения мероприятий управляющей компании в области экологии	Количество выполненных мер / общее количество мероприятий в программе экологического менеджмента
Уровень соответствия эмиссий (выбросов, сбросов) установленным нормам	Объем выбросов, соответствующий нормам / общий объем выбросов по нормативам
Уровень соответствия эмиссий (отходов) установленным лимитам	Объем выбросов, соответствующий нормам / общий объем отходов по лимитам
Показатель рационального использования природных ресурсов (повторное использование воды)	Фактическое повторное использование воды / плановые показатели
Степень выполнения программ экологического контроля (количество проб обобщенно по всем средам)	План / факт

территориальные общественные институты социально-духовной инфраструктуры [31]. Примерами последних могут служить общественные договоренности с социальными группами населения, учет специфики местного природопользования, сформировавшихся добрососедских отношений, культурных и духовных приоритетов.

Таблица 3. Критерии SWOT-анализа экологического и климатического менеджмента на предприятии

Table 3. Criteria for SWOT analysis of environmental and climate management at the enterprise

Сильные стороны	Слабые стороны	Возможности	Угрозы
Выполнение программ экологического контроля	Наличие высоких рисков при осуществлении поисково-добывающих работ	Продление срока эксплуатации месторождения	Деградация прилегающих ландшафтов
Удовлетворительное состояние окружающей среды	Образование неперерабатываемого сухого остатка после добычи руды, например отвалов вскрышных пород	Открытие новых рудных месторождений	Ухудшение состояния окружающей среды
Соответствие выбросов/сбросов нормам	–	Внедрение инновационных технологий в производство	Истощение ресурсной базы предприятия

Оценка результативности системы экологического менеджмента проводится по установленным корпоративным критериям (табл. 2). В целом, структура отчетности могла бы быть дополнена реквизитами методик измерения каждого критерия и заданными целевыми значениями (KPI). В результате внедряется

классический инструмент управления как совокупности планирования, организации, мотивации и контроля [32].

Система климатического менеджмента на предприятии позволяет отслеживать показательность, эффективность, а также прогресс в сокращении выбросов парниковых газов, непрерывного уменьшения углеродного следа продукции, безболезненно адаптироваться к изменениям климата и построить эффективную коммуникацию с заинтересованными сторонами. Несмотря на короткий срок внедрения системы, уже сегодня возможно выделить сильные позиции от данного решения, а также наметить перспективные направления. В табл. 3 представлены совмещенные результаты SWOT-анализа.

Таблица 4. Рекомендуемый комплекс корректирующих мероприятий
Table 4. Recommended set of corrective measures

Слабые стороны	Мероприятие	Результат	Угрозы	Мероприятие	Результат
Наличие высоких рисков при осуществлении поисково-добывающих работ	Открытое геоинформационное регламентирование деятельности [33]	Системное распределение обязанностей по страхованию ЭР и КР между всеми факторами	Деградация урочищ	Планирование мероприятий по реабилитации урочищ	Культурный ландшафт [30]
Образование неперерабатываемого сухого остатка после добычи руды	Проведение научно-исследовательских работ (НИР) по использованию данного вида «ресурса»	Культурный ландшафт	Ухудшение состояния ОС	Согласование с другими акторами использования АПОС	Природопользование в рамках АПОС данной ТОС
			Истощение ресурсной базы предприятия	Проведение НИР по внедрению новых технологий	Система управления на основе наилучших доступных технологий (НДТ) [34]

Выводы и заключение. По результатам оценки предлагаем следующие направления по выявленным слабым сторонам и угрозам (табл. 4). Внедрение согласуется с долгосрочной политикой организации, может быть перенято другими региональными игроками в отрасли, в том числе для повышения инвестиционной привлекательности. В целом, результаты современного внедрения систем экологического и климатического менеджмента на предприятии золотодобывающей отрасли можно оценить удовлетворительно. Системы являются работающими, требуют постоянной корректировки и уточнений с учетом новых вводных от окружения, отрасли и нормативного правового поля.

В целом, необходимо отметить, что, несмотря на специфику открытости информации в золотодобывающей отрасли, внедрение систем экологического и климатического менеджмента эффективно при учете региональных и местных особенностей, регулярной корректировке планируемых результатов. Достичь оперативных результатов в данном направлении сложно, но само наличие системности позволяет существенно страховать отраслевые и региональные риски.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Збарская Д. Г. Анализ источников формирования спроса на рынке золота // Современные научные исследования и разработки. 2018. Т. 2. № 11. С. 271–273.

2. Заернюк В. М. О некоторых проблемах развития золотодобывающей отрасли России // Вестник Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева: гуманитарные и социально-экономические исследования. 2018. Т. 2. № IX. С. 43–50.

3. Ниязбекова Ш. У., Буневич К. Г. Мировой рынок золота: особенности, добыча, перспективы // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2017. № 4. С. 50–55.

4. Балина Т. А., Пономарева З. В. Социально-экономическое районирование как инструмент изучения территориальной общности людей // Современное общество: вопросы теории, методологии, методы социальных исследований. 2018. Т. 1. С. 23–29.

5. Ефимова Н. И. Настоящее народа ханты. Актуальные современные проблемы // Моя профессиональная карьера. 2020. Т. 2. № 9. С. 7–16.

6. Петрова Р. И. Политизация городских конфликтов в современной России: участники, повестка, тактическое взаимодействие // Вестник Пермского университета. Политология. 2017. № 3. С. 122–136.

7. Щербаков Г. А. Изменения климата и векторы развития Севера России в XXI веке // Водные ресурсы – основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в XXI веке. Тюмень: ТИУ, 2019. С. 527–533.

8. Ерёмин С. А., Мамонтов Ю. И. Экологические проблемы Курганской области // Водные ресурсы – основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в XXI веке. Тюмень: ТИУ, 2019. С. 352–357.

9. Шаматонова Г. Л., Майоров В. О. Экологические протесты как форма проявления гражданской активности // Социальные и гуманитарные знания. 2019. Т. 5. № 3. С. 200–207.

10. Козлов С. Д. Золото как эффективный инструмент инвестирования и защиты сбережений граждан, домохозяйств и малого бизнеса в условиях экономического и социально-политического кризиса // Вестник института мировых цивилизаций. 2020. Т. 11. № 2. С. 88–95.

11. Цховребов Э. С. Ресурсосбережение: основные этапы становления, теории и методы, тенденции и перспективы развития в промышленности и строительной индустрии России // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 112–158.

12. Elgizawy S. M., El-Haggar S. M., Nassar K. Slum development using zero waste concepts: construction waste case study // Procedia Engineering. 2016. Vol. 145. P. 1306–1313. DOI: 10.1016/j. proeng.2016.04.168

13. Hart J., Adams K., Giesekam J., Tingley D. D., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment // Procedia CIRP. 2019. Vol. 80. P. 619–624. DOI: 10.1016/j. procir.2018.12.015

14. Kurdve M. Digital assembly instruction system design with green lean perspective. Case study from building module industry // Procedia CIRP. 2017. Vol. 72. P. 762–767. DOI: 10.1016/ j. procir.2018.03.118

15. Zhao Ya., Xiao G., Zhou Ji., Wu Ch. International comparison of the patterns in urban transition towards greening // Procedia Engineering. 2017. Vol. 198. P. 770–780. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.128

16. Velichko E., Tskhovrebov E. Insights into the state of affairs and possible ways to improve secondary material waste management // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 196. P. 04066. DOI: 10.1051/matecconf/201819604066

17. Buts U. Theory and methods of resource saving management in agricultural production. Saarbrecken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 201 p.

18. Lähde E., Di Marino M. Multidisciplinary collaboration and understanding of green infrastructure Results from the cities of Tampere, Vantaa and Jyväskylä (Finland) // Urban Forestry & Urban Greening. 2019. Vol. 40. P. 63–72. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.03.012

19. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of Buildings and the Built Environment // Life Cycle Assessment. 2018. P. 695–722. DOI: 10.1007/978-3-319- 56475-3_28

20. Темирбулатов А. М. Методы оценки экологического менеджмента на промышленном предприятии // Вопросы структуризации экономики. 2006. № 4. С. 71–74.

21. Минина О. В. Ауэрбаховская комплексная рудно-магматическая система на Среднем Урале // Отечественная геология. 1994. № 7. С. 17–23.

22. Степанов С. Ю., Паламарчук Р. С., Черепанов А. В., Проскурнин В. Ф. Геолого-генетический тип Воронцовского месторождения золота (Северный Урал) // Уральская минералогическая школа. 2019. № 25. С. 163–168.

23. Kasatkin A. V., Nestola F., Agakhanov A. A., Skoda R., Karpenko V. Yu., Tsyganko M. V., Plasil J. Vorontsovite, (Hg5Cu)Σ6TlAs4S12, and Ferrovorontsovite, (Fe5Cu)Σ6TlAs4S12: The Tl- and Tl-Fe-Analogues of Galkhaite from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia // Minerals. 2018. Vol. 8. No. 5. P. 185.

24. Kasatkin A. V., Makovicky E., Plasil J., Skoda R., Agakhanov A. A., Karpenko V. Yu., Nestola F., Tsygankoite, Mn8Tl8Hg2(Sb21Pb2Tl)Σ24S48, a New Sulfosalt from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia // Minerals. 2018. Vol. 8, No. 5. P. 218.

25. Kasatkin A. V., Plášil J., Makovicky E., Škoda R., Agakhanov A. A., Stepanov S. Y. and Nestola F. Gladkovskyite, IMA 2018-098. CNMNC Newsletter. No. 46, December 2018 // European Journal of Mineralogy. 2018. Vol. 30. P. 1181–1189.

26. Алаев Э. Б. Социально-экономическая география. Понятийно-терминологический словарь. М.: Мысль, 1983. 350 с.
27. Армидонова М. Е., Мухина О. И. Экологическая ситуация Свердловской области: проблемы экологии и пути их решения // Потенциал российской экономики и инновационные пути его реализации. Омск: Финуниверситет при Правительстве РФ, 2020. С. 114–118.
28. Шарыгин М. Д., Столбов В. А. Теоретико-методологические аспекты поиска законов и закономерностей в общественной географии // Географический вестник. 2020. № 1. С. 22–32.
29. Страхова Н. А., Чумак Е. В. Экономическое значение ассимиляционного потенциала окружающей среды застроенных территорий, проблемы его практической реализации // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4–2. С. 177–179.
30. Haaren K. Landschaftsplannung und Strategische Umweltpruefung. Hannover: SUP, 2000. 136 s.
31. Шарыгин М. Д. Основные проблемы экономической и социальной географии. Пермь: Пермский университет, 1997. 272 с.
32. Петров Ю. В. Экологический менеджмент г. Тюмени: современное состояние и перспективы // Вестник Тюменского государственного университета. 2007. № 3. С. 224–229.
33. Петров Ю. В. Пути разрешения проблем межмуниципального геоинформационного взаимодействия // Россия и ее регионы в полимасштабных интеграционно-дезинтеграционных процессах. Пермь: ПГНИУ, 2017. С. 407–410.
34. Иванов В. Б., Хвостов М. Ю. Инструменты обеспечения экологически устойчивого развития промышленного предприятия // Управление и экономика народного хозяйства России. Пенза: Пензенский госаграрный ун-т, 2020. С. 99–100.

Поступила в редакцию 10 августа 2020 года

Сведения об авторах:

Петров Юрий Владимирович – кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования Тюменского государственного университета. E-mail: petrov19811201@gmail.com
Чепуштанов Дмитрий Игоревич – студент кафедры геоэкологии и природопользования Тюменского государственного университета. E-mail: stud0000198117@study.utmn.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-92-102

The results of environmental and climate management systems implementation in the Ural gold mining industry (by the example of Gold of Northern Urals CJSC)

Yuri V. Petrov[1], Dmitry I. Chepushtanov[1]
[1] University of Tyumen, Tyumen, Russia.

Abstract
Introduction. *The article evaluates the results of modern implementation of environmental and climate management systems in a gold mining organization. A SWOT analysis was carried out and recommendations were developed for adjusting and clarifying the content of the main management areas. As an information base, only public information resources and information provided by the organization in the course of interaction during educational program implementation were used*
Research aim *is to assess the implementation of environmental and climate management systems in the Ural gold mining industry*
Methodology. *The paper analyzes and evaluates environmental and climate management systems based on the use of SWOT analysis tools and geographic assessment of spatial and temporal changes. The spatial risks of safe ecological development of the organization are systematized, taking into account the immediate geographical environment.*
Results*. A set of measures has been developed to correct and change the main management decisions of the environmental and climate management systems of the Ural gold mining organization.*
Conclusions*. A satisfactory cumulative assessment of the results of environmental and climate management systems implementation in the organization is given; a set of measures has been developed that, in general, can be used in the regional industry; critical conceptual comments were formulated on the content of the current management KPIs.*

Key words: *environmental management system; climate management system; Vorontsovskoye field.*

REFERENCES

1. Zbarskaia D. G. Analysis of the sources of demand in the gold market. *Sovremennye nauchnye issledovaniia i razrabotki = Modern research and development*. 2018; 2 (11): 271–273. (In Russ.)
2. Zaerniuk V. M. About some problems of development of the gold mining industry of Russia. *Vestnik Rossiiskogo khimiko-tekhnologicheskogo universiteta imeni D. I. Mendeleeva: gumanitarnye i sotsialno-*

ekonomicheskie issledovaniia = Bulletin of D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia: Humanitarian and Social-Economic Studies. 2018; 2 (IX): 43–50. (In Russ.)

3. Niiazbekova Sh. U., Bunevich K. G. The world gold market: features, production, prospects. *Nauchnyi vestnik: finansy, banki, investitsii = Scientific Bulletin: Finance, Banking, Investment*. 2017; 4: 50–55. (In Russ.)

4. Balina T. A., Ponomareva Z. V. Social-economic district as an instrument of studying territorial community of people. *Sovremennoe obshchestvo: voprosy teorii, metodologii, metody sotsialnykh issledovanii = Modern Society: Questions of Theory, Methodology, Methods of Social Research*. 2018; 1: 23–29. (In Russ.)

5. Efimova N. I. The present of the Khanty people. Topical modern problems. *Moia professionalnaia kariera = My Professional Career*. 2020; 2 (9): 7–16. (In Russ.)

6. Petrova R. I. Politicization of urban conflicts in modern Russia: participants, agenda, tactical interaction. *Vestnik Permskogo universiteta. Politologiia = Bulletin of Perm University. Political science*. 2017; 3: 122–136. (In Russ.)

7. Shcherbakov G. A. Climate change and vectors of development of the North of Russia in the 21st century. In: *Water resources – the basis for sustainable development of settlements in Siberia and the Arctic in the XXI century*. Tyumen: Publishing house TIU; 2019. p. 527–533. (In Russ.)

8. Eremin S. A., Mamontov Iu. I. Environmental problems of the Kurgan region. In: *Water resources – the basis for sustainable development of settlements in Siberia and the Arctic in the XXI century*. Tyumen: TIU Publishing House; 2019. p. 352–357. (In Russ.)

9. Shamatonova G. L., Maiorov V. O. Environmental protests as a form of manifestation of civil activity. *Sotsialnye i gumanitarnye znaniia = Social and Humanitarian Knowledge*. 2019; 5 (3): 200–207. (In Russ.)

10. Kozlov S. D. Gold as an effective tool for investing and protecting the savings of citizens, households and small businesses in an economic and socio-political crisis. *Vestnik instituta mirovykh tsivilizatsii = Bulletin of the Institute of World Civilizations*. 2020; 11 (2): 88–95. (In Russ.)

11. Tskhovrebov E. S. Resource-saving: main formation stages, theories and methods, tendencies and prospects of development in industry and construction of Russia. *Vestnik MGSU*. 2020; 15 (1): 112–158.

12. Elgizawy S. M., El-Haggar S. M., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*. 2016; 145: 1306–1313. DOI: 10.1016/j. proeng.2016.04.168

13. Hart J., Adams K., Giesekam J., Tingley D.D., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019; 80: 619–624. DOI: 10.1016/j. procir.2018.12.015

14. Kurdve M. Digital assembly instruction system design with green lean perspective. Case study from building module industry. *Procedia CIRP*. 2017; 72: 762–767. DOI: 10.1016/j. procir.2018.03.118

15. Zhao Ya., Xiao G., Zhou Ji., Wu Ch. International comparison of the patterns in urban transition towards greening. *Procedia Engineering*. 2017; 198: 770–780. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.128

16. Velichko E., Tskhovrebov E. Insights into the state of affairs and possible ways to improve secondary material waste management. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 196: 04066. DOI: 10.1051/ matecconf/201819604066

17. Buts U. *Theory and methods of resource saving management in agricultural production*. Saarbrecken: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2016. 201 p.

18. Lähde E., Di Marino M. Multidisciplinary collaboration and understanding of green infrastructure Results from the cities of Tampere, Vantaa and Jyväskylä (Finland). *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019; 40: 63–72. DOI: 10.1016/j. ufug.2018.03.012

19. Goldstein B., Rasmussen F. LCA of Buildings and the Built Environment. *Life Cycle Assessment*. 2018. Pp. 695–722. DOI: 10.1007/978-3-319- 56475-3_28

20. Temirbulatov A. M. Methods for assessing environmental management at an industrial enterprise. *Voprosy strukturizatsii ekonomiki = Questions of Economic Structuring*. 2006; 4: 71–74. (In Russ.)

21. Minina O. V. Auerbach complex ore-magmatic system in the Middle Urals. *Otechestvennaya geologiya = National Geol*ogy. 1994; 7: 17–23. (In Russ.)

22. Stepanov S. Iu., Palamarchuk R. S., Cherepanov A. V., Proskurnin V. F. Geological and genetic type of the Vorontsov gold deposit (Northern Urals). *Uralskaia mineralogicheskaia shkola = Ural Mineralogical School*. 2019; 25: 163–168.

23. Kasatkin A.V., Nestola F., Agakhanov A. A., Skoda R., Karpenko V. Yu., Tsyganko M. V., Plasil J. Vorontsovite, (Hg5Cu)Σ6TlAs4S12, and Ferrovorontsovite, (Fe5Cu)Σ6TlAs4S12: The Tl- and Tl-Fe-Analogues of Galkhaite from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia. *Minerals*. 2018; 8 (5): 185.

24. Kasatkin A. V., Makovicky E., Plasil J., Skoda R., Agakhanov A. A., Karpenko V. Yu., Nestola F., Tsygankoite, Mn8Tl8Hg2(Sb21Pb2Tl)Σ24S48, a New Sulfosalt from the Vorontsovskoe Gold Deposit, Northern Urals, Russia. *Minerals*. 2018; 8 (5): 218.

25. Kasatkin A. V., Plášil J., Makovicky E., Škoda R., Agakhanov A. A., Stepanov S. Y. and Nestola F. Gladkovskyite, IMA 2018-098. CNMNC Newsletter No. 46, December 2018. *European Journal of Mineralogy*. 2018; 30: 1181–1189.

26. Alaev E. B. *Socio-economic geography. Conceptual and terminological dictionary*. Moscow: Mysl Publishing; 1983. (In Russ.)

27. Armidonova M. E., Mukhina O. I. The ecological situation of the Sverdlovsk region: environmental problems and ways to solve them. In: *Potential of the Russian economy and innovative ways of its implementation*. Omsk: Financial University under RF Government Publishing; 2020. (In Russ.)

28. Sharygin M. D., Stolbov V. A. Theoretical and methodological aspects of the search for laws and regularities in social geography. *Geograficheskii vestnik = Geographic Bulletin*. 2020; 1: 22–32. (In Russ.)

29. Strakhova N. A., Chumak E. V. The economic significance of the assimilation potential of the environment of built-up areas, the problems of its practical implementation. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering Journal of Don*. 2012; 4–2: 177–179. (In Russ.)

30. Haaren K. *Landschaftsplannung und Strategische Umweltpruefung*. Hannover: SUP, 2000. 136 s.

31. Sharygin M. D. *The main problems of economic and social geography*. Perm: Perm University Publishing; 1997. (In Russ.)

32. Petrov Iu. V. Environmental management of Tyumen: current state and prospects. *Vestnik Tiumenskogo gosudarstvennogo universitet = Tyumen State University Herald*. 2007; 3: 224–229. (In Russ.)

33. Petrov Iu. V. Ways of resolving problems of inter-municipal geoinformation interaction. In: *Russia and its regions in multi-scale integration and disintegration processes*. Perm: PSNIU Publishing; 2017. p. 407–410. (In Russ.)

34. Ivanov V. B., Khvostov M. Iu. Tools for ensuring the environmentally sustainable development of an industrial enterprise. In: *Management and economics of the national economy of Russia*. Penza: Penza State Agrarian University Publishing; 2020. p. 99–100. (In Russ.)

Received 10 August 2020

Information about authors:

Yuri V. Petrov – PhD (Geography), associate professor of the Department of Geoecology and Environmental Management, University of Tyumen. E-mail: petrov19811201@gmail.com

Dmitry I. Chepushtanov – student, Department of Geoecology and Environmental Management, University of Tyumen. E-mail: stud0000198117@study.utmn.ru

Для цитирования: Петров Ю. В., Чепуштанов Д. И. Результаты внедрения систем экологического и климатического менеджмента в уральской золотодобывающей отрасли (на примере АО «Золото Северного Урала») // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 92–102. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-92-102

For citation: Petrov Iu. V., Chepushtanov D. I. The results of environmental and climate management systems implementation in the Ural gold mining industry (by the example of Gold of Northern Urals CJSC). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 92–102 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-92-102

УДК 622.23.05 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-103-109

Обеспечение надежной работы и эффективного сервиса проходческо-очистных комбайнов для добычи калийных руд

Шишлянников Д. И.[1]

[1] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия

e-mail: 4varjag@mail.ru

Реферат

Введение. *Рассмотрены вопросы, связанные с организацией технического сервиса проходческо-очистных комбайнов на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Указывается на перспективность внедрения системы обслуживания и ремонта горных комбайнов по фактическому техническому состоянию.*

Методология исследования. *Изложены методологические основы сбора и обработки информации по статистике отказов проходческо-очистных комбайнов «Урал» на рудниках Верхнекамского месторождения. Указывается, что использование бортовых систем мониторинга комбайнов, внедрение которых начато с 2013 года, позволило оперативно отслеживать и регистрировать информацию о режимах работы и причинах простоев данных выемочных машин.*

Результаты. *Показано, что наибольшее количество аварийных отказов проходческо-очистных комбайнов «Урал» обусловлено нарушением технологии ведения горных работ, а также несвоевременным или некачественно выполненным ремонтом. Наиболее часто выходят из строя поворотные и раздаточные редукторы планетарных исполнительных органов, редукторы бермовых органов и узлы гидравлических систем. Приведена структура ремонтного цикла комбайнов «Урал». Указывается, что зачастую даже сложные текущие и капитальные ремонты проходческо-очистных комбайнов выполняются силами горнорабочих, осуществляющих непосредственную эксплуатацию данных добычных машин.*

Выводы. *Накопление статистических данных об отказах и соответствующих им предельных значениях диагностических параметров проходческо-очистных комбайнов обусловливает возможность прогнозирования времени выхода оборудования из строя с высокой степенью вероятности. Прогноз величины остаточного ресурса будет тем точнее, чем более стандартизированы условия эксплуатации и ремонта добычных машин калийных рудников.*

Ключевые слова: *проходческо-очистной комбайн; эксплуатация; технический сервис; статистка отказов; калийный рудник.*

Введение. Для предприятий, осуществляющих разработку месторождений калийных руд подземным способом, актуальной остается задача обеспечения надежной и высокопроизводительной работы горнодобывающего оборудования. Решение данной задачи требует не только совершенствования конструкций и внедрения передовых технологий производства горных комбайнов, но и использования эффективных систем технического сервиса, предусматривающих применение средств диагностики и эксплуатационного контроля для оценки фактического состояния добычных машин [1, 2].

Целью данной работы является анализ основных тенденций в области повышения эффективности обслуживания и ремонта проходческо-очистных комбайнов, используемых на рудниках крупнейшего в Евразии Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВМКМС).

Методологические основы исследования. Отработка продуктивных пластов на рудниках Верхнекамского месторождения осуществляется с использованием камерной системы и механизированных комбайновых комплексов [3]. В составе таких комплексов в качестве добычных машин, как правило, применяются проходческо-очистные комбайны «Урал» производства АО «Копейский машиностроительный завод» (г. Копейск, Челябинская обл.). Данные комбайны являются наиболее адаптированными к условиям месторождения и поставляются на рудники ВМКМС уже более 40 лет [4, 5]. Столь продолжительный опыт использования проходческо-очистных комбайнов «Урал» позволил накопить сотрудникам инженерно-технических служб горных предприятий уникальную информацию о статистике отказов, а также разработать ряд технологических и организационных мер, направленных на повышение эффективности сервиса данных добычных машин [6]. Существенное облегчение задачи сбора и обработки информации о работе комбайнов «Урал» и их надежности обусловлено внедрением в 2013 г. модернизированной системы электрогидравлического управления и мониторинга параметров работы комбайнов производства ООО «МК «Ильма» (г. Томск) [7] (*ГОСТ 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 28 с.*).

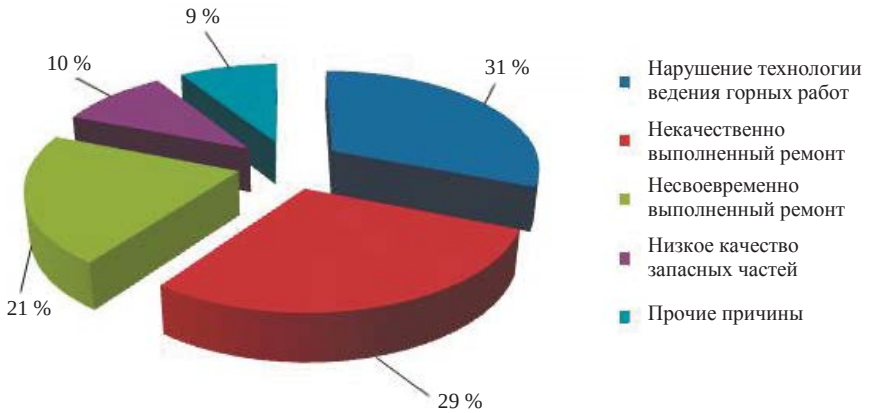

Рис. 1. Причины возникновения аварийных отказов комбайнов «Урал-20Р» на рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей за период с 01.01.2018 по 31.12.2018

Fig. 1. Reasons for emergency failures of Ural-20P mining machines in the mines of the Upper Kama potash salt deposits for the period from 01 January, 2018 to 31 December, 2018

Далее приведен анализ статистики аварийных отказов и особенностей системы технического обслуживания, принятой для проведения ремонтно-восстановительных работ на рудниках ВМКМС.

Результаты исследований. По данным сотрудников сервисных служб ПАО «Уралкалий» (г. Березники, Пермский край), за период с 01.01. по 31.12.2018 г. наибольшее количество аварийных отказов проходческо-очистных комбайнов «Урал» обусловлено нарушением технологии ведения горных работ – 31 %. Причиной 29 % отказов является некачественно выполненный ремонт. 21 % аварийных отказов происходит по причине невозможности своевременной замены узла, выработавшего свой ресурс, что говорит о неудовлетворительной работе служб снабжения. Низкое качество деталей, закупленных у сторонних поставщиков, обусловливает до 10 % отказов комбайнов «Урал» (рис. 1) [8].

Основными причинами выхода из строя механической части оборудования комбайнов «Урал» являются:

– работа неполным комплектом резцов или изношенным режущим инструментом;

– несоблюдение рекомендованного режима работы (скорость подачи, уровень загрузки электродвигателей);

– неправильная сборка или регулировка муфт, зубчатых зацеплений, подшипниковых узлов, скребковых, гусеничных цепей;

– нарушение герметичности уплотнений;

– несвоевременная или недоброкачественная смазка [8, 9].

Таблица 1. Аварийные отказы редукторов комбайнов «Урал-20Р»
Table 1. Emergency failures of reduction gears of Ural-20P mining machines

Наименование узла	Доля от общего числа аварийных отказов, %
Поворотный редуктор планетарно-дискового исполнительного органа	35,6
Редуктор раздаточный планетарно-дискового исполнительного органа	9,7
Редуктор переносного вращения планетарно-дискового исполнительного органа	1,9
Редуктор относительного вращения планетарно-дискового исполнительного органа	3,8
Редуктор отбойного устройства	2,9
Редуктор бермового исполнительного органа	14,6
Редуктор конвейера быстроходный	5,7
Редуктор конвейера тихоходный	14,5
Редуктор маслостанции	2,6
Редуктор гусеничного хода	8,7

Отсутствие эффективных приборов контроля скорости подачи комбайна на забой, устройств демпфирования динамических нагрузок является причиной значительной части аварийных отказов механической части комбайнов «Урал». Согласно статистике ПАО «Уралкалий», собранной для 57 проходческо-очистных комбайнов за период с 01.01. по 31.12.2018 г., наиболее часто выходят из строя поворотные и раздаточные редукторы планетарно-дисковых исполнительных органов, редукторы бермовых исполнительных органов, а также тихоходные редукторы скребковых конвейеров-перегружателей (табл. 1).

Электрическая часть обычно выходит из строя вследствие следующих причин:

– ухудшения изоляционных качеств проводов и обмоток из-за их отсыревания и загрязнения;

– ослабления и нарушения соединений в силовых цепях управления;

– повышенного нагрева вследствие работы с перегрузками;

– неудовлетворительного состояния контактных поверхностей;

– в результате механических повреждений.

Нарушения в работе гидравлической части чаще всего возникают из-за недостатка масла в корпусах гидромоторов и гидронасосов, повреждения гибких трубопроводов, нерегулярной чистки фильтров, отсутствия контроля давления, настройки клапанов на повышенное давления, вращения вала гидронасоса в противоположном направлении, несвоевременной заправки гидросистемы или заправки загрязненным маслом [8, 10, 11].

Завод-изготовитель рекомендует осуществлять сервис комбайнов «Урал» с использованием планово-предупредительной системы обслуживания и ремонтов

(ППР). Нормативными документами предусмотрено выполнение ежесменного и еженедельного технического обслуживания [6, 12].

Система ППР комбайна и связанного с ним комплекса (бункер-перегружатель, самоходный вагон) включает ремонтные осмотры РО раз в месяц, т. е. через 600 ч работы (длительность – трое суток), текущие $Т_1$, $Т_2$, $Т_3$ и капитальные К ремонты.

Ремонтный цикл $Р_ц$ = 12РО + 2Т1 + 2Т2 + Т3 + К.

Капитальный ремонт планируется через 7200 ч (1 год). Первый текущий ремонт производится через 1200 ч работы и продолжается 72 ч, второй – через 2400 ч (длительность – 111 ч), третий – через 3600 ч (длительность – 144 ч).

Ремонтный осмотр включает в себя весь комплекс работ ежесменного и ежесуточного осмотров, а также замену деталей с малой износостойкостью и долговечностью, уплотнений, смазки в подшипниковых узлах и редукторах, масла в гидросистеме, подтяжку всех болтовых соединений. Контролируется состояние зубчатых, и в особенности конических передач, подшипников, соединительных муфт и контрольно-измерительных приборов. Проверяют, а при необходимости настраивают и регулируют гидроаппаратуру. Качество и полноту проведенных работ определяют пробным запуском оборудования; после двух-трех суток работы перетягивают болты крепления и проверяют их контровку.

Текущие ремонты включают в себя все работы предыдущих видов обслуживания, а также плановую замену деталей с небольшим объемом работ по разборке, замену дефективных узлов годными, профилактический осмотр электродвигателей, ревизию станции и пультов управления. При текущем ремонте осматривают трансформаторы, проверяя состояние контактных зажимов, цепи заземления, сопротивление изоляции обмоток, отсутствие трещин и сколов на клеммных коробках. По окончании работы регулируют и налаживают оборудование под нагрузкой.

Капитальный ремонт предусматривает полную разборку оборудования, очистку деталей, составление дефектной ведомости, восстановление и замену дефектных деталей, сборку и регулировку узлов и машины в целом. Ремонт и последующая приемка машины производятся по заводским чертежам в соответствии с действующими техническими условиями. Все виды выполненных ремонтов с указанием характера неисправностей, причин неполадок и способов устранения фиксируются в формуляре машины. После капитального ремонта проводится обкатка.

Снижение затрат на ремонт и обслуживание проходческо-очистных комбайнов, уменьшение времени простоя и снижение количества аварийных отказов возможно посредством организации системы ТОиР по фактическому техническому состоянию добычной машины, что подразумевает широкое использование средств диагностики и контроля изменения параметров работы оборудования с целью своевременного обнаружения дефектов.

Реализация диагностических мероприятий обеспечивает:

– повышение технической готовности добычных машин;

– работу машин с оптимальной регулировкой, что позволяет снизить расход энергии и горюче-смазочных материалов;

– повышение безопасности работ посредством проведения своевременных технических обслуживаний и контроля узлов и агрегатов;

– увеличение ресурса работы оборудования посредством исключения необоснованных разборочных и сборочных операций, сопутствующих им режимов приработки [6, 13, 14] (*ГОСТ 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 28 с.*).

К недостаткам данной системы организации технического обслуживания и ремонта следует отнести высокую стоимость и сложность диагностического оборудования, необходимость формирования специальных служб на предприятии, значительные трудозатраты на проведение диагностических мероприятий. Кроме того, обоснование методик проведения диагностики и структуры используемого оборудования является сложной технической задачей, решение которой требует проведения значительного объема научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

На некоторых рудниках ВМКМС принята система технического обслуживания и ремонта, предусматривающая выполнение ремонтно-восстановительных работ силами машинистов и горнорабочих, осуществляющих их непосредственную эксплуатацию [8, 11, 12]. При этом, в абсолютном большинстве случаев, сотрудники сервисных служб и подрядных организаций не привлекаются к выполнению ремонтов. Указанный способ ремонта позволяет добычным предприятиям существенно снизить временные и материальные затраты на проведение технического обслуживания и текущего ремонта комбайнов (до 7 раз, по сравнению с привлечением подрядных сервисных организаций), но обусловливает возникновение затруднений при проведении ремонтов сложных гидравлических систем, систем электроники, автоматики и прочих узлов и систем, требующих проведения ремонта высококвалифицированным персоналом.

Выводы. Внедрение автоматизированных систем контроля параметров работы и диагностирования комбайновых комплексов значительно упростит работу инженерно-технических и ремонтных служб предприятия, позволит осуществлять ремонтно-восстановительные мероприятия по фактическому техническому состоянию комбайна, отказаться от затратной системы планово-предупредительных ремонтов. Накопление статистических данных об отказах и соответствующих им предельных значениях диагностических параметров обусловливает возможность прогнозирования времени выхода оборудования из строя с высокой степенью вероятности. Прогноз величины остаточного ресурса будет тем точнее, чем более стандартизированы условия эксплуатации и ремонта. Эффективный мониторинг технического состояния добычного оборудования, анализ данных о его надежности с использованием высокоточных прогнозных моделей обеспечивают равномерную и обоснованную загрузку ремонтного персонала, снижение эксплуатационных затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хазанович Г. Ш. Актуальные направления научных исследований горнопроходческого оборудования // Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 2. С. 41–45.

2. Сумканов А. И., Зотов В. В., Кубрин С. С. Разработка методики оценки состояния оборудования очистных комплексов горных предприятий // ГИАБ. 2012. № 10. С. 260–264.

3. Максимов А. Б. Повышение эффективности процесса резания калийного массива планетарно-дисковыми исполнительными органами проходческо-очистных комбайнов // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых: матер. X Всерос. конф. 2017. С. 378–381.

4. Семенов В. В., Мальчер М. А., Петров В. П., Морозов С. П. Проходческо-очистные комбайны «Урал» для добычи калийной руды и каменной соли // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 8. С. 17–21.

5. Суханов А. Е., Максимов А. Б. Обоснование рациональных параметров шнековых погрузочных органов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» // Транспорт. Взгляд в будущее: сб. науч. тр. Междунар. науч. семинара. 2018. С. 62–66.

6. Уголкин С. И., Петров В. П. Организация технического сервиса горно-шахтного оборудования производства ОАО «КМЗ» // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 8. С. 50–53.

7. Загвоздкин И. В., Лесов Г. П., Янович Д. М. Обеспечение безопасности и безаварийной работы комбайновых комплексов на рудниках ОАО «Уралкалий» // Безопасность труда в промышленности. 2013. № 9. С. 46–49.

8. Трифанов М. Г. Оценка нагруженности приводов проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р» для выбора технически обоснованных режимов работы в реальных условиях эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. Пермь, 2018. 163 с.

9. Трифанов Г. Д., Князев А. А., Чекмасов Н. В., Шишлянников Д. И. Исследование нагруженности и возможности прогнозирования энергоресурса приводов исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 2. С. 41–44.

10. Максимов А. Б. Обоснование параметров породоразрушающих исполнительных органов и погрузочного оборудования проходческо-очистных комбайнов «Урал-20Р»: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. Пермь, 2019. 182 с.

11. Lavrenko S. A., Shishljannikov D. I., Trifanov M. G. Selecting technically justified operating modes of «Ural» combines on the basis of an evaluation of their driver load under real operating conditions // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11th Conference of the Russian-German Raw Materials. 2018. P. 301–308.

12. Shishlyannikov D. I., Chekmasov N. V., Trifanov M. G., Ivanov S. L., Zvonarev I. E. Substantiation of the rational method to control the operating and technical-condition parameters of a heading-and-winning machine for potash mines // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2015. No. 44(3). P. 283–287.

13. Zhou Yaneng, Zhang Wu, Gamwo Isaac, Lin Jeen-Shang. Mechanical specific energy versus depth of cut in rock cutting and drilling // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2017. Vol. 100. P. 287–297.

14. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. P. 042132.

Поступила в редакцию 30 июня 2020 года

Сведения об авторах:

Шишлянников Дмитрий Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета. E-mail: 4varjag@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-103-109

Ensuring reliable operation and efficient service of heading and winning machines for potash ore extraction

Dmitrii I. Shishliannikov[1]
[1] Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia.

Abstract

Introduction. *The article considers the organization of heading and winning machines' maintenance in the mines of the Upper Kama potash salt deposit highlighting the potential of maintenance and repair according to the actual health of mining machines.*

Research methodology. *The methodological foundations are presented of collecting and processing the data on Ural heading and winning machines failure statistics in the Upper Kama potash salt deposit. It is indicated that monitoring systems implemented in mining machine since 2013 made it possible to quickly track and record data on operating modes and downtime causes.*

Results. *Research revealed that the greatest number of Ural heading and winning machines emergency failures is due to mining technology violation, as well as untimely or poor quality repairs. Breakdowns of swing and distributing reduction gears of planetary actuators, reduction gears of berm bodies and hydraulic systems units are most common. Ural mining machines' repair cycle is presented. Even complex current and overhauls of heading and winning machines are often carried out by miners who directly operate the machines.*

Summary. *Statistical data storage on failures and corresponding diagnostic parameters limit of heading and winning machines makes it possible to predict the time of equipment failure with a high degree of probability. The more standardized the potash mining machine operation and repair conditions are, the more accurate the remaining life forecast of the residual resource is.*

Key words: *heading and winning machine; operation; maintenance; failure statistics; potash mine.*

REFERENCES

1. Khazanovich G. Sh. Current trends in scientific research mining equipment. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2018; 2: 41–45. (In Russ.)

2. Sumkanov A. I., Zotov V. V., Kubrin S. S. Development of a methodology for assessing the state of equipment of treatment facilities of mining enterprises. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2012; 10: 260–264. (In Russ.)

3. Maksimov A. B. Improving the efficiency of the process of cutting the potash array by planetary-disk actuators of heading and winning machines. In: *Problems of hydrocarbon and ore mineral deposits development: proc. of the 5th All-Russian Conference*. 2017: 378–381. (In Russ.)

4. Semenov V. V., Malcher M. A., Petrov V. P., Morozov S. P. Ural heading and winning machines for potash ore and rock salt extraction. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2008; 8: 17–21. (In Russ.)

5. Sukhanov A. E., Maksimov A. B. Justification of the rational parameters of screw loading bodies of Ural-20R heading and winning machines. In: *Transport. Future Outlook: Proc. Internat. Scient. seminar*. 2018. p. 62–66. (In Russ.)

6. Ugolkin S. I., Petrov V. P. Organization of technical service of mining equipment manufactured by OJSC KMZ. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2008; 8: 50–53. (In Russ.)

7. Zagvozdkin I. V., Lesov G. P., Ianovich D. M. Ensuring the safety and trouble-free operation of combine complexes at the mines of OJSC Uralkali. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2013; 9: 46–49. (In Russ.)

8. Trifanov M. G. *Assessment of the loading of drives of the Ural-20R heading and winning machines for the selection of technically sound operating modes in real operating conditions: PhD in Engineering diss*. Perm; 2018. (In Russ.)

9. Trifanov G. D., Kniazev A. A., Chekmasov N. V., Shishliannikov D. I. Load research and forecasting resources lead executive combine "Ural-20P". *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2013; 2: 41–44. (In Russ.)

10. Maksimov A. B. *Justification of the parameters of rock-cutting executive bodies and loading equipment of Ural-20R heading and winning machines: PhD in Engineering diss*. Perm: 2019. (In Russ.)

11. Lavrenko S. A., Shishliannikov D. I., Trifanov M. G. Selecting technically justified operating modes of «Ural» combines on the basis of an evaluation of their driver load under real operating conditions. In: *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11th Conference of the Russian-German Raw Materials*. 2018. P. 301–308.

12. Shishliannikov D. I., Chekmasov N. V., Trifanov M. G., Ivanov S. L., Zvonarev I. E. Substantiation of the rational method to control the operating and technical-condition parameters of a heading-and-winning machine for potash mines. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2015; 44(3): 283–287.

13. Zhou Yaneng, Zhang Wu, Gamwo Isaac, Lin Jeen-Shang. Mechanical specific energy versus depth of cut in rock cutting and drilling. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2017; 100: 287–297.

14. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A., Le T. B. Justification of process of loading coal onto face conveyors by auger heads of shearer-loader machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. P. 042132.

Received 30 June 2020

Information about authors:

Dmitrii I. Shishliannikov – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Mining Electromechanics, Perm National Research Polytechnic University. E-mail: 4varjag@mail.ru

Для цитирования: Шишлянников Д. И. Обеспечение надежной работы и эффективного сервиса проходческо-очистных комбайнов для добычи калийных руд // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 103–109. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-103-109

For citation: Shishliannikov D. I. Ensuring reliable operation and efficient service of heading and winning machines for potash ore extraction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 103–109 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-103-109

УДК 63.3(470.5) DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-110-119

Поиски серебряной руды на Южном Урале

Курлаев Е. А.[1]
[1] Институт истории и археологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: kurlaev@e1.ru

Реферат

Введение. *В отечественной историографии начало промышленного освоения Южного Урала связывают со строительством здесь первых металлургических заводов в 1740-х гг. Историки обращали внимание на геологоразведочные работы на Урале в XVII в., но не имели представления о районах изысканий. С помощью историко-археологического поиска на окраине южноуральского г. Златоуста удалось обнаружить следы горных работ крупнейшей в российской истории геологоразведочной экспедиции, направленной на поиски серебряной руды еще в 1669–1673 гг. Экспедиция в то время была крупным военизированным автономным соединением (полком) под командованием воевод. Большое число участников объяснялось необходимостью многочисленной рабочей силы и охраны для защиты от враждебных кочевников.*

Цель работы *– введение в профессиональный научный оборот уникальных открытий по истории горного дела.*

Методология. *При анализе исторического материала формировались методы натурного поиска и исследования по документам остатков старинных горнопроходческих работ.*

Результаты. *В статье восстановлена последовательность событий, установлены районы и этапы геологоразведочных и горных работ экспедиции. Определены организационная структура, численность, цели и результаты работы крупнейшей в российской истории геологоразведочной экспедиции. Выявленные следы горных работ – уникальный памятник истории горного дела XVII в.*

Ключевые слова: *Южный Урал; история горного дела; поиски серебра; XVII век.*

Традиционно первые шаги в промышленном освоении Южного Урала связывают со строительством здесь первых металлургических заводов в 1740-х гг. Подавление башкирских выступлений и строительство новой линии укреплений, включающей Челябинскую и Чебаркульскую крепости, позволили начать интенсивное освоение и заселение богатого полезными ископаемыми края. Выявление районов поиска крупнейших геологоразведочных экспедиций под руководством П. И. Годунова, М. П. Селина и Я. Т. Хитрово позволяет утверждать, что планирование строительства и создание условий для строительства началось еще в XVII в., задолго до появления здесь оседлого русского населения.

Историки не смогли определить район работ, где проходили поиски. Здесь требовались навыки работы с первоисточниками и опыт археологических разведок [1–3]. В результате пятнадцатилетнего историко-археологического поиска удалось установить, что в период 1669–1674 гг. в верховьях р. Ай в черте современного г. Златоуста, а также в других районах Урала и Сибири проводили поиск серебра крупнейшие в дореволюционный период геологоразведочные экспедиции (до 3000 участников единовременно), комплектуемые и направляемые из Тобольска и Москвы. В их организации были задействованы практически все приказы.

В процессе поиска следов горных работ отрабатывалась новаторская методология полевой и кабинетной работы на памятниках исторического периода, включающая поиск остатков по документам и раскопки. Многие ключевые методы,

применяемые в доисторической археологии, перестают работать при использовании письменных источников. Эта методология является основой нового научного направления «промышленная археология» и адаптирована нами к отечественной системе научной специализации [4]. В Великобритании, где появилось словосочетание «Industrial archaeology», иной подход. Там это понятие подразумевает особую область, занимающуюся исследованием и сохранением как разрушенных, так и не разрушенных объектов. Она отличается от нашего традиционного представления об археологии и охватывает только последние два столетия, а раскопки являются редким элементом исследований промышленных объектов [1, 2, 5–7].

Первое русское поселение на р. Исеть – Исетская пустынь (Далматовский Успенский монастырь) – появилось в 1644 г. Интенсивное заселение этого района началось с середины XVII в. В 1650 г. был построен Исетский острог, в 1655 г. – Катайский острог, ставшие основными укрепленными пунктами на Исетском рубеже. Под их прикрытием началось быстрое заселение рек Пышмы и Исети с притоками и хозяйственное освоение плодородных земель Южного Зауралья. В это же время жители пограничных слобод освоили доходный промысел – раскопки могильных курганов. При находке драгоценных вещей особый интерес вызывали источники появления драгоценных металлов в могилах, в частности древние рудники.

Первые сведения о существовании серебряной и золотой руды в районах Южного Зауралья стали поступать в Сибирский приказ в 1660-х гг. Поиски драгоценной руды начались в горах, в верховьях рек Исети и Синары, по берегам Синарского озера. В 1661 г. приказчику Катайского острога стало известно от сылвенских татар о серебряной и медной рудах «вверх по Исете-реке в горах каменных» и «вверх Синары-реки в башкирцах». Ранее, по приказу казанского воеводы, из указанной этими татарами горы у р. Синары казанские стрельцы накопали 8 пудов руды. В марте 1668 г. медную и серебряную руду переслали в Москву с верхотурским стрельцом С. Борзуновым. Одно из таких известий о древних рудниках породило столь масштабные изыскательские работы, что их по праву можно считать крупнейшей в дореволюционной, а возможно, и в советской отечественной истории, геологоразведочной экспедицией.

12 апреля 1664 г. в Тобольске старец Макарий из Исетского Долматовского монастыря сообщил боярину и князю И. А. Хилкову на старцев Лота и Никона «слово и дело». По его словам, годом ранее старцы Лот и Никон силой брали из монастыря оружие и крестьян и ездили в неизвестные земли. Под пытками старец Лот признался в тайных поездках в не ведомые в то время русским степные и горные районы Южного Зауралья. Грамота с признаниями старца была немедленно отправлена в Москву и в торжественной обстановке в Золотой палате зачитана перед царем Алексеем Михайловичем Романовым.

В ней говорилось, что в степях за рекою Исеть в старинных могилах находится бесчисленное множество золотых и серебряных вещей. Старец Лот расспрашивал об этих могилах у башкир, а одна столетняя женщина поведала ему историю о золоте и серебре, которые находят русские люди в татарских могилах, о пустом каменном городе с плавильными горнами на острове озера Иртяш и таинственной «Сибирской горе». Золото в могилах будто бы выплавили из руды, которую добывали сибирские татары и калмыки в той горе, находившейся в вершинах рек Уфы, Гадены (Гадая)? и Яика (совр. р. Урал). «... И домницы, и ямы в том месте есть... а езды от Катайского острогу – 11 дней. Около той горы, речки названием Тасмы (Тесьмы), устьями сошлись в Ай-реку, а длина той горы верст 7, поперек в версту, в вышину сажень на 200 и более (С помощью топографических карт и археологического поиска удалось установить, что в документе описан гор-

ный массив Малый Таганай, где на слиянии рек Малой и Большой Тесьм находилась «Сибирская гора» и сохранились следы горных работ XVII в.). На ту гору проложены дороги великие. Теми дорогами ездят многие башкирцы, этот камень берут и плавят золото и серебро. Ту руду они продают в Уфу русским людям по 13 рублей за пуд» (*Государственный архив Свердловской области (ГАСО) Ф. 129. Оп. 1. Д. 152. Л. 10–13 об.*).

Итогом доклада царю стали масштабные многолетние изыскания серебряной руды с участием иностранных специалистов. Поиски оказались настолько значительными, что нашли отражение в сибирских летописях [3]. Воспоминания о горных работах XVII в. отложились и в башкирском фольклоре. Документы о деятельности экспедиции оказались в различных архивах страны и архивных фондах. В научной литературе события того времени освещены довольно отрывочно [8–10]. На выявление и обработку архивных материалов и соотнесение этих данных с археологическими разведками у нас ушло более 20 лет. Опыт археологического поиска позволил найти и точное местонахождение горных работ [11–13]. Появление нового яркого материала о масштабном промышленном освоении Урала в допетровский период вызывает неослабевающий интерес среди современных историков [14–18].

Организация поисков серебряной руды, предпринятая вслед за известием старца Лота, распадается на несколько последовательных и взаимосвязанных эпизодов работы различных поисковых групп, направленных с 1668–1669 по 1674 г. не только на Урал, но и в Восточную Сибирь, на Алтай и в районы Центральной России. Все это время поиски велись практически непрерывно, затихая на зиму, когда замерзала земля и велись различные подготовительные работы. С 1672 г. общее руководство осуществлялось через Тайный приказ под личным контролем царя. Непосредственной организацией всем комплексом подготовительных и горных работ в различное время руководили тобольский воевода Петр Иванович Годунов, казачий атаман Михаил Селин, думный дворянин Яков Тимофеевич Хитрово с сыном стольником Венедиктом Яковлевичем Хитрово.

Всего в XVII в. в горные районы Зауралья было направлено не менее четырех взаимосвязанных между собой экспедиций. Экспедиции условно можно разделить на периоды в зависимости от районов и сезонности поиска, задач и масштабов горных работ. Экспедиции представляли собой крупные военизированные соединения – полки под командованием воевод. Большое количество охраны объяснялось необходимостью защиты от кочевников. В это же время проходила и известная крестьянская война под руководством С. Т. Разина.

В первый период мы включили поиски тобольского воеводы П. И. Годунова, организованные в 1668–1669 гг. местными властями г. Тобольска с целью доставки некоторого количества руды для пробы в Москву. Формирование полка для обеспечения поисков серебряной руды в это время происходило в Казани, куда из Москвы, Нижнего Новгорода и других городов Поволжья съезжались служилые люди, иностранные и русские мастера, свозилось оружие, боеприпасы, инструмент, строительные материалы, плавильные составы и прочие необходимые в длительном походе принадлежности. Полк был сборный, в него входили кавалерийские, пехотные и артиллерийские подразделения («Роспись, сколько в полк к стольнику и воеводам к Петру Годунову с товарыщи. Какова народу и пушечных запасов, и всякого полкового строения, и для заводу серебряного дела мастеровых людей, и всяких припасов с Москвы отпущено. И, что ис Казани отпустить велено. И, что хлебных запасов и вина и уксусу из Нижнего отпустить. И, что кому дать велено. И по скольку человек, и с которых понизовых городов для той службы стрельцов к отпуску в Казань выслать велено». *Ф. 1470. Оп. 1. Д. 195.*).

В подчинение П. И. Годунову назначались полковник рейтарского строя А. Чубаров, полковник солдатского строя Ундрик Снитеръ, голова московских стрельцов М. Нарышкин, полуголова В. Володимеров, полуполковник И. Микулин, сотники, трубачи, литаврщики. По разнарядке из «понизовых» городов Поволжья для службы в Казань посылали стрельцов: из Свияжска, Чебоксар, Козьмодемьянска, Цивильска, Ядрина, Уржума, Яранска, Царевосанчурска, Царевококшайска, Кокшайска – 742 чел. В самой Казани должны были собраться 444 «старого и нового выезду иноземца». Из Куртамыша, Алатыря, Темникова и Кадома – 173 стрельца, казака, пушкаря и затинщика. Из Москвы прибывали 200 московских стрельцов с двумя сотниками во главе и 1000 выборных стрельцов под управлением 10 сотников.

Полку придавалось солидное вооружение: 14 пищалей с 200 ядер к каждой, 1 «верховая пушка» (мортира), 1000 мушкетов, 330 пудов пороха, 250 пудов свинца, прочие военные припасы. Для горных и строительных работ отпускали 100 заступов, 40 кирок, 20 скобелей, 20 буравов, 20 напарей, по три тысячи «гвоздья пятного и иных шести статей», 1000 сальных свечей, 95 пудов железа, 1120 ведер вина и 24 ведра уксуса. Для серебряного дела 20 пудов меди, сорок пудов пеньки, двадцать юфтей кожи белых на мехи, по десять пудов глины и винного камня, писчую бумагу. Помимо многочисленного вооруженного сопровождения посылались мастера различных специальностей: каменщики, кирпичник, печник, плотники, сапожники, обручник, угольный мастер, серебряники, котельники, кузнецы, лекарь. Основной костяк специалистов составили: рудознатный мастер Христиан Дробыш, его ученик и помощник капитан солдатского строя Карлус Риман, мастера серебряного дела немцы Яган Инсберх и Яков Буд, слесарь Вулерт Картман и др. Всего около 2600 военных и более 50 мастеров различных специальностей должны были отправиться из Казани на Урал на поиски серебряной руды. Несколько сотен работников должны были присоединиться к ним на Урале.

Непосредственно о деятельности этой экспедиции сохранилось немного сведений. В 1669 г. поиски велись на Урале на горе между реками Тесьмами, описанной старцем Лотом, где предположительно находилась серебряная руда. Работы осуществлялись по указу из Москвы. Непосредственно геологоразведкой руководил тобольский воевода стольник П. И. Годунов (Стольник П. И. Годунов был на воеводстве в городе Тобольске с мая 1667 по сентябрь 1669 г. В 1670 г. он умер.), которому поручили проверить поступившие в Москву сведения. Добытые отрядом П. И. Годунова 10 пудов руды были доставлены в Тобольск, часть которой сразу же была отправлена в Москву с Х. Дробышем. Первые же проведенные им в Москве опытные плавки на серебро оказались удачными.

Во второй период в 1670 г. по указу из Сибирского приказа к горе между речек Тесмь, где ранее работала экспедиция П. Годунова, был послан М. Селин. Используя тюменских и тобольских «знающих» служилых людей, участвовавших в предыдущей экспедиции, М. Селин накопал в тех же местах 60 пудов руды. Добытая руда была отправлена в Москву, где на Денежном дворе ее испытали Х. Дробыш и еще один немецкий знаток серебряной руды Иоганн Польман, и «знак серебру объявился». При плавке получилось 8–9 золотников серебра из пуда породы (золотник – дометрическая мера веса – 4,266 г).

В третий период в 1671 г. во главе с тем же М. П. Селиным была предпринята попытка организовать выплавку руды и строительство сереброплавильного завода непосредственно у месторождений. 28 мая 1671 г. по царскому указу на поиски серебра отправилась очередная экспедиция в Зауралье, по которому известным уже М. Селину и Х. Дробышу приказывалось ехать «не мешкая ни часу» из Мо-

сквы в «Сибирь к серебряным горам смотреть можно ли там рудное копание завесть или нет». По словам М. Селина, ему было приказано ехать к так называемой Биабской горе, где брали руду группа Ф. Фефилова и к речкам Тесьмам, где ранее работал П. И. Годунов. Наличие серебра в образцах подтверждалось многочисленными опытами. Экспедиция должна была начать добычу серебряной руды в уже разведанных местах, организовать ее плавку непосредственно у рудника, а также проводить поиск новых месторождений.

На результативность экспедиции кардинально повлияли плохие взаимоотношения, сложившиеся между М. Селиным и иностранцами. Х. Дробыш пожелал немедленно ехать в Москву для важного государственного сообщения. Мастер уже утверждал, что в Сибири серебра нет, и заводов для его выплавки заводить незачем, а его «великое государево дело» заключалось в том, что по пути в Ярославском уезде он видел золотую руду. Х. Дробыша встретили и задержали только у Великого Устюга. Все аргументы мастера, его поступки, свидетельства участников экспедиции говорили о том, что мастер хитрит. В январе в Великий Устюг прибыло новое начальство во главе с Я. Т. Хитрово, иностранцы вынуждены были подчиниться и вновь отправиться в горы. Удачное начало и бездарный конец не устраивали московские власти.

В четвертый период в 1672–1673 гг. мы включили поиски под командованием думного дворянина Якова Тимофеевича Хитрово. Об этом этапе поисков сохранилось наибольшее число документов.

В пятый и заключительный период 1673–1674 гг. состав отряда был сокращен и продолжил работу в новых местах. Небольшая группа во главе с переводчиком капитаном К. Риманом отправилась на Енисей в район Красноярского острога, а другая, с Я. Т. Хитрово – в Ярославский уезд для розыска золотой руды.

9 января 1672 г. в Сибирский приказ поступило распоряжение о продолжении работ. С момента, когда экспедицию возглавили Тайный приказ и Я. Т. Хитрово, ей придали иной статус, и работы вновь приняли большой размах. Отъезд экспедиции в Сибирь был назначен на 12 января 1672 г. В дополнение к указу для Я. Хитрово была подготовлена подробная инструкция из 13 пунктов, регламентирующая всю последующую деятельность воеводы.

Для работы вновь запаслись всеми необходимыми рудокопными снастями: кайлами, ломами, лопатами, кувалдами, веревками, сальными свечами. Экспедиции было выделено: 500 ведер вина для служилых и работных людей, табак, порох, мука, крупа, толокно, кожа, сети, сорочки, 22 стопы писчей бумаги. На опыты взяли: вино двойное (спирт), 200 ведер уксусу, винный камень, квасцы, купорос, киноварь, ртуть, серу, олово, белую глину. Для строительства подготовили железо, сталь, смолу, краску, 12 000 гвоздей, ткань на обивку стругов. На 4 подводах везли товары из приказа Большого дворца в качестве подарков и подношений местному населению («на дачу иноземцам»): соболиные шкурки, ткани, зеркала, перец и другую мелочь. Из Аптекарского приказа направили лекаря Д. Микитина с 3 подводами лекарств. Численность полка достигала 1000 человек. В него входили 500 человек охраны, более 300 работников, мастеровые, группа управления, 4 пушки, 1 мортира и более 360 подвод с грузом.

Место зимовки большинства участников находилось в Катайском остроге, у начала так называемой Уральской (Казанской) дороги, проходившей через степь, мимо оз. Иртяш, вверх по р. Миасс к Уральским горам. По этой дороге проходил основной маршрут поставок. Поэтому, как ни странно это выглядит, освоение восточного склона Южного Урала русскими началось с северо-восточного направления «вверх по Миассу за Урал-камень (С деятельностью экспедиции связаны первые упоминания Уральских гор в русских письменных источниках,

поскольку маршрут экспедиции и горные работы проходили неподалеку от хребта Урал-Тау.) к Рудным горам». Лишь потом стал известен более короткий путь от «Рудных гор» (место современного г. Златоуста) в Уфу и далее в Москву. Эта вновь разведанная дорога оказалась значительно короче, «так как уфимской дорогой до Москвы полтрети тысячи, а сибирской – 4000 верст и больше». В дальнейшем воевода советовал посылать гонцов и давать подорожные через Уфу.

Отъезд экспедиции из Катайска планировался еще 15 апреля, но из-за отсутствия достаточного количества припасов и людей обоз двинулся к горам только 26 мая, не дожидаясь работников и подвод с уксусом и вином. К горе, которая находилась между речек Тесьм, обоз прибыл 13 июня. По приезду, как и было указано, начали строительство крепости – «Нового Уральского острожка». Сплошной камень не позволил углубить ров, и воевода решил поставить не острог, а небольшой рубленый городок размером 35 на 30 саженей с четырехугольными башнями над воротами и углами. Сохранились воспоминания тобольского сына боярского Д. Клепикова, прибывшего на Тесьмы в середине июля 1672 г., в самый разгар строительства. Он писал: «На тех речках (Тесьмах) строят рубленный город с тарасы… А срублено того городу кругом в вышину в печатную сажень… Да при них же построено в том месте за городом серебряная плавильня да кузница, да дом…».

На некоторое время Новый Уральский острожек стал центром исследования геологии и географии Южного Урала. Насколько далеко забрались тогда русские землепроходцы? Судя по документам, для поисков серебряной руды В. Я. Хитрово, Е. Полянский и полковник Д. Фандернисин с конными отрядами объезжали ближние и дальние места «за 50, 100, 200 и более верст безостановочно». Предполагалось послать В. Я. Хитрово «в Еицкие вершины и в иные места». Есть косвенные данные об открытии уже тогда Магнитной горы у современного г. Магнитогорска. В то время было обнаружено и знаменитое Ильменское месторождение самоцветов. В одну из поездок В. Я. Хитрово привез с Биабьего камня «с Ильмени» слюду с прозеленью.

100 работников и освободившиеся позже от городового строительства 25 человек с момента приезда начали ломать камень и рыть подкопы в тех же местах, где раньше работали П. Годунов и М. Селин. К 4 июля работа шла в 3 подкопах и одной шахте. Два подкопа шли в гору от одной речки Тасмы, один от другой. Четвертое место было определено под шахту на вершине горы. В документах упоминается техника проходческих работ того времени. Предполагалось «идти подкопами, как мы руды в горах ломаем» и «бить сверху горы шахты, как делается в горах у рудных промыслов». При поисках руды рекомендовалось «копать вглубь теми обычаями, как копали колодези», а для укрепления подземных ходов использовать «крепь и драпь» (*Российский государственный архив древних актов (РГАДА). Ф. 214. Оп. 3. Д. 837. Л. 2*). Х. Дробышу свозили образцы руд из различных мест сначала в Катайский острог, а потом и в «Новый Уральский острожек», где он испытывал их в присутствии воеводы. Сюда же была прислана руда из других мест. Из тех руд, в которых в Москве обнаружили серебро, ничего кроме железа, выплавлено не было.

Неудачные поиски вынудили воеводу вновь приступить к допросам рудознатца и участников предшествующих экспедиций М. Селина, майора И. Микулина и других. Я. Т. Хитрово, «не веря ему, крестьяну», привлек для контроля мастера-серебряника Тимофея Грекова, посланного с экспедицией, и плавильщика медной руды Дмитрия Тумашева. Последнего специально искали по городам и до-

ставили в Уральский городок. Мастера плавили руду при воеводе порознь, а затем только свинец «на костяном гнезде», и у каждого из металла образовались крупинки серебра. Отсутствие следов серебра в руде позже объяснили тем, что еще в Москве признаки драгоценного металла давал плохо очищенный свинец, который использовали для опытов. Трудно сказать, был ли это умысел мастера или ошибка, от которой предостерегал Г. Агрикола [19].

Условия работы были очень тяжелыми, особенно осенью, запасы питания и кормов подходили к концу. Солдаты, как и крестьяне, насильно посланные для горных работ, убегали с Урала. Нечем было копать руду, из-за того что «пошел камень крепкий». Воевода обоснованно полагал, что с началом морозов «не останется ни один, побегут все без остатку», а причину видел в неподготовленности к длительным работам и зимовке на месте.

Крах планам экспедиции наступил в конце октября 1672 г. Воевода писал в Москву, что в последних числах месяца наступил мороз, а в зимнее время в Уральских горах вести рудокопное дело нельзя, «и работники побежали все без остатку октября в 26 числах». К концу октября сбежали почти все, осталось только 20 человек больных и «начальные люди с людишками своими московской присылки», которые поочередно несли караулы в острожке – офицеры, трубачи, мастеровые и прочие, прибывшие из Москвы.

Только 18 февраля 1673 г. Я. Хитрово с полковником и «начальными людьми», взяв с собой «для степного пути» три пушки с запасами, вышли из крепости в Тюмень. В Уральском городке остались рейтарский ротмистр С. Потапов и поручик Н. Петровский с 70 воинами и 2 пушками.

Находясь в Тюмени, Я. Хитрово упорно продолжал свою деятельность по организации экспедиционных работ. С таяньем снега район горных работ расширили. Весной и летом 1673 г. небольшие отряды были посланы на Алтай и Енисей, откуда шли известия о серебряной руде. Безрезультатность поисков и значительные затраты на экспедицию явились причиной указа, по которому велено было до зимы перебраться в «русские города для сыску руд». Еще 26 марта 1673 г. из Москвы на Уральские горы была отправлена грамота о переносе поисков в Ярославский уезд. 23 июня Я. Хитрово со своим отрядом покинул Уральские горы. Первое русское поселение в Южном Зауралье – Уральский городок – был сожжен. За несколько лет упорного поиска обнаружить серебряную руду так и не удалось. Были найдены только залежи железа и слюды. Итог крупнейшей в дореволюционный период геологоразведочной экспедиции лаконично подвел еще летописец: «Ничего не найдено, а государевой казне великая тщета и гибель учинилась» [3].

Через 70 лет после этих поисков, весной 1741 г. в степные и горные районы была направлена еще одна экспедиция, постоянными участниками которой были унтер-шихтмейстер Ф. И. Санников и маркшейдерский ученик А. И. Кичигин. Они побывали у озера Иртяш и у места слияния речек Тесьм, нашли по рассказам башкир старые копи, которые разрабатывал думный боярин из Москвы, описали их и составили чертеж. Здесь же была найдена и железная руда с 20 % содержанием железа. Также они сообщили, что «для осмотру лесов и плотинного места до реки Ая на юго-запад 6 верст ниже устья реки Тасмы усмотрено, что место к строению плотины на реке Аю угодно есть» [20]. Так было указано место для строительства завода и г. Златоуста.

В результате многолетнего историко-археологического поиска удалось обнаружить следы геологоразведочных работ экспедиций, работавших на границе со-

временного национального парка «Таганай» в черте г. Златоуста, еще в 1669–1673 гг. В то время богатство нации отождествляли с количеством накопленного золота и серебра, и царское правительство с невиданным упорством искало благородные металлы даже на враждебной территории. Всего в прилегающие к Уралу районы до начала XVIII в. правительство направило около 20 геологоразведочных экспедиций.

Экспедиции под руководством П. И. Годунова, М. П. Селина и Я. Т. Хитрово оказались наиболее масштабными за весь период отечественной истории геологоразведочных поисков. Обнаружение места горных работ вкупе с новыми документами открыло широкие возможности для дальнейшего изучения средневековой истории и географии Южного Зауралья. Для защиты горных работ в 1672 г. был построен «Новый уральский острожек», который следует признать первым русским поселением на территории Челябинской области. До настоящего времени сохранились горнопроходческие подкопы и засыпанная шахта – уникальный памятник истории горного дела XVII в.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pannell J. P. M. The techniques of Industrial archaeology. London: Newton Abbot, 1974. 426 p.
2. Cosson N. The book of Industrial archaeology. London, 1975. 496 p.
3. Полное собрание русских летописей (ПСРЛ). Т. 36. Ч. 1. М.: Наука, 1987. 387 с. С. 165.
4. Курлаев Е. А. Четверть века в сфере промышленной археологии // Межэтнические и этноконфессиональные отношения: проблемы взаимодействия: матер. Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 130-летию со дня рождения Н. И. Руденко. Уфа, 2015. С. 149–152.
5. Hudson K. Industrial archaeology: an introduction. London, 1963. 179 p.
6. Buchanan R. A. Industrial archaeology in Britain. Harmondsworth, 1972. 446 p.
7. Raistrick A. Industrial archaeology: an historical survey. London. 1972. 314 p.
8. Кузин А. А. История открытия рудных месторождений до середины XIX в. М.: Наука, 1961. 360 с. С. 42–43, 98.
9. Преображенский А. А. Урал и Западная Сибирь в конце XVI – начале XVIII века. М.: Наука, 1972. 392 с. С. 232.
10. Ястребов Е. В. Поиски полезных ископаемых на Урале в XVII в. // Вопросы истории хозяйства и населения России в XVII в. М.: Наука, 1974. С. 68–71.
11. Курлаев Е. А. Поиски серебряной руды на Южном Урале в XVII в. // Урал в прошлом и настоящем: матер. науч. конф. Екатеринбург, 1998. С. 275–277.
12. Курлаев Е. А. Металлургические заводы Урала XVII – начала XVIII вв. (организационный и технологический аспекты): автореферат дис. ... канд. истор.наук. Екатеринбург, 1998. 18 с.
13. Курлаев Е. А., Манькова И. Л. Участие иностранных мастеров в развитии горнорудного дела России в XVII веке // Отечественная история. 2003. № 5. С. 49–62.
14. Запарий В. В. Предыстория создания металлургии на Урале. Историко-экономические исследования. 2015. Т. 16. № 2. С. 349–365.
15. Соколовский И. Р. Пятидесятники как часть командного состава русского войска XVII в.: социальный аспект // Гуманитарные проблемы военного дела. 2017. № 3(12). С. 115–121.
16. Васильев Г. А., Никитин Д. И., Новиков И. А. Металлургия Южного Урала: история и современность // Хрестоматия для учителей истории и географии общеобразовательных организаций. Челябинск, 2018. 112 с.
17. Новиков И. А. Неизвестные металлургические заводы Южного Урала XVIII века // Урал индустриальный. Бакунинские чтения. Индустриальная модернизация России в XVIII–XXI вв.: матер. XIII Всерос. науч. конф. 2018. С. 86–92.
18. Зубков К. И., Побережников И. В., Шумкин Г. Н. Волны колонизационной активности в процессе освоения восточных регионов России (XVI – начало XX вв.) // Исторический курьер. 2019. № 6(8). С. 157–170.
19. Агрикола Г. О горном деле и металлургии. М., 1962. 602 с. С. 98.
20. Корепанов Н. С. Геологическая экспедиция Федора Санникова и Афанасия Кичигина 1741 г. и открытие горы Магнитной // Уральский геологический журнал. 1998. № 3. С. 92–114.

Поступила в редакцию 20 июня 2020 года

Сведения об авторах:

Курлаев Евгений Анатольевич – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Института истории и археологии УрО РАН. E-mail: kurlaev@e1.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-110-119

Silver ore exploration in the Southern Urals

Evgenii A. Kurlaev [1]
[1] Institute of History and Archeology UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. *Native historiography associates the beginning of Southern Ural industrialization with the construction of first metallurgical works in the 1740s. Historians paid attention to geological exploration in the Urals in the 17th century but they had no idea about the survey areas. Historical archeological study on the edge of the town of Zlatoust in the Southern Urals has managed to find the trace of the largest geological survey expedition aimed at silver ore exploration as far back as 1669–1673. Expedition at that time represented a major military autonomous formation (regiment) under a voivode's (Slavic title for a war-leader) command. A large number of participants was due to the need for great manpower and protection from hostile nomads*

Research aim *is to introduce unique discoveries in the history of mining into professional scientific use.*

Methodology. *When analyzing the historical material, the methods of field survey and investigation on the documents of ancient mining remains have been developed.*

Results. *The sequence of events has been retraced in the article, geological survey and mining areas and stages have been determined. Organizational structure, quantity, aims and results of the largest geological survey expedition in the history of Russia have been defined. Mining traces have been discovered being a unique monument to the history of mining in the 17th century.*

Key words: *Southern Urals; history of mining; exploration of silver; 17th century.*

REFERENCES

1. Pannell J. P. M. *The techniques of Industrial archaeology*. London: Newton Abbot; 1974. 426 p.
2. Cosson N. *The book of Industrial archaeology*. London; 1975. 496 p.
3. *Complete collection of Russian chronicles.* Vol. 36. Pt. 1. Moscow: Nauka Publishing; 1987. (In Russ.)
4. Kurlaev E. A. A quarter of a century in the field of industrial archeology. In: *Interethnic and ethno-confessional relations: problems of interaction: Proc. of the All-Russian conf. with internat. particip. dedicated to the 130th anniversary of the birth of N. I. Rudenko*. Ufa; 2015. p. 149–152. (In Russ.)
5. Hudson K. *Industrial archaeology: an introduction*. London; 1963. 179 p.
6. Buchanan R. A. *Industrial archaeology in Britain*. Harmondsworth; 1972. 446 p.
7. Raistrick A. *Industrial archaeology: an historical survey*. London; 1972. 314 p.
8. Kuzin A. A. *The history of ore fields discovery up to the middle of the 19th century*. Moscow: Nauka Publishing; 1961. (In Russ.)
9. Preobrazhenskii A. A. *The Urals and Western Siberia in the end of the 16th – beginning of the 18th centuries*. Moscow: Nauka Publishing; 1972. (In Russ.)
10. Iastrebov E. V. Mineral exploration in the Urals in the 17th century. In: *The issues of the history of economy and population in Russia in the 17th century*. Moscow: Nauka Publishing; 1974. p. 68–71. (In Russ.)
11. Kurlaev E. A. Silver ore exploration in the Southern Urals in the 17th century. In: *The Urals in the past and present: Proc. Scient. Conf*. Ekaterinburg; 1998. p. 275–277. (In Russ.)
12. Kurlaev E. A. *Metallurgical works in the Urals in 17th – early 18th cent. (organizational and technological aspects): PhD in Historical Sciences*. Ekaterinburg; 1998. (In Russ.)
13. Kurlaev E. A., Mankova I. L. The role of foreign masters in the development of mining in Russia in the 17th century. *Otechestvennaia istoriia = National History*. 2003; 5: 49–62. (In Russ.)
14. Zaparii V. V. The prehistory of metallurgy establishment in the urals. *Istoriko-ekonomicheskie issledovaniia = Journal of Economic History and History of Economics*. 2015; 16 (2): 349–365. (In Russ.)
15. Sokolovskii I. R. Pentecosts as part of the command structure of Russian troops in the XVII century: the social aspect. *Gumanitarnye problemy voennogo dela = Humanitarian Problems of Military Affairs*. 2017; 3(12): 115–121. (In Russ.)
16. Vasiliev G. A., Nikitin D. I., Novikov I. A. Metallurgy of the Southern Urals: the past and the present. In: *Anthology for teachers of history and geography in general educational institutions*. Chelyabinsk; 2018. (In Russ.)
17. Novikov I. A. "Unknown" metallurgical plants of the South Ural of the 18th century. In: *Industrial Urals. Bunin readings. Industrial modernization in Russia in 18–19th cent.: proc. 8th All-Russian scient. Conf. 2018*. p. 86–92. (In Russ.)
18. Zubkov K. I., Poberezhnikov I. V., Shumkin G. N. Colonization "tides" in the process of developing the eastern regions of Russia (16th – early 20th century). *Istoricheskii kurier = Historical Courier*. 2019; 6(8): 157–170. (In Russ.)
19. Agrikola G. *On mining and metallurgy*. Moscow: 1962. (In Russ.).

20. Korepanov N. S. F. Sannikov and A. Kichigin's mingin party of 1741 and the discovery of mount Magnitnaya. *Uralskii geologicheskii zhurnal = Ural Geological Journal*. 1998; 3: 92–114.

Received 20 June 2020

Information about authors:

Evgenii A. Kurlaev – PhD (Historical Sciences), senior researcher, Institute of History and Archeology of UB RAS. E-mail: kurlaev@e1.ru

Для цитирования: Курлаев Е. А. Поиски серебряной руды на Южном Урале // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 110–119. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-110-119
For citation: Kurlaev E. A. Silver ore exploration in the Southern Urals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 110–119 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-110-119

Кафедре маркшейдерского дела УГГУ – 100 лет (1920–2020)

Уважаемые коллеги, выпускники, друзья и сотрудники кафедры, рад сообщить, что в октябре 2020 года исполняется 100 лет с момента основания кафедры маркшейдерского дела Уральского государственного горного университета.

Уральский государственный горный университет – это первое высшее учебное заведение на Урале и один из старейших вузов России.

Закон Государственного Совета и Государственной Думы об основании горного института в городе Екатеринбурге утвержден Императором Николаем II 16 июля 1914 года (3 июля 1914 года по старому стилю).

Кафедра маркшейдерского дела – одна из старейших выпускающих кафедр университета. Основателем и первым заведующим кафедрой в 1920 г. стал профессор Петр Константинович Соболевский. Кафедра маркшейдерского дела УГГУ вторая в России в 1928 г. осуществила выпуск горных инженеров-маркшейдеров. К настоящему времени кафедра выпустила около 3,5 тысяч специалистов. Среди выпускников кафедры Герой Советского Союза А. М. Крутошинский, 19 докторов наук, более 75 кандидатов наук, 8 лауреатов Ленинской и Государственной премий СССР; 3 выпускника стали ректорами вузов, многие возглавили кафедры учебных заведений СССР, России, Казахстана, Кореи, научно-исследовательские и проектные институты и лаборатории. Выпускниками кафедры разных лет стали видные ученые – представители научных школ горной геометрии и геомеханики доктора технических наук Д. Н. Оглоблин, Г. И. Вилесов, П. А. Рыжов, П. И. Кудряшов, П. П. Бастан, И. М. Петухов, Г. Л. Фисенко, В. Т. Сапожников, Б. Г. Афанасьев, В. И. Пушкарев, Ю. И. Туринцев, В. Г. Зотеев, М. Л. Рудаков, А. В. Зубков, И. И. Попов, А. И. Коваленко, А. В. Гальянов, Ю. В. Лаптев, А. В. Жабко; кандидаты технических наук А. А. Игошин, В. П. Самарин, И. А. Петухов, П. К. Матонин, А. А. Григорьев, А. П. Шеляков, Б. А. Шмонин, Цой Сен Ен, В. Н. Ростовцев, А. П. Бадулин, Б. П. Голубко, А. Т. Леонтьев, Г. В. Земских, А. В. Самарин, В. Н. Яковлев и многие другие. Выпускники кафедры возглавляли и возглавляют десятки горнодобывающих предприятий и сотни маркшейдерских отделов. В настоящее время выпускники кафедры возглавляют маркшейдерские службы таких крупных горнодобывающих предприятий как «Норильский никель», СУБР, Гайский ГОК, Учалинский ГОК, «Сафьяновская медь», «Русская медная компания», Качканарский ГОК, «Ураласбест», «РН – Няганьнефтегаз», «Самаранефтегаз» и многие другие.

На кафедре ведутся как фундаментальные, так и прикладные научные исследования. Основными направлениями исследований кафедры являются геомеханика, геометрия недр и геометризация месторождений, маркшейдерское обеспечение горных работ, строительства тоннелей и т. д. По данным направлениям успешно выполнены и выполняются сегодня десятки научно-исследовательских работ для крупнейших горно-обогатительных комбинатов России и зарубежья.

Среди них: Оренбургская область (Гайский ГОК), Челябинская область (Томинский ГОК, Михеевский ГОК, Бакальское РУ), Республика Башкортостан (Учалинский ГОК, Сибайский ГОК, «Башмедь»), Свердловская область («Ураласбест», Сафьяновское месторождение, Волковский рудник, Воронцовское месторождение), Кузбасс – Кемеровская область (Кедровский, Моховский, Караканский угольные разрезы, Таштагол), Республика Хакасия (Сорский ГОК), Ростов, Волгоград, Сочи, Ялта, Симеиз, Чебоксары, Липецк, Таллин, Баку, Харьков (сбойки тоннелей), «ТНК-Нягань» («Роснефть»), Республика Тыва (Кызыл Таштыгский ГОК китайской компании «Лунсин»), Казахстан (месторождение Джетыгара, Комаровское месторождение, месторождение Шаймерден), Таджикистан (месторождение Тарор, г. Пенджикент), Алжир (тоннель, р. Джер), Монголия (ГОК «Эрдэнэт», исследования ведутся уже более 30 лет) и многие другие.

Сотрудниками кафедры разработаны 3 ведомственных нормативных документа.

Кафедра бережно относится к своим традициям, примером тому является учебная маркшейдерская практика на первой в России золоторудной шахте (1745) в г. Березовском. Данная практика проводится в течение 87 лет, с 1934 г. по настоящее время.

Сегодня на кафедре маркшейдерского дела преподают и занимаются научными исследованиями 3 доктора, 6 кандидатов наук и 5 преподавателей. Кафедра продолжает воспитывать достойных представителей маркшейдерской профессии и оставаться одной из ведущих маркшейдерских школ страны.

Более подробную информацию о кафедре маркшейдерского дела УГГУ можно получить на сайте горного университета www.ursmu.ru.

Коллектив кафедры маркшейдерского дела
Уральский государственный горный университет
Редакция издания «Известия вузов. Горный журнал»

ЖУРНАЛ ПУБЛИКУЕТ СТАТЬИ В СЛЕДУЮЩИХ РАЗДЕЛАХ:

- **Геотехнология: подземная, открытая, строительная**
- **Геомеханика. Разрушение горных пород**
- **Физические и химические процессы горного производства. Аэрогазодинамика**
- **Горнопромышленная и нефтегазовая геология, геофизика**
- **Маркшейдерское дело, геодезия и кадастр**
- **Геоинформатика**
- **Обогащение полезных ископаемых**
- **Экономика и управление горным производством**
- **Геоэкология, рациональное природопользование**
- **Горная механика. Горные машины и транспорт**
- **Электрификация и автоматизация горных предприятий**
- **Безопасность горного производства**
- **Высшее горное образование**
- **История. Информация. Рецензии**

Требования к оформлению статей размещены на официальном сайте журнала: http://www.mining-science.ru