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

IZVESTIYA VYSSHIKH UCHEBNYKH ZAVEDENII
GORNYI ZHURNAL
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

8
2019

Журнал распространяется по подписке Агентством «Роспечать», подписной индекс 70367.
Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), индексируется агрегатором научных ресурсов EBSCO Publishing, а также Международной базой изданий по наукам о Земле Georef.

Сведения о журнале публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».
Включен в реферативный журнал и базы данных ВИНИТИ РАН.
Электронные выпуски журнала размещены на порталах
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.ru (http://elibrary.ru),
компании «ИВИС» (http://ivis.ru)
и поисковой системы Google Shcolar (scholar.google.com).
Журнал доступен в электронно-библиотечной системе издательства «Лань» (http://e.lanbook.com)
и электронно-библиотечной системе IPRbooks (http://www.iprbookshop.ru).

Журнал включен в «ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ, В КОТОРЫХ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОПУБЛИКОВАНЫ ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИЙ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК, НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК»
(в соответствии с распоряжением Минобрнауки России от 28 декабря 2018 г. № 90-р)

В журнале публикуются статьи по следующим группам специальностей научных работников:

05.05.04 – Дорожные строительные и подъемно-транспортные машины (технические науки), 05.05.06 – Горные машины (технические науки), 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности) (экономические науки), 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых (технические науки), 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин (технические науки), 25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр (технические науки), 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки), 25.00.18 – Технология освоения морских месторождений полезных ископаемых (технические науки), 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика (технические науки), 25.00.21 – Теоретические основы проектирования горнотехнических систем (технические науки), 25.00.22 – Геотехнология (подземная, открытая и строительная) (технические науки), 25.00.35 – Геоинформатика (технические науки), 25.00.36 – Геоэкология (по отраслям) (технические науки)

Тел: (343) 257-65-59 E-mail: gornij_journal@ursmu.ru

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 **№ 8, 2019**

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. *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*
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*
Махно Д. Е. *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск*
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», 2019

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. 8, 2019**

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. *Ural State Mining University, Ekaterinburg*
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*
Makhno D. E. *National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk*
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

Земсков А. Н., Бехер А. В. **Перспективы применения грузовых подвесных канатных дорог для условий Севера** 5

Цидаев Б. С. **Комплексный подход к оптимизации освоения морских месторождений углеводородов в акватории Северного Каспия в сложных геологических условиях** 14

Багазеев В. К., Бойков И. С., Валиев Н. Г., Здоровец И. Л. **Разделение песков в процессе их гидротранспортирования** 21

ГЕОМЕХАНИКА. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Сосновская Е. Л., Авдеев А. Н. **Прогноз потенциальной удароопасности нижних горизонтов Холбинского рудника** 30

Гладырь А. В., Сидляр А. В., Константинов А. В., Ломов М. А. **Сравнительный анализ результатов тестирования геофонов системы «Prognoz ADS» в шахтных условиях** 38

Караблин М. М., Простов С. М., Лесин Ю. В. **Оползневые процессы в бортах при ведении горных работ на угольном разрезе «Ангренский»** 47

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА

Борисов А. В., Виноградов В. Б. **Электродинамическая модель плотины пруда-накопителя (In English)** 58

Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. **Зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений на Урале** 68

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ступакова Е. В. **Воспроизводимость и повторяемость результатов измерений и их использование в расчетах погрешностей подготовки и анализа проб руды и продуктов обогащения** 81

Семенов А. Н., Серый Р. С. **Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота** 88

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Логинов В. Г., Игнатьева М. Н., Балашенко В. В. **Согласование интересов при освоении нефтегазовых ресурсов северных территорий Российской Федерации (In English)** 97

Наумов И. В., Красных С. С. **Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации** 108

ГОРНАЯ МЕХАНИКА. ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ТРАНСПОРТ

Шихов А. М., Румянцев С. А., Азаров Е. Б. **Вибротранспортные машины с устойчивыми эллиптическими колебаниями (In English)** 125

Копытов А. И., Першин В. В., Вети А. А. **Исследование влияния изменения параметров свободного падения скипа на устойчивость предохранительных полков при углубке вертикальных стволов** 133

Перечень статей, опубликованных в 2019 году 143

CONTENTS

GEOTECHNOLOGY: UNDERGROUND, OPEN, CONSTRUCTIONAL

Zemskov A. N., Bekher A. V. **The future of freight cable cars application in the conditions of the North** 5

Tsidaev B. S. **An integrated approach to hydrocarbons offshore mining optimization in the waters of the northern Caspian sea in difficult geological conditions** 14

Bagazeev V. K., Boikov I. S., Valiev N. G., Zdorovets I. L. **Sand separation during hydrotransportation** 21

GEOMECHANICS. DESTRUCTION OF ROCKS

Sosnovskaia E. L., Avdeev A. N. **Forecasting potential rockburst hazard of Kholbinsky mine lower horizons** 30

Gladyr A. V., Sidliar A. V., Konstantinov A. V., Lomov M. A. **Results comparison of Prognoz ADS system geophones testing in mining conditions** 38

Karablin M. M., Prostov S. M., Lesin Iu. V. **Landslides at the slopes of Angren opencast coal mine** 47

MINING AND OIL-AND-GAS GEOLOGY, GEOPHYSICS

Borisov A. V., Vinogradov V. B. **Electrodynamic model of a storage pond dam (In English)** 58

Guliaev A. N., Osipova A. Iu. **Zones of possible sensible earthquake foci in the Urals** 68

MINERAL PROCESSING

Stupakova E. V. **Reproducibility and repeatability of measurement results and their application when calculating the errors of ore and concentrates samples preparation and analysis** 81

Semenov A. N., Seryi R. S. **Hard-to-wash sand disintegration investigation in gold placers** 88

ECONOMICS AND MINING PRODUCTION CONTROL

Loginov V. G., Ignatieva M. N., Balashenko V. V. **Alignment of interests when exploiting oil and gas resources in the northern territories of the Russian Federation (In English)** 97

Naumov I. V., Krasnykh S. S. **The research of interregional relationships in the development of the mineral resource complex of the Russian Federation** 108

MINING MECHANICAL ENGINEERING. MINING MACHINERY AND TRANSPORT

Shikhov A. M., Rumiantsev S. A., Azarov E. B. **Vibratory conveying equipment with steady elliptical oscillations (In English)** 125

Kopytov A. I., Pershin V. V., Wetti A. A. **Research on free fall skip parameters variation impact on pentice stability when sinking vertical shafts** 133

List of articles published in 2019 143

УДК 622.647.2 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-5-13

Перспективы применения грузовых подвесных канатных дорог для условий Севера

Земсков А. Н.[1]*, Бехер А. В.[2]
[1] Группа «КАНЕКС», г. Пермь, Россия
[2] Компания «Канекс Технология», г. Пермь, Россия
e-mail: a.zemskov@kanekgroup.ru

Реферат

Введение. *Грузовые подвесные канатные дороги (ГПКД) широко применялись в СССР и зарубежных странах во второй половине XX-го века. Количество ГПКД только в СССР достигало 190 единиц, объем перевозок – 116 млн т в год, протяженность дорог – 600 км.*

Цель работы. *Определение перспектив использования грузовых подвесных канатных дорог в северных регионах.*

Методология и результаты. *Сопоставление технико-экономических показателей автомобильного, железнодорожного, конвейерного транспорта и ГПКД показало, что канатные дороги имеют ряд стратегических преимуществ перед другими видами транспортирования твердых полезных ископаемых, особенно в отдаленных северных районах и на Дальнем Востоке. Достоинства ГПКД: независимость от профиля местности, атмосферных условий, возможность прокладки трассы по кратчайшему расстоянию между пунктами погрузки и разгрузки и др. С учетом реально достигнутых показателей ГПКД можно применять при транспортировании от 0,5 до 7 млн т грузов в год на расстояния в несколько десятков километров. При примерно одинаковых первоначальных капитальных вложениях в автотранспорт и канатные дороги ГПКД имеют преимущество по эксплуатационным расходам в 4–5 раз.*

Выводы. *Выполненные в России в последние годы конструкторские и технологические разработки (использование автоматизированного управления подвижным составом, новые материалы и т. д.) позволяют считать ГПКД самым современным и технологичным видом транспортирования сыпучих грузов, вписывающимся в концепцию четвертой индустриальной революции промышленности.*

Ключевые слова: *грузовая подвесная канатная дорога; эксплуатационная долговечность; область применения; перепад высот; экономия транспортировки; автоматизация; перспективность.*

Введение. Использование северных территорий в качестве стратегической ресурсной базы, обеспечивающей социально-экономическое развитие России, признано одним из основных национальных интересов страны (в соответствии с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» (утв. Распоряжением Правительства РФ от 17 ноября 2008 г. № 1662-р)).

Не секрет, что российская экономика несет большие потери (имеет серьезные издержки) из-за холодного климата, в особенности в Сибири и на Дальнем Востоке.

Целью работы является научно обоснованный выбор транспортных средств для перемещения сыпучих материалов в условиях Севера.

Американские экономисты Ф. Хилл и К. Гэдди провели интересное исследование, в котором, отказавшись от традиционного показателя – ВВП на душу населения, они предложили ввести дополнительный критерий – показатель температуры на душу населения (ТДН) [1]. ТДН рассчитывается на основе средних январских температур, взвешенных относительно распределения населения той или иной страны.

Россия оказалась самой холодной страной в мире (–12,6°С), обгоняя Канаду (–8,9°С) и другие северные страны.

Исторически вопрос «стоимости холода» для экономики – будь то ускоренный износ техники или затраты на отопление – в расчет не брался. В советское время на обогрев сибирских городов с развитой промышленностью тратилось 5 % ВВП СССР, и до сих пор издержки сибирских промышленных предприятий в четыре раза выше, чем в европейской части страны, что сказывается на конкурентоспособности компаний.

Поддержание на плаву промышленности в Сибири, с учетом траты огромных энергоресурсов, поддержания здравоохранения и остальных социальных факторов, по расчетам американских экономистов Ф. Хилл и К. Гэдди, может вызвать недобор в 75 % роста ВВП.

Любопытны данные американских авторов о температурном пороге устойчивости стандартной техники российского производства [2] (табл. 1).

Таблица 1. Температурный порог устойчивости
Table 1. Temperature threshold of stability

Температура, °С	Эффект воздействия на стандартную технику
–10	Физические дефекты на металлических частях землечерпалок и драг
–15	Разрывы в высокоуглеродной стали, первый критический порог для стандартного оборудования
–20	Прекращение работы обычных компрессоров, проблемы с экскаваторными ковшами
–25…–30	Разрывы в нелегированной стали; необходима инсуляция автомобильных двигателей и топливных баков; необходимо применение морозоустойчивой резины; разрывы в неморозоустойчивых конвейерных лентах и в обычных пневматических насосах
–30	Минимальная температура, при которой может использоваться обычное оборудование
–30…–35	Отказ работы боккранов, поломка тракторных гусениц
–35…–40	Разрывы в стальных деталях (подшипники и т. д.) из легированной оловом стали, отказ работы обычных компрессоров, масштабные разрывы в изделиях из обычной стали

Согласно требованиям к оборудованию, поставляемому, например, в подразделения АК «АЛРОСА», оно должно работать при температуре –45 °С. Далеко не все виды горного оборудования могут соответствовать этому жесткому требованию.

Наличие в Сибири горно-металлургических отраслей промышленности (горнодобывающие предприятия, металлургические заводы и т. д.) требует, может быть, даже более интенсивного, чем в европейской части России, внедрения новых технологических решений, направленных на создание максимально автоматизированных производств.

Серьезной проблемой разработки северных месторождений полезных ископаемых является эффективная транспортировка сырья от рудников и карьеров до обогатительных фабрик. И достойное место здесь должны занимать грузовые подвесные канатные дороги (ГПКД) [3–7].

В настоящее время ГПКД успешно эксплуатируются во всем мире, как в южных широтах, так и на севере, в том числе за полярным кругом, например, на острове Шпицберген. В Норвегии за полярным кругом построена канатная дорога «Скороват» длиной 44,5 км для транспортирования пирита. Канатная дорога «Кристанберг Болиден» (Швеция) длиной 96 км служит для транспортирования рудного концентрата. В Чили на высоте 5900 м над уровнем моря с помощью ГПКД перевозят сырую серу. В качестве примера можно также привести канатную дорогу, построенную в Индии (штат Бихар). Общая длина дороги 53,5 км. Она состоит из восьми секций. Производительность – 400 т/ч. Эксплуатационная долговечность ГПКД исчисляется 30 годами и более. ГПКД являются, по сути, самым серьезным конкурентом автомобильному транспорту.

Вопрос целесообразности (конкурентоспособности) использования того или иного вида транспорта для различных горнотехнических условий неоднократно ставился перед производственниками и ранее. Выборка по рациональной области применения различных видов транспортных комплексов, исходя из анализа их работы на действующих предприятиях и из научно-технической литературы, представлена в табл. 2.

Элементы ГПКД в наименьшей степени из конкурирующих видов оборудования подвержены негативному влиянию отрицательных температур.

Сравнение способов транспортирования полезных ископаемых. Сравнение ГПКД с другими видами транспорта показывает следующее. Исходя из материалов исследований по технико-экономическому сравнению вариантов транспортирования сыпучих полезных ископаемых при длинах доставки более 10–12 км использование автомобильного транспорта экономически невыгодно. Тем более в районах с суровыми климатическими условиями. Несмотря на значительные первоначальные капитальные вложения, ГПКД имеет серьезное преимущество в стоимости транспортирования полезных ископаемых по сравнению с автотранспортом. Так, по данным специалистов фирмы PHB Weserhuttle (Германия), даже при транспортировке грузов на 10 км стоимость 1 т материала по приведенным затратам составляет 1,1 и 3,9 евро для ГПКД и автотранспорта соответственно. Более высокие первоначальные капитальные вложения на ГПКД оправдывают себя уже через 2,5 года. Следует также иметь в виду дефицит и постоянно возрастающие цены на дизельное топливо.

Железнодорожный транспорт экономически выгоден только при объемах перевозки более 10 млн т сыпучих материалов в год. Имеются ограничения и при использовании конвейерного транспорта.

Опыт работы подвесных канатных дорог за полярным кругом в Швеции, Канаде и на Шпицбергене, где ГПКД успешно работают в суровых условиях низких температур, является предпосылкой успешного применения ГПКД и в северных регионах России.

История создания ГПКД такова. В 70-х годах XIX в. появились первые образцы современных подвесных дорог.

В России в то время были построены три грузовые канатные дороги: в Москве для вывоза отбросов и мусора; там же для обслуживания ситцепечатной фабрики; на станции Покровская Нижегородской железной дороги для транспортировки леса.

К 1904 г. в России было построено более 80 грузовых подвесных канатных дорог общей протяженностью около 190 км, что составляет около 10 % общей протяженности таких дорог на земле в то время.

К 1983 г. количество действующих в СССР ГПКД достигло 190 шт., объем перевозок составлял 116 млн т/год, а общая протяженность линий канатно-под-

весного транспорта превышала 600 км. К сожалению, в постсоветское время объемы перевозок различных материалов с помощью ГПКД значительно снизились.

В свое время для АК «АЛРОСА» встал вопрос по выбору способа транспортировки кимберлитовой руды из карьера «Зарница» до обогатительной фабрики № 12.

Таблица 2. Сравнительные характеристики видов транспортирования полезных ископаемых

Table 2. Comparative characteristics of various types of transportation of minerals

Показатель	Вид транспорта			
	Железнодорожный	Автомобильный	Конвейерный	Подвесные канатные дороги
Рациональная длина транспортирования, км	Более 10	1–10	До 4–12	1–100
Угол подъема трассы, град	До 2,5	До 6	До 16–18	До 28 с гравитационным замком До 45 с пружинным замком
Кусковатость материала, мм	Практически без ограничений	До 600–700	До 350	До 600–700
Производительность, млн т/год	15–150	До 15	До 20	До 6
Коэффициент перемещения	Единица груза перемещается посредством 1,2 единицы веса транспортного средства	1/1	1/0,7	1/0,5
Энергетические затраты	Средний расход энергии	Высокие	Выше среднего	Низкие
Влияние на экологию	Малая зависимость от климата	Зависимость от климата, высокое газопылевыделение в окружающую среду	Высокое пылеобразование при транспортировании. Необходимость возведения транспортных галерей	Минимальное воздействие на окружающую среду. Малая зависимость от климата
Стоимость перевозок	Низкие удельные затраты	В 3–6 раз выше, чем на железнодорожном транспорте (до 35 % от себестоимости руды или угля)	При увеличении длины конвейера затраты резко возрастают	При производительности более 1 млн т/год и расстоянии больше 2 км самая низкая себестоимость
Недостатки	Необходимость возведения мостов, большие капитальные затраты	Необходимость возведения переходов через преграды. Высокие эксплуатационные расходы	Трудность транспортирования влажных пород, ограничение по крупности грузов	Ограниченная производительность

Проблемой эффективного освоения запасов бедно-товарной руды трубки «Зарница» являются большие затраты на доставку руды на обогатительную фабрику. Варианты предварительного обогащения руды в больших объемах на борту карьера осуществить не удалось. Для перевозки всего объема руды трубки «Зарница» на обогатительную фабрику автомобильным транспортом требуется

выполнить около 30 млрд тонно-километров [3]. Эксплуатационные затраты на транспорт составят 0,5 млрд дол. США, а с учетом затрат на приобретение автосамосвалов суммарные затраты достигнут 0,6 млрд дол. США.

Исходные данные для проектирования транспортной схемы: производительность по руде – 5 млн т в год; режим работы – 330 дней в году, в 2 смены, по 12 ч; длина транспортировки – 16,5 км; перепады высот по трассе – от 320 до 452 м; максимальная крупность куска – 0,3 м; влажность руды – 10–17 %.

Главными недостатками железнодорожного транспорта, исходя из условий места расположения карьера «Зарница» и обогатительной фабрики № 12, являются:

– необходимость строительства мостов через водные преграды;

– большие капитальные вложения;

– ограничения по профилю трассы (подъемы 40–50 ‰).

Исходя из профиля трассы (от карьера «Зарница» до обогатительной фабрики) абсолютный перепад высот составляет 132 м, а угол подъема на отдельных участках достигает 6° (108 ‰).

В настоящее время единственным видом транспорта, используемым на кимберлитовых карьерах Якутии, является автомобильный транспорт. Ограничениями в работе автотранспорта являются зависимость работы автомобилей от климатических условий, высокая трудоемкость работ при снегопадах, гололедице, дождях.

К технико-экономическому сравнению были представлены следующие варианты транспортных схем:

1. *Автомобильный транспорт*. Перевозка руды осуществляется круглогодично (8760 часов) большегрузными автосамосвалами CAT-785.

2. *Комбинированный автомобильно-конвейерный вариант*. Руда большегрузными автосамосвалами доставляется в зимнее время (5760 часов) из карьера на склад, расположенный на борту карьера. В летний период (3000 часов) руда перегружается в бункер дробильно-перегрузочной установки (ДПУ), где измельчается до куска крупностью 400 мм, подается на конвейер и транспортируется на промежуточный склад, расположенный рядом с фабрикой № 12, откуда автосамосвалами доставляется до приемных бункеров фабрики. В этот же период (3000 часов) параллельно осуществляется перевозка руды автосамосвалами из карьера и перегрузка ее в бункер ДПУ. Вариант имеет подварианты по месту расположения ДПУ:

– ДПУ располагается на борту карьера;

– ДПУ располагается внутри карьера на глубине 90 м;

– ДПУ располагается внутри карьера, на глубине 90 м, а через пять лет переносится на глубину 180 м. Вариантом принято конвейерное оборудование фирмы MAN TAKRAF с полумобильной дробильно-перегрузочной установкой.

3. *Вариант автомобильно-железнодорожного транспорта*. Руда большегрузными автосамосвалами доставляется из забоев на борт карьера, где складируется в промежуточный склад. Со склада руда перегружается в железнодорожные думпкары ВС-105 и перевозится на промежуточный склад, расположенный рядом с фабрикой № 12, откуда доставляется до бункеров фабрики. Режим работы автосамосвалов и железнодорожного транспорта круглогодичный.

4. *Вариант автомобильно-трубопроводный (гидравлический)*. Руда большегрузными автосамосвалами из забоев доставляется на борт карьера, где складируется в промежуточный склад. Со склада руда перегружается в дробилку крупного дробления ККД-1200/150, а затем в дробилку среднего дробления КСД-2200, с доведением куска до крупности 50 мм, и через промежуточный зумпф транспортируется по пульповоду длиной 15 км в отстойник, расположенный около

фабрики № 12, откуда подается на фабрику. Режим работы автосамосвалов и гидротранспорта круглогодичный.

5. *Вариант транспортирования руды с использованием грузовой канатной подвесной дороги*. Руда большегрузными автосамосвалами из забоев доставляется на борт карьера, где складируется на промежуточный склад руды. Со склада руда подается в дробилку крупного дробления и дробится до куска 200 мм, откуда перегружается в подвесные вагонетки, которые по подвесной канатной дороге доставляются до промежуточного склада руды фабрики № 12, и далее автотранспортом руда подается в бункеры фабрики. Режим работы сборочного большегрузного автотранспорта круглогодичный – 8760 часов, подвесной канатной дороги – 5140 часов.

Экономическое сравнение альтернативных схем транспортирования было выполнено по суммам единовременных и текущих затрат на период отработки запасов карьера и строительства, а также по расчету приведения разновременных затрат к начальному периоду оценки с использованием процедуры дисконтирования.

Результаты. Как показали расчеты, наиболее капиталоемкая схема перевозки руды для гидротранспортной и конвейерной схемы (*вариант 4*) – 4 333,1 млн р. (в ценах 2001 г.), из них на строительство объектов гидротранспорта приходится 1 763,5 млн р. Минимальный объем инвестиций потребуется для варианта с использованием ГПКД – 1 367,3 млн р. и конвейерной линии с установкой ДПУ на борту карьера (*вариант 2*) – 1 929,2 млн р. (в 1,41 раза дороже ГПКД).

Эксплуатационные затраты по предлагаемым вариантам транспортирования руды определены по изменяющимся статьям и элементам затрат по энергетическим, материальным и трудовым ресурсам.

По текущим затратам за весь период обработки карьера наиболее выгодными оказались варианты с ГПКД и автомобильно-железнодорожный (*вариант 3*). Себестоимость транспортирования 1 т руды составила 100,9 р. для ГПКД, 115,0 р. – для конвейерной доставки с ДПУ на борту карьера, 142,4 р. для автомобильного транспорта.

Учитывая, что по варианту транспорта руды с применением ГПКД получены высокие технико-экономические показатели, специалисты компании «АЛРОСА» ознакомились с работой подобной линии на предприятии ОАО «Магнезит» (г. Сатка Челябинской области). Данные линии действительно надежны и просты в эксплуатации и в условиях сильнопересеченной местности очень эффективны. Коэффициент технической готовности линии ГПКД достаточно высок и составляет 0,80–0,95, а себестоимость транспортирования в два-три раза меньше, чем при использовании автомобильного транспорта. Преодолевая практически любые уклоны, трасса ГПКД проходит по кратчайшему пути, через водные и другие преграды, в том числе и в обустроенной местности, в результате чего затраты на строительство будут наименьшими.

К сожалению, наиболее экономичный вариант транспортировки руды трубки «Зарница» с помощью ГПКД не был принят по причине неподтверждения кондиционности качества кимберлитовой руды на новых участках месторождения и отсутствия необходимости увеличения объемов перевозки – справляется и автомобильный транспорт [8, 9].

Однако выводы компетентных специалистов института «Якутнипроалмаз» об экономичности и перспективности использования ГПКД для северных территорий Якутии много значат. Особенно это актуально в связи со стратегической программой Правительства России освоения территорий вдоль побережья Северного Ледовитого океана. Это касается в первую очередь российской угледобывающей

отрасли на полуострове Таймыр, где компания «Востокуголь» с 2015 г. осваивает месторождения высококачественных антрацитов.

Малолемберовское месторождение – пилотный проект «Востокугля» на Таймыре, этот участок небольшой по запасам (2 млн т), но ближайший к побережью и поселку Диксон. Прогнозные запасы другого участка – Лемберовского, составляют около 100 млн т. Всего же запасы таймырских месторождений составляют более 10 млрд т. Руководители «Востокугля» планируют выйти к 2023 г. на 30 млн т общей добычи.

Отгрузка угля в морской транспорт будет вестись через два глубоководных морских порта на Таймыре пропускной способностью по 10 млн т каждый, причем порт «Чайка» уже начал свою работу.

Грузовые подвесные канатные дороги – идеальный вид транспорта полезных ископаемых для условий Севера и для территорий со сложным рельефом и наличием водных преград.

В перспективе ГПКД могут быть спроектированы и построены для транспортировки руды и на других новых кимберлитовых трубках Якутии и Архангельской области.

Группа «КАНЕКС» активно занимается вопросами проектирования и создания производственных мощностей в этом сегменте горного машиностроения [10–12], нацелена на актуализацию и развитие современных грузовых подвесных канатных систем.

Выводы. Грузовые подвесные канатные дороги являются современным высокотехнологичным видом транспорта с широким диапазоном применения. Они практически являются самым рациональным способом транспортирования в районах со сложными (северными) климатическими условиями, составляя достойную конкуренцию автомобильному и конвейерному видам транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хилл Ф. Цена холода // Эксперт. № 10. 15–21 марта 2004. С. 72–78.

2. Hill F., Gaddy C. The Siberian curse. 2003. P. 24–30.

3. Ведин А. Т., Петров Ю. А., Монастырский В. Ф., Земсков А. Н., Акишев А. Н., Бахтин В. А., Монтянов С. Н., Бондаренко Е. В. Обоснование эффективной транспортной схемы доставки кимберлитовой руды с месторождения трубки «Зарница» на обогатительную фабрику № 12 Удачнинского ГОК АК «АЛРОСА» // Сб. докладов междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы карьерного транспорта». Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2002. С. 49–55.

4. Земсков А. Н., Полетаев И. Г. Особенности применения грузовых подвесных канатных дорог на открытых горных работах // Горная промышленность. 2004. № 5. С. 30–32.

5. Alexander James Wallis-Tayler. Aerial or wire rope-ways, their construction and management. Book on Demand Ltd, 2013. P. 121–124.

6. Michael Shaw, David Poyner, Robert Evans. Aerial ropeways of shropshire. Shrophshire Caving & Mining Club, 2015. С. 34–36.

7. Peter von Bleichert. Bleichert's wire ropeways. 2014. С. 97–99.

8. Тарасов П. И., Зырянов И. В., Тарасов А. П. Многозвенные автопоезда на горных работах. Екатеринбург: Джи Лайм, 2018. 268 с.

9. Зырянов И. В., Попов Д. К. Нормативы технического обслуживания и ремонта технологического автотранспорта АК «АЛРОСА» (ПАО) // Наука и инновационные разработки – Северу: сб. докладов II-й междунар. науч.-практ. конф., 14–15 марта 2019 г. Ч. 1. Мирный: Мирнинская типография, 2019. С. 51–53.

10. Земсков А. Н., Иванов А. В. Современные тенденции развития отечественного горного машиностроения // Горная промышленность. 2018. № 3. С. 50–53.

11. Земсков А. Н., Кузнецов Б. А. Применение грузовых подвесных канатных дорог для транспортирования угля и руды // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2016. № 3. С. 554–557.

12. Брюзгин А. Е., Чернышев В. В. К вопросу о безопасности грузовых подвесных канатных дорог // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 10. С. 60–65.

Поступила в редакцию 8 мая 2019 года

Сведения об авторах:

Земсков Александр Николаевич – доктор технических наук, советник председателя совета директоров Группы «КАНЕКС». E-mail: a.zemskov@kanekgroup.ru
Бехер Александр Владимирович – директор направления канатных транспортных систем компании «Канекс Технология». E-mail: bav@kanex-t.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-5-13

The future of freight cable cars application in the conditions of the North

Aleksandr N. Zemskov[1], Aleksandr V. Bekher[2]
[1] KANEX Group, Perm, Russia.
[2] KANEX TECHNOLOGY, Perm, Russia.

Abstract

Introduction. *Freight cable cars (FCC) were widely used in the USSR and other countries in the first part of the 20th century. Only in the USSR the number of FCC amounted to 190 pieces, freight volume – 116 million tons per year, ropeways length – 600 km.*
Research aim *is to define the perspectives of using freight cable cars in the northern regions.*
Methodology and results. *Comparison of engineering and economic indicators of motor, railway, conveyor transport, and FCC has shown that ropeways have a number of strategic advantages over other ways of transporting solid minerals, especially in the remote northern regions and the Far East. FCC advantages: independence from the surface relief and air conditions, good opportunity to track via the shortest distance between the points of loading and unloading, etc. With the account of the achieved performance targets, FCC can be used to transport from 0.5 to 7 million tons of load per year at a distance of several tens of kilometers. With almost similar capital cost of motor transport and ropeways, FCC have an advantage by a factor of 4–5 as soon as operational costs are concerned.*
Summary. *Recent Russian engineering and technological solutions (application of rolling stock automated control, new materials, etc.) make it possible to consider FCC the most modern and manufacturable type of solid minerals transportation, which is easily integrated in the concept of the fourth industrial revolution.*

Key words: *freight cable cars; useful life; area of application; elevation change; transportation economy; automation; prospectiveness.*

REFERENCES

1. Hill F. The price of cold. *Expert*. 2004; 10 (15th–21st March): 72–78.
2. Hill F., Gaddy C. *The Siberian curse*. 2003. p. 24–30.
3. Vedin A. T., Petrov Iu. A., Monastyrskii V. F., Zemskov A. N., Akishev A. N., Bakhtin V. A., Montianov S. N., Bondarenko E. V. Rationalle for efficient transportation scheme of kimberlite delivery from the deposit of Zarnitsa pipe to the processing plant no. 12 of ALROSA's Udachny MPD. In: *Proceedings of international science to practice conference "Problems of Quarry Haulage"*. Ekaterinburg: IM UB RAS Publishing; 2002. p. 49–55. (In Russ.)
4. Zemskov A. N., Poletaev I. G. Application features of freight cable cars in opencast mining. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry Journal*. 2004; 5: 30–32. (In Russ.)
5. Alexander James Wallis-Tayler. *Aerial or wire rope-ways, their construction and management*. Book on Demand Ltd, 2013. P. 121–124.
6. Michael Shaw, David Poyner, Robert Evans. *Aerial ropeways of shropshire*. Shrophshire Caving & Mining Club, 2015. p. 34–36.
7. Peter von Bleichert. *Bleichert's wire ropeways*. 2014. p. 97–99.
8. Tarasov P. I., Zyrianov I. V., Tarasov A. P. *Multilink articulated lorries in mining*. Ekaterinburg: GLime Publishing; 2018. (In Russ.)
9. Zyrianov I. V., Popov D. K. Maintenance standards for process motor transport of PJSC ALROSA. In: *Science and innovative solution for the North: proceedings of the 2nd science to practice conference, 14th–15th March 2019. Part 1*. Mirny: Mirninskaia tipografiia Publishing; 2019. p. 51–53. (In Russ.)
10. Zemskov A. N., Ivanov A. V. Current trends of the national mining machinery manufacture development. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry Journal*. 2018; 3: 50–53. (In Russ.)
11. Zemskov A. N., Kuznetsov B. A. Freight cable cars application for coal and ore transportation. In: *Hi-Tech technologies in minerals processing and application*. 2016; 3: 554–557. (In Russ.)
12. Briuzgin A. E., Chernyshev V. V. To the issue of safety of cargo cableways. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018; 10: 60–65. (In Russ.)

Received 8 May 2019

Information about authors:

Aleksandr N. Zemskov – DSc (Engineering), Counselor to the Chairman, KANEX Group. E-mail: a.zemskov@kanekgroup.ru
Aleksandr V. Bekher – Director of Rope Transport Systems, KANEX TECHNOLOGY. E-mail: bav@kanex-t.ru

Для цитирования: Земсков А. Н., Бехер А. В. Перспективы применения грузовых подвесных канатных дорог для условий Севера // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 5–13. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-5-13
For citation: Zemskov A. N., Bekher A. V. The future of freight cable cars application in the conditions of the North. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 5–13 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-5-13

УДК 622.276 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-14-20

Комплексный подход к оптимизации освоения морских месторождений углеводородов в акватории Северного Каспия в сложных геологических условиях

Цидаев Б. С.[1]
[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт, г. Владикавказ, Россия
e-mail: igor.boss.777@mail.ru

Реферат

Цель и задачи исследований. *В статье освещены вопросы освоения Каспийского шельфа, определены перспективы и варианты дальнейшего развития нефтегазового промысла в акватории Северного Каспия. Цель работы – провести комплексную оценку новой технологии «интеллектуального заканчивания». Для достижения цели решались следующие задачи: оптимизация притока флюида к скважине и предотвращение прорыва в скважину газа из газовой шапки и подошвенных вод; комплексный мониторинг и контроль продуктивных зон пласта в реальном времени без проведения дополнительных внутрискважинных работ.*

Методика проведения исследований. *При бурении горизонтальных скважин на море на первый план выходит задача геонавигации. Для нее комплексирование данных сейсмики, пластовой наклонометрии, данных ГТИ и ГИС проводилось в реальном режиме бурения. Применяемая методика обеспечила визуализацию структуры коллектора, что позволило провести геонавигацию в соответствии со стратегическими задачами разработки месторождения. Детальное картирование элементов залегания и контактов флюидов в режиме реального времени обеспечивает получение критической информации с целью избежания выхода за пределы коллектора.*

Результаты и анализ исследований. *Определена нецелесообразность эксплуатации протяженными участками пофазовых зон нефтяных оторочек с активной подошвенной водой без устройств регулирования профилей притока скважинного флюида. Данная схема позволила оптимизировать профиль притока скважинного флюида в скважину, сокращая риски преждевременного прорыва воды и газа. Решением данной проблемы, а именно снижения объема прорываемого газа и/или воды в скважину, служит активное штуцирование зон.*

Выводы. *Данный комплекс позволяет осуществить мониторинг и контроль продуктивных зон пласта в реальном времени без проведения дополнительных внутрискважинных работ. Благодаря этому технологии интеллектуальных скважин обеспечивают максимальную площадь дренирования пласта и увеличивают нефтеотдачу продуктивных пластов. Проведена оценка новой технологии «интеллектуального заканчивания» эксплуатационных скважин с длинными горизонтальными участками.*

Ключевые слова: *шельф; Каспийское море; месторождение; бурение горизонтальных скважин; геонавигация; интеллектуальное заканчивание.*

Введение. Добыча углеводородного сырья в акватории Северного Каспия компанией «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», является одним из факторов роста российской добычи в среднесрочной перспективе. По итогам проведенных поисковых работ в акватории Северного Каспия проведена оценка значимости месторождений. Наиболее значимыми из них являются месторождения им. Ю. Корчагина, Хвалынское, 170-й километр, Ракушечное, им. Ю. Кувыкина и им. В. Филановского.

Первым было открыто в 2000 г. нефтегазоконденсатное месторождение им. Ю. Корчагина, впервые нефть здесь получили в 2010 г. Данное месторождение расположено на расстоянии 120 км от берега, глубина морского шельфа

составляет 11–13 м. Малые глубины Каспийского шельфа позволяют применять организационно-технологические решения при оценке залежей нефти.

Следующим объектом освоения акватории Северного Каспия компанией «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» стало месторождение им. В. Филановского, открытое в 2005 г. Оно находится в 190 км от Астрахани, глубины толщи воды не превышают 11 м.

Следует отметить, что месторождение им. В. Филановского является одним из крупнейших месторождений углеводородов, открытых в России за последние 25 лет. Разведанные запасы составляли 129 млн т нефти. Добыча нефти на месторождении им. В. Филановского начата в октябре 2016 г., проектный уровень добычи составляет 6 млн т нефти в год. Освоение месторождения им. В. Филановского планируется в третьей очереди.

Основа функционирования системы месторождения им. В. Филановского обеспечивает максимальную оптимизацию освоения акватории Северного Каспия.

Техническая часть. Месторождения акватории Северного Каспия имеют сложное геологическое строение – продуктивные пласты неокомо-волжской залежи смяты в складки, разрываются тектоническими нарушениями и обладают высокой проницаемостью. Нефть месторождений отличается высоким качеством и относится к категории легкой и малосернистой.

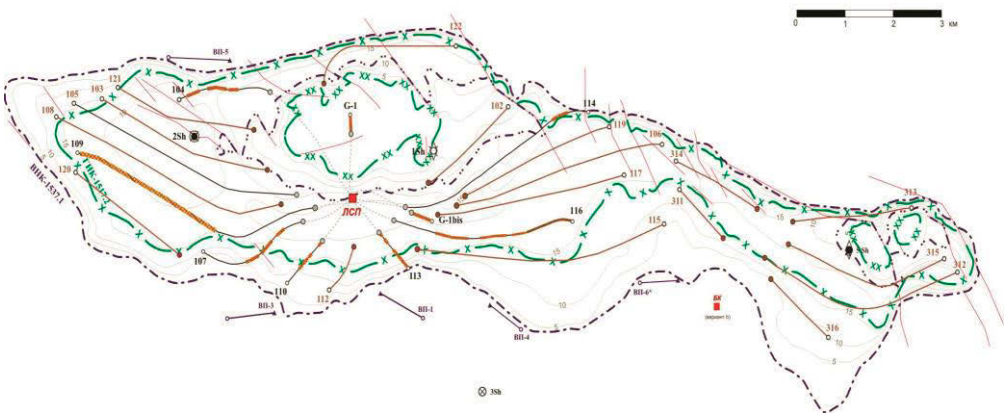


Рис. 1. Пробуренные и планируемые скважины на акватории Северного Каспия
Fig. 1. Drilled and planned wells in the northern Caspian

Акватория Северного Каспия является испытательной площадкой компании «ЛУКОЙЛ», здесь применяются передовые технологии бурения и заканчивания эксплуатационных скважин. На месторождении им. Ю. Корчагина пробурены первые горизонтальные скважины с максимальными горизонтальными участками – до 5000 м (рис. 1).

Общая длина горизонтальных скважин на исследуемом горизонте позволила получить большую поверхность вскрытия пласта и тем самым снизить фильтрационное сопротивление в призабойных зонах. Строительство горизонтальных стволов в продуктивном коллекторе до нескольких тысяч метров вскрыло в неоднородном пласте участки с повышенной проницаемостью, это позволило получить максимально высокие дебиты по сравнению с вертикальными скважинами. Такая технология позволила эксплуатировать залежи углеводородов меньшим числом скважин на минимальных показателях депрессии [1–10].

Оптимальное количество скважин решает как экономическую, так и техническую задачу при оценке нефтяных залежей [2–5].

Методика проведения исследований. Метод геонавигации использовался при бурении горизонтальных скважин. Для него были использованы геофизические данные и базы данных ГИС по пробуренным скважинам. Задачи решались в режиме бурения скважин (рис. 2, интеграция данных GeoSphere (вверху) и сейсмического разреза (внизу) позволили достичь контакта с коллектором 815 м по стволу, эффективная часть ствола составила 98 %). Это необходимо не только для того, чтобы вести ствол скважины в продуктивном коллекторе, но и для получения дополнительной информации в процессе эксплуатации.

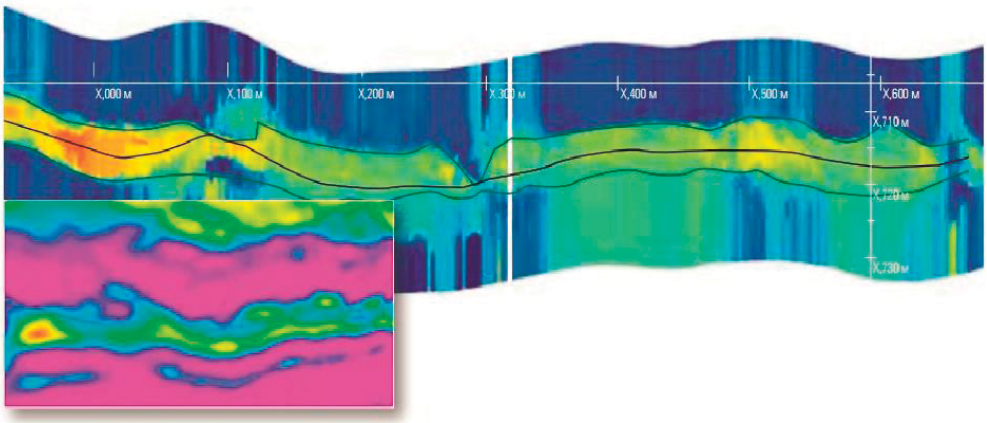


Рис. 2. Геонавигация горизонтального ствола
Fig. 2. Geosteering horizontal trunk

При проведении исследований применялись геофизические методы сейсморазведки и электроразведки, была задействована зарубежная аппаратура, использующая электромагнитные поля – технология GeoSphere [2–5].

Используемая технология устраняет риск потери эффективной длины ствола над коллектором или выход под целевой интервал. Полученные измерения помогают улучшить понимание межскважинной корреляции и снижают необходимость бурения пилотных стволов в сложных геологических условиях.

Также данная технология обеспечивает визуализацию структуры коллектора, что позволяет осуществлять геонавигацию в соответствии со стратегическими задачами разработки месторождения. Детальное картирование элементов залегания и контактов флюидов в режиме реального времени обеспечивает получение критической информации с целью избежания выхода за пределы коллектора [3–10].

Обсуждение результатов исследований. Определена нецелесообразность эксплуатации протяженными участками пофазовых зон нефтяных оторочек. При проведении исследований была использована схема, которая позволила оптимизировать профиль притока скважинного флюида в скважину, и применено штуцирование зон для сокращения рисков преждевременного прорыва воды и газа. Данная комплексная методика получила название «интеллектуальное заканчивание» [13, 14].

Выводы. «Интеллектуальное заканчивание» скважин представляет собой комплекс активных устройств регулирования притока, спускаемый на насосно-компрессорных трубах, с оборудованием мониторинга за скважинными показателями наряду с системой разобщения продуктивной части пласта по проницаемости (рис. 3).

Данный комплекс позволяет осуществить мониторинг и контроль продуктивных зон пласта в реальном времени без проведения дополнительных внутрискважинных работ. Благодаря этому технологии интеллектуальных скважин обеспечивают максимальную площадь дренирования пласта и увеличивают нефтеотдачу продуктивных пластов [3–7].

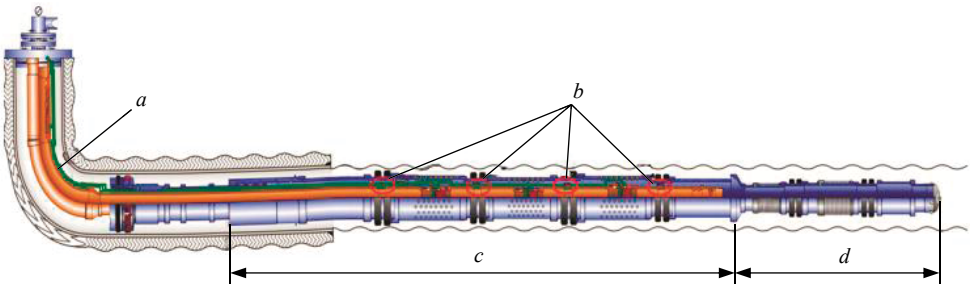


Рис. 3. Схема комбинированного заканчивания:
a – верхнее заканчивание представлено колонной НКТ с системой активных устройств регулирования притока; *b* – пакеры, спускаемые на колонне НКТ и устанавливаемые напротив соответствующего разбухающего пакера нижнего закачивания; *c* – участок работы активных устройств регулирования притока, спускаемых на колонне НКТ; *d* – участок работы пассивных устройств регулирования притока
Fig. 3. Scheme of combined completion:
a – top completion represented by a tubing string with a system of active flow control devices; *b* – packers lowered on a tubing string and installed against the corresponding swellable packer of the lower injection; *c* – section of operation of active devices for regulating the inflow of the tubing that is lowered to the column; *d* – section of work of passive flow control devices

Геологической особенностью месторождения им. В. Филановского является то, что оно представляет собой антиклинальную ловушку, осложненную серией разломов, делящих продуктивный коллектор на несколько частично-сообщающихся блоков. С целью минимизации количества слотов на платформе все

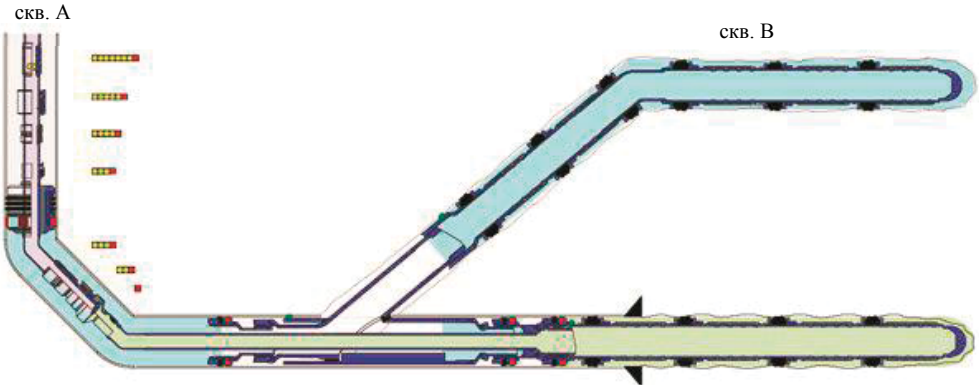


Рис. 4. Конструкция скважин А и В месторождения им. В. Филановского
Fig. 4. The design of wells A and B of the V. Filanovsky field

эксплуатационные скважины на месторождении им. В. Филановского были запланированы двуствольными. Второй ствол забуривается из основного с помощью клина-отклонителя, с целью избежания обрушения пород в интервале окна после его вырезки интервал вырезки размещается в устойчивых, непроницаемых породах. С целью обустройства места вырезки окна проводится установка узла разветвления типа TAML5, обеспечивающего максимальную

герметичность места сочленения при дальнейшей эксплуатации стволов скважины [4–14].

Первые успешные работы доказали, что строительство интеллектуальных двуствольных скважин имеет смысл как с технической, так и с экономической точки зрения (рис. 4).

Первые интеллектуальные двуствольные скважины были пробурены на месторождении им. В. Филановского, их дебиты превысили дебиты соседних горизонтальных скважин на 20–60 %.

Применение таких технологий может интенсифицировать освоение Каспийского шельфа, что является неотъемлемой частью успешного развития южного региона и России в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Елисеев Д. В., Куренов М. В. Моделирование спуска комбинированного заканчивания в горизонтальные скважины месторождения им. Ю. Корчагина // Нефтегазовое дело. 2013. № 4. С. 150–158.

2. Ракитин М. В. Проблемы и перспективы использования ГТИ и ГИС-бурения (LWD) на основе опыта бурения эксплуатационных скважин на шельфе Северного Каспия // Бурение и нефть. 2015. № 7–8. С. 15–18.

3. Гусейнов Т. Н., Егорова Е. В. Технология сверхглубокого картирования разреза при бурении // Новейшие технологии освоения месторождений углеводородного сырья и обеспечение безопасности экосистем Каспийского шельфа. Матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань: Астрахан. гос. техн. ун-т, 2018. С. 18–23.

4. Голенкин М. Ю., Латыпов А. С. Первые интеллектуальные двуствольные скважины TAML5 на месторождении им. В. Филановского // ROGTEC Russian oil & gas technologies. URL: https://rogtecmagazine.com/лукойл-первые-интеллектуальные-двус/?lang=ru (дата обращения 13.05.2019).

5. Дулаева Е. Н., Шакиров Р. И. Анализ зон разуплотнений, выделенных различными методами, в карбонатных коллекторах башкирско-серпуховских отложений // Геология, разработка нефтяных и нефтегазовых месторождений: тезисы докл. Бугульма, 2013. С. 51–58.

6. Егорова Е. В., Клюев Р. В., Босиков И. И., Цидаев Б. С. Оценка использования эффективных технологий для повышения устойчивости развития природно-технической системы нефтегазового комплекса // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 3(37). С. 392–403.

7. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Revazov V. Ch. Performance evaluation of functioning of natural-industrial system of mining-processing complex with help of analytical and mathematical models // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 327 022013.

8. Галкин В. И., Кочнева О. Е. Геология и геохимия нефти и газа. Пермь: ПНИПУ, 2017. 181 с.

9. Норман Дж. Хайн. Геология, разведка, бурение и добыча нефти. М.: Олимп-Бизнес, 2008. 752 с.

10. Tang G.-Q. & Morrow N. R. Influence of brine composition and fines migration on crude oil/brine/rock interactions and oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering. 1999. 111. No. 24. P. 99.

11. Wilcox R., Fisk J. Test show shale behavior, aid well planning. Oil and Gas J. 1983. 12/IX. Vol. 81. No. 37.

12. Тагиров К. М. Крепление скважин с точки зрения абсорбции и газообразования // Газовая промышленность. 2001. № 3. С. 48–49.

13. Гасумов Р. А., Минченко Ю. С. Технологические жидкости, препятствующие миграции пластовых флюидов в кольцевое пространство при строительстве скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2017. № 6. С. 21–24.

14. Гасумов Р. А., Дубенко В. Е., Минченко Ю. С., Белоус А. В., Селюкова В. Н. Применение гелеобразующих систем для временной блокировки газового коллектора при цементировании скважин с открытым дном // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2015. № 2. С. 13–16.

Поступила в редакцию 1 октября 2019 года

Сведения об авторах:

Цидаев Батраз Саламович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой нефтегазового дела Северо-Кавказского горно-металлургического института. E-mail: igor.boss.777@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-14-20

An integrated approach to hydrocarbons offshore mining optimization in the waters of the northern Caspian sea in difficult geological conditions

Batraz S. Tsidaev[1]
[1] North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy, Vladikavkaz, Russia.

Abstract

Research aim and objectives. *The article highlights the development of the Caspian shelf, identifies prospects and options for further development of oil and gas production in the Caspian. The aim of the work is to conduct a comprehensive assessment of the new technology of "smart completion". To achieve the goal, the following tasks were solved: optimization of fluid inflow to the well and prevention of gas from the gas cap and bottom water breakthrough into the well; integrated monitoring and control of the reservoir zones in real time without additional downhole operations.*

Research methodology. *When drilling horizontal wells undersea, the task of geosteering comes to the fore. It required the integration of seismic data, reservoir tilt measurements, GTI and GIS data and was carried out in real drilling mode. The applied technique provided visualization of the reservoir structure, which allowed for geosteering in accordance with the strategic objectives of the field development. Detailed mapping of bed elements and fluid contacts in real time provides critical information in order to avoid going beyond the reservoir.*

Research results and analysis. *The inexpediency has been determined of operating with extended lengths of phase-by-phase zones of oil rims with active bottom water without well fluid inflow profiles control devices. This scheme allowed to optimize the profile of well fluid flow into the well, reducing the risks of water and gas premature breakthrough. The solution to this problem, namely the reduction in the volume of breakthrough gas and/or water into the borehole, is through active jointing of zones.*

Summary. *This complex allows real-time monitoring and control of reservoir zones in the reservoir without additional downhole operations. Thanks to this, the technologies of smart wells provide maximum drainage area of the reservoir and increase oil recovery of the reservoir. An assessment of the new technology of "smart completion" of production wells with long horizontal sections has been carried out.*

Key words: *shelf; Caspian sea; field; drilling of horizontal wells; geosteering; smart completion.*

REFERENCES

1. Eliseev D. V., Kurenov M. V. Combined completion system design model for horizontal wells on Yu. Korchagin off-shore field. *Neftegazovoe delo = Oil and Gas Business*. 2013; 4: 150–158. (In Russ.)
2. Rakitin M. V. The GTI and GIS on the shelf-problems and prospects. *Burenie i neft = Drilling and Oil*. 2015; 7–8: 15–18. (In Russ.)
3. Guseinov T. N., Egorova E. V. Technology of ultra-deep mapping of the section during drilling. In: *Newest technologies for the development of hydrocarbon deposits and ensuring the safety of ecosystems of the Caspian shelf: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference, 2018*. Astrakhan: ASTU Publishing; 2018. p. 18–23. (In Russ.)
4. Golenkin M. Yu., Latypov A. S. First intelligent multilateral TAML5 wells in the V. Filanovsky field. *ROGTEC Russian Oil and Gas Technologies*. Available from: https://rogtecmagazine.com/lukoil-first-intellectual- two/?lang=ru [Accessed 13th May 2019]. (In Russ.)
5. Dulaeva E. N., Shakirov R. I. Analysis of decompression zones identified by various methods in carbonate reservoirs of the Bashkir-Serpukhov deposits. In: *Geology, development of oil and gas fields: abstracts*. Bugulma; 2013. P. 57–58. (In Russ.)
6. Egorova E. V., Kliuev R. V., Bosikov I. I., Tsidaev B. S. Evaluation of use of effective technologies for increasing sustainable development of natural and technical system of oil and gas complex. *Ustoichivoe razvitie gornykh territorii = Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018; 10; 3(37); 392–403. (In Russ.)
7. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Revazov V. Ch. Performance evaluation of functioning of natural-industrial system of mining-processing complex with help of analytical and mathematical models. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018*. 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 327 022013.
8. Galkin V. I., Kochneva O. E. *Geology and geochemistry of oil and gas*. Perm: PNRPU Publishing; 2017. (In Russ.)
9. Norman J. Hyne. *Petroleum geology, exploration, drilling, and production*. Moscow: Olimp-Biznes Publishing; 2008. (Translation from English)
10. Tang G.-Q. & Morrow N. R. Influence of brine composition and fines migration on crude oil/brine/rock interactions and oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 1999; 111; 24: 99.
11. Wilcox R., Fisk J. Test show shale behavior, aid well planning. *Oil and Gas J*. 1983; 12/IX; 81; 37.
12. Tagirov K. M. Fastening wells in terms of absorption and gas showering. *Gazovaia promyshlennost = Gas Industry*. 2001; 3: 48–49. (In Russ.)
13. Gasumov R. A., Minchenko Iu. S. Technological liquids that prevent the migration of reservoir fluids in the annular space during construction wells. *Stroitelstvo neftianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more = Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*. 2017; 6: 21–24. (In Russ.)

14. Gasumov R. A., Dubenko V. E., Minchenko Iu. S., Belous A. V., Seliukova V. N. Appliance of gel-forming systems for temporary blocking of fiery seam while cementing wells with exposed bottomhole. *Vestnik Assotsiatsii burovykh podriadchikov = Bulletin of the Association of Drilling Contractors*. 2015; 2: 13–16. (In Russ.)

Received 1 October 2019

Information about authors:

Batraz S. Tsidaev – PhD (Engineering), Head of Oil and Gas Business Department, North-Caucasian Institute of Mining and Metallurgy. E-mail: igor.boss.777@mail.ru

Для цитирования: Цидаев Б. С. Комплексный подход к оптимизации освоения морских месторождений углеводородов в акватории Северного Каспия в сложных геологических условиях // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 14–20. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-14-20
For citation: Tsidaev B. S. An integrated approach to hydrocarbons offshore mining optimization in the waters of the northern Caspian sea in difficult geological conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 14–20 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-14-20

УДК 622.755:622.362.3 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-21-29

Разделение песков в процессе их гидротранспортирования

Багазеев В. К.[1], Бойков И. С.[1]*, Валиев Н. Г.[1], Здоровец И. Л.[2]
[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
[2] Артель старателей «Нейва», г. Невьянск, Свердловская область, Россия
e-mail: i.boikov@bk.ru

Реферат

Введение. *Для непрерывного разделения твердых частиц песка по крупности и плотности в технологической цепи разработки россыпных месторождений землесосными снарядами целесообразно использование цилиндрических гидроциклонов в условиях земснарядной разработки месторождения.*

Цель работы. *Определение технологических параметров попутного разделения мелких и легких частиц и тяжелых минералов в цилиндрических гидроциклонах при разработке россыпных месторождений землесосными снарядами.*

Методология. *В работе решаются задачи определения пропускной способности, конструктивных размеров и расчета показателей разделения твердых частиц в цилиндрических гидроциклонах с плоским дном на основе теоретических положений цилиндроконических гидроциклонов и экспериментов в лабораторных условиях.*

Результаты. *Выбраны наиболее приемлемые аналитические зависимости и формулы для ориентировочного определения параметров: пропускной способности (производительности) по формуле Модера и Дальстрома; перепадов давления с учетом чисел Рейнольдса и Эйлера; крупности граничного зерна по развернутой формуле А. И. Поварова. Смонтирована лабораторная установка цилиндрического гидроциклона с плоским дном с характеристиками, как и у цилиндроконических гидроциклонов. Показана достаточная сходимость расчетных параметров с показателями, измеренными на лабораторной установке гидроциклона с плоским дном, при эффективности разделения 54 %.*

Выводы. *Использование попутного разделения минералов в цилиндрических гидроциклонах существенно повысит эффективность их последующего обогащения.*

Ключевые слова: *земснаряд; цилиндрический гидроциклон; производительность; перепад давления; граничное зерно.*

Введение. При разработке россыпных месторождений перед операциями первичного обогащения имеет место попутное разделение твердых частиц в технологических операциях. Это особенно важно при низком содержании полезных минералов в техногенных и мелкозернистых песках. Попутное разделение возможно при гидротранспорте песков в цилиндрических гидроциклонах, обладающих большой пропускной способностью.

Центробежные силы, возникающие в гидроциклоне, способствуют эффективному разделению твердых частиц по крупности и плотности, что повышает показатели последующего обогащения. Достоинства таких гидроциклонов – простота конструкции и возможность непрерывного разделения частиц без разрыва технологической цепи разработки месторождения.

Механизм и динамика сепарации частиц в гидроциклонах освещены в специальной и учебной литературе [1–4, 5]. В промышленности широко распространены цилиндроконические гидроциклоны, которые в зависимости от угла конусности α используются для обесшламливания и сгущения гидросмеси (при $\alpha = 10°$), для гидравлической классификации ($\alpha = 20°$), для обогащения в тяжелых средах ($\alpha = 40°–60°$), для сепарации по плотности (при $\alpha > 60°$) [4].

Разделение по плотности происходит и в плоскодонных цилиндрических гидроциклонах, при этом технологические показатели разделения приблизительно соответствуют показателям конических [1].

Цель работы – определение технологических параметров попутного разделения мелких и легких частиц и тяжелых минералов в цилиндрических гидроциклонах с плоским дном в условиях земснарядной разработки россыпных месторождений.

Методология. В работе решаются задачи определения пропускной способности, конструктивных параметров, расчета показателей разделения в цилиндрических гидроциклонах на основе общих теоретических положений расчета и сопоставления их с результатами экспериментов в лабораторных условиях.

Особенностью объектов исследования является большая производительность по пескам и гидросмеси, недостаточная изученность гидроциклонов с плоским дном и их размещения в непрерывной технологической цепи земснарядной добычи песков.

Изложение материалов исследования. В конструктивном отношении у цилиндроконических гидроциклонов принимаются следующие соотношения геометрических размеров [1, 2, 4]:

$$d_{\text{вх}}/D = 0,30 - 0,17; \qquad d_{\text{в}}/D = 0,30 - 0,16; \qquad d_{\text{н}}/D = 0,10 - 0,25;$$
$$L = (4,8 - 5,2)D,$$

где D – внутренний диаметр цилиндрической части, м; L – длина (высота) гидроциклона, м; $d_{\text{вх}}$, $d_{\text{в}}$, $d_{\text{н}}$ – диаметры входного, верхнего, нижнего патрубков, м.

Технологический расчет гидроциклона включает определение расходных характеристик, гидравлический расчет перепада давления на входе и выходе гидроциклона, прогноз разделения твердых частиц по граничной крупности.

Под крупностью граничного зерна δ понимается размер таких частиц, которые распределяются поровну между продуктами разделения в верхнем и нижнем патрубках. Считается, что частицы размером больше δ выделяются в основном в нижний продукт, а меньше δ – в верхний продукт.

Приближенное теоретическое определение расхода воды через гидроциклон $Q_{\text{с}}$, м^3/с, на основе уравнения Д. Бернулли, с учетом параметров гидроциклона таково [5]:

$$Q_{\text{с}} = \mu \frac{\pi}{4} \frac{d_{\text{вх}}^{1,2}}{D^{0,6}} \left(d_{\text{в}}^2 + d_{\text{н}}^2\right)^{0,7} \sqrt{2gH}, \tag{1}$$

где μ – коэффициент расхода, μ = 0,5–0,7; H – напор воды на входе в гидроциклон, м; D – внутренний диаметр цилиндрической части, м; $d_{\text{вх}}$, $d_{\text{в}}$, $d_{\text{н}}$ – диаметры входного, верхнего, нижнего патрубков, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2. На практике для расчета пропускной способности (производительности) цилиндроконических гидроциклонов разработано большое количество эмпирических формул.

Для цилиндрического плоскодонного гидроциклона более соответствующей (без указания конусности) будет экспериментальная формула Модера и Дальстрома [2, 6]:

$$Q_{\text{ч}} = 10^{-2} k \left(d_{\text{вх}}^1 \quad d_{\text{в}}^1\right)^{0,9} \sqrt{\Delta P},$$

или

$$Q_{ч} = k\left(d^1_{вх} d^1_{в}\right)^{0,9}\sqrt{H}, \tag{2}$$

где $Q_{ч}$ – пропускная способность, м^3/ч; $d^1_{вх}$, $d^1_{в}$ – диаметры входного, верхнего патрубков, см; ΔP – перепад давления, Па; k – коэффициент, учитывающий объемную концентрацию твердого в гидросмеси, k = 0,4–0,6 при $d^1_{вх}$, $d^1_{в}$ = 0,75–2,1.

Перепад давления ΔP характеризует потери энергии потока (потери напора ΔH) на преодоление гидравлических сопротивлений в гидроциклоне. В зависимости от режима движения потока гидросмеси [1] вдоль оси гидроциклона образуется воздушный столб за счет подсасывания воздуха при выгрузке выходящих потоков в атмосферу [7].

Для гидроциклонов без воздушного столба [1]

$$\Delta P = E_{И}\rho U^2_{вх}, \tag{3}$$

с воздушным столбом

$$\Delta P = 0,5E_{И}\rho U^2_{вх}, \tag{4}$$

где $E_{И}$ – безразмерный параметр (критерий) Эйлера; ρ – плотность гидросмеси, кг/м^3; $U_{вх}$ – скорость потока в питающем патрубке, м/с; ΔP – перепад давления, Па.

Критерий Эйлера для гидроциклона [1]

$$E_{И} = 1 + 3,5Ae\left(\frac{Q_{в}}{Q_{вх}}\right)^{0,8}, \tag{5}$$

где $Q_{в}$, $Q_{вх}$ – расход гидросмеси через питающий и верхний патрубок, м^3/ч; e – коэффициент, учитывающий шероховатость стенок гидроциклона; A – безразмерный параметр, зависящий от критерия Рейнольдса Re, в [1] имеется графическая зависимость, которая аппроксимирована формулой

$$A = 1,43\lg \mathrm{Re} - 5,2 \tag{6}$$

где

$$\mathrm{Re} = \frac{d_{вх}U_{вх}\rho}{\mu_{ж}}, \tag{7}$$

где $\mu_{ж}$ – динамический коэффициент вязкости, Па · с.

Номинальная крупность граничного зерна δ, мкм, по формуле Модера [2]

$$\delta = \frac{13,8\left(d_{вх}d_{в}\right)^{0,68}}{\sqrt{\left(\rho_{т} - \rho_{о}\right)\left[Q_{с}/F_{вх}\right]^{0,53}}}, \tag{8}$$

где $d_{вх}$, $d_{в}$ – диаметры входного, верхнего патрубков, см; $Q_{с}$ – расход воды через гидроциклон, см^3/с; $F_{вх}$ – площадь поперечного сечения входного патрубка, см^2; $\rho_{т}$, $\rho_{о}$ – плотности твердых частиц и жидкости, г/см^3.

Более развернутая формула граничной крупности А. И. Поварова [1, 6]:

$$\delta = 0{,}182D\sqrt{\frac{d_{н}\mu_{ж}}{K_D K_\alpha H_{ц}\alpha^{0,3}\left(\rho_{т}-\rho\right)\sqrt{P}}}, \qquad (9)$$

где D, $d_{н}$, $d_{в}$ – внутренний диаметр цилиндрической части, диаметры нижнего, верхнего патрубков, см; $H_{ц}$ – высота гидроциклона, см; δ – диаметр граничного зерна, см; $\rho_{т}$, ρ – плотности твердых частиц и гидросмеси, г/см^3; $\mu_{ж}$ – динамический коэффициент вязкости, пуаз; поправочные коэффициенты на диаметр

$$K_D = 0{,}8 + \frac{1{,}2}{1+0{,}1D}$$

и угол конусности

$$K_\alpha = 0{,}79 + \frac{0{,}044}{0{,}0379\mathrm{tg}(\alpha/2)},$$

где α – угол конусности, рад.

Выход твердых частиц в сливе приблизительно равен суммарному выходу класса по минусу крупности $\delta_{н}$ в исходной гидросмеси, а выход песковой фракции – по плюсу.

Таким образом, по формулам (2)–(9) возможно определение основных технологических параметров ориентировочно цилиндрических гидроциклонов с плоским дном.

Исследование параметров гидроциклона с плоским дном проводилось на лабораторной установке (рис. 1, табл. 1).

Таблица 1. Размеры лабораторной установки
Table 1. Dimensions of the laboratory facility

Параметр, ед. изм.	**Значение**
Длина (высота) цилиндра L, см	34,0
Угол наклона цилиндра τ, град.	10; 60; 90
Диаметр цилиндра D, см	5,0
Диаметр входного патрубка $d_{вх}$, см	1,5
Диаметр верхнего патрубка $d_{в}$, см	1,5
Диаметр нижнего патрубка $d_{н}$, см	1,0; 0,6
Диаметр насадки гидроэлеватора $d_{нас}$, см	0,6
Манометрический напор P, кг/см^2	0,2; 1; 1,5
Эквивалентный диаметр $d_{экв}$ при $d_{н}$ = 0,6 см ($d_{н}$ = 1,0 см)	1,43; 1,64
Эффективный диаметр $d_{эф}$ при $d_{н}$ = 0,6 см ($d_{н}$ = 1,0 см)	0,47; 0,41

В ходе испытаний измерялись: угол наклона цилиндра к горизонту τ (град); манометрическое давление воды P (кгс/см^2); время подачи t (с); объем верхнего продукта $V_{в}$ (л), нижнего продукта $V_{н}$ (л), рассчитывались: общий расход подачи $q_{о}$ (л/с); расход верхнего продукта $q_{в}$ (л/с); расход нижнего продукта $q_{н}$ (л/с), опыты повторялись от 3 до 6 раз, средние значения приводятся в табл. 2.

Сопоставим расчетные и измеренные показатели с учетом величины начального давления P, скорости потока во входном патрубке $U_{вх}$ и значений коэффициентов μ и K.

1. Пропускная способность по формуле (1):

Опыт 17В: P = 0,95 кгс/см^2 (H = 9,5 м вод. ст.); $U_{вх}$ = 4,98 м/с; $q_о$ = 0,88 л/с = = 0,00088 м^3/с. Расчет: μ = 0,575. Расчетные значения $Q_с$ соответствуют измеренным: $Q_с = q_о$ = 0,00088 м^3/с.

Опыт 15: P = 0,15 кгс/см^2 (H = 1,5 м); $U_{вх}$ = 0,781 м/с; $q_о$ = 0,00013 м^3/с. Расчет: $Q_с$ = μ · 0,000543 м^3/с. Расчетные значения соответствуют измеренным: $Q_с = q_о$ при μ = 0,024.

2. Пропускная способность по формуле (2):

Опыт 17В: $q_о$ = 0,88 л/с = 3,168 м^3/ч; расчет K = 0,482. Расчетные значения соответствуют измеренным при K = 0,482; $Q_ч = q_о$ = 3,168 м^3/ч.

Опыт 15: $q_о$ = 0,13 л/с = 0,468 м^3/ч. Расчетные значения соответствуют измеренным при K = 0,18; $Q_ч = q_о$ = 0,468 м^3/с.

3. Перепад давления по формулам (3), (4):

Опыт 17В: $d_в$ = 0,015 м ($q_{о.в}$ = 0,00039 м^3/с – расход через верхний патрубок); $H_в$ = 2,2 м; $d_н$ = 0,008 м; $q_{о.н}$ = 0,00041 м^3/с; $H_н$ = 7,27 м; P = 1000 кгс/м^2; $\mu_ж = 10^{-3}$ Па · с.

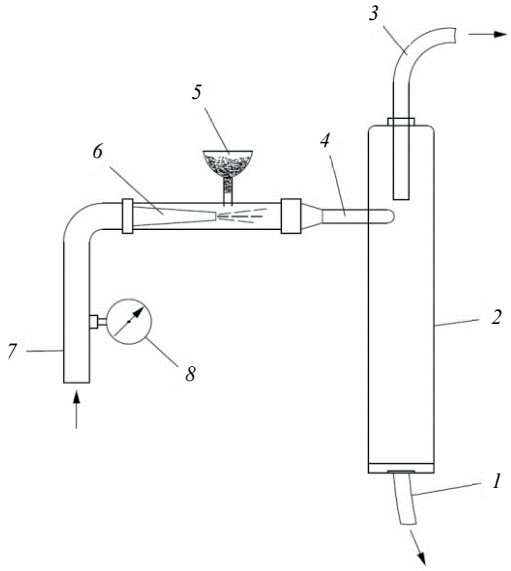


Рис. 1. Лабораторная установка цилиндрического гидроциклона:
1 – патрубок нижнего продукта; *2* – корпус из плексигласа; *3* – патрубок верхнего продукта; *4* – входной патрубок; *5* – воронка для сухой загрузки песка; *6* – насадка гидроэлеватора; *7* – патрубок подачи воды; *8* – манометр

Fig. 1. Laboratory installation of a cylindrical hydrocyclone:
1 – underflow pipe; *2* – body made of plexiglass; *3* – overflow pipe; *4* – inlet pipe; *5* – funnel for dry sand loading; *6* – jet gun nozzle; *7* – water supply pipe; *8* – manometer

При расчетах по формулам получены следующие значения:

$$\mathrm{Re} = 74\ 700; \qquad A = 1,77; \qquad E_И = 4,227; \qquad \Delta P = 104\ 830\ \text{Па}.$$

Все расчетные значения коэффициентов μ, φ, k, перепад давления ΔP находятся в пределах, приводимых в литературе [1–12], где φ = μ/e – коэффициент скорости; e – коэффициент сжатия струи, для круглых отверстий $e \approx 0,64$ [11].

Исходя из возможных условий сухой загрузки песчаной смеси гидроэлеватором для определения номинальной крупности граничного зерна получены следу-

ющие показатели (опыт 13, табл. 3, рис. 2): P = 0,22 кгс/см^2; $q_о$ = 0,146 л/с; объем воды $W_о$ = 42,77 л; масса песчаной смеси П = 143,2 г; выход продуктов разделения через верхний патрубок: объем воды $W_о$ = 36,4 л; масса песка $П_в$ = 50,9 г; через нижний патрубок: объем воды $W_о$ = 6,4 л, масса песка $П_н$ = 92,3 г.

Таблица 2. Расходные характеристики гидроциклона
Table 2. Flow characteristics of a hydrocyclone

Номер опыта	Угол τ, град	Подача воды				Верхний продукт (слив)		Нижний продукт (пески)	
		P, кгс/см^2	t, с	$V_в + V_н$	$q_о$, л/с	$V_в$, л	$q_в$, л/с	$V_н$, л	$q_н$, л/с
10	90	0,200	245	35,400	0,144	28,40	0,110	7,000	0,0280
12–14	60	0,200	281	37,320	0,132	33,85	0,128	3,470	0,0123
15	10	0,250	68	8,840	0,130	8,35	0,123	0,485	0,0710
16^в	90	0,200	15	1,265	0,084	0,87	0,058	0,375	0,0250
16^б	60	0,100	15	1,975	0,132	1,60	0,107	0,375	0,0250
16^а	10	0,150	15	1,920	0,138	1,62	0,108	0,300	0,0200
17^а	90	0,920	10	8,020	0,800	4,27	0,425	3,750	0,3700
17^б	60	0,975	10	8,080	0,800	4,22	0,420	3,860	0,3850
17^в	10	0,950	10	8,840	0,880	3,94	0,390	4,900	0,4100

По результатам измерений, приведенных в табл. 3, построен график для определения граничной крупности частиц – частиц, соответствующих 50-процентному извлечению в верхний и нижний патрубки, $\delta_{гр}$ = 0,12 мм. Расчетные значения по формулам составили: по формуле Мадера (8) $\delta_{гр}$ = 0,006 мм; по развернутой формуле А. И. Поварова (9) $\delta_{гр}$ = 0,12 мм.

Таким образом, наибольшее соответствие достигается по формуле (9).

Таблица 3. Показатели разделения песчаной смеси
Table 3. The indicators of sand mixture separation

Класс крупности, мм	Средняя крупность класса d, мм	Состав смеси, %			Извлечение	
		исходной	верхнего продукта (слив)	нижнего продукта (песков)	во фракцию верхнего продукта (в слив), $И_в$	во фракцию нижнего продукта (в пески), $И_н$
–2+1	1,5	7,4	–	11,3	–	100,0
–1+0,5	0,75	10,4	0,3	15,7	1,3	98,7
–0,5+0,25	0,375	27,3	3,9	36,9	5,1	94,9
–0,25+0,1	0,175	19,3	19,7	21,1	36,2	63,8
0,1	0,05	35,6	76,1	15,0	76,0	24,0

Эффективность классификации E (доли ед.) определяется как отношение приращения количества материала определенной крупности в верхнем патрубке (сливе) к приращению количества материала той же крупности в сливе в идеальном случае

$$E = \frac{(\alpha - \upsilon)(\beta - \alpha)}{\alpha(1 - \alpha)(\beta - \upsilon)},$$

где α, β, υ – содержание частиц расчетного класса в питании, сливе и песках, доли ед.

В опытных измерениях (табл. 3): $\alpha = 0{,}3$; $\beta = 0{,}77$; $\upsilon = 0{,}15$. Тогда $E = 0{,}54$, или 54 %.

Результаты исследований. Выбраны наиболее приемлемые аналитические зависимости и формулы для ориентировочного определения технологических параметров цилиндрических гидроциклонов с плоским дном: пропускной способности (формула (2)), перепада давления (формулы (3)–(7)), граничной крупности (формула (9)).

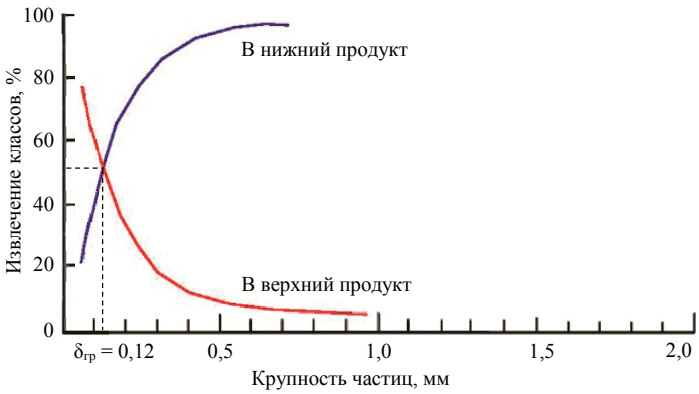


Рис. 2. График определения граничной крупности $\delta_{гр}$
Fig. 2. The boundary size δ_b chart

Смонтирована лабораторная установка цилиндрического гидроциклона с плоским дном с характеристиками, подобными цилиндроконическим гидроциклонам.

Показана достаточная сходимость расчетных параметров с измеренными на лабораторной установке гидроциклона с плоским дном с эффективностью разделения $E = 54$ %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башаров М. М., Сергеева О. А. Устройство и расчет гидроциклонов / под ред. А. Г. Лаптева. Казань: Вестфалика, 2012. 92 с.

2. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. II. СПб: Мир и семья, 2006. 916 с.

3. Кармазин В. В., Торопов О. А. Теоретический анализ технологических возможностей гидроциклонов // ГИАБ. 2009. № S15. Отд. вып. С. 215–228.

4. Пилов П. И. Гравитационная сепарация полезных ископаемых. Днепропетровск: НГУ, 2010. 123 с.

5. Измайлова А. Н., Консетов В. В. Теоретическое определение расходных характеристик гидроциклонов // Гидродинамические и тепломассообменные процессы в химической аппаратуре. Ленниихиммаш. Труды. 1967. № 2. С. 5–40.

6. Поваров А. И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. М.: Недра, 1978. 232 с.

7. Балахнин И. А. Исследование размеров воздушного столба в цилиндрическом гидроциклоне. Научное обозрение. Технические науки. 2014. № 1. С. 66.

8. Голубцов В. М., Олейник М. Л., Кравченко Д. Ю. К расчету производительности гидроциклона глиноземного производства Запорожского алюминиевого комбината // Металургія: наукові праці ЗДІА. 2009. Вип. 20. С. 147–153.

9. Moder J. A., Dahlstrom D. A. Fine-size, close-specific-gravity solid separation with the liquid-solid cyclone // Chem. Engng. Progr. 1952. Vol. 48. No. 2. P. 75–88.

10. Голубцов В. М. К расчету гидравлического сопротивления напорных гидроциклонов // Металургія: наукові праці ЗДІА. 2010. Вип. 22. С. 191–197.

11. Гусев А. А. Гидравлика. М.: Юрайт, 2013. 285 с.

12. Ялтанец И. М. Справочник по гидромеханизации. М.: Горная книга, 2011. 736 с.

Поступила в редакцию 28 октября 2019 года

Сведения об авторах:

Багазеев Виктор Константинович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Уральского государственного горного университета. E-mail: viktor.bagazeev@m.ursmu.ru
Бойков Иван Сергеевич – старший преподаватель кафедры горного дела Уральского государственного горного университета. E-mail: i.boikov@bk.ru
Валиев Нияз Гадым Оглы – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой горного дела Уральского государственного горного университета. E-mail: niyaz.valiev@m.ursmu.ru
Здоровец Игорь Леонидович – главный инженер артели старателей «Нейва». E-mail: zdorovets.i@yandex.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-21-29

Sand separation during hydrotransportation

Viktor K. Bagazeev[1], Ivan S. Boikov[1], Niiaz G. Valiev[1], Igor L. Zdorovets[2]
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.
[2] Neiva Gold Mining Cooperative, Neviansk, Sverdlovsk region, Russia.

Abstract

Introduction. *For solid sand particles continuous separation by size and density in the proccessing chain of placer development with suction dredges, it is advisable to use cylindrical hydrocyclones when dredging a deposit.*
Research aim *is to determine process parameters of small and light particles and heavy minerals secondary separation in cylindrical hydrocyclones when developing placers with dredgers.*
Methodology. *The paper deals with the problems of throughput and structural dimensions determination and solid particles separation in flat bottom cylindrical hydrocyclones calculation based on the theoretical positions of cylindrical-conical hydrocyclones and laboratory experiments.*
Results. *The most acceptable analytical dependencies and formulae were selected for the approximate determination of the parameters: throughput (productivity) according to the formula of Modera and Dalstrom; pressure drops with Reynolds and Euler numbers; boundary grain size according to the detailed formula of A. I. Povarov. A laboratory installation of a flat bottom cylindrical hydrocyclone was mounted with characteristics similar to cylindrical hydrocyclones. A sufficient convergence of the calculated parameters with the indicators measured at the laboratory installation of a flat-bottom hydrocyclone is shown with a separation efficiency of 54%.*
Conclusions. *The use of the secondary separation of minerals in cylindrical hydrocyclones will significantly increase the efficiency of their further dressing.*

Key words: *dredger; cylindrical hydrocyclone; performance; pressure drop; boundary grain.*

REFERENCES

1. Basharov M. M., Sergeeva O. A. *Structure and design of hydrocyclones*. Kazan: Vestfalika Publiching; 2012. (In Russ.)
2. *New reference for a chemist and a production engineer. Processes and devices of chemical technologies. Part 2*. St. Petersburg: Mir i semia Publishing; 2006. (In Russ.)
3. Karmazin V. V., Toropov O. A. Theoretical analysis of hydrocyclones process capabilities. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2009; S15 Special edition: 215–228. (In Russ.)
4. Pilov P. I. *Mineral gravity separation*. Dnepropetrovsk: NSU Publishing; 2010. (In Russ.)
5. Izmailova A. N., Konsetov V. V. Theoretical determination of hydrocyclones flow characteristics. In: *Hydrodynamic and heat-mass-exchange processes in chemical equipment. Lenniikhimmash. Proceedings*. 1967; 2: 5–40. (In Russ.)
6. Povarov A. I. *Hydrocyclones at dressing mills*. Moscow: Nedra Publishing; 1978. (In Russ.)
7. Balakhnin I. A. *Studying the size of the air column in a cylindrical hydrocyclone. Scientific Review. Engineering*. 2014; 1: 66. (In Russ.)
8. Golubtsov V. M., Oleinik M. L., Kravchenko D. Iu. On the productivity callculation of a alumina industry hydrocyclone at Zaporizhia aluminium smelter. *Metalurgiia: naukovi pratsi ZDIA*. 2009: 20: 147–153. (In Russ.)
9. Moder J. A., Dahlstrom D. A. Fine-size, close-specific-gravity solid separation with the liquid-solid cyclone. *Chem. Engng. Progr*. 1952; 48 (2): 75–88.
10. Golubtsov V. M. To the calculation of hydraulic resistance of pressure hydrocyclones. *Metalurgiia: naukovi pratsi ZDIA*. 2010; 22: 191–197. (In Russ.)
11. Gusev A. A. *Hydraulic engineering*. Moscow: Iurait Publishing; 2013. (In Russ.)
12. Ialtanets I. M. *Hydraulic mining reference*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2011. (In Russ.)

Received 28 October 2019

Information about authors:

Viktor K. Bagazeev – DSc (Engineering), Professor, professor of Mining Department, Ural State Mining University. E-mail: viktor.bagazeev@m.ursmu.ru
Ivan S. Boikov – senior lecturer, Mining Department, Ural State Mining University. E-mail: i.boikov@bk.ru
Niiaz G. Valiev – DSc (Engineering), Professor, Head of Mining Department, Ural State Mining University. E-mail: niyaz.valiev@m.ursmu.ru
Igor L. Zdorovets – engineering manager, Neiva Gold Mining Cooperative. E-mail: zdorovets.i@yandex.ru

Для цитирования: Багазеев В. К., Бойков И. С., Валиев Н. Г., Здоровец И. Л. Разделение песков в процессе их гидротранспортирования // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 21–29. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-21-29
For citation: Bagazeev V. K., Boikov I. S., Valiev N. G., Zdorovets I. L. Sand separation during hydrotransportation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 21–29 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-21-29

УДК 622.831 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-30-37

Прогноз потенциальной удароопасности нижних горизонтов Холбинского рудника

Сосновская Е. Л.[1]*, Авдеев А. Н.[1]
[1] Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: stress.igd@mail.ru

Реферат

Введение. *В 2016–2017 гг. на нижних горизонтах рудника Холбинский были отмечены вредные проявления горного давления в виде отслоений и обрушений блоков пород. Возникла актуальная необходимость уточнить геомеханические условия на руднике с целью оценки степени опасности действующих и вновь проводимых горных выработок.*

Методология. *В процессе исследований был использован комплекс методов и методик, включающий лабораторные исследования прочностных и упругих свойств горных пород; пространственно-статистический анализ трещиноватости; анализ степени дискования керна в приконтурном массиве разведочных выработок; натурные измерения природных напряжений методом щелевой разгрузки по методике ИГД УрО РАН; инженерно-математические расчеты техногенных напряжений в конструктивных элементах геотехнологий по авторским методикам; математическое моделировние методом конечных элементов; визуальные наблюдения степени устойчивости обнажений выработок и др.*

Результаты. *Установлено, что массив горных пород нижних горизонтов Холбинского рудника характеризуется категорией удароопасности «неопасно». Горные выработки и целики находятся в неустойчивом состоянии. Зафиксированы проявления горного давления в статических формах. Для повышения устойчивости конструктивных элементов систем разработки рекомендуется комплекс инженерно-технических мероприятий, в том числе: своевременное погашение междуэтажных и междукамерных целиков; сокращение срока выемки запасов блока; переход на ударобезопасные системы с закладкой; крепление стенок очистного пространства анкерами и др. По результатам исследований разработано Заключение об удароопасности и газодинамических проявлениях на Зун-Холбинском золоторудном месторождении (2017).*

Ключевые слова: *золоторудные жилы малой и средней мощности; устойчивость; удароопасность; горные выработки; целики; физико-механические свойства горных пород; природные и техногенные напряжения.*

Введение. Зун-Холбинское золоторудное месторождение представлено крутопадающими жилами малой и средней мощности. Геомеханические условия сложные. В массиве горных пород присутствуют тектонические нарушения и разломы. Имеются локальные обводненные участки. В настоящее время отрабатываются запасы на глубине 860–940 м. Запасы металла в жилах распределены крайне неравномерно, контакты жил с вмещающими породами нечеткие и определяются по данным опробования. Рудные тела разрабатываются системами с магазинированием руды, с креплением выработанного пространства, с закладкой [1, 2].

В 2016–2017 гг. на отдельных участках нижних горизонтов рудника были отмечены вредные проявления горного давления в виде отслоений и обрушений блоков пород. В связи с этим возникла актуальная необходимость уточнить гео-

механические условия на руднике с целью оценки степени опасности действующих и вновь проводимых горных выработок.

Методики. В процессе исследований были уточнены прочностные и упругие свойства горных пород, проведен анализ трещиноватости по керну разведочных скважин, определены природные и техногенные напряжения в приконтурном массиве, проведена оценка устойчивости и удароопасности конструктивных элементов систем разработки: междуэтажных и междукамерных целиков, стенок (бортов) очистных камер, подготовительных выработок.

Определение показателей физико-механических свойств горных пород производилось в соответствии с требованиями стандартов Российской Федерации на методы испытаний горных пород: ГОСТ 518084, ГОСТ 21153.3-85, ГОСТ 21153.2-84, ГОСТ 28985-91 и др. Анализ склонности горных пород к хрупкому разрушению под нагрузкой был проведен по двум методикам: критерию запредельного деформирования (соотношению модулей упругости E и спада M) и коэффициенту хрупкости (соотношению пределов прочности при одноосном сжатии и растяжении $\sigma_{сж}/\sigma_р$). С целью уточнения категории устойчивости горных пород в массиве проведен пространственно-статистический анализ тектонических структур по керновому материалу разведочных скважин, пробуренных на нижних горизонтах рудника. Произведена оценка категории удароопасности базовым прогнозным методом – по степени дискования керна [3].

Определение напряжений горных пород производилось натурными измерениями щелевой разгрузкой по методике Института горного дела УрО РАН [4, 5]. Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) конструктивных элементов систем разработки проведено Е. Л. Сосновской по комбинированной авторской методике Л. И. Сосновского. [3, 6, 7]. Методика подразумевает инженерный расчет техногенных напряжений в геоконструкциях с определением коэффициентов концентрации напряжений на основе конечно-элементного моделирования. Расчетные напряжения сравниваются с допустимыми напряжениями по проявлениям горного давления в статической и динамической форме. Такой подход позволяет оперативно оценивать конструктивные параметры геотехнологий в различных комбинациях и выбирать из них наиболее безопасные и эффективные.

Основные используемые формулы следующие:

$$\sigma_{мэц} = \left\{\left[\left(K_{вц}\sigma_в + K_{пц}\sigma_п\right) - \sigma_п\right]K_{об} + \sigma_п\right\}\Big/K_Ц \le \sigma_{доп};$$

$$\sigma_{мкц} = \left\{\left[\left(K_{пц}\sigma_п + K_{пр.ц}\sigma_{пр}\right) - \sigma_{пр}\right]K_{об} + \sigma_{пр}\right\}\Big/K_Ц \le \sigma_{доп};$$

$$\sigma_с = \left(K_{вс}\sigma_в + K_{гс}\sigma_г\right)K_{об} = \left(K_{пс}\sigma_п + K_{пр.с}\sigma_{пр}\right)K_{об} \le \sigma_{доп};$$

$$\sigma_{доп}^{ст} = \frac{\sigma^{об}K_с}{K_{дл}}; \qquad \sigma_{доп}^{дин} = K_{уд}\sigma^{об}; \qquad K_Ц = \sqrt{b_ц/m},$$

где $\sigma_{мэц}$, $\sigma_{мкц}$, $\sigma_с$ – техногенные напряжения в междуэтажном целике (потолочине), междукамерном целике, стенке (бортах) очистной камеры соответственно, МПа; $\sigma_{доп}^{ст}$, $\sigma_{доп}^{дин}$ – допустимые напряжения в массиве горных пород по статическим и динамическим проявлениям горного давления соответственно, МПа; $K_{вц}$, $K_{пц}$, $K_{пр.ц}$ – коэффициенты концентрации техногенных напряжений в целиках от действия единичных нагрузок, соответственно вертикальных, поперечных (горизонтальных, направленных вкрест простирания жилы) и продольных (горизонтальных, направленных по простиранию жилы); $K_{вс}$, $K_{гс}$, $K_{пс}$, $K_{пр.с}$ – коэффициенты концентрации техногенных напряжений в стенках камеры от действия

единичных нагрузок, соответственно вертикальных, горизонтальных, поперечных и продольных; $\sigma_в$, $\sigma_г$, $\sigma_п$, $\sigma_{пр}$ – напряжения в нетронутом массиве (первоначальные), действующие соответственно вертикально, горизонтально, вкрест простирания, по простиранию, МПа; $K_{об}$ – коэффициент перехода от плоской к объемной геомеханической задаче (коэффициент объемности); $K_Ц$ – коэффициент Церна; $\sigma_{об}$ – предел прочности горных пород в образце, МПа; $K_с$ – коэффициент структурного ослабления; $K_{дл}$ – коэффициент длительной прочности; $K_{уд}$ – коэффициент удароопасности; $b_ц$ – толщина целика, м; m – выемочная мощность жилы, м.

Коэффициент объемности, определяемый по методике А. В. Зубкова [4], для средних условий рудника составляет 0,63. Коэффициент длительной прочности в соответствии с расчетным временем службы подготовительных горных выработок и целиков принимается равным 1,4–1,5 [6]. Коэффициенты концентраций напряжений определялись методом конечных элементов [8–11] с использованием программного сертифицированного комплекса FEM, разработанного О. В. Зотеевым. Коэффициент удароопасности в соответствии с действующими в РФ нормативно-техническими документами составляет 0,7 (70 % от прочности образца в массиве на сжатие).

Результаты. В 2017 г. заложено 4 наблюдательных станции горного давления на гор. 1290–1190 м. Глубина заложения станций 860–940 м. На этих же горизонтах отобраны образцы горных пород, по которым проведены лабораторные испытания физических, прочностных и деформационных свойств. Вмещающие породы представлены известняками, алевролито-песчаниками, диоритами, гранодиоритами, гнейсами, плагиогранитами. Рудные тела – кварц-сульфидные жилы. Лабораторными испытаниями установлено, что средняя плотность горных пород нижних горизонтов равна 2,75 г/см^3. Пределы прочности при одноосном сжатии и растяжении получены: в естественно сухом состоянии 69,6 и 11,5 МПа, в водонасыщенном состоянии 53,2 и 11,3 МПа соответственно. Следует отметить, что прочность кварц-сульфидных руд выше, чем вмещающих пород, и составляет в среднем 131 МПа, при водонасыщении прочность руды практически не снижается. Угол внутреннего трения пород в сухом состоянии составляет в среднем 31°, во влажном состоянии – 27°. Сцепление пород в сухом состоянии – 15,8 МПа, во влажном – 13,7 МПа. Исследуемые породы характеризуются высокими упругими характеристиками. Статический модуль деформации горных пород равен 43,3 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,18, модуль Юнга – 50,1 ГПа.

Следует отметить, что степень размягчаемости горных пород в результате водонасыщения отдельных проб варьируется в широких пределах – от 0 до 60 %. Очевидно, высокая степень размягчаемости горных пород в приконтурном массиве будет отрицательно влиять на устойчивость локальных обводненных участков нижних горизонтов рудника. Этот вывод подтверждается петрографическим анализом исследуемых образцов. Вследствие наличия хрупких обломочных и разноразмерных зерен кварца и кальцита, скрепленных размягчаемым углеродистым и глинистым цементом, в естественно сухом состоянии породы будут иметь высокие прочностные и упругие свойства, склонность к хрупкому разрушению под нагрузкой, в то же время под воздействием воды прочностные свойства и склонность к хрупкому разрушению пород будут существенно снижаться.

Для оценки потенциальной удароопасности массива месторождения большое значение имеет выявление склонности горных пород к хрупкому разрушению под нагрузкой. Оценка потенциальной удароопасности по критерию запредельного деформирования показала, что коэффициент удароопасности горных пород нижних горизонтов рудника в среднем равен 0,47, что меньше критерия ударо-

опасности $E/M = 1$ и отвечает характеристике массива «неудароопасный». Коэффициент хрупкости составляет в среднем для сухих пород 5,8, для водонасыщенных – 4,6, что отвечает категории массива горных пород «неудароопасный» как по критерию Г. Н. Кузнецова (т. е. соотношение меньше 6), так и по критерию Я. А. Бича (т. е. меньше 10).

Анализ трещиноватости массива горных пород по керну разведочных скважин, пробуренных на нижних горизонтах, позволил определить среднестатистическое значение интенсивности трещиноватости, равное 12,2±1,6 трещин на 1 м. Средний размер структурного блока составляет 7–8 см, коэффициент структурного ослабления – 0,36–0,40, модуль деформации с учетом структурного ослабления пород в массиве – 5–8 ГПа. Более половины объема проходки горных выработок осуществляется в тектонически ослабленных зонах и обводненных породах. С учетом значительной трещиноватости и обводненности горных пород нижних горизонтов рудника установлены основные категории горных пород по устойчивости: «средней устойчивости» (43 % массива нижних горизонтов) и «неустойчивые» (57 %).

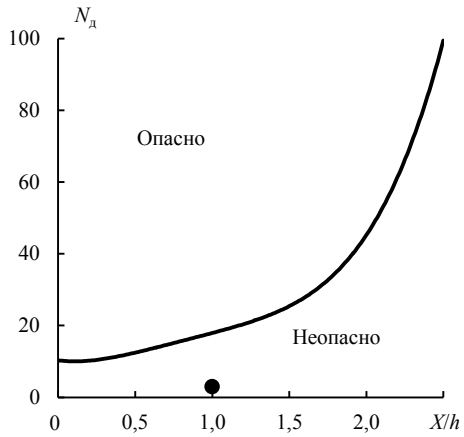


Рис. 1. Номограмма определения категории удароопасности по дискованию керна. Скважина РС-875. Отмечены диски при $X = 5{,}2$ м; $N_д = 3$

Fig. 1. Nomogram of determining the category of rockburst hazard of a mine working by core disking. Drillhole RS-875. Marked discs at $X = 5.2$ m, $N_d = 3$

Анализ дискообразования керна позволил отметить следующее. Зафиксированы отдельные участки дискообразования с ограниченной протяженностью, не превышающей 0,20–0,25 м, характеризующие наличие контактов крепких и слабых пород (рис. 1, где X – расстояние от устья шпура до максимума напряжений, h – высота выработки; $N_д$ – количество дисков на 1 м). Дискования толщиной 1–5 мм в количестве более 5–10 дисков на этих участках не отмечается. Отношение средней толщины диска к его диаметру в зоне максимума опорного давления составляет в среднем 1 и более. Анализ керна по степени дискования подтверждает вывод, что горные выработки на нижних горизонтах Холбинского рудника имеют категорию «неопасно» по горным ударам.

На месторождении действуют высокие природные гравитационно-тектонические напряжения. По результатам натурных измерений на глубинах 860–940 м они составляют: вертикальные –23,6…–25,8 МПа, горизонтальные продольные –12,4…–38,8 МПа, поперечные –13,7...–55,1 МПа. Знак «минус» означает сжатие пород. На величины измеренных напряжений значительное влияние оказывает тектоническая структура месторождения: максимальные значения напряжений зафиксированы по центру залежи между крупными тектоническими разломами, минимальные – на локальных разрушенных участках. Тектоническая компонента природных напряжений находится в диапазоне –8…–34 МПа. Для средних условий нижних горизонтов рудника предложены следующие прогнозные зависимости первоначальных напряжений:

$$\sigma_в = -\gamma H; \qquad \sigma_п = -1{,}6\gamma H; \qquad \sigma_{пр} = -0{,}8\gamma H,$$

где γ – объемный вес пород и руд, МН/м^3; H – глубина горных работ, м.

Полученные зависимости использованы в качестве граничных условий для оценки напряженно-деформированного состояния горных выработок и целиков.

НДС в конструктивных элементах системы разработки. Установлено, что техногенные напряжения в потолочине очистных камер и междукамерных целиках носят сжимающий характер (табл. 1). Их величины (–141…–228 МПа) значительно превышают допустимые на сжатие, равные 18 МПа. Принятые на руднике междуэтажные целики высотой 6 м и междукамерные целики шириной 9 м являются неустойчивыми, склонными к проявлениям горного давления как в статической, так и в динамической формах. Такие целики рекомендуется своевременно погашать, снижая опасную концентрацию напряжений.

Таблица 1. Результаты расчетов НДС в конструктивных элементах систем разработки
Table 1. The calculations results of induced stresses in the geotechnologies structural elements

Глубина горных работ, м	Техногенные напряжения, МПа		
	в междуэтажном целике	в междукамерном целике	в стенках очистных камер
800	–125	–141	+6,7
900	–141	–158	+7,5
1000	–228	–176	+8,4

Знак «–» означает сжатие пород, знак «+» – растяжение.

Напряжения на контуре стенок камер носят, наоборот, растягивающий характер. Значения их превышают допустимые на растяжение, равные 3 МПа. Ранее проведенными исследованиями [1, 2] установлено наличие в бортах очистных камер слоя пород, которые претерпевают растягивающие напряжения толщиной до 4,5–5,0 м. Таким образом, стенки очистных камер на нижних горизонтах Холбинского рудника являются неустойчивыми.

НДС в окрестности подготовительных выработок. Известно, что в зоне влияния очистных камер подготовительные выработки становятся неустойчивыми и удароопасными, особенно на больших глубинах [12]. Поэтому для уменьшения концентраций техногенных напряжений и повышения устойчивости горных выработок в настоящее время на руднике применяется полевая подготовка рудных тел.

Для оценки устойчивости подготовительных выработок проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния с применением метода конечных элементов. В процессе установлены основные закономерности распределения техногенных напряжений в кровле, углах кровли и стенках полевых откаточных штреков в зависимости от глубины горных работ (800–1000 м) и расстояния D между очистной камерой и откаточным штреком (рис. 2).

Напряжения в кровле и углах кровли полевых штреков носят сжимающий характер и значительно превышают допустимые на сжатие. В стенках выработок при D менее 15 м отмечен разрушающийся слой растягивающих напряжений толщиной 0,5–1,5 м, при D более 30 м напряжения в стенках сжимающие, превышающие допустимые. Наиболее значительное влияние очистная камера оказывает на устойчивость углов кровли и стенок подготовительных штреков.

Установлена область перегиба графиков изменения полных напряжений на контуре полевых штреков, характеризующая границу зоны опорного давления очистных камер, при увеличении которой техногенные напряжения в полевых штреках уменьшаются незначительно. Расчетная зона опорного давления составляет в среднем D = 20–30 м.

Расчет критических глубин по горным ударам. В процессе исследований установлено, что на руднике потенциально удароопасными являются подготовительные выработки, междукамерные и междуэтажные целики. Для средних горнотехнических и горно-геологических условий отработки нижних горизонтов рудника критические глубины по проявлениям горного давления в динамических формах составят: для подготовительных выработок $H_{кр} = 9{,}7\sigma^{об} \approx 537$ м; для междуэтажных и междукамерных целиков $H_{кр} = 4{,}1\sigma^{об} \approx 514$–680 м. В настоящее время глубина горных работ на руднике превысила расчетные критические значения.

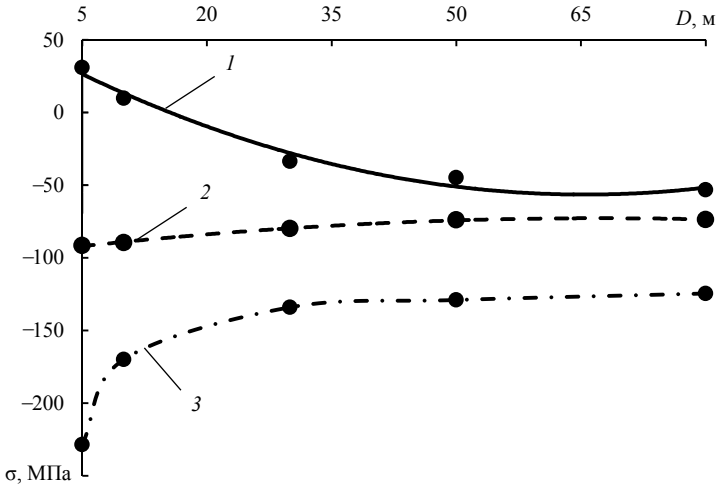


Рис. 2. Техногенные напряжения на контуре полевых штреков:
1, *2*, *3* – стенки, кровля, углы кровли штрека соответственно; *D* – расстояние между штреком и очистной камерой
Fig. 2. Mining-induced stresses in the drift surrounding rock:
1, *2*, *3* – respectively the walls, roof, roof corners of the drift; *D* – distance between the drift and the productivity room

Выводы и рекомендации. На основании всего изложенного можно заключить, что горные выработки и целики на нижних горизонтах Холбинского рудника находятся в неустойчивом, потенциально удароопасном состоянии. На месторождении действуют высокие природные гравитационно-тектонические напряжения. В то же время проведенный на нижних горизонтах рудника визуальный осмотр горных выработок подтвердил наличие проявлений горного давления только в статических формах, проявляющихся в виде отслоения пород по естественной трещиноватости и нарушении элементов крепления. Признаков проявлений горного давления в динамических, удароопасных формах не выявлено. Характерных дисков по керну разведочных скважин не наблюдается. Это можно объяснить тем, что на нижних горизонтах горные породы в основном не имеют склонности к хрупкому разрушению под нагрузкой (по результатам лабораторных исследований) или теряют ее вследствие обводенности или повышенной трещиноватости в массиве. То есть массив горных пород становится более неустойчивым, но вместе с тем менее удароопасным.

Таким образом, несмотря на то что в настоящее время горные выработки и целики нижних горизонтов Холбинского рудника находятся в неустойчивом состоянии, массив горных пород в целом характеризуется категорией удароопасности «неопасно». Естественно, при дальнейшем понижении работ геомеханическая ситуация может ухудшиться.

Для повышения устойчивости конструктивных элементов геотехнологий и безопасности горных работ при отработке нижних горизонтов рудника рекомендуется комплекс мероприятий, в том числе: придание потолочине шатровой формы; проходка полевых подготовительных выработок шатровой формы с анкерным креплением или разгрузкой углов кровли щелями; проектирование расстояния между камерами и полевыми выработками за пределами зоны опорного давления не менее 25 м; создание в потолочине разгрузочных щелей; создание элементов искусственной податливости в потолочине и междукамерных целиках; крепление разрушающегося слоя в стенках камер анкерами; сокращение срока выемки запасов в блоке до 1–2 мес.; своевременное погашение междуэтажных и междукамерных целиков, переход на ударобезопасные системы с закладкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов А. М. Совершенствование технологии подземной разработки жильных месторождений золота: монография. Иркутск: ИрГТУ, 2013. 128 с.
2. Павлов А. М., Федоляк А. А. Повышение эффективности подземной разработки золоторудных месторождений Восточной Сибири // Известия Сибирского отделения РАЕН. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 4(65). С. 97–106.
3. Сосновская Е. Л., Авдеев А. Н. Прогноз потенциальной удароопасности крутопадающих жильных золоторудных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 2. С. 74–85.
4. Зубков А. В. Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 335 с.
5. Влох Н. П. Управление горным давлением на подземных рудниках. М.: Недра, 1994. 208 с.
6. Технология разработки золоторудных месторождений / под ред. В. П. Неганова. М.: Недра, 1995. 336 с.
7. Сосновская Е. Л., Авдеев А. Н. Управление геомеханическими процессами на золоторудных жильных месторождениях Восточной Сибири // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 5. С. 21–29 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-21-29
8. Reddy J. N. An introduction to nonlinear finite element analysis. Oxford: Oxford University Press, 2004. 488 p.
9. Kattan P. I., Voyiadjis G. Z. Damage mechanics with finite elements: practical application with computer tools. Berlin: Springer, 2002. 113 p.
10. Wilhelm Rust. Non-linear finite element analysis in structural mechanics. Switzerland: Springer International Publishing, 2015. 363 p.
11. M. Moatamedi, Hassan A. Khawaja. Finite element analysis. Boca Raton: CRC Press, 2018. 154 p.
12. Сосновская Е. Л., Васильев Д. С., Лхамсурэн Бямбасурэн, Ляхович В. И. Оценка напряженно-деформированного состояния подготовительных выработок при полевой подготовке крутопадающих рудных тел // Проблемы развития минеральной базы Восточной Сибири. 2016. № 16. С. 56–62.

Поступила в редакцию 12 июля 2019 года

Сведения об авторах:

Сосновская Елена Леонидовна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН. E-mail: stress.igd@mail.ru
Авдеев Аркадий Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления Института горного дела УрО РАН. E-mail: avdeev0706@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-30-37

Forecasting potential rockburst hazard of Kholbinsky mine lower horizons

Elena L. Sosnovskaia[1], Arkadii N. Avdeev[1]
[1] Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
Introduction. *In 2016–2017 the lower horizons of Kholbinsky mine showed harmful rock pressure manifestation in the shape of detachment and caving of rock blocks. There is a critical need to specify geomechanical conditions in the mine in order to estimate the hazard level of currently operating and new mine workings.*
Methodology. *In the course of the research, a complex of methods and techniques including laboratory experiments on strength and elastic properties of rocks; spatial and statistic analysis of rock jointing; analysis of the level of kern disking in the marginal massif of prospecting holes; in-situ measurement of*

natural stresses by the method of crack release by the method of IM UB RAS; engineering and mathematical calculations of technogenic stresses in design elements of geotechnologies by proprietary techniques; mathematical modelling by the finite element method; visual observations of mine workings baring stability level, etc.

Results. *It has been stated that a massif of rocks of Kholbinskymine lower horizons is caregorized as "non-hazardous". Mine workings and pillars are in the unstable state. Statistic forms of rock pressure manifestation have been recorded. In order to improve the stability of support systems design elements, a complex of engineering-technical measures is required, including: well-timed extraction floor and intervening pillars; block reserves extraction term reduction; switch to rockburst-safe systems with backfilling; excavation walls supporting with anchors, etc. A final Report on rockbust hazard and gas-dynamic manifestations at Zun-Kholba goldmine has been worked out according to the results of the research (2017).*

Key words: *narrow and large gold lodes; stability; rockburst hazard; mine workings; pillars; physical-mechanical properties of rocks; natural and technogenic stresses.*

REFERENCES

1. Pavlov A. M. *Improving the technologies of lode goldfields underground mining: monograph*. Irkutsk: INRTU Publishing; 2013. (In Russ.)
2. Pavlov A. M., Fedoliak A. A. Improving efficiency of gold deposit underground mining in Eastern Siberia. *Izvestiia Sibirskogo otdeleniia RAEN. Geologiia, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*. 2018; 41; 4(65): 97–106. (In Russ.)
3. Sosnovskaia E. L., Avdeev A. N. The forecast of potential rock bump hazard of steeply pitching lode gold ore deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2016; 2: 74–85. (In Russ.)
4. Zubkov A. V. *Geomechanics and geotechnology*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2001. (In Russ.)
5. Vlokh N. P. *Rock pressure control in underground mines*. Moscow: Nedra Pushing; 1994. (In Russ.)
6. Neganov V. P. (ed.) *Goldfields development technique*. Moscow: Nedra Pushing; 1995. (In Russ.)
7. Sosnovskaia E. L., Avdeev A. N. Control over the geomechanical processes at the goldfields of Eastern Siberia. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 5: 21–29. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-21-29
8. Reddy J. N. *An introduction to nonlinear finite element analysis*. Oxford: Oxford University Press, 2004. 488 p.
9. Kattan P. I., Voyiadjis G. Z. *Damage mechanics with finite elements: practical application with computer tools*. Berlin: Springer; 2002. 113 p.
10. Wilhelm Rust. *Non-linear finite element analysis in structural mechanics*. Switzerland: Springer International Publishing; 2015. 363 p.
11. M. Moatamedi, Hassan A. Khawaja. *Finite element analysis*. Boca Raton: CRC Press; 2018. 154 p.
12. Sosnovskaia E. L., Vasiliev D. S., Lkhamsuren Biambasuren, Liakhovich V. I. Estimation of stress-strain state of development headings at in-stone development of steeply-pitching ore bodies. *Problemy razvitiia mineralnoi bazy Vostochnoi Sibiri = Eastern Siberia Mineral Resource Development Problems*. 2016; 16: 56–62. (In Russ.)

Received 12 July 2019

Information about authors:

Elena L. Sosnovskaia – PhD (Geology and Mineralogy), senior researcher of the Laboratory of Geodynamics and Rock Pressure, Institute of Mining UB RAS. E-mail: stress.igd@mail.ru
Arkadii N. Avdeev – PhD (Engineering), senior researcher, Laboratory of Geodynamics and Rock pressure, Institute of Mining UB RAS. E-mail: avdeev0706@mail.ru

Для цитирования: Сосновская Е. Л., Авдеев А. Н. Прогноз потенциальной удароопасности нижних горизонтов Холбинского рудника // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 30–37. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-30-37
For citation: Sosnovskaia E. L., Avdeev A. N. Forecasting potential rockburst hazard of Kholbinsky mine lower horizons. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 30–37 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-30-37

УДК 622.011:539.3 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-38-46

Сравнительный анализ результатов тестирования геофонов системы «Prognoz ADS» в шахтных условиях

Гладырь А. В.[1], Сидляр А. В.[1], Константинов А. В.[1]*, Ломов М. А.[1]
[1] Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия
e-mail: alex-sdt@yandex.ru

Реферат

Введение. *Одним из наиболее активно развивающихся методов предупреждения возникновения горных и горно-тектонических ударов является контроль геомеханического состояния удароопасного массива горных пород с применением автоматизированных систем, позволяющих в реальном времени предоставлять информацию о происходящих в массиве горных пород геомеханических и геодинамических процессах. Ключевым элементом таких систем является распределенная наблюдательная сеть подземных цифровых приемных преобразователей.*

Цель работы. *Основной целью проводимых испытаний являлось исследование влияния той или иной модификации первичного преобразователя на точность определения значений амплитуды, частоты, энергетического параметра имитационных сейсмоакустических воздействий и погрешности расчета координат источников сейсмоакустических событий.*

Методология. *Исследования, представленные в работе, основаны на ряде экспериментов, выполненных на руднике «Николаевский» ОАО «ГМК «Дальполиметалл», с регистрацией и обработкой результатов сейсмоакустической системой горного давления «Prognoz ADS». Проведение испытаний заключалось в оказании на породный массив имитационных сейсмоакустических воздействий разной природы происхождения и на различном удалении от приемных преобразователей.*

Результаты. *На основе сравнения статистических характеристик импульсов сейсмоакустического воздействия не обнаружено существенного влияния типа первичного преобразователя на расчет значений координат и энергетической характеристики источников имитационного воздействия.*

Выводы. *Проведенное исследование и заключение о незначительном влиянии материала корпуса первичного преобразователя на характеристики сейсмоакустических сигналов позволит снизить себестоимость изготовления геофонов без снижения качества регистрации сигналов и направить ресурсы на расширение и обслуживание геомеханической системы безопасности.*

Ключевые слова: *удароопасность; геомеханический мониторинг; сейсмоакустическая активность; акустическое проявление; микросейсмическое событие; первичный преобразователь.*

Введение. Как показывает многолетняя практика, ведение подземных горных работ на ряде горнодобывающих предприятий осложняется удароопасными условиями, а в связи с дальнейшим понижением горизонтов горных работ прогнозируется рост количества и интенсивности различных геодинамических явлений [1, 2]. В данных условиях необходимы более углубленные исследования, включающие изучение закономерностей геодинамических полей и процессов в области техногенного влияния горных работ с использованием сейсмических, сейсмоакустических, геодезических, сейсмодеформационных и иных методов [3–8].

Одним из перспективных методов предупреждения возникновения горных и горно-тектонических ударов является контроль геомеханического состояния удароопасного массива горных пород с применением автоматизированных систем, которые в реальном времени обеспечивают регистрацию и оперативную обработку параметров сейсмоакустических событий, несущих информацию о происходящих в массиве горных пород геомеханических и геодинамических

процессах [5–7]. К таким измерительно-вычислительным комплексам относится сейсмоакустическая система контроля горного давления «Prognoz ADS» [7, 9].

Ключевым элементом разработанной системы является распределенная наблюдательная сеть подземных цифровых приемных преобразователей. Каждый преобразователь выполнен в скважинном исполнении и состоит из первичного преобразователя пьезокерамического типа (геофон) и блока предварительной обработки акустических сигналов – цифрового приемника-преобразователя.

В настоящее время разработчиками проводятся исследования, целью которых является выявление оптимальных параметров соотношения цена/качество для первичных преобразователей и формирование линейки геофонов, способных составить конкуренцию современным отечественным и зарубежным аналогам и предоставить возможность заказчикам системы оптимизировать затраты путем более точного выбора комплектации устанавливаемой конфигурации подземной наблюдательной сети. Это достигается благодаря учету существующих финансовых возможностей предприятия и соответствию техническому заданию на разработку средств прогнозировании удароопасного состояния.

Таблица 1. Исследуемые первичные преобразователи, установленные в скважины
Table 1. List of primary sensors under investigation that are installed in the wells

Кодовое обозначение	Описание	Координата		
		X	*Y*	*Z*
–	Резерв	57 739,19	77 312,30	–415,81
003-037	Производство: ИГД ДВО РАН Ремонтопригодность: высокая Стоимость: низкая Материал корпуса: комбинированный (нержавеющая сталь + полимер)	57 738,48	77 312,54	–415,81
003-036	Производство: ООО «ГлобалТест» Ремонтопригодность: низкая Стоимость: высокая Материал корпуса: нержавеющая сталь	57 739,10	77 312,33	–416,34
003-014	Производство: ИГД ДВО РАН Ремонтопригодность: высокая Стоимость: средняя Материал корпуса: нержавеющая сталь	57 738,43	77 312,52	–416,36

Схема проведения и состав экспериментальных исследований. С целью проведения сравнительного анализа характеристик различных датчиков для АСКГД «Prognoz ADS» в июне 2019 г. на руднике «Николаевский» ОАО «ГМК «Дальполиметалл» проведен ряд экспериментов. Экспериментально исследовались первичные преобразователи (табл. 1), которые размещались в специально выполненных скважинах в борту выработки, в районе «Заезда 7-2» на горизонте –420 м (рис. 1). На схеме точкой с номером 0 обозначено место установки первичных преобразователей, точками с номерами 1–6 обозначены места установки зарядов ВВ, стрелкой обозначено направление перемещения имитационных воздействий.

Основной целью проводимых испытаний являлось исследование влияния той или иной модификации первичного преобразователя на точность определения значений амплитуды, частоты, энергетического параметра имитационных сейсмоакустических воздействий и погрешности расчета координат источников сейсмоакустических событий.

Исследования представлены следующими экспериментами.

Эксперимент 1. Схема проведения приведена на рис. 1. Имитация сейсмоакустического воздействия выполнялась кувалдой. Воздействие осуществлялось сериями из трех ударов с интервалом в 1 мин. Первое воздействие производилось в месте установки исследуемых первичных преобразователей. Дальнейшие имитационные воздействия осуществлялись по борту выработки в направлении распространения (указано стрелкой на рис. 1) с интервалом 3 м. Общее количество точек имитационного воздействия – 11.

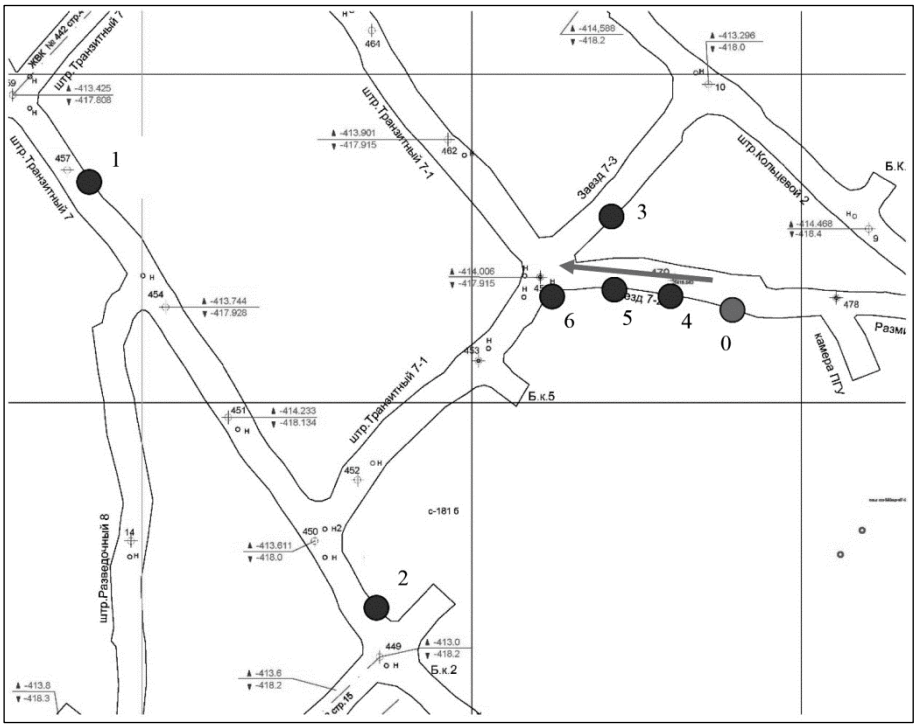


Рис. 1. Схема проведения экспериментальных исследований на плане выработок (гор. –420 м)

Fig. 1. The scheme of experimental studies on the scheme of mine workings (horizon –420 m)

Эксперимент 2. Схема проведения исследования приведена на рис. 1. Имитация сейсмоакустического воздействия производилась капсюль-детонатором марки ЭД-8Ж (ориентировочное значение энергии взрыва составляет 1885 термохимических калорий, или 7887 Дж). Воздействие осуществлялось путем взрывания каждого из капсюль-детонаторов в пунктах проведения имитационных воздействий. На каждом пункте проводилось взрывание двух капсюль-детонаторов в двух раздельных скважинах. Расстояние между устьями скважин составляло около 0,5 м. Скважины выполнялись в борту выработки на высоте 1,5 м от почвы. Диаметр скважины для заряда составлял 16 мм, глубина скважины – 0,2 м.

Результаты обработки экспериментальных данных. В результате проведения эксперимента 1 расчетное количество импульсов имитационного воздействия составило 33, при этом количество импульсов имитационного воздействия, зарегистрированных системой – 27 (82 %).

Дополнительно анализировались амплитуды, длительности и частоты основной гармоники зарегистрированных импульсов в зависимости от расстояния до источника. Для всех зависимостей выполнялась линейная аппроксимация по

каждому из исследуемых первичных преобразователей. Пример полученной экспериментальной зависимости амплитуд зарегистрированных импульсов от расстояния до источника приведен на рис. 2.

Проведенная линейная аппроксимации показывает, что при удалении от источника амплитуды регистрируемых сигналов и значение частоты их основной гармоники имеют тенденцию к уменьшению, а длительности регистрируемых сигналов – к увеличению. Указанные изменения связаны с затуханием и изменением формы сейсмоакустических сигналов в процессе их распространения в горном массиве.

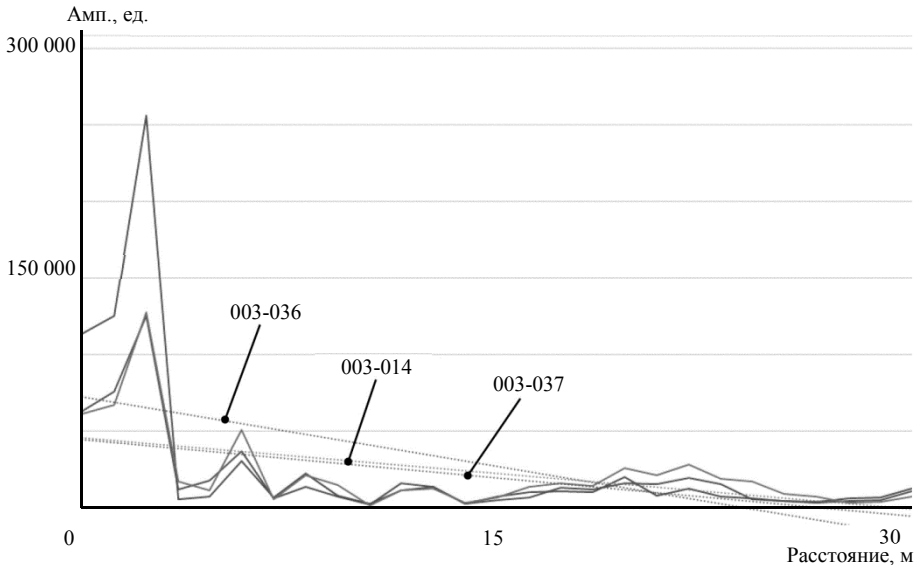


Рис. 2. Зависимость амплитуд зарегистрированных импульсов от расстояния до источника
Fig. 2. Dependence of amplitudes of registered pulses on the distance to the source

Для сравнения спектральных характеристик выбирались сигналы, относящиеся к трем имитационным воздействиям, находящимся в точках на расстоянии наименьшего, среднего и наибольшего удаления от источника сигнала. Для каждого из выбранных имитационных воздействий строилась осциллограмма и сигналограмма по каждому из исследуемых геофонов.

Анализ показывает, что геофон 003-036 имеет более широкий частотный диапазон с несколькими всплесками на спектрограмме. В отличие от него, геофоны 003-014 и 003-037 можно охарактеризовать как резонансные первичные преобразователи. Отметим, что амплитуды основных гармоник для каждого из геофонов составляют величины одного порядка, однако в силу особенностей формирования выходных сигналов резонансных первичных преобразователей геофоны данного типа обладают большей чувствительностью по сравнению с широкополосными первичными преобразователями.

Для упрощения расчетов при проведении эксперимента 2 координаты скважины, относящиеся к одному пункту проведения имитационного воздействия, обозначены на плане одной точкой (рис. 1). Аналогично координату первичных преобразователей принимаем как среднее арифметическое по координатам четырех скважин. В данном случае погрешность измерения координат не превышает 0,5 м, что находится в допустимом диапазоне.

Расчеты энергетического параметра и координат источника имитационного воздействия проводились с использованием программного пакета «Geoacoustics ADS».

Для выполнения сравнительного анализа проведем расчеты энергетического параметра. Как следует из графика распределения энергетического параметра (рис. 3), комплексный расчет, в котором используются показания трех исследуемых геофонов, показывает в среднем заниженные значения. Если рассматривать расчеты, в которых раздельно используются показания трех геофонов, то распределения энергетического параметра практически дублируют друг друга с незначительным смещением в сторону увеличения графика распределения энергетического параметра для геофона 003-036. Данное смещение можно объяснить спецификой алгоритма расчета энергетического параметра в сочетании с заявленными характеристиками данного типа геофона как геофона с широким частотным диапазоном и линейной характеристикой. В отличие от геофона 003-036 геофоны 003-014 и 003-037 имеют ярко выраженные резонансные свойства.

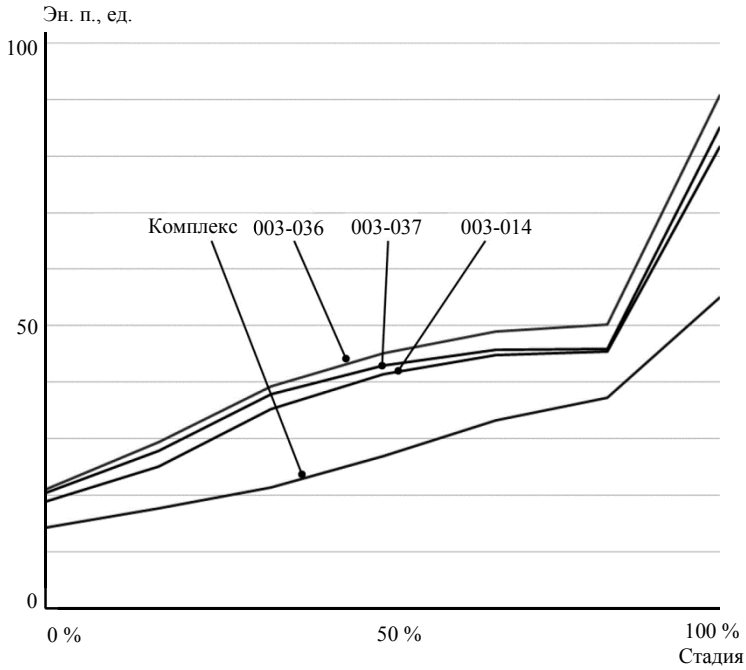


Рис. 3. График распределение энергетического параметра
Fig. 3. Energy parameter distribution

Для оценки влияния каждого геофона на погрешность при определении координат источника рассчитаем среднеквадратичные погрешности определения координат источника (рис. 4).

Как видно из графиков, значения погрешностей определения координат при расчете с участием каждого из геофонов практически не отличаются. Погрешность расчетов, в которых использовались значения по трем геофонам одновременно, в большинстве экспериментов превышает погрешность расчетов для каждого из трех геофонов.

Выводы. В настоящее время на современном горнорудном предприятии надежное прогнозирование и предотвращение опасных проявлений горного давле-

ния невозможно без привлечения современных программно-аппаратных комплексов непрерывного мониторинга.

Ключевой частью подобных комплексов является наличие первичных преобразователей, установленных в подземных выработках. Сложность конструкции, уровень ремонтопригодности, стоимость производства первичных преобразователей может оказывать существенное влияние на выбор количества первоначально устанавливаемых сейсмоакустических мониторинговых постов, а также влиять на дальнейшую трудоемкость поддержания подземной наблюдательной сети в работоспособном состоянии и расширении ее зоны контроля в процессе промышленной эксплуатации.

Целью данных экспериментальных исследований являлся сравнительный анализ влияния материала корпуса первичного преобразователя на ряд параметров регистрируемых сигналов, имитирующих сейсмоакустические воздействия.

При анализе полученных результатов установлено, что материал корпуса первичного преобразователя не оказывает существенного влияния на амплитуду, длительность и частоту основной гармоники регистрируемых параметров.

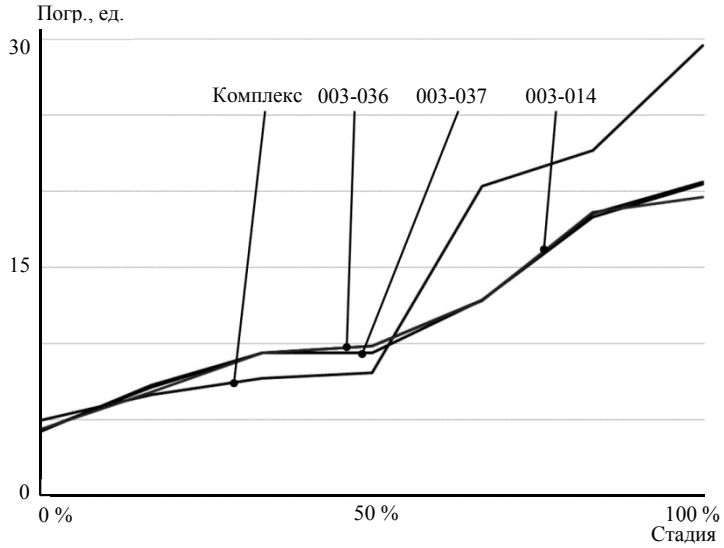


Рис. 4. График распределения среднеквадратичной погрешности определения координат источника
Fig. 4. Distribution of the source coordinates standard deviation

На основе расчетов в программе «Geoacoustics ADS» можно сделать вывод, что материал корпуса также не оказывает существенного влияния на результат расчетов координат и значения энергетического параметра источников имитационного воздействия.

Таким образом, использование в качестве материала для изготовления корпуса первичного преобразователя комбинации материалов *нержавеющая сталь–полимер* позволяет значительно (до 10 раз) снизить себестоимость производства первичных преобразователей для автоматизированной системы контроля горного давления «Prognoz-ADS» без снижения качества регистрации сейсмоакустических сигналов. Это позволяет оптимизировать затраты на первичный ввод в эксплуатацию данной системы, ее дальнейшее обслуживание и повышает ее конкурентоспособность на фоне отечественных и мировых аналогов.

Своевременное внедрение и непрерывное использование автоматизированной системы контроля горного давления обеспечивает надежный контроль за опасными проявлениями горного давления, значительно повышая безопасность ведения горных работ как в процессе подземной разработки полезных ископаемых, так и при открытой добыче [10–12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассказов И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. М.: Горная книга, 2008. 329 с.

2. Рассказов И. Ю., Искра А. Ю., Калинов Г. А., Аникин П. А., Гладырь А. В., Рассказов М. И., Сидляр А. В. Особенности регистрации и обработки данных геоакустического контроля массива горных пород на действующем руднике // ГИАБ. 2011. № 8. С. 212–218.

3. Zhou K. P., Lin Y., Deng H. W., Li J. L., Liu C. J. Prediction of rockburst classification using cloud model with entropy weight // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. China. 2016. Vol. 26. Iss. 7. P. 1995–2002.

4. Meifeng C. Prediction and prevention of rockburst in metal mines – A case study of Sanshandao gold mine // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2016. Vol. 8. Iss. 2. P. 204–211.

5. Ma T. H., Tang C. A., Tang L. X., Zhang W. D., Wang L. Rockburst characteristics and microseismic monitoring of deep-buried tunnels for Jinping II Hydropower Station // Tunnelling and Underground Space Technology. China. 2015. Vol. 49. P. 345–368.

6. Shan-Chao Hu, Yun-Liang Tan, Jian-Guo Ning, Wei-Yao Guo, Xue-Sheng Liu. Multiparameter monitoring and prevention of fault-slip rock burst // Shock and Vibration. 2017. Vol. 2017. Article ID 7580109. 8 p. https://doi.org/10.1155/2017/7580109

7. Рассказов И. Ю., Петров В. А., Гладырь А. В., Тюрин Д. В. Геодинамический полигон Стрельцовского рудного поля: практика и перспективы // Горный журнал. 2018. № 7. С. 17–21.

8. Рассказов И. Ю., Долгих Г. И., Петров В. А., Луговой В. А., Долгих С. Г., Саксин Б. Г., Цой Д. И. Применение лазерного деформографа в системе комплексного геодинамического мониторинга в районе Стрельцовского рудного поля // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 6. С. 29–37.

9. Рассказов И. Ю., Цирель С. В., Розанов А. О., Терешкин А. А., Гладырь А. В. Использование данных сейсмоакустических наблюдений для определения характера развития очага разрушения породного массива // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 2. С. 29–37.

10. Чебан А. Ю. Совершенствование техники и технологий безвзрывной разработки горных пород: моногр. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. 260 с.

11. Секисов Г. В., Чебан А. Ю., Соболев А. А. Состояние и основные пути развития добычи природных строительных материалов в южных субрегионах Дальневосточного округа // ГИАБ. 2014. № 7. С. 71–76.

12. Manchao H., Fuqiang R., Dongqiao L. Rockburst mechanism research and its control // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. Iss. 5. P. 829–837.

Поступила в редакцию 19 августа 2019 года

Сведения об авторах:

Гладырь Андрей Владимирович – старший научный сотрудник лаборатории горной геофизики Института горного дела ДВО РАН. E-mail: rush3112@mail.ru

Сидляр Александр Владимирович – научный сотрудник лаборатории геомеханики Института горного дела ДВО РАН. E-mail: alex-igd@mail.ru

Константинов Александр Викторович – младший научный сотрудник лаборатории геомеханики Института горного дела ДВО РАН. E-mail: alex-sdt@yandex.ru

Ломов Михаил Андреевич – младший научный сотрудник лаборатории цифровых методов исследования природно-технических систем Института горного дела ДВО РАН. E-mail: 9241515400@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-38-46

Results comparison of Prognoz ADS system geophones testing in mining conditions

Andrei V. Gladyr[1], Aleksandr V. Sidliar[1], Aleksandr V. Konstantinov[1], Mikhail A. Lomov[1]
[1] Institute of Mining FES RAS, Khabarovsk, Russia.

Abstract

Introduction. *One most dynamically developing method of preventing rockbursts and tectonic rockbursts is the control of geomechanical state of rockburst hazardous rock mass with the use of the automated*

systems which inform of geomechanical and geodynamic processes within the rock mass in real time. The crucial component of such systems is a distributed observation network of underground digital receiving transducers.
Research aim *is to study the influence of a particular modification of a primary transducer on the accuracy of determining the values of amplitude, frequency, energy parameter of simulation seismoacoustic effects and errors in seismoacoustic sources coordinates calculation.*
Methodology. *Research presented in the article are based on a range of experiments carried out in Nikolaevsly mine of MMC Dalpolimetal JSC. Results were recorded and processed with Prognoz ADS seismoacoustic system of rock pressure. Experiment included inducing simulation seismoacoustic impacts of various origin and various distance from receiving transducers on a rock mass.*
Results. *The comparison of statistic characteristics of seismoacoustic impact impulses hasn't revealed significant influence of primary transducer type on the calculation of the values of coordinated and energy characteristic of simulation sources.*
Summary. *The research and conclusion about insignificant influence of primary transducer body material on the characteristics of seismoacoustic signals will make it possible to reduce the prime cost of geophones manufacture without compromising the quality of signal recording, and direct the resources to geomechanical safety system expansion and maintenance.*

Key words: *rockburst hazard; geomechanical monitoring; seismoacoustic activity; acoustic manifestation; microseismic event; primary transducer.*

REFERENCES

1. Rasskazov I. Iu. *Rock pressure control and management in the Far East mines*. Gornaia kniga Publishing; 2008. (In Russ.)
2. Rasskazov I. Iu., Iskra A. Iu., Kalinov G. A., Anikin P. A., Gladyr A. V., Rasskazov M. I., Sidliar A. V. The peculiarities of recording and processing the data of geoacoustic control of rock mass in an operating mine. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011; 8: 212–218. (In Russ.)
3. Zhou K. P., Lin Y., Deng H. W., Li J. L., Liu C. J. Prediction of rockburst classification using cloud model with entropy weight. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. China. 2016; 26; 7: 1995–2002.
4. Meifeng C. Prediction and prevention of rockburst in metal mines – A case study of Sanshandao gold mine. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2016; 8; 2: 204–211.
5. Ma T. H., Tang C. A., Tang L. X., Zhang W. D., Wang L. Rockburst characteristics and microseismic monitoring of deep-buried tunnels for Jinping II Hydropower Station. *Tunnelling and Underground Space Technology*. China. 2015; 49: 345–368.
6. Shan-Chao Hu, Yun-Liang Tan, Jian-Guo Ning, Wei-Yao Guo, Xue-Sheng Liu. Multiparameter monitoring and prevention of fault-slip rock burst. *Shock and Vibration*. 2017; 2017; Article ID 7580109. 8 p. https://doi.org/10.1155/2017/7580109
7. Rasskazov I. Iu., Petrov V. A., Gladyr A. V., Tiurin D. V. Streltsovsky ore field geodynamic polygon: practice and prospects. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 7: 17–21. (In Russ.)
8. Rasskazov I. Iu., Dolgikh G. I., Petrov V. A., Lugovoi V. A., Dolgikh S. G., Saksin B. G., Tsoi D. I. Laser strainmeter in integrated geodynamic monitoring within Streltsov Ore Field. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2016; 6: 29–37. (In Russ.)
9. Rasskazov I. Iu., Tsirel S. V., Rozanov A. O., Tereshkin A. A., Gladyr A. V. Application of acoustic measurement data to characterize initiation and development of disintegration focus in a rock mass. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2017; 2: 29–37. (In Russ.)
10. Cheban A. Iu. Improving the technique and technology of blastless mining: monograph. Khabarovsk: IM FEB RAS Publishing; 2017. (In Russ.)
11. Sekisov G. V., Cheban A. Iu., Sobolev A. A. Condition and main ways of development of natural construction materials extraction in the southern subregions of the far eastern district. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 7: 71–76. (In Russ.)
12. Manchao H., Fuqiang R., Dongqiao L. Rockburst mechanism research and its control. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018; 28(5): 829–837.

Received 19 August 2019

Information about authors:

Andrei V. Gladyr – senior researcher, Laboratory of Mining Geophysics, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: rush3112@mail.ru
Aleksandr V. Sidliar – researcher, Laboratory of Geomechanics, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: alex-igd@mail.ru

Aleksandr V. Konstantinov – junior researcher, Laboratory of Geomechanics, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: alex-sdt@yandex.ru
Mikhail A. Lomov – junior researcher, Laboratory of Digital Methods of Natural and Engineering Systems Study, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: 9241515400@mail.ru

Для цитирования: Гладырь А. В., Сидляр А. В., Константинов А. В., Ломов М. А. Сравнительный анализ результатов тестирования геофонов системы «Prognoz ADS» в шахтных условиях // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 38–46. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-38-46
For citation: Gladyr A. V., Sidliar A. V., Konstantinov A. V., Lomov M. A. Results comparison of Prognoz ADS system geophones testing in mining conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 38–46 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-38-46

УДК 622.271.333 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-47-57

Оползневые процессы в бортах при ведении горных работ на угольном разрезе «Ангренский»

Караблин М. М.[1]*, Простов С. М.[2], Лесин Ю. В.[2]
[1] Кузбасский головной институт по проектированию угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий «Кузбассгипрошахт», г. Кемерово, Россия
[2] Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово, Россия
e-mail: karablin.mm@gmail.com

Реферат

Введение. *Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом осложнена рядом негативных явлений, в числе которых особую позицию занимает проблема нарушения устойчивости бортов. В условиях современной экономики, когда рост добычи полезных ископаемых неминуем, обеспечение безопасности жизни людей и непрерывности технологического цикла является одним из критериев рентабельности горнодобывающих предприятий. Разрабатываемые противооползневые мероприятия и произошедшие оползневые явления при ведении открытых горных работ на месторождениях Кузбасса, Забайкалья, Республики Казахстан и Республики Узбекистан, США, Польши свидетельствуют об актуальности решения возникшей проблемы. При этом характерной особенностью данных месторождений являются сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия. К числу таких месторождений относится и Ангренское буроугольное месторождение.*

Цель работы. *Выявление инженерно-геологических и гидрогеологических факторов, влияющих на формирование оползневых процессов.*

Методология. *Проанализированы инженерно-геологические условия Ангренского буроугольного месторождения, результаты маркшейдерских инструментальных и гидрогеологических наблюдений.*

Результаты. *В геологическом строении площади Ангренского буроугольного месторождения принимают участие породы палеозойского фундамента и мезокайнозойского покрова. Гидрогеологические условия месторождения включают четыре водоносных горизонта и комплекса, которые влияют на образование оползней: четвертичных, неогеновых, мел-палеогеновых и юрских отложений. Гидрографическая сеть месторождения представлена саями – оврагами с постоянным или временным водотоком, а также самим водотоком: Саяк-сай, Бадамзар-сай, Боксук-сай. В результате расширения инженерной деятельности, связанной с разработкой месторождения, сформировались неблагоприятные факторы, влияющие на устойчивость откосов: выход подземных вод на поверхность откосов, снижение прочностных характеристик в зонах дизъюнктивных нарушений, набухание глинистых пород, появление зон трещиноватости в породах коры выветривания, изменение напряженного состояния. Наиболее опасным оползнем является «Центральный». По состоянию на 2017–2018 г. площадь оползневого цирка достигла 1,06 км^2, объем – 120 млн м^3. Результатами маркшейдерских инструментальных наблюдений установлены периоды смещений: наиболее интенсивных – с января по май 2018 г., наименее интенсивных – с мая по декабрь 2018 г. Анализ изменения расхода дренажных вод за 2017–2018 г. показывает, что наибольшее увеличение уровня грунтовых вод происходит в весенний период (март–май).*

Выводы. *Наряду с отклонениями от проектных параметров бортов (завышение углов откосов, подрезка контактов слоев и др.) одной из основных причин оползней является неблагоприятное сочетание инженерно-геологических и гидрогеологических факторов: высокая водопроницаемость вмещающих пород, представленных суглинками, галечниками, гравелитами, и обильные притоки грунтовых вод от поверхностных источников, атмосферных осадков, перетока по трещинным коллекторам.*

Ключевые слова: *оползневые явления; устойчивость бортов и уступов; горные породы; инженерно-геологические условия; гидрогеологические особенности; маркшейдерские наблюдения; уровень грунтовых вод.*

Введение. Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом осложнена рядом негативных явлений, в числе которых особую позицию занимает проблема нарушения устойчивости бортов. В условиях современной экономики, когда рост добычи полезных ископаемых неминуем, обеспечение безопасности жизни людей и непрерывности технологического цикла является одним из критериев рентабельности горнодобывающих предприятий. Разрабатываемые противооползневые мероприятия [1–3] и произошедшие оползневые явления при ведении открытых горных работ на месторождениях Кузбасса [4],

Таблица 1. Усредненные физико-механические свойства горных пород
Table 1. Averaged physico-mechanical properties of rocks

Литологическое описание пород	n, %	W, %	ρ_w, г/см^3	ρ_e, г/см^3	$\sigma_{сж}$, МПа	$\sigma_р$, МПа
Четвертичные отложения Q						
Лессовидные суглинки	37,10	3,90	2,73	1,91	1,86	0,17
Валунно-галечниковые отложения	–	16,00	2,15	2,07	–	–
Неогеновые отложения $N_{1–2}$						
Конгломераты	21,70	8,57	2,66	2,25	1,46	0,10
Алевролиты	21,91	7,59	2,63	2,20	16,67	1,07
Песчанки	22,29	8,54	2,69	2,13	7,14	0,66
Палеогеновые отложения $P_2^{3–1}$						
Известняки	19,79	0,36	2,67	2,26	21,70	2,81
Мергели	27,80	14,62	2,68	1,85	11,55	0,64
Песчаники	30,07	6,02	2,66	1,78	1,21	0,19
Гравелиты	32,60	11,20	2,65	2,00	0,15	0,08
Глины	30,60	13,90	2,57	1,74	3,15	0,51
Меловые K_2 и Юрские $J_{3–2}$ отложения						
Глины	36,92	5,33	2,61	1,96	1,67	–
Алевролиты	30,20	11,40	2,66	2,12	1,40	0,20
Конгломераты	25,90	9,80	2,25	1,94	1,40	–
Глины песчанистые	29,40	4,80	2,68	2,07	1,43	0,20
Песчаники	29,92	4,96	2,64	2,04	4,04	0,51
Гравелиты	18,72	4,20	2,70	2,27	–	–
Глины каолиновые	37,42	6,58	2,68	1,96	13,60	3,00
Глины запесоченные	–	18,30	–	–	49,80	5,50
Песчаники	25,50	11,30	–	–	29,80	2,00
Уголь	46,20	35,90	–	–	2,63	0,20

n – пористость; W – влажность; ρ_w – плотность во влагонасыщенном состоянии; ρ_e – плотность в естественном состоянии; $\sigma_{сж}$, $\sigma_р$ – предел прочности при сжатии и растяжении.

Забайкалья [5], Республики Казахстан [6–8] и Республики Узбекистан [9–11], США [12], Польши [13] свидетельствуют об актуальности решения возникшей проблемы. При этом характерной особенностью данных месторождений являются сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия. К числу таких месторождений относится и Ангренское буроугольное месторождение.

Целью работы является выявление инженерно-геологических и гидрогеологических факторов, влияющих на формирование оползневых процессов.

Результаты. Ангренское буроугольное месторождение находится на территории Уртачирчикского района Ташкентской области Республики Узбекистан в долине р. Ахангаран между Чаткальским и Кураминским хребтами. Месторождение протянулось с юго-запада на северо-восток на 9 км и с юго-востока на северо-запад на 15 км. Общая площадь месторождения составляет около 70 км^2 [14, 15]. Ангренское буроугольное месторождение относится к Приташкентскому району Арало-Ташкентской области угленакопления. В геологическом строении изучаемой площади принимают участие породы палеозойского фундамента и мезокайнозойского покрова (табл. 1) [15, 16].

Палеозойские отложения (верхний карбон, пермь) представлены осадочными метаморфизованными и изверженными породами, среди которых преобладают сиреневые кварцевые порфиры и порфириты. В триасовое время верхняя часть палеозойских формирований подверглась интенсивному химическому выветриванию, что привело к образованию коры выветривания каолинового типа 20–45 м. Мезокайнозойские отложения сложены юрскими, меловыми, палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями.

Таблица 2. Характеристика основных оползней
Table 2. Characteristics of major landslides

Оползень	Наугарзанский	Атчинский	Центральный	Северный
Год формирования	1954	1972	1985	1999
Объем за 2017–2018 гг., млн м^3	15	800	120	1,3
Площадь за 2017–2018 гг., км^2	0,8	1,05	1,06	0,17
Расположение оползня	Юго-восточная часть карьерного поля	Южная часть карьерного поля	Северная часть карьерного поля	Северо-восточная часть карьерного поля
Направление смещения	Северо-запад, азимут 301°	Север, азимут 0°	Юго-восток, азимут 149°	Юго-запад, азимут 200°
Причины оползня	Увлажнение пород вблизи водоема	Подработка станцией «Подземгаз» естественного склона	Суффозионные процессы, сток подрусловых потоков боковых саев и подземных вод	Выклинивание подземных вод по контакту четвертичных галечников и песчано-глинистых пород

Юрские отложения по литологическим признакам подразделяют на Ангренскую J_{an}^{1-2} и Джигиристанскую J_{dg}^{3} свиты. Ангренская (угленосная) свита представлена чередованием песчаников, алевролитов, глин и бурым углем мощностью до 10–30 м.

Отложения Джигиристанской свиты несогласно перекрывают отложения Ангренской свиты. Джигиристанская свита сложена пестроцветными глинами и песчаниками мощностью до 20 м. Особенностью свиты является пестроцветная окраска ее отложений. Меловые отложения представлены толщей коричнево-красных и зеленоватых известковистых песчаников, алевролитов и мелкогалечниковых конгломератов. Палеогеновые отложения залегают на образованиях меловой системы с видимым несогласием. Разрез по данному участку начинается с эоцена, в составе которого установлены все три его подотдела: нижний эоцен (сузакский горизонт P_2^1), средний эоцен (алайский горизонт P_2^2) и верхний эоцен (туркестанский горизонт P_2^3).

Сузакский горизонт представлен кварцевыми песчаниками и гравелитами с тонкими слоями и линзами монтмориллонитовых глин и опок суммарной мощностью 20–22 м. Характерной особенностью отложений сузакских слоев является наличие пластов кварцевого песка, а также опоковидных глин с желваками чистых опок. Алайский горизонт залегает на породах нижнего эоцена со следами незначительного размыва. Разрез представлен карбонатными породами – известковыми песчаниками и известняком-ракушечником суммарной мощностью 8–15 м.

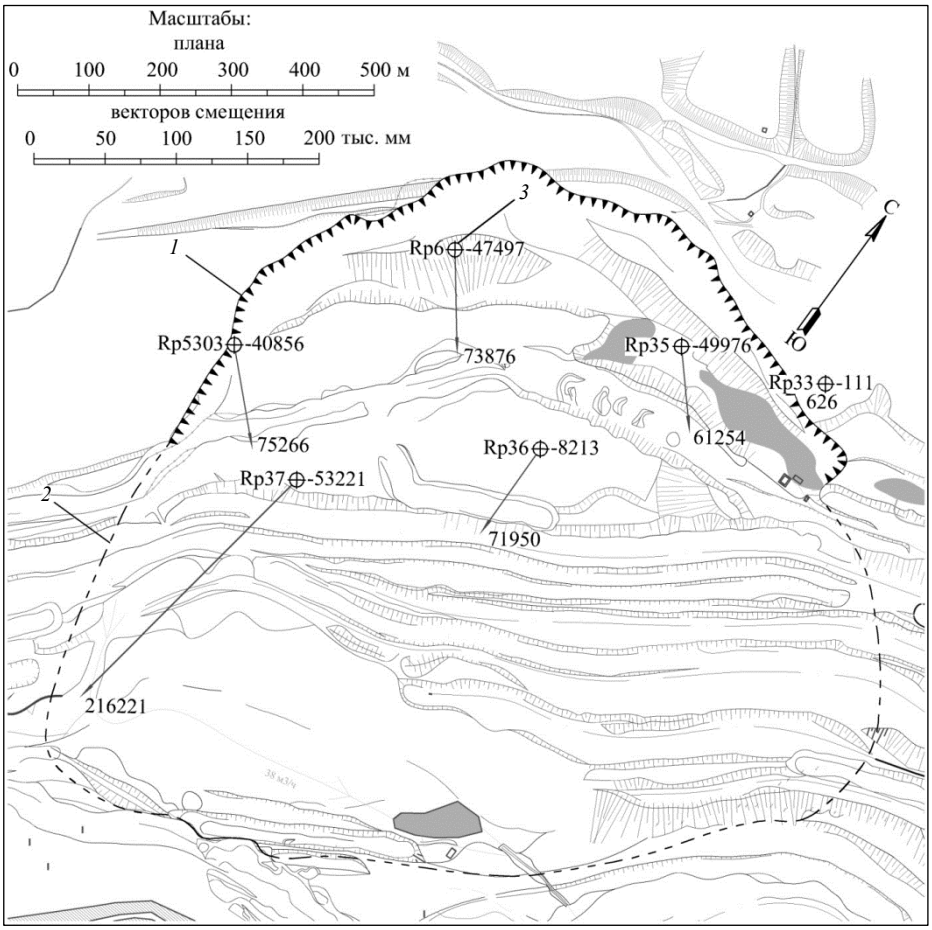


Рис. 1. План оползня «Центральный» с векторами смещения:
1 – трещина отрыва; *2* – граница оползня; *3* – репер наблюдательной станции
Fig. 1. Plan of landslide Tsentralny with displacement vectors:
1 – separation crack; *2* – landslide boundary; *3* – reference of observation station

Туркестанский горизонт залегает согласно на среднем эоцене. В основании горизонт представлен пластом мергеля-устричника с прослоями устричных известняков, вверх по разрезу переходящего в устричники на песчано-глинистом цементе, выше залегают мергели, мергелистые известняки. Мощность туркестанского горизонта 9–15 м.

Неогеновые отложения N_{1-2} представлены в основном кирпично-красными («бурая моласса») и бурыми глинистыми и рыхлообломочными осадками мощностью 50 м. Четвертичные отложения Q представлены лессовидными суглинка-

ми и валунно-галечниковыми отложениями. Лессовидные суглинки макропористые (среднее значение пористости 37,1 %), характеризуются слабой прочностью (временное сопротивление сжатию до 1,96 МПа). При водонасыщении суглинки размокают через 5–10 мин, приобретая текучее состояние. Легко выветриваются, образуя осыпи у подошвы уступов. Валунно-галечниковые отложения имеют два типа заполнителя: песчано-гравийный и суглинисто-песчаный. Отложения буровато-красного цвета, валуны и галька хорошей окатанности, по петрографическому составу – кварцевые порфиры и порфириты, граниты, гранодиориты, являющиеся высокопрочными породами. Песчано-гравийный заполнитель, приуроченный к кровле валунно-галечниковых отложений, к подошве постепенно сменяется суглинисто-песчаным. Уступы, сложенные валунно-галечниковыми отложениями с суглинисто-песчаным заполнителем, сравнительно устойчивые. Уступы, где суглинисто-песчаный заполнитель сменяется песчано-гравийным, менее устойчивы, более подвержены выветриванию и склонны к осыпанию.

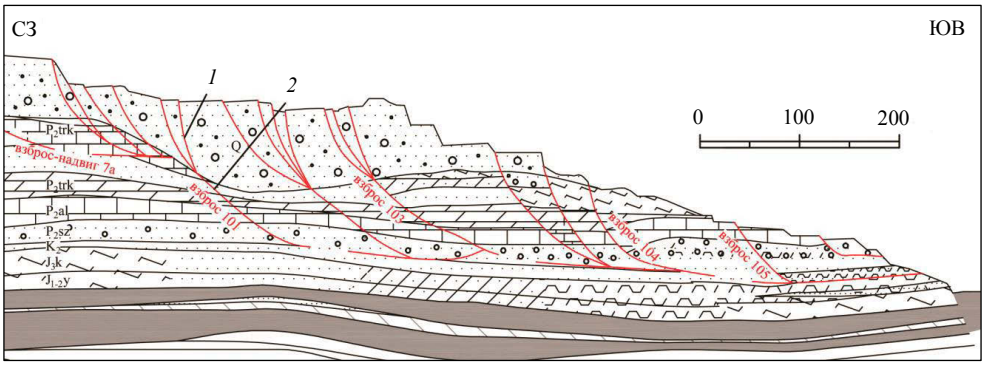


Рис. 2. Геологический разрез по оси оползня «Центральный»:
1 – трещина отрыва; *2* – разрывное нарушение
Fig. 2. Geological section along the axis of the landslide Tsentralny:
1 – separation crack; *2* – breaking fault

Гидрогеологические условия месторождения включают четыре водоносных горизонта и комплекса, которые влияют на образование оползневых явлений.

1. Степень водообильности четвертичных отложений зависит от литологического состава пород и приуроченности к той или иной террасе. Четвертичные отложения расположены повсеместно, представлены галечниками, валунниками с песчано-глинистым, суглинистым или глинистым заполнителем. Мощность четвертичных отложений достигает 100 м. Питание грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации поверхностных и атмосферных вод, а также перетока трещинных вод. Глубины залегания грунтовых вод по саям (сай – овраг с постоянным или временным водотоком, а также сам водоток) составляют: Саяк-сай – от 5 до 16 м; Бадамзар-сай – от 7 до 20 м, Боксук-сай – от 6 до 14 м. Подземные воды выклиниваются на нижележащие уступы разреза и дренируются по отводным дренажным канавам и лоткам.

2. Неогеновый водоносный горизонт приурочен к песчано-конгломератовой свите и имеет повсеместное распространение. Питание водоносного горизонта неогеновых отложений осуществляется за счет инфильтрации поверхностных водоатмосферных осадков и притока подземных вод со стороны гор.

3. Водоносный горизонт мел-палеогеновых отложений приурочен к галечникам с песчано-гравийным заполнителем в верхней и галечником с песчано-сугли-

нистым заполнителем в нижней части разреза, где представлен отложениями боковых притоков Туган-Баши-сая, Саяк-сая, Баксук-сая. Воды по своему характеру напорные.

4. Водоносный комплекс юрских отложений подстилается и ограничивается с бортов слабопроницаемыми отложениями более древних комплексов, имеет повсеместное распространение. Характер подземных вод – напорный.

Отработка месторождения велась в северном и северо-западном направлении. По мере развития горных работ в сложных инженерно-геологических (высокая размокаемость, склонность к набуханию, низкие значения прочностных характеристик, физическое выветривание, наличие зон трещиноватости) и гидрогеологических условиях (выход подземных вод на поверхность откосов, наличие зон обводнения и водоупоров) произошло формирование четырех основных оползней на естественных склонах и бортах разреза: «Наугарзанский», «Атчинский», «Центральный», «Северный». Характеристика основных оползней по данным маркшейдерской службы разреза «Ангренский» представлена в табл. 2.

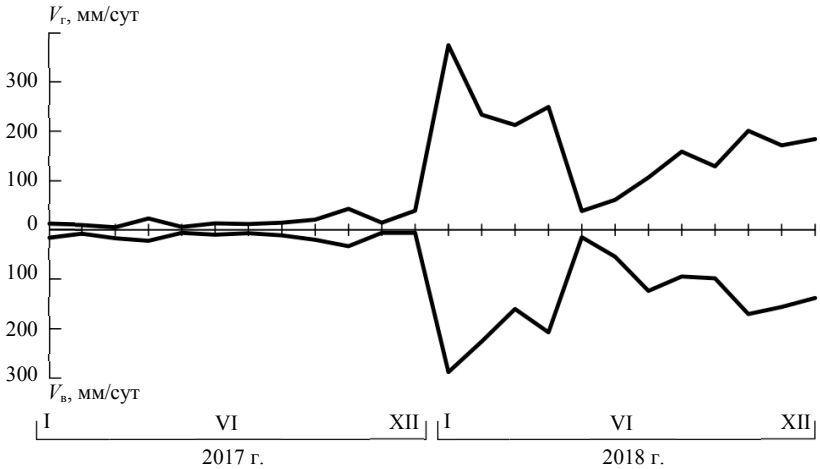


Рис. 3. График максимальных горизонтальных $V_г$ и вертикальных $V_в$ скоростей смещения по оползню «Центральный» в 2017–2018 гг.
Fig. 3. The graph of the maximum horizontal V_h and vertical V_v displacement velocities along Tsentralny landslide in 2017–2018

Особую актуальность представляет выявление механизма деформирования оползня «Центральный», который препятствует безопасному продвижению фронта горных работ.

Неблагоприятное влияние гидрогеологических условий на развитие деформационного процесса осложнено произошедшими тектоническими процессами. Разрывные нарушения, классифицируемые как взбросо-надвиги с очень пологим сместителем в нижней и крутым в верхней части, придали северной части месторождения «чешуйчатое» строение. Сползанию горных масс оползня «Центральный» способствует согласное с откосом залегание взбросо-надвига 7а, взбросов 100–106, секущих толщу пород от сузакского горизонта палеогена до четвертичных отложений. За счет инфильтрации поверхностных и подземных вод через разрывные нарушения происходит механическая суффозия кварцевых песков. В результате фильтрационного выноса мелких частиц из массива горных пород образуется контактный оползень по поверхности скольжения, представленной в верхней части сместителем разрывного нарушения, в нижней – суффозионной

полостью. При этом геометрические параметры оползневых участков ограничены размерами тектонических блоков. План оползня «Центральный» с векторами смещения представлен на рис. 1.

На рис. 2 представлен геологический разрез по оси оползня «Центральный», включающий данные о геологическом строении прибортового массива разреза «Ангренский», его геометрических параметрах, расположении трещин отрыва и разрывных нарушений. Данная информация необходима для прогноза устойчивости борта в соответствии с нормативными документами.

Для контроля оползневых процессов, разработки мероприятий по снижению их интенсивности и ликвидации негативных последствий на разрезе «Ангренский» ведутся постоянные маркшейдерские инструментальные и гидрогеологические наблюдения. На рис. 3 представлены графики максимальных горизонтальных $V_г$ и вертикальных $V_в$ скоростей смещения в 2017–2018 гг. по оползню «Центральный».

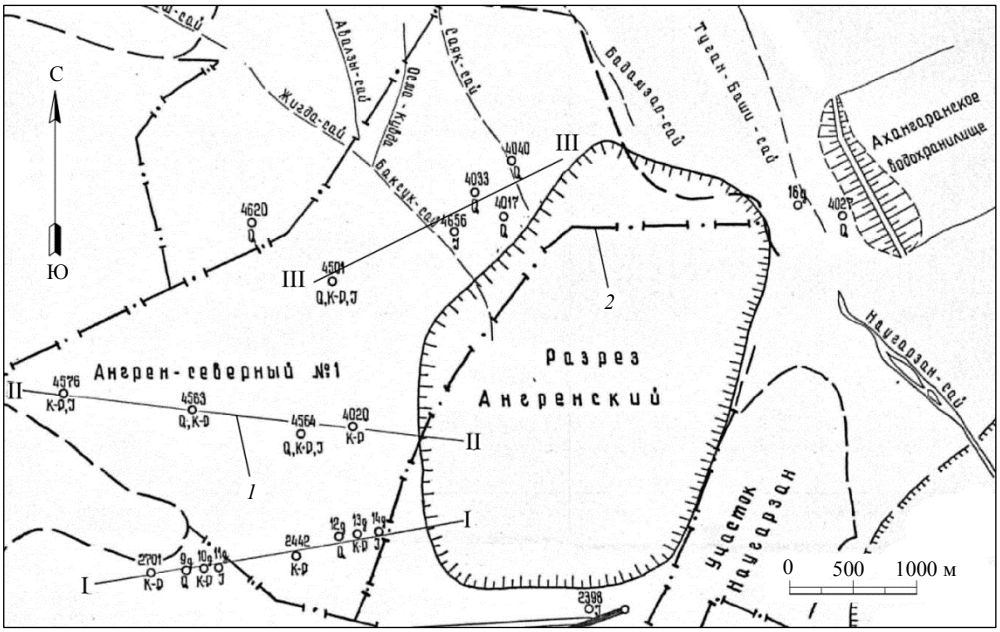


Рис. 4. Схема саев и скважин гидрорежимной сети:
1 – профили гидрорежимной сети; *2* – границы геологических участков
Fig. 4. Scheme of "sai" and wells of the hydro-regime network:
1 – profiles of the hydraulic mode network; *2* – boundaries of geological sites

Из приведенных данных по скоростям смещений видно, что оползневые процессы значительно усилились в 2018 г. Менее интенсивно смещения происходят в период с мая по декабрь, более интенсивно – в январе–мае.

Для изучения и оценки водопритоков по периметру разреза создана гидрорежимная сеть из наблюдательных скважин (рис. 4), по которым ежемесячно производят замеры уровней грунтовых вод.

Из 13 водопонижающих скважин ведется откачка воды с последующим сбросом в водохранилища. Из 7 водопонижающих скважин, пробуренных в Южном борту, за 2017 г. откачано 178 715 м^3 воды, за 2018 г. – 177 081 м^3. Из 6 водопонижающих скважин, расположенных на Северном борту, объемы откачки составили: в 2017 г. – 305 742 м^3, в 2018 г. – 316 107 м^3.

Анализ изменения расхода дренажных вод Q за 2017–2018 гг. (рис. 5) показывает, что наибольшее увеличение уровня грунтовых вод происходит в весенний период (март–май).

Выводы. Анализ геологических и гидрогеологических условий ведения горных работ на разрезе «Ангренский» позволил сделать следующие выводы.

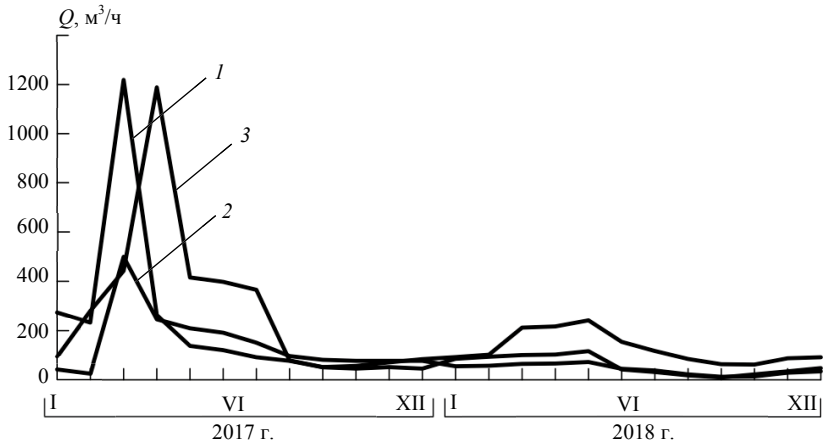


Рис. 5. График изменения расхода Q дренажных вод в 2017 и 2018 гг.:
1 – профиль I; *2* – профиль II; *3* – профиль III
Fig. 5. Schedule of changes in the flow rate Q of drainage water in 2017 and 2018:
1 – profile I; *2* – profile II; *3* – profile III

Ведение горных работ на разрезе «Ангренский» сопровождается массовыми оползневыми процессами во всех бортах, снижающими безопасность работ и приводящими к нарушению технологического режима работы предприятия. Наряду с отклонениями от проектных параметров бортов (завышение углов откосов, подрезка контактов слоев и др.) важную роль в формировании оползней играет неблагоприятное сочетание инженерно-геологических, гидрогеологических факторов и тектонических процессов: высокая водопроницаемость вмещающих пород; обильные притоки грунтовых вод от поверхностных источников, атмосферных осадков, перетока по трещинным коллекторам; согласное с откосом залегание сместителей разрывных нарушений; физические и механические свойства пород прибортового массива.

Очень большие объемы оползней (в среднем 60 млн м^3/год по оползню «Центральный»), высокие скорости горизонтальных и вертикальных смещений свидетельствуют о недостаточной эффективности применяемых противооползневых мероприятий, которые сводятся к водопонижению путем откачки воды из скважин и перепуску грунтовых вод.

Основные научные рекомендации по решению проблемы образования оползней на разрезе «Ангренский» сводятся к следующему:

– необходима детализация границ обводненных зон в бортах и уступах, приуроченных к основным фильтрационным коллекторам, способом геофизического зондирования с построением объемных моделей оползнеопасных зон;

– корректировка безопасных технологических параметров бортов на всех участках горных работ с использованием объемных геолого-геофизических моделей для применения в проектной и рабочей документации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурцев С. В., Рыбак Л. В. Радиолокационные системы контроля устойчивости бортов на разрезе «Черниговец» // Известия Тульского государственного университета. 2018. № 1. С. 203–210.

2. Макеев М. А. Инновации на службе промышленной безопасности: опыт использования передовых радарных систем контроля устойчивости бортов карьеров Reutech на предприятиях РФ // Горная промышленность. 2017. № 2. С. 48–50.

3. Fleurisson J.-A. Slope design and implementation in open-pit mines: geological and geomechanical approach // Procedia Engeneering. 2012. No. 46. P. 27–38. DOI:10.1016/j.proeng.2012.09.442

4. Скударнов Д. Е., Портола В. А., Квасова А. А., Сачков А. В. Анализ смертельного травматизма при добыче угля открытыми горными работами // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2018. № 1. С. 33–39.

5. Верхотуров А. Г., Размахина И. Б. Причины деформирования бортов угольных разрезов Забайкалья // ГИАБ. 2016. № 9. С. 211–221.

6. Старостина О. В., Долгоносов В. Н., Алиев С. Б., Абуева Е. В. Исследование устойчивости уступов верхних горизонтов стационарного борта разреза «Богатырь» // Уголь. 2019. Январь. С. 27–32.

7. Сашурин А. Д., Панжин А. А., Мельник В. В. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в целях безопасной эксплуатации транспортных берм // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 7. С. 28–33.

8. Сашурин А. Д., Бермухамбетов В. А., Панжин А. А. Воздействие современных геодинамических движений на устойчивость бортов карьеров // Проблемы недропользования. 2017. № 3. С. 38–43.

9. Якубов С. И., Сидорова И. П., Раимжанов Б. Р. Изучение оползневых явлений – один из проблемных вопросов при добыче угля на разрезе «Ангренский» // ГИАБ. 2017. № 6. С. 370–375.

10. Пенеко А. И., Красников С. Я. Атчинский оползень – уникальный опыт борьбы с опасным явлением // Горный вестник Узбекистана. 1998. № 1. С. 18–21.

11. Хурсанов Х. П., Колпаков В. Н., Красников С. Я. Оползневые явления на Ангренском месторождении бурового угля // Горный вестник Узбекистана. 2002. № 2. С. 19–26.

12. Septian A., Llano-Serna M., Ruest M., Williams D. Three-dimensional kinematic analysis of Bingham Canyon mine pit wall sides // Procedia Engineering. 2017. No. 175. P. 86–93.

13. Jacobchyk J., Cala M., Stopkowicz A. What where the reasons for the rapid landslide occurrence in “Piaseczno” open-pit? Analysis of the landslide process // Studia Geotechnica et Mechanica. 2015. No. 1. P. 25–35. DOI: 10.1515/sgem-2015-0004

14. Хурсанов Х. П. Угольная промышленность Узбекистана: этапы становления, пути развития и перспективы // Горный вестник Узбекистана. 2008. № 1. С. 3–9.

15. Кривенко Ю. Н., Бондар В. И. Разрез «Ангренский» – уникальное каолино-угольное месторождение // Горный вестник Узбекистана. 2008. № 1. С. 10–14.

16. Кельгинбаев А. Н., Салимов З. С., Ибрагимов Г. М., Якубов С. И. К вопросу комплексного использования минерального сырья Ангренского каолино-угольного месторождения // Горный вестник Узбекистана. 2008. № 1. С. 22–25.

Поступила в редакцию 6 мая 2019 года

Сведения об авторах:

Караблин Михаил Михайлович – ведущий инженер технического отдела Кузбасского головного института по проектированию угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий «Кузбассгипрошахт». E-mail: karablin.mm@gmail.com

Простов Сергей Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и геотехнической механики Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: psm.kem@mail.ru

Лесин Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геологии Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: lyuv.geo@kuzstu.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-47-57

Landslides at the slopes of Angren opencast coal mine

Mikhail M. Karablin[1], Sergei M. Prostov[2], Iurii V. Lesin[2]

[1] Kuzbass Head Institute on Designing of Coal Mining and Coal Processing Enterprises Kuzbassgiproshakht, Kemerovo, Russia.

[2] Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia.

Abstract

Introduction. *Opencast mining is complicated by a number of negative events. The problem of slopes instability plays a special part. In the conditions of modern economy, when the growth of mineral production is inevitable, human protection and work cycle permanence are the criteria of mining enterprises productivity. The actions aimed at protecting against landslides being developed and landslides that took place when carrying out opencast mining operations at the fields of Kuzbass, Transbaikal, Republic of Kazakhstan, Republic of Uzbekistan, the USA, and Poland prove that it is crucial to find the solution to this problem. At the same time, particular features of the mentioned fields are complex engineering-geological and hydrogeological conditions. One such field is Angren brown coal field.*

Research aim *is to determine engineering-geological and hydrogeological factors influencing the development of landslides.*
Methodology. *Engineering-geological conditions of Angren brown coal field have been analyzed, together with the results of surveying instrumental and hydrogeological observations.*
Results. *Geological structure of Angren brown coal field area includes the rocks of the Paliozoic foundation and the Mezo-Cenozoic deposits. Hydrogeological conditions of the field include four different water-bearing strata and complexes, which influence the development of landslides: quaternary, Neogene, the Cretaceous-Palaeogene, and Jurassic deposits. Drainage pattern of a field is represented by ravines with permanent or temporary watercourse ("sai" in the Kazakh language) and the watercourse itself: Saiak-sai, Badamzar-sai, and Boksuk-sai. The expansion of engineering activities connected with field development, resulted in some negative effects which influence the stability of slopes: discharge of subsurface waters on the surface of slopes, reduction of strength characteristics in the zones of disjunctive faults, shale hydration, development of fracture zones in weathering crust rock, and variation of stress. The most hazardous landslide is Tsentralny. As of 2017–2018, the area of the landslide cirque reached 1.06 km^2, volume – 120 million m^3. By the results of surveying instrumental observations, the following displacement periods have been determined: most intensive – from January to May 2018, least intensive – from May to December 2018. The analysis of drainage water delivery in 2017–2018 shows that maximum increase in the level of ground waters is in spring (March – May).*
Conclusions. *Together with deviations from design parameters of slopes (slope angle increases, strata contacts trim, etc.), one main reason of landslides is unfavorable combination of engineering-geological and hydrogeological factors: high water permeability of enclosing rock represented by loam, pebble, and gravelite, and rush of ground water from surface sources, precipitation, and overflow along the fractures reservoir rock.*

Key words: *landslide; stability of slopes and benches; engineering-geological conditions; hydrogeological conditions; surveying; ground water level.*

REFERENCES

1. Burtsev S. V., Rybak L. V. Radar control systems stability of boards at the open pit "Chernigovets". *Izvestiia Tulskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Tula State University*. 2018; 1: 203–210. (In Russ.)
2. Makeev M. A. Innovations for industrial safety: Case study of the application of Reutech advanced radar system for pit wall stability monitoring at mines of the Russian Federation. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry Journal*. 2017; 2: 48–50. (In Russ.)
3. Fleurisson J-A. Slope design and implementation in open-pit mines: geological and geomechanical approach. *Procedia Engeneering*. 2012; 46: 27–38. DOI:10.1016/j.proeng.2012.09.442
4. Skudarnov D. E., Portola V. A., Kvasova A. A., Sachkov A. V. Analysis of fatal traumatismin opencast coal mining operations. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti = Bulletin of the Scientific Center for Work Safety in the Coal Industry*. 2018; 1: 33–39. (In Russ.)
5. Verkhoturov A. G., Razmakhina I. B. Causes of deformation of Transbaikal coal mines pit sides. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; 9: 211–221. (In Russ.)
6. Starostina O. V., Dolgonosov V. N., Aliev S. B., Abueva E. V. Study of stability of the benches of the upper horizons of the stationary side of the "Bogatyr" open-pit mine. *Ugol = Coal*. 2019; January: 27–32. (In Russ.)
7. Sashurin A. D., Panzhin A. A., Melnik V. V. Ensuring resistance of open-cast edges for the ebjective of ramp safe operation. *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2016; 7: 28–33. (In Russ.)
8. Sashurin A. D., Bermukhambetov V. A., Panzhin A. A. The impact of up-to-date geo-dynamic movements on the stability of pit's edges. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2017; 3: 38–43. (In Russ.)
9. Iakubov S. I., Sidorova I. P., Raimzhanov B. R. Studies of landslide phenomena – one of the challenges of Angren open pit mine. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 6: 370–375. (In Russ.)
10. Peneko A. I., Krasnikov S. Ia. Atchinsky landslide – a unique experience in dealing with a dangerous phenomenon. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining Bulletin of Uzbekistan*. 1998; 1: 18–21. (In Russ.)
11. Khursanov Kh. P., Kolpakov V. N., Krasnikov S. Ia. Landslides on the Angren coal deposit. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining Bulletin of Uzbekistan*. 2002; 2: 19–26. (In Russ.)
12. Septian A., Llano-Serna M., Ruest M., Williams D. Three-dimensional kinematic analysis of Bingham Canyon mine pit wall sides. *Procedia Engineering*. 2017; 175: 86–93.
13. Jacobchyk J., Cala M., Stopkowicz A. What where the reasons for the rapid landslide occurrence in "Piaseczno" open-pit? – Analysis of the landslide process. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2015; 1: 25–35. DOI: 10.1515/sgem-2015-0004.
14. Khursanov Kh. P. Coal industry of Uzbekistan: stages of formation, development paths and prospects. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining Bulletin of Uzbekistan*. 2008; 1: 3–9. (In Russ.)
15. Krivenko Iu. N., Bondar V. I. The Angrensky open-pit mine is a unique kaolin-coal deposit. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining Bulletin of Uzbekistan*. 2008; 1: 10–14. (In Russ.)

16. Kelginbaev A. N., Salimov Z. S., Ibragimov G. M., Iakubov S. I. On the issue of integrated use of mineral raw materials of the Angren kaolin-coal deposit. *Gornyi vestnik Uzbekistana = Mining Bulletin of Uzbekistan*. 2008; 1: 22–25. (In Russ.)

Received 6 May 2019

Information about authors:

Mikhail M. Karablin – management engineer of the Engineering Department of Kuzbass Head Institute on Designing of Coal Mining and Coal Processing Enterprises Kuzbassgiproshakht. E-mail: karablin.mm@gmail.com
Sergei M. Prostov – DSc (Engineering), professor of the Department of Theoretical and Geotechnical Mechanics, Kuzbass State Technical University. E-mail: psm.kem@mail.ru
Iurii V. Lesin – DSc (Engineering), professor of the Chair of Surveying and Geology, Kuzbass State Technical University. E-mail: lyuv.geo@kuzstu.ru

Для цитирования: Караблин М. М., Простов С. М., Лесин Ю. В. Оползневые процессы в бортах при ведении горных работ на угольном разрезе «Ангренский» // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 47–57. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-47-57
For citation: Karablin M. M., Prostov S. M., Lesin Iu. V. Landslides at the slopes of Angren opencast coal mine. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 47–57 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-47-57

УДК 550.837 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-58-67

Electrodynamic model of a storage pond dam

Aleksei V. Borisov[1]*, Vladislav B. Vinogradov[2]
[1] ALROSA PJSC, Mirny, Republic Sakha (Yakutia), Russia
[2] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia
e-mail: aleks.ru380@gmail.com

Abstract

Introduction. *Geophysical exploration at a brine storage pond dam of Mirny Mining and Processing Division (MPD) were carried out in order to provide safe operation. A new approach to electrical logging data interpretation is based on past records generalization.*

Research aim *is to create a forecast electrodynamic model of a storage pond dam.*

Research methods included thermometry (measurements in the network of thermometric wells), piezometry (water level measurements in observation wells), land surveying (dam surface releveling), electrical resistivity tomography (aerial electrical exploration at a dam), and visual observations at a dam.

Results and analysis. *The regularities in electrical resistivity (ER) variation were determined at different depths in the three parts of a dam which were distinguished by the technogenic impact. Quantitative assessment of ER variations in different part of a dam was given depending on the thawing process time and the temperature of the environment. Calculation results and their interpretation were analyzed with the account of geological structure features of a hydraulic engineering structure.*

Summary. *The principles of forming a forecast electrodynamic model were created. A model for one storage pond dam was built as an example. The development of a generalized model for hydraulic engineering structures is possible if data from several sources is stored.*

Key words: *storage pond dam; electrical resistivity tomography; thermometry; forecast; electrodynamic model.*

Acknowledgements. *The authors thank A. V. Zyrianova, A. V. Morov, and A. V. Kuzin for materials, help, and friendly remarks.*

Geophysical exploration has been carried out at a brine storage pond dam on Alysardaakh stream of Mirny Mining and Processing Division (MPD) by a group of geophysicists, formed within the engineering survey department of Yakutniproalmaz Institute, ALROSA PJSC.

Research aim is to create a forecast electrodynamic model of a dam (FEDMD) of a brine storage pond. FEDMD describes dam rock electrical resistivity seasonal behavior as a result of thawing or freezing of its upper part.

Object of research is a composite-type rockfill dam (hereinafter hydraulic engineering structure HES), piled, inhomogeneous, freeze-thaw, maximum height – 35.5 m, crest length – 1010 m, crest width – 10 m, average back of dam slope – 1 : 3.95; downstream slope – 1 : 3.66. Main dam body has been filled with marl and diabase rock burden (fig. 1). Dam body is filled with crushed stone soil with sand-clay aggregate, which is a good barrier for groundwater. Dam center is filled with medium sand transmitting filtration flow of process water from the pond. Upstream and downstream

banquette shells are filled with diabase crushed stone at the toe of a dam. Downstream banquette shell fulfills drainage functions.

In the region, daily mean temperature crosses zero in May and September. FEDMD describes only the indicated period of a calendar year. 300 m deep permafrost soil is everywhere around the dam. Seasonal temperature fluctuations of permafrost soil

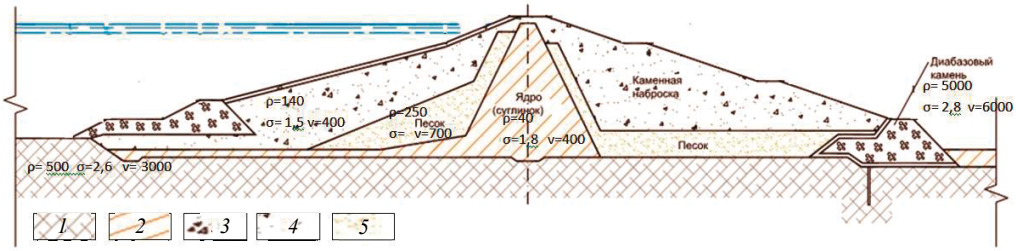


Fig. 1. Petrophysical model of a storage pond dam:
1 – limestone; *2* – loam; *3* – diabase rock; *4* – enrockment; *5* – sand
Рис. 1. Петрофизическая модель плотины пруда-накопителя:
1 – известняки; *2* – суглинок; *3* – диабазовый камень; *4* – каменная наброска; *5* – песок

attenuate at a depth of 9–11 m from the daylight surface. Consequently, FEDMD covers 15 m thickness upper near surface layer. With seasonal temperature variation, active layer and superpermafrost water freeze or thaw.

Subpermafrost water is at the depth of 310–315 m, it is head (up to 100 m) and briny, and of subzero temperature. Frozen rock ice content in friable deposits changes from 5 to 45%, and from 5 to 20% in hard rock and semi-rocky soil. Ice content depends

Table 1. Electrical resistivity of hard rock at freezing (according to V. S. Iakupov, changed), Ohm · m

Таблица 1. Удельное электрическое сопротивление скальных горных пород при промерзании (по В. С. Якупову, с изменениями), Ом · м

Rock, phase	ER of rock		ER growth at freezing
	permafrost	thawed	
Shale	900	140	6.5
Sandy shale	1200	–	–
Sandy schist	2000	250	8.0
Sandstone:	4000	410	9.8
diluvial-soliflual	33 000	–	80
alluvial, channel and old river bed facies	180 000	–	260
Glacial	500 000	–	400
Seasonally thawed stratum, permafrost	110 000	–	–
Lacustrine-alluvial deposits with syngenetic ice-wedge casts	1 330 000	–	2000

on the degree of rock jointing. Groundwater regime is controllable. There are siphons at the tailings storage which control water level. Mineralization of water solutions at HES reaches 117 g/l, which influences the results of geophysical exploration.

Research methodology. Water retaining structures study with geophysical methods goes back decades [1]. A new trend in electrical exploration is the creation of dynamic

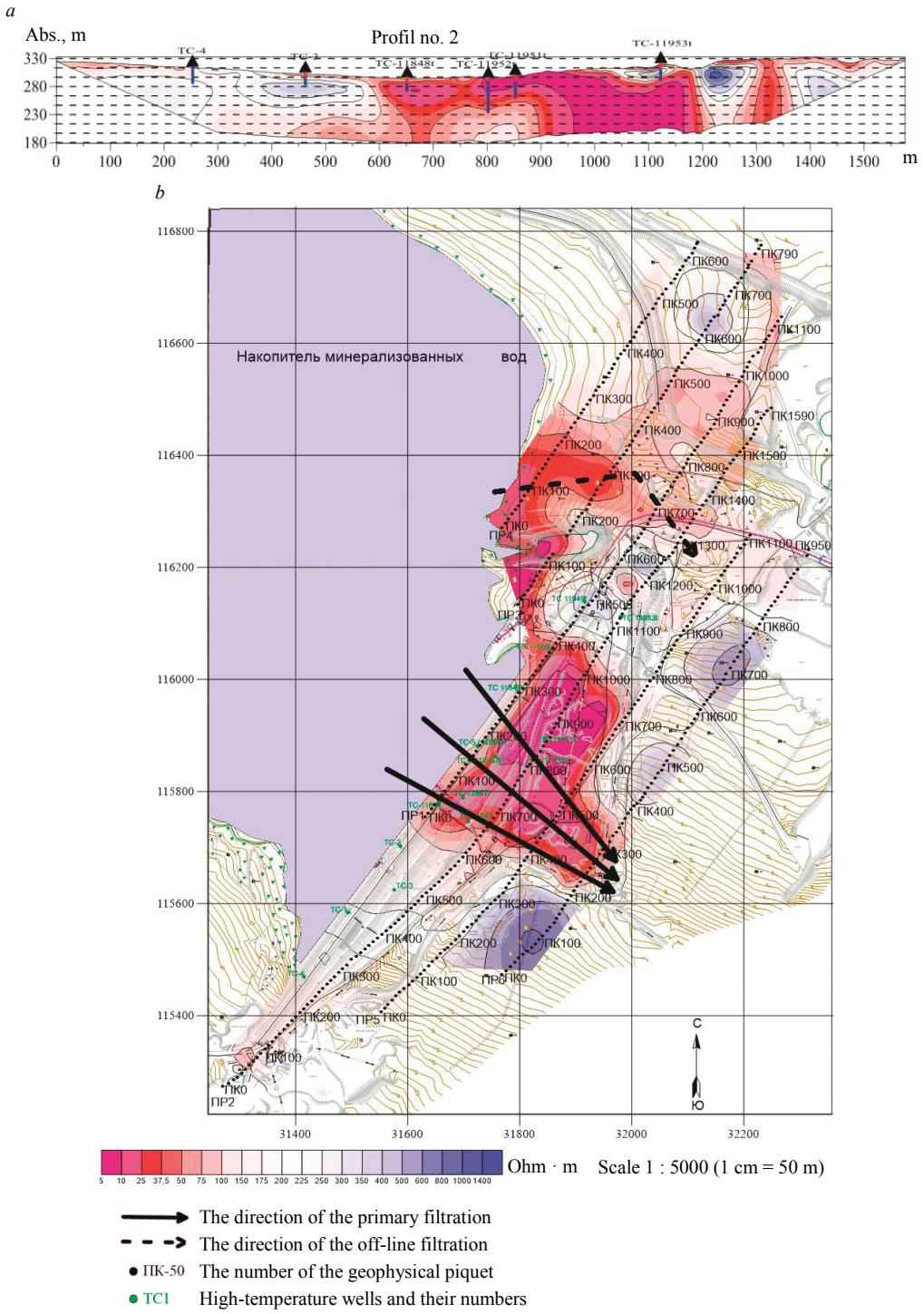


Fig. 2. Pseudodepth section – *a* and ρ_a isoresistivity map of a storage pond dam – *b*
Рис. 2. Псевдоэлектрический разрез – *a* и план изоом $\rho_к$ плотины пруда-накопителя – *b*

models based on regime electrometric measurements; it is applied in the Irkutsk and Perm regions [2–6]. The creation of dynamic models has become possible only when powerful computers and calculation data visualization tools appeared [7–10]. Works [10–13] are devoted to the study of karstification and geodynamic processes in engineering structures with the help of electrical logging. In [14], the principles of developing a forecast physical-dynamic model of karstification and caving are described.

In HES, there is a rapid change of material composition, phase, and physical properties. Temperature shift in a dam significantly influences its strength characteristics. The dependence between the electrical resistivity (ER) of rocks and the temperature is shown in the table 1. Electrical resistivity of soil depends on the lithological composition, water saturation, mineralization of solutions and on the temperature. Phase shift of a medium results in tenfold change of ER. These dependencies lie at the core of electrical logging application in HES state study. HES temperature is determined from electrical logging data, from which, in their turn, strength characteristics are determined.

The main geophysical method applied is electrical resistivity tomography. At the area of interest, six geophysical profiles were examined: at the dam of a brine storage pond, at the left-bank abutment of a storage pond, and at Alysardaakh stream landfall. For visual clarity, research results have been represented as pseudodepth sections and plans with isolines $\rho_a(h)$ at the depths of 10, 20, 30 m (fig. 2). Pseudodepth section at fig. 2, *a* reflects the inhomogeneity of the dam's structure vertically and horizontally, and the heterogeneity of backfilling [2].

In the course of HES operation, groundwater is concentrated with mineralized toxic waste. Water mineralization changes dam body rock ER significantly. Therefore, in order to determine the points of brine water leakage from HES, electrical resistivity tomography is used. Traditionally, electrical logging is applied at HES in order to solve the following tasks (fig. 2):

– determination of occurrence depth, thickness and the lines of lenses and horizons of brine water;

– determination of permafrost and thawed rock boundaries;

– outlining and determination of thickness of subgelisols and permafrost rock among the thawed rock;

– determination of groundwater and technogenic water discharge points, and water filtration points through the earthwork structures [4–10, 15].

Results analysis. By way of an integrated indicator characterizing the process of dam body seasonal thawing, τ – the thawing parameter from Stephan problem has been chosen:

$$\tau = \sqrt{Tt},$$

where t is the timespan from the day mean air temperature transition from subzero to above-zero to the start of geophysical exploration; T is the day mean temperature; τ reflects the amount of heat transferred from air to the subsoil.

At fig. 3 dependency graphs of apparent resistivity and the depth $\rho_a(h)$ are shown for different values of the thawing parameter. $\rho_a(h)$ reflects the phase state of rock and the level of water mineralization. Only the upper 15 m thickness layer has been considered which goes through seasonal thawing and freezing of soil. The represented data point to the different character of thawing in the left abutment of a dam, the central part, and the right abutment; it reveals different compositions and structures of these parts of a dam. Left and right abutments contain natural soil, the central part contains artificial structure. The central part thaws not like left and right abutments. In left and right abutments, $\rho_a(h)$ dependencies are direct and linear, while in the central part,

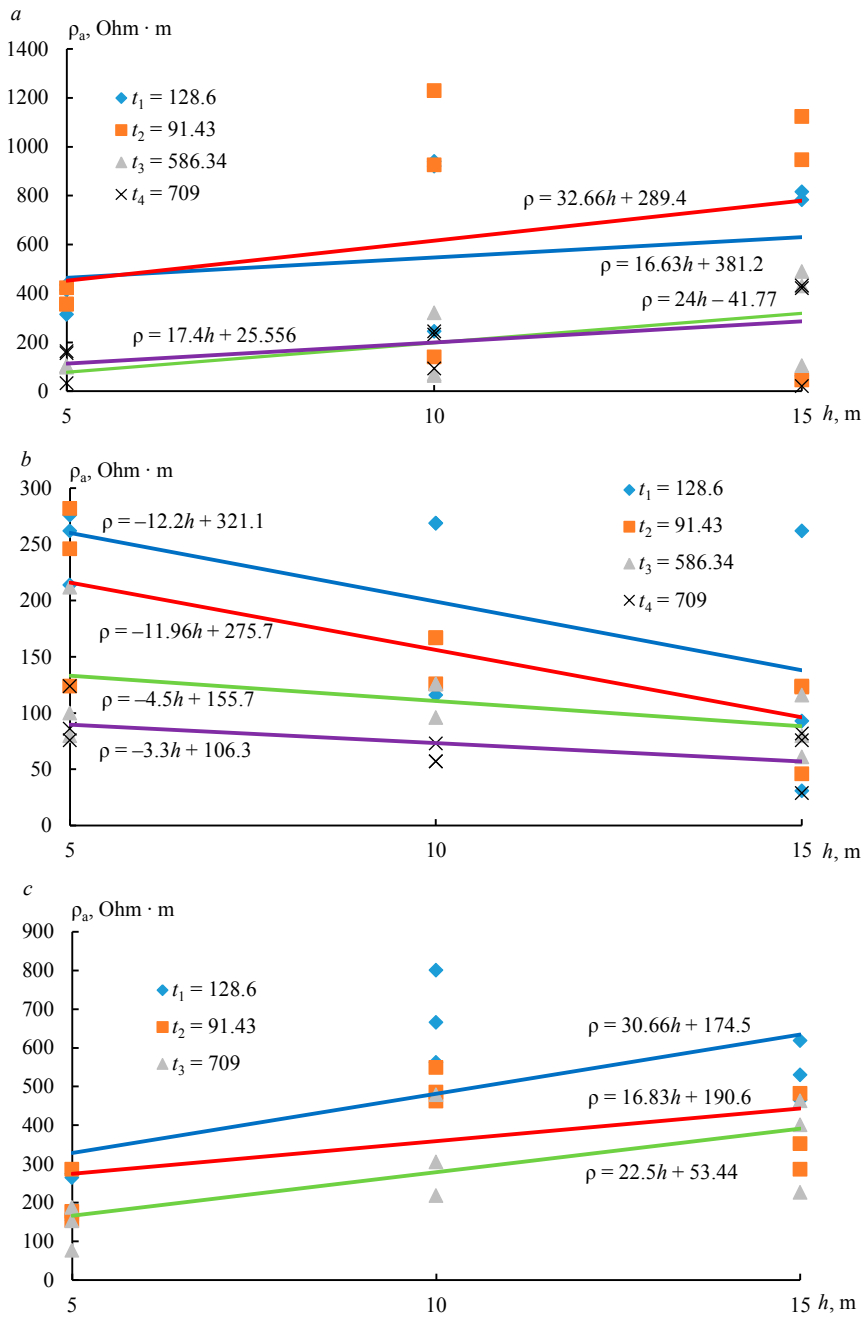


Fig. 3. Dependency graphs of apparent resistivity and the depth for different values of the thawing parameter:

a – for left abutment; *b* – for the central part of a dam; *c* – for right abutment

Рис. 3. Зависимости кажущегося сопротивления от высоты при разных значениях параметра растепления:

a – для левого примыкания; *b* – для центральной части плотины; *c* – для правого примыкания

$\rho_a(h)$ dependency is inverse and linear. This fact caused further separate study of measurement results in different parts of the dam and FEDMD representation as a model consisting of three arts. In the zones of transition from the central part to the abutments, ρ_a does not depend on depth.

In HES right and left abutments, primary rock is least subject to technogenic shifts. Fig. 4, *a* shows dependency between ρ_a and the thawing parameter in the left abutment of a storage pond at various depths. Each point on a graph has come out of averaging ρ_a according to 5–10 adjacent measurement points in the left abutment, which improves the reliability of the obtained dependencies. The deduced dependencies quantitatively characterize the process of dam body thawing. As the thawing parameter τ grows, ρ_a in the upper near surface layer decreases to the depths of 10–15 m, which is conditioned by the thawing depth increase. For example, as of 2014–2015, at the beginning of the summer season, mean value of ρ_a at 5 m depth was 400 Ohm · m. In 2017–2018, works were carried out at the end of the summer season, and at the same depth the mean value of ρ_a was about 130 Ohm · m. At the depths of 10–15 m this influence is not that big, but the inclination towards the increase in conductivity with the increase in the thawing parameter holds. ρ_a for the corresponding values of τ in the right and left abutments are twice as high as in the central part of a dam.

Apparent resistivity of the central part of a dam is significantly lower than in the left and right abutments. In the central part of the structure, filled with medium sands and more subject to seasonal shifts, dependency $\rho_a(h)$ remains significant at the depth of 15 m, at the same time, the dependency is characterized by a more significant fall of resistance (fig. 4, *b*). Thawing in the central part of a dam is more intensive than in the abutments.

In the central part of a dam, ρ_a falls with the growth of depth, which is due to the presence of brine water; ρ_a falls with the growth of the thawing parameter. In the left and right abutments, ρ_a grows with the growth of depth; ρ_a falls with the growth of the thawing parameter.

The results of multiyear research are in the core of HES forecast electrodynamic model aimed at its diagnostics in the following years. As soon as the object of research is situated in the zone of permafrost, the main factor influencing physical and mechanical properties shifts is the temperature regime. Geophysical exploration was carried out in different periods of time and, consequently, with different thawing timespan prior to measuring.

Data of different years prove the stable nature of $\rho_a(\tau)$ dependencies at similar seasonal thermal processes. For example, graphs $\rho_a(\tau)$ for 2016 and 2017 are almost the same. The averaged dependencies of the two years may therefore be considered a standard, in relation to which the data of electrical resistivity tomography of other years will be examined. The obtained dependencies represent the forecast electromagnetic model of a brine storage pond at on Alysardaakh stream of Mirny MPD. The results of measurements obtained in the conditions of abnormally hot summer season should be compared with this model.

Summary. The obtained dependencies $\rho_a(\tau)$ for different parts of the storage pond open an opportunity of medium phase forecast (fig. 3). HES electrodynamic model has been created according to the experimental data of several years. This model may be considered a standard for HES state monitoring.

With the help of the developed model, according to the data from electrical resistivity tomography, the deviations from the thermal process (thawing) from the stated standard can be determined. The presence of significant deviations from FEDMD require integrated geophysical and repair and renewal operations at the facility.

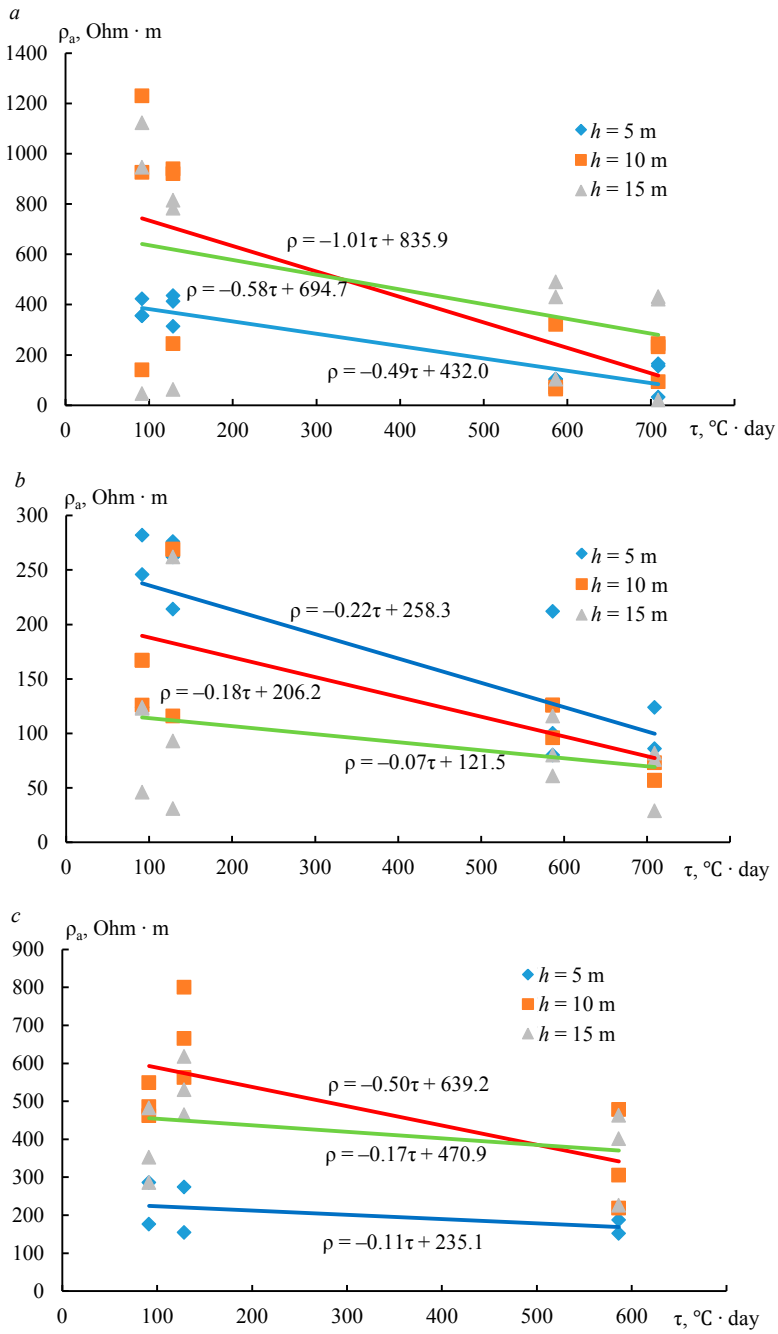


Fig. 4. Dependency between apparent resistivity and the thawing parameter at various depths:
a – left abutment; *b* – central part; *c* – right abutment

Рис. 4. Зависимости кажущегося сопротивления от параметра растепления при разной высоте:
a – в левом примыкании; *b* – в центральной части; *c* – в правом примыкании

To make the model complete, geophysical exploration should be carried out in the middle of the summer season (in June) within the following 2–3 years. The obtained dependencies will be made more accurate as far as the new data is stored. Further research should be focused on this type of tasks solution at other facilities of the Mirny region in order to control thawing and freezing of HES.

REFERENCES

1. Savich A. I., Kuiundzhich B. D. (eds.) *Integrated engineering and geophysical exploration when building hydraulic engineering structures*. Moscow: Nedra Publishing; 1990. (In Russ.)

2. Borisov A. V., Vinogradov V. B. Applying geophysical methods to investigate hydraulic engineering structures. In: *Theory and practice of geological interpretation of gravitational, magnetic, and electrical fields: collection of studies*. Issue 1(46). Perm: IM UB RAS, PSU Publishing; 2019. p. 51–54. (In Russ.)

3. Eskin A. Iu., Dzhurik V. I., Serebrennikov S. P., Bryzhak E. V. Dynamics of a physical condition of the weakened zones of a bulk dam of irkutsk hydroelectric power station during 2002–2012. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia = Advances in Current Natural Sciences*. 2016; 12-2: 387–394. (In Russ.)

4. Kolesnikov V. P., Konoplev A. V., Prigara A. M., Tatarkin A. V. Technology of complex geophysical survey for diagnosis of hydraulic structures. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia = Modern Problems of Science and Education*. 2012; 6. Available from: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7839 [Accessed 23 June 2019]

5. Modin I. N., Bolshakov D. K., Bomkin S. V., Skobelev A. D., Baranchuk K. I., Efremov K. D., Pelevin A. A., Repev A. S. Developing a 3D model of the upper geological environment according to electrical resistivity tomography data to solve engineering and geological problems. *Engineering Geophysics–2015. EAGE*. 2015: 1–11. (In Russ.)

6. Velikin S. A. Using electrical resistivity tomography 3D data processing technologies when monitoring the state of hydraulic engineering structures foundation in permafrost zone. *Geofizika = Geophysics*. 2019; 1: 25–32. (In Russ.)

7. Dahlin T., Sjődahl P., Johansson S. Embankment dam seepage evaluation from resistivity monitoring data. *Near Surface Geophysics*. 2009; 7: 463–474.

8. Sjődahl P., Dahlin T., Johansson S. Resistivity monitoring for leakage and internal erosion detection at Hallby embankment dam. *Journal of Applied Geophysics*. 2008; 65(3–4). P. 155–164.

9. Mahmoodi O. (2016). The search for kimberlites airborne magnetic data processing in the northwest. Athabasca Basins in Summary of Investigations. 2016. Vol. 2. In: *Saskatchewan Geological Survey, Saskatchewan Ministry of the Economy, Miscellaneous Report 2016-4.2*. Paper A-6, 14 p.

10. Kjarsgaard B. A. Kimberlite pipe models: significance for exploration. In: *Exploration in the New Millennium. Proceedings of the Fifth Docennial International Conference on Mineral Exploration. Edited by Milkerait B. Docennial Mineral Exploration Conferences*. Toronto, Canada, 2007. P. 667–677.

11. Laskina T. A. *Developing the technology of integrated electrical logging in the conditions of salt deposits: Cand. eng. sci. abs. of diss*. Perm; 2018. (In Russ.)

12. Zyrianova A. V. Study of briny slime water filtration by the method of electrical resistivity tomography. In: *19th Ural youth scientific school of geophysics: proceedings*. Ekaterinburg: IM UB RAS; 2018. p. 69–71. (In Russ.)

13. Davydov V. A., Arzamastsev E. V., Baidikov S. V., Gorshkov V. Iu. Electrometric studies in Krylatovskii mine. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 3: 64–71. (In Russ.)

14. Zhukov A. A. *Modifying the principles of georadiolocation and ultrasonic tomography to solve mining and geological problems in the conditions of potassium deposits: Cand. eng. sci. abs. of diss*. Perm; 2018. (In Russ.)

15. Reed L. E., Witherly K. E. 50 years of kimberlite geophysics: a review. In: *Exploration in the New Millennium. Proceedings in the Fifth Decennial International Conference on Mineral Explorat. Edited by Milkerait B. Docennial Mineral Exploration Conferences*. Toronto, Canada, 2007. P. 679–689.

Received 22 July 2019

Information about authors:

Aleksei V. Borisov – geophysicist, ALROSA PJSC. E-mail: aleks.ru380@gmail.com
Vladislav B. Vinogradov – PhD (Geology and Mineralogy), associate professor of Geophysics Department, Ural State Mining University. E-mail: vinogr.vladislav@yandex.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-58-67

Электродинамическая модель плотины пруда-накопителя

Борисов А. В.[1], Виноградов В. Б.[2]
[1] Компания «АЛРОСА», Мирный, Республика САХА (Якутия), Россия.
[2] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия.

Реферат

Введение. *Геофизические работы на плотине пруда-накопителя минерализованных вод Мирнинского ГОКа проведены для обеспечения безопасной работы ГОКа. Новый подход к истолкованию данных электрометрии основан на обобщении материалов прошлых лет.*

Цель работы *– создание прогнозной электродинамической модели плотины пруда-накопителя.*

Методы исследования. *Термометрия (измерения в сети температурных скважин), пьезометрия (измерения уровня вод в пьезометрических скважинах), маркшейдерские работы (повторное нивелирование поверхности дамбы), электротомография (проведение площадных электроразведочных работ на дамбе), визуальные наблюдения на дамбе.*

Результаты и их анализ. *Установлены закономерности изменения удельного электрического сопротивления (УЭС) на разных глубинах в трех частях плотины, отмеченных техногенным влиянием. Дана количественная оценка изменений УЭС разных частей плотины в зависимости от длительности процесса растепления и температуры окружающей среды. Проанализированы результаты расчетов и их интерпретация с учетом геологических особенностей строения гидротехнического сооружения.*

Выводы. *Создана методика формирования прогнозной электродинамической модели. Приведен пример создания модели для одной из плотин пруда-накопителя. Методика может быть применена на других объектах. Создание обобщенной модели для гидротехнических сооружений возможно при накоплении данных по нескольким объектам.*

Ключевые слова: *плотина пруда-накопителя; электротомография; термометрия; прогноз; электродинамическая модель.*

Благодарим за предоставленные материалы, помощь в работе и доброжелательные замечания А. В. Зырянову, А. В. Морова, А. В. Кузина.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений / под ред. А. И. Савича, Б. Д. Куюнджича. М.: Недра, 1990. 462 с.

2. Борисов А. В., Виноградов В. Б. Применение геофизических методов для изучения гидротехнических сооружений // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: сб. науч. трудов. Вып. 1(46). Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019. С. 51–54.

3. Ескин А. Ю., Джурик В. И., Серебренников С. П., Брыжак Е. В. Режимные исследования динамики физических характеристик пород насыпной плотины Иркутской ГЭС за период 2002–2013 гг. // Успехи современного естествознания. 2016. № 12-2. С. 387–394.

4. Колесников В. П., Коноплев А. В., Пригара А. М., Татаркин А. В. Технология комплексных инженерно-геофизических изысканий для диагностики состояния гидротехнических сооружений // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7839 (дата обращения: 23.06.2019)

5. Модин И. Н., Большаков Д. К., Бомкин С. В., Скобелев А. Д., Баранчук К. И., Ефремов К. Д., Пелевин А. А., Репьев А. С. Построение объемной модели верхней части геологической среды по данным электротомографии для решения инженерно-геологических задач // Engineering Geophysics–2015. EAGE, 2015. С. 1–11.

6. Великин С. А. Использование технологий 3D-обработки данных электротомографии в задачах мониторинга состояния оснований гидротехнических сооружений в криолитзоне // Геофизика. 2019. № 1. С. 25–32.

7. Dahlin T., Sjődahl P., Johansson S. Embankment dam seepage evaluation from resistivity monitoring data. Near Surface Geophysics. 2009. Vol. 7. P. 463–474.

8. Sjődahl P., Dahlin T., Johansson S. Resistivity monitoring for leakage and internal erosion detection at Hallby embankment dam. Journal jf Applied Geophysics. 2008. No. 65(3–4). P. 155–164.

9. Mahmoodi O. (2016). The search for kimberlites airborne magnetic data processing in the northwest. Athabasca Basins in Summary of Investigations. 2016. Vol. 2. Saskatchewan Geological Survey, Saskatchewan Ministry of the Economy, Miscellaneous Report 2016-4.2. Paper A-6, 14 p.

10. Kjarsgaard B. A. Kimberlite pipe models: significance for exploration. In: Exploration in the New Millennium. Proceedings of the Fifth Docennial International Conference on Mineral Exploration. Edited by Milkerait B. Docennial Mineral Exploration Conferences. Toronto, Canada, 2007. P. 667–677.

11. Ласкина Т. А. Разработка технологии комплексного электрометрического мониторинга в условиях соляных месторождений: автореф. дис. … канд. техн. наук. Пермь, 2018. 24 с.

12. Зырянова А. В. Изучение фильтрации высокоминерализованных шламовых вод методом электротомографии // XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике: сб. науч. матер. Екатеринбург: ИГ УрО РАН, 2018. С. 69–71.

13. Давыдов В. А., Арзамасцев Е. В., Байдиков С. В., Горшков В. Ю. Электрометрические исследования на Крылатовском руднике // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 3. С. 64–71.

14. Жуков А. А. Адаптация методов георадиолокации и ультразвуковой томографии для решения горно-геологических задач в условиях калийных месторождений: автореф. дис. … канд. техн. наук. Пермь, 2018. 24 с.

15. Reed L. E., Witherly K. E. 50 years of kimberlite geophysics: a review. In: Exploration in the New Millennium. Proceedings in the Fifth Decennial International Conference on Mineral Explorat. Edited by Milkerait B. Docennial Mineral Exploration Conferences. Toronto, Canada, 2007. P. 679–689.

Поступила в редакцию 22 июля 2019 года

Сведения об авторах:

Борисов Алексей Викторович – геофизик, Компания «АЛРОСА». E-mail: aleks.ru380@gmail.com
Виноградов Владислав Борисович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики Уральского государственного горного университета. E-mail: vinogr.vladislav@yandex.ru

Для цитирования: Борисов А. В., Виноградов В. Б. Электродинамическая модель плотины пруда-накопителя // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 58–67 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-58-67
For citation: Borisov A. V., Vinogradov V. B. Electrodynamic model of a storage pond dam. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 58–67. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-58-67

УДК 550.23 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-68-80

Зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений на Урале

Гуляев А. Н.[1]*, Осипова А. Ю.[1]
[1] Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: usc_alex@mail.ru

Реферат

Введение. *Современный Уральский горный пояс, представляет собой новейший эпиплатформенный эпипалеозойский ороген, возникший предположительно в течение последних 30 млн лет в западной части более древнего допалеозойско-палеозойского горно-складчатого пояса, центральной структурой которого является древнее (рифей-вендское) Центрально-Уральское поднятие. В мезозойско-кайнозойское время активность тектонических и вулкано-магматических процессов в недрах Урала снизилась, и Урал вступил в период платформенного развития, характеризующийся медленными эпейрогеническими движениями земной коры. В последние приблизительно 30 млн лет в эпоху альпийского тектогенеза произошло возрождение Уральского горного пояса. Этот процесс продолжается на современном этапе и сопровождается редко происходящими ощутимыми землетрясениями силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64, не представляющими опасности для инженерных сооружений и жизни людей.*

Целью работы *является оценка связи сейсмичности Урала с разновозрастными геолого-тектоническими структурами и составление схемы зон возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зон ВОЗ).*

Методика работы *заключалась в оценке пространственного положения эпицентров ощутимых землетрясений в центральной части Уральского региона относительно палеозойских и допалеозойских геолого-тектонических структур.*

В результате *выполненного исследования установлено, что эпицентры ощутимых землетрясений центральной части Уральского региона сосредоточены в пределах Среднего Урала и прилегающих частях Северного и Южного Урала и локализованы преимущественно в субмеридиональных зонах, охватывающих с запада и с востока субмеридиональную область допалеозойского Центрально-Уральского поднятия, сложенного метаморфическими породами допалеозойского возраста. Упомянутые зоны могут рассматриваться как зоны ВОЗ, а область Среднего Урала и прилегающие части Северного и Южного Урала – как область возможного возникновения очагов землетрясений силой до 5–6 баллов по шкале MSK-64.*

Ключевые слова: *новейший эпипалеозойский эпиплатформенный ороген; эпоха альпийского тектогенеза; Центрально-Уральское поднятие; зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зоны ВОЗ).*

Введение. Земная кора Урала за последние 1,5 млрд лет пережила ряд мегациклов тектонического развития [1, 2], в результате которых возник современный Уральский горно-складчатый пояс, представляющий собой, согласно [1–3], новейший эпиплатформенный эпипалеозойский ороген, возникший предположительно в течение последних 30 млн лет в западной части более древнего допалеозойско-палеозойского горно-складчатого пояса, центральной структурой в рельефе земной поверхности которого является древнее (рифей-вендское) Центрально-Уральское поднятие.

В мезозойско-кайнозойское время активность тектонических и вулкано-магматических процессов в недрах Урала снизилась, и земная кора Урала вступила в период платформенного развития, характеризующийся более медленными, чем в палеозое, эпейрогеническими движениями. В этот период возникшие в палеозой-

ское время Уральские горы были в значительной степени разрушены процессами выветривания и денудации.

Позднее, в новейшее время, произошло обновление Уральского горного пояса [1–3]. На современном этапе в Уральском регионе и прилегающих к нему территориях земная поверхность погружается со скоростью около нескольких миллиметров в год (*Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территорию СССР (СВДЗК). Масштаб 1:5 000 000 / под ред. Л. А. Кашина. ГУГК, 1989.*). На фоне этого процесса в регионе отмечаются редко происходящие ощутимые землетрясения силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64, не представляющие опасности для инженерных сооружений и жизни людей. Можно предположить, что эти землетрясения сопровождают процесс становления новейшего Уральского орогена на современном этапе.

До 1997 г. Урал относился к асейсмичным и слабосейсмичным регионам, в пределах которых при проектировании и строительстве инженерных сооружений не было необходимости учитывать величину расчетной силы сейсмического воздействия, но в 1997 г. по результатам Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97 Урал был отнесен к потенциально сейсмичным регионам (*Комплект карт Общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах / под ред. В. Н. Страхова, В. И. Уломова. Москва, 1999. 56 с.*), и актуальной стала задача детального сейсмического районирования Урала. В рамках решения этой задачи важным является выделение зон возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зон ВОЗ) и детальное районирование рассматриваемой территории по величине силы сейсмического воздействия на инженерные сооружения.

Целью работы является оценка связи сейсмичности Урала с разновозрастными геолого-тектоническими структурами и составление схемы зон возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зон ВОЗ) и схемы детального сейсмического районирования центральной части Уральского региона.

Методика работы заключалась в оценке пространственного положения эпицентров ощутимых землетрясений в центральной части Уральского региона относительно палеозойских и допалеозойских геолого-тектонических структур.

Методика включала:

– анализ пространственного расположения эпицентров наблюдавшихся ранее ощутимых Уральских землетрясений относительно геолого-тектонических структур центральной части Уральского региона и зон ВОЗ;

– детальное районирование центральной части Уральского региона по величине силы сейсмического воздействия с использованием данных о наблюдавшихся в предыдущие годы ощутимых землетрясениях.

Результаты. Анализ имеющегося сейсмологического материала [4–10] позволяет выделить в пределах Среднего и северной части Южного Урала Западно-Уральскую и Восточно-Уральскую субмеридиональные зоны ВОЗ, в которых ранее отмечалось возникновение очагов ощутимых землетрясений. Эти зоны протягиваются вдоль западного и восточного склонов и подножья Среднего Урала и примыкающих к нему участков Южного и Северного Урала. Они приурочены к западной и восточной пограничным зонам Центрально-Уральского поднятия, в пределах которого обнажаются метаморфиты допалеозойского фундамента и предположительно могут представлять собой реликтовые палеозойские зоны деформации верхней части земной коры (флексурно-разрывные зоны), являющиеся на современном этапе структурами, проницаемыми для флюидов и газов, ко-

торые могут способствовать возникновению ощутимых землетрясений. Предполагается, что в пределах этих зон возможно возникновение очагов ощутимых землетрясений в будущем.

Западно-Уральская зона ВОЗ протягивается в субмеридиональном направлении вдоль западного склона южной части Северного, Среднего Урала и Северной части Южного Урала и приурочена преимущественно к позднепалеозойской Западно-Уральской внешней зоне складчатости и надвигов, сложенной преимущественно палеозойскими осадочными породами (рис. 1). Зона содержит очаги следующих ощутимых землетрясений (перечисление землетрясений в направлении с севера на юг), макросейсмическое описание которых приведено в работах [4, 5]:

1. Землетрясение 25.10.1993 г. с эпицентром в районе г. Березники Пермской области с магнитудой по инструментальным данным около 3,2 и силой сотрясения в эпицентре около 4 баллов по шкале MSK-64, глубина очага оценивается как 4 км [5]. Землетрясение произошло в пределах Верхнекамского месторождения минеральных солей, располагающегося в пределах палеозойского Предуральского предгорного прогиба, сложенного карстующимися породами (известняками, эвапоритами и пр.). Поэтому не исключено, что данное землетрясение было вызвано обвалом (обрушением) карстовой полости.

2. Землетрясения 06.03.1911 г. и 08.11.1911 г. с эпицентрами в долине р. Косьва (левый приток р. Кама). Ощутимыми землетрясениями был охвачен район расположения населенных пунктов (деревень) Милкова, Тихая, Ярино Пермской области. Магнитуда событий по косвенным данным оценивается как 3,0, сила сотрясения в эпицентре – 5 баллов по шкале MSK-64. Глубина очага по косвенным данным оценивается как небольшая – около 0,1 км [5]. Эпицентры событий были локализованы в пределах Предуральского прогиба и в западной пограничной зоне Западно-Уральской зоны складчатости и надвигов, в строении которых принимают участие карстующиеся породы. Не исключено, что данные землетрясения были вызваны обрушением карстовых полостей.

3. Землетрясение 28.07.1956 г. Эпицентр события по макросейсмическому описанию, приведенному в [5], мог располагаться предположительно в районе г. Лысьва Пермской области в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 4,0, сила сотрясения в эпицентре по макросейсмическим данным – 5 баллов по шкале MSK-64, глубина очага около 15 км [5]. Предполагается, что событие могло иметь тектоническую природу.

4. Землетрясение 23.05.1798 г. Эпицентр по макросейсмическому описанию события [4, 5] предположительно мог располагаться в районе пос. Кын Пермской области в долине р. Чусовая в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 5,3, сила сотрясения по макросейсмическим данным в эпицентре – в 4,5 балла по шкале MSK-64, глубина очага по макросейсмическим данным около 26 км [5]. Предполагается, что событие могло иметь тектоническую природу.

5. Землетрясение 29.11.1832 г. в окрестностях г. Нижний Тагил. Эпицентр располагался к западу от города, «подле главного кряжа Урала на западной его покатости» [4, 5]. В геолого-тектонических структурах эпицентр события мог располагаться в ближней зоне геодинамического влияния Главного Уральского глубинного разлома (ГУГР). Магнитуда события по косвенным данным оценивается в 3,0, сила сотрясения в эпицентре – в 4 балла по шкале MSK-64, глубина очага около 10 км. Данное событие могло иметь тектоническую природу.

6. Землетрясение 17.08.1914 г., получившее название «Билимбаевское», самое сильное на Урале на сегодняшний день [4, 5]. Эпицентр располагался в районе

пос. Билимбай Свердловской области приблизительно в 60 км к запад-северо-западу от Екатеринбурга в южном замыкании Кваркушско-Каменногорского мегантиклинория Центрально-Уральского поднятия. Вследствие того, что на данном участке ширина горного Урала значительно уменьшается, образуя так называемый Центрально-Уральский пережим [11], эпицентр и очаг Билимбаевского землетрясения могут принадлежать как Западно-Уральской, так и Восточно-Уральской зонам ВОЗ, которые сближаются и практически сливаются на данном участке. Магнитуда события оценивается как 4,5–5,0 [5], а сила сотрясения в эпицентре как 6,0–6,5 баллов по шкале MSK-64. Глубина очага около 25 км [5]. В эпицентральной зоне данного события, согласно [5], в русле р. Трека (правый приток р. Чусовая) возник ключ, «из которого вытекала под видимым напором почти черная как деготь жидкость, державшаяся на поверхности воды в р. Трека. Это явление наблюдалось до зимы». Возможно, это была нефть, выжимаемая из структуры подобно грязевому вулкану избыточным давлением ювенильных газов. Данное событие могло иметь тектоническую природу.

7. Землетрясение 18.08.2002 г. в районе г. Златоуст Челябинской области. Магнитуда по инструментальным оценкам оценивается как 2,7, сила сотрясения в эпицентре – 4 балла по шкале MSK-64, глубина очага – 6 км [5]. Данное событие могло иметь тектоническую природу.

8. Землетрясение 07.07.2004 г. в районе г. Катав-Ивановск Челябинской области. Эпицентр события располагался предположительно в 10 км к западу от г. Катав-Ивановск. Магнитуда события по инструментальным данным – 2,1–2,8, сила сотрясения в эпицентре оценивается в 4 балла по шкале MSK-64, глубина очага около 4,0 км [7].

9. Землетрясения в сентябре 2018 г. в районе г. Катав-Ивановск Челябинской области. Эпицентры событий располагались предположительно в 10–15 км к западу и северо-западу от г. Катав-Ивановск. Наиболее сильным было событие 05.09.2018 г. с магнитудой по инструментальным данным около 4,1 и силой сотрясения в эпицентральной зоне около 5 баллов по шкале MSK-64. За ним последовала серия относительно более слабых ощутимых землетрясений, которые можно рассматривать как автершоки. В эпицентральной зоне землетрясения 05.09.2018 г. наблюдалось явление выброса грунта и камней из подземного источника, подобно выбросам при извержении грязевого вулкана, описанным в работе [12]. Эпицентры автершоков протягиваются в виде цепочки северо-западного направления по азимуту около 25°–30° и могут быть связаны с участком северо-восточной пограничной зоны Каратау-Таласо-Ферганской трансорогенной структуры. Согласно протоколам службы срочных донесений Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», очаг землетрясения мог возникнуть в условиях сжатия земной коры в юго-восточном направлении по азимуту 137°–153°. Предполагается, что данное событие скорее всего имеет тектоническую природу.

Восточно-Уральская зона ВОЗ протягивается в субмеридиональном направлении вдоль осевой части Уральского хребта и частично вдоль его восточного склона и приурочена к осевой зоне и ближней зоне геодинамического влияния палеозойского Главного Уральского глубинного разлома (ГУГР), и частично к зоне палеозойского Платиноносного пояса. Восточно-Уральская зона ВОЗ содержит очаги следующих ощутимых землетрясений (с севера на юг), макросейсмическое описание которых приведено в работе [5]:

1. Землетрясение 21.02.1970 г. с эпицентром в районе пос. Павда Свердловской области, расположенном в пределах габбрового массива, принадлежащего Платиноносному поясу. Магнитуда события по инструментальным данным – 4,0,

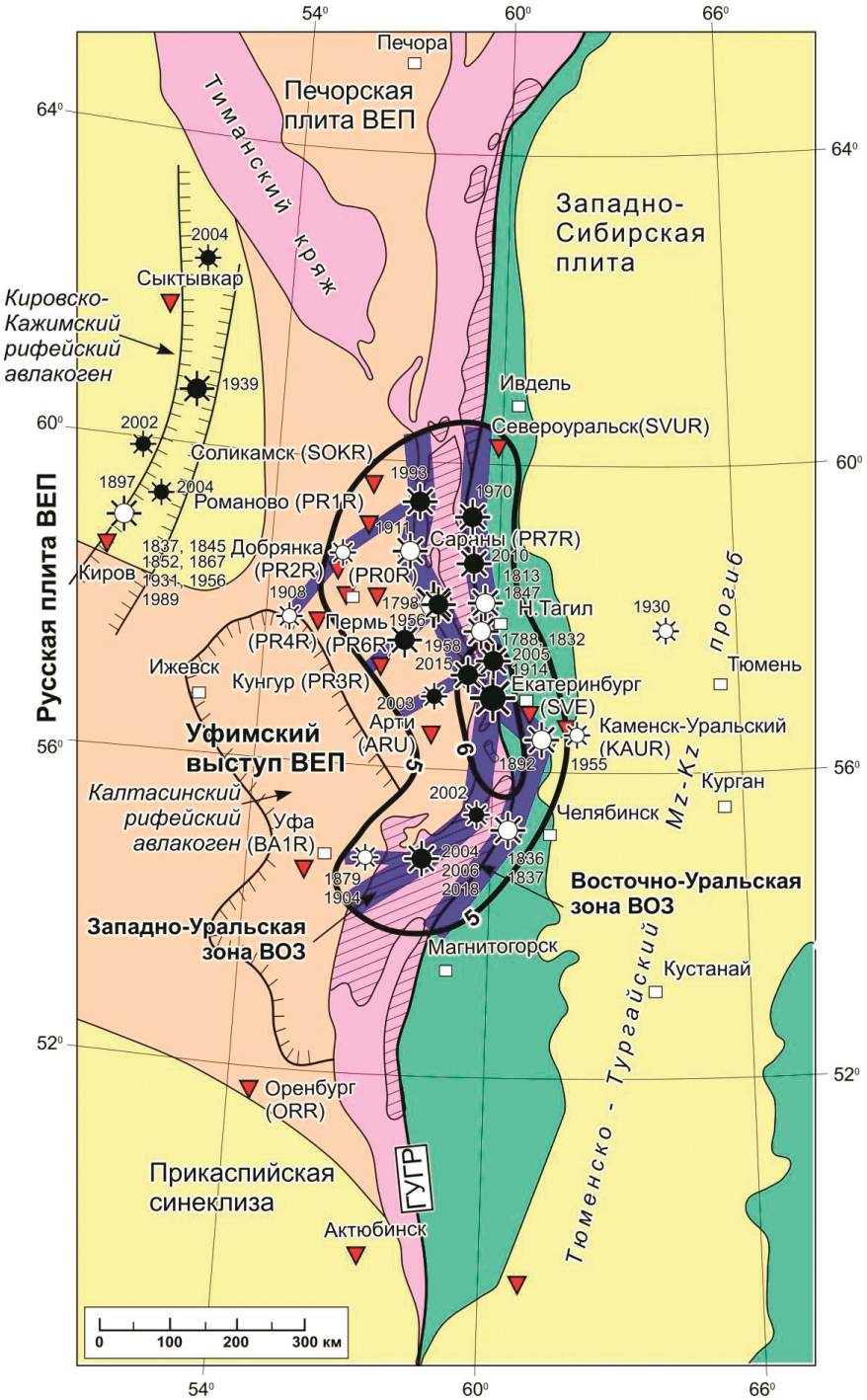
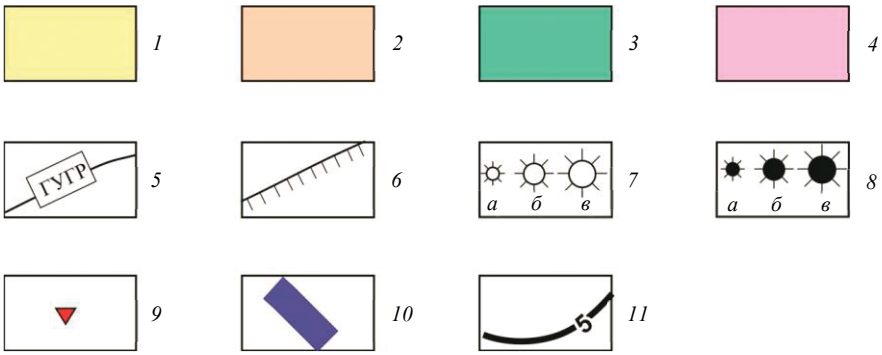


Рис. 1. Схема сейсмотектоники Урала и зон возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зон ВОЗ). Составили: Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. Институт геофизики УрО РАН им. Ю. П. Булашевича. Компьютерная графика Арзамасцевой Н. В.
Fig. 1. The scheme of seismotectonics of the Urals and zones of possible sensible earthquake foci (PSE). Prepared by Guliaev A. N., Osipova A. Iu., Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS, computer graphics by Arzamastseva N. V.



1 – области развития чехла отложений мезозойско-кайнозойского возраста; *2* – область выхода на земную поверхность недислоцированных пород чехла отложений палеозойского возраста; *3* – участки выходов на земную поверхность дислоцированных пород палеозойского возраста в пределах Восточного Урала и Кокчетавского выступа Казахстана (в пределах палеозойской Урало-Сибирской геосинклинали); *4* – область развития дислоцированных пород палеозойского чехла и допалеозойского фундамента ВЕП. Косой штриховкой показаны участки выходов на земную поверхность метаморфических пород допалеозойского фундамента ВЕП; *5* – ось палеозойского Главного Уральского глубинного разлома; *6* – контуры рифейских авлакогенов; *7* – эпицентры ощутимых землетрясений по макросейсмическим данным архивных источников интенсивностью в баллах шкалы MSK-64: *а* – 3–4; *б* – 4–5; *в* – 5–6; *8* – эпицентры землетрясений по данным инструментальных сейсмологических наблюдений интенсивностью в баллах шкалы MSK-64: *а* – 3–4; *б* – 4–5; *в* – 5–6; *9* – станции сейсмологического мониторинга; *10* – зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений (зоны ВОЗ); *11* – изосейсты в баллах шкалы MSK-64 Средне-Уральской области ВОЗ (Средне-Уральского сейсмодомена), ограничивающие саму область, в пределах которой сила сотрясения предполагается в 5 баллов, и участок в средней части области, в пределах которого сила сотрясения предполагается в 6 баллов

1 – the areas of developing sedimentary mantle of the Mesozoic-Cenozoic age; *2* – areas of out-crops of Paleozoic-aged dislocated rocks of the Uralian-Siberian Paleozoic geosyncline to the earth's surface; *3* – areas of outcrops of Paleozoic-aged dislocated rocks of the Eastern Urals and Kokshetau Basement High of Kazakhstan (within the Uralian-Siberian Paleozoic geosyncline); *4* – areas of developing dislocated rocks of Paleozoic and pre-Paleozoic age. Oblique hatching indi-cates the areas of metamorphic rocks of the pre-Paleozoic basement outcrop; *5* – axis of the Paleozoic Main Ural deep fault; *6* – contours of Riphean aulacogens; *7* – epicenters of sensible earthquakes according to macroseismic data of archival sources on MSK-64 scale: *a* – 3–4; *b* – 4–5; *c* – 5–6; *8* – earthquake epicenters according to instrumental seismological observations on MSK-64 scale: *a* – 3–4; *b* – 4–5; *c* – 5–6; *9* – seismological monitoring stations; *10* – zones of possible sensible earthquakes foci (PSE zones); *11* – isoseistes on MSK-64 scale of Central Urals region of FSE (Central Ural Seismic Domain), which limit the region within which the shock force is assumed to be 5 points, and the section in the middle part of the region within which the shock force is assumed to be 6 points

сила сотрясения в эпицентре – 5 баллов по шкале MSK-64, глубина очага около 14 км [5]. Предполагается, что данное событие могло иметь тектоническую природу.

2. Землетрясение 29.03.2010 г. с эпицентром в районе пос. Медведка на границе Пермской и Свердловской областей в районе г. Качканар Свердловской области [13]. Эпицентр события приурочен к осевой зоне палеозойского ГУГРа. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 4,0, сила сотрясения в эпицентре – 5 баллов по шкале MSK-64, глубина очага около 14 км. Можно предположить, что данное событие могло иметь тектоническую природу.

3. Землетрясение 29.04.1847 г. в районе г. Кушва с эпицентром предположительно к юго-западу от г. Кушва в долине р. Серебрянка в ближней зоне геодинамического влияния структуры Платиноносного пояса и ГУГРа [4, 5]. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 4,5, сила сотрясения в эпицентре – 5 баллов по шкале MSK-64, глубина очага около 23 км [5]. Можно предположить, что данное событие могло иметь тектоническую природу [4].

4. Землетрясение в 1813 г. в районе г. Верхняя Тура (дата не указана) с эпицентом предположительно в ближней зоне геодинамического влияния тектонической структуры Платиноносного пояса. В последующие годы ощутимое землетрясение в этом районе повторилось. После повторного события в воздухе ощущался серный запах. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 2,5, сила сотрясения – 3–4 балла по шкале MSK-64. Очаг приповерхностный [4]. Не исключено, что данное событие могло иметь газодинамическую природу, подобно событиям, описанным в работах [13–15].

5. Землетрясение 19.09.1902 г. в долине р. Серебрянка (правый приток р. Чусовая). Ощутимые колебания отмечались в районе расположения населенных пунктов Луковка, Кедровка, Серебрянка. Эпицентр по косвенным данным мог располагаться предположительно в осевой зоне или ближней зоне геодинамического влияния ГУГРа. Магнитуда события по косвенным признакам оценивается как 3,5, сила сотрясения в эпицентральной зоне – 4 балла по шкале MSK-64. Глубина очага оценивается в 16 км [5]. Не исключено, что данное событие могло иметь тектоническую природу.

6. Землетрясение 1788 г. (дата события более точно не указана) на восточной стороне Уральских гор в районе г. Нижний Тагил [4, 5]. Эпицентр предположительно мог располагаться в ближней зоне геодинамического влияния ГУГРа. Магнитуда события оценивается по косвенным данным как 3,0, сила сотрясения в эпицентре – 4,0 баллов по шкале MSK-64 [5]. Данное событие могло иметь тектоническую природу.

7. Землетрясение 11.09.1841 г., ощущавшееся на территории г. Нижний Тагил, и в поселках Черноисточинск, Висимо-Уткинск. Эпицентр предположительно располагался к западу от г. Нижний Тагил, предположительно в зоне геодинамического влияния ГУГРа. Сила сотрясения в эпицентре оценивается в 5 баллов по шкале MSK-64, магнитуда события по косвенным признакам – 4,1. «После землетрясения в четыре часа утра небо озарилось красноватым, розоватым цветом с искристыми отблесками. Атмосфера была наполнена сильным, имевшим перегорклый запах дымом» [5]. В районе пос. Висимо-Уткинск и пос. Черноисточинск «со стороны северо-запада показалась небольшая как бы огненная туча, но дождя не было» [4]. Не исключено, что это был подземный взрыв ювенильных газов – метана, водорода, сконцентрировавшихся в реликтовой палеозойской зоне деформации земной коры, подобный явлениям, описанным в работах [13–15].

8. Землетрясение 10.07.1892 г. в районе г. Сысерть, поселках Верхнее Дуброво, Белоярский Свердловской области. Согласно схеме изосейст, составленной по данным макросейсмического описания данного события, приведенным в работе [4], эпицентр его мог размещаться в районе поселков Двуреченск и Бобровский. Магнитуда события по косвенным признакам оценивается в 4,0, сила сотрясения в эпицентральной зоне – 5 баллов по шкале MSK-64. Очаг предположительно приповерхностный (0,1 км по [4]). В работе [4] высказано предположение о том, что данное событие могло быть обусловлено обрушением карстовой полости, но не исключается газодинамическая природа данного события, подобная природе явлений, описанных в работах [13–15].

9. Землетрясение 12.12.1836 г. в северной части Южного Урала в районе городов Златоуст, Миасс, Кыштым. Эпицентр предположительно мог располагаться в ближней зоне геодинамического влияния Южно-Уральского участка ГУГРа в районе Тараташского поднятия. Магнитуда события по косвенным данным оценивается в 4,0, сила сотрясения в эпицентре – 3–4 балла по шкале MSK-64 [4, 5].

10. Ощутимое землетрясение 01.03.1837 г. в северной части Южного Урала в районе городов Златоуст, Миасс, Кыштым. Эпицентр предположительно мог рас-

полагаться в ближней зоне геодинамического влияния Южно-Уральского участка ГУГРа. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 3,5, сила сотрясения в эпицентре – 4 балла по шкале MSK-64 [4, 5].

11. Землетрясение 08.12.1901 г. в районе г. Миасс интенсивностью в 4 балла по шкале MSK-64 [4, 5]. Эпицентр предположительно мог располагаться в ближней зоне геодинамического влияния Южно-Уральского участка ГУГРа. Магнитуда события оценивается по косвенным признакам в 3,5. Предполагается, что очаг события приповерхностный, располагавшийся на глубине 0,1 км [4]. Природа события оценивается как вызванная обрушением карстовой полости («карстовое») [5].

К Западно-Уральской зоне ВОЗ с запада причленяется ряд зон ВОЗ, имеющих северо-восточное направление и пересекающих Средне-Уральский участок Предуральского прогиба. Это следующие зоны (перечисление с севера на юг):

Добрянско-Кизеловская зона ВОЗ. Протягивается в северо-восточном направлении по азимуту около 45° от района г. Добрянка на р. Кама до района г. Кизел Пермской области, расположенного в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов. Эпицентры приурочены к северному склону Пермского свода дорифейского фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП), осложненного Краснокамско-Полазненским валом [1]. Северный склон Пермского свода и Краснокамско-Полазненский сложный вал имеют северо-восточное направление по азимуту около 45°–50° [1]. В пределах этих структур имеются месторождения нефти [1]. Город Кизел, в сторону которого протягивается Добрянско-Кизеловская зона ВОЗ, располагается на территории Кизеловского угольного бассейна, локализованного в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов [1]. Землетрясения в пределах этой зоны могут быть вызваны как обрушениями карстовых полостей в карстующихся породах, так и прорывами ювенильных газов.

В Добрянско-Кизеловской зоне ВОЗ были отмечены следующие ощутимые землетрясения:

1. Землетрясение с эпицентром в районе с. Большая Соснова Пермской области 01.07.1908 г. Магнитуда события по косвенным данным оценивается как 2,5, сила сотрясения в эпицентре – 3 балла по шкале MSK-64, глубина очага по косвенным данным – 12 км [5]. Сопровождалось громким подземным гулом [4, 5]. Интересно, что по времени возникновения данное событие приближено к Тунгусскому феномену, 30.06.1908 г. [14].

2. Землетрясение в районе г. Добрянка Пермской области 17.01.1837 г. Магнитуда 3,0, сила сотрясения – 3 балла, глубина очага по косвенным данным оценивается как 0,1 км. Возможно, данное приповерхностное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

3. Землетрясение в районе г. Добрянка Пермской области 19.01.1845 г. [4, 5]. Магнитуда оценивается как 3,0, сила сотрясения – 4,5 баллов. Глубина очага небольшая. Возможно, данное землетрясение было вызвано обвалом карстовой полости.

4. В январе 1852 г. землетрясение в районе г. Добрянка Пермской области. Магнитуда – 2,5, сила сотрясения – 2,5. Глубина очага 0,1 км. Возможно, данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

5. Ощутимое землетрясение в районе Добрянского завода в Пермской области 26.05.1867 г. [4, 5]. Эпицентр располагался, по-видимому, вблизи Добрянского завода. Сила сотрясения в эпицентре оценивается как 5 баллов по шкале MSK-64. Магнитуда события – 2,5, глубина очага – 0,1 км [5]. Возможно, данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

6. Землетрясения 06.03.1911 и 08.11.1911 г. в районе размещения д. Милкова, д. Тихая, д. Красная, пос. Мальцевка в Пермской области в долине р. Косьва левого притока р. Кама [4, 5]. Магнитуда по косвенным данным – 3,0, сила сотрясе-

ния около 5 баллов, очаг приповерхностный, глубина очага по косвенным данным оценивается как 0,1 км. Возможно, данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

7. Землетрясения в районе г. Добрянка Пермской области 15, 16 и 19 января 1931 г. [5]. Магнитуда событий оценивается как 2,0–2,7, сила сотрясения – 3,0–5,5, глубина очага около 2 км. Возможно, данные землетрясения могли быть вызваны обвалами карстовых полостей.

8. Землетрясение в районе пос. Полазна Пермской области 07.09.1956 г. [5]. Сила сотрясения оценивается около 3 баллов по шкале MSK-64. Не исключено, что данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости в карстующихся породах осадочного чехла.

9. Землетрясение в районе г. Добрянка Пермской области, пос. Ярино 11.08.1989 г. [5]. Магнитуда события по косвенным признакам оценивается как 2,5, сила сотрясения – 4 балла по шкале MSK-64. Возможно, данное землетрясение могло быть вызвано обвалом карстовой полости.

Кунгурско-Серебрянская зона ВОЗ. Протягивается в северо-восточном направлении по азимуту около 45° от района г. Кунгур до района впадения в р. Чусовая р. Серебрянка.

Вмещает эпицентр землетрясения 28.07.1956 г. в верховьях р. Барда, притока р. Сылва, впадающей в р. Кама в Пермской области [5]. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 4,1, сила сотрясения в эпицентральной зоне – как 3,5 балла по шкале MSK-64, глубина очага – 15 км. Природа землетрясения оценивается как тектоническая [5].

Бисертско-Билимбаевская зона ВОЗ. Протягивается в северо-восточном направлении от района пос. Бисерть до района пос. Билимбай Свердловской области по азимуту около 50°. Вмещает очаги следующих землетрясений:

1. Среднеуральске землетрясение, произошедшее в ночь с 18 на 19 октября 2015 г. по местному времени. Эпицентр события располагался приблизительно в 12 км к северу от пос. Бисерть Свердловской области [16]. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 4,0, сила сотрясения в эпицентре как 5 баллов по шкале MSK-64. Глубина очага 13 км. Эпицентр располагался в пограничной зоне между Уральским горно-складчатым сооружением и Предуральским прогибом ВЕП.

2. Землетрясение 20.07.2003 г. с эпицентром на Сабарском увале в Предуральском краевом прогибе приблизительно в 20–25 км к северу от пос. Арти Свердловской области, в котором располагается геофизическая обсерватория со станцией сейсмомониторинга «ARU» Института геофизики УрО РАН [7]. Магнитуда события по инструментальным данным оценивается как 2,0, сила сотрясения в эпицентре как 2,5 балла по шкале MSK-64, глубина очага 24 км.

Выводы. По имеющимся данным за период 1788–2019 гг. в центральной части Уральского региона было отмечено 45 ощутимых природных землетрясений силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64. Редко происходящие на Урале ощутимые землетрясения такой силы не представляют серьезной опасности для инженерных сооружений и жизней людей.

Анализ сейсмологических материалов [4–7, 10, 11] позволяет заключить, что эпицентры землетрясений в пределах Средне-Уральского сейсмодомена приурочены преимущественно к периферийным зонам Средне-Уральского участка Центрально-Уральского поднятия. В западной периферии Центрально-Уральского поднятия эпицентры локализованы в пределах Предуральского прогиба и Западно-Уральской передовой зоны складчатости и надвигов (рис. 1). В восточной периферии Центрально-Уральского поднятия эпицентры локализованы в его погра-

ничной зоне с Тагильским мегасинклинорием. Пограничной структурой здесь является субмеридиональный палеозойский Главный Уральский глубинный разлом (ГУГР) [1, 2]. К востоку от ГУГРа протягивается в субмеридиональном направлении Платиноносный пояс, представленный цепочкой габбро-гипербазитовых и гранитоидных интрузивных массивов [1, 2], предположительно приуроченных к зоне крупного разлома. Ранее упомянутые структуры могут представлять собой реликтовые палеозойские зоны деформации земной коры, омоложенные в новейшее время. Они могут рассматриваться как зоны возможного возникновения в будущем очагов ощутимых землетрясений (как зоны ВОЗ). На геосинклинальном этапе развития земной коры Урала в них активно протекали флюидо-геодинамические и гидротермальные процессы, сопряженные с процессами внедрения интрузий, процессами рудообразования, которые активно происходили в упомянутых зонах деформации земной коры. Об этом свидетельствуют приуроченные к этим структурам месторождения полезных ископаемых. По ним на современном этапе активно происходит миграция и разгрузка подземных вод [17]. Однако при этом по самим структурам не происходит значительных подвижек блоков земной коры. Поэтому можно предположить, что ощутимые землетрясения, происходящие на современном этапе с очагами в упомянутых структурах могут быть вызваны флюидо-геодинамическими процессами, подобными процессам, описанным в работах [13–15].

На основе данных о силе сейсмического воздействия в эпицентральных частях уральских землетрясений составлена схема детального сейсмического районирования центральной части Уральского региона (рис. 1). Анализируя эту схему, можно видеть, что область предполагаемых в будущем редко происходящих 5–6-балльных сотрясений охватывает большую часть территории Среднего Урала и прилегающих к ней районов Северного и Южного Урала и Предуральского прогиба. Зона предполагаемых 6-балльных сотрясений локализована в центральной части упомянутой области предполагаемых 5-балльных сотрясений и располагается напротив Уфимского выступа ВЕП в пределах области, названной в работе [11] областью Средне-Уральского пережима Уральского горного пояса. Данный участок Урала характеризуется наиболее высокими скоростями погружения земной поверхности на современном этапе [9], что может быть обусловлено продолжающимся процессом субгоризонтального растяжения данного участка земной коры.

Заключение. Урал является слабосейсмичным (практически асейсмичным регионом), где ощутимые землетрясения происходят очень редко, и сила их невелика, не превышает 6,0–6,5 баллов по шкале MSK-64. Предполагается, что слабые ощутимые землетрясения могут сопровождать процесс становления новейшего Уральского горного пояса на современном этапе.

Эпицентры ощутимых Уральских землетрясений силой от 3–4 до 5–6 баллов по шкале MSK-64 локализованы в пределах Среднего Урала и примыкающих к нему частях Северного и Южного Урала и сосредоточены преимущественно в двух субмеридиональных зонах ВОЗ – Западно-Уральской и Восточно-Уральской, охватывающих с запада и востока Центрально-Уральское поднятие, в пределах которого обнажаются метаморфические породы допалеозойского фундамента. Часть эпицентров локализована в Предуральском прогибе.

Причиной возникновения ощутимых землетрясений с небольшой глубиной очагов (менее 1 км) могут быть обрушения карстовых полостей в карстующихся породах палеозойского чехла ВЕП в пределах Предуральского прогиба и в пределах Западно-Уральской внешней зоны складчатости и надвигов.

Землетрясения с более глубокими очагами (более 1 км) могут рассматриваться как имеющие тектоническую природу. Ряд ощутимых землетрясений Урала позволяет предположить природу их очагов как флюидо-газодинамическую, подобную природе очагов землетрясений, описанных в работах [13–15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геология СССР. Т. XII. Ч. 1. Кн. 2. М.: Недра, 1969. 304 с.
2. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 279 с.
3. Новейшая тектоника Урала / под ред. Сигова А. П., Сигова В. А. Саратов: Издательство Саратовского университета, 1975. 104 с.
4. Вейс-Ксенофонтова З. Г., Попов В. В. К вопросу о сейсмической характеристике Урала // Труды Сейсмологического института АН СССР. № 104. М.: Издательство АН СССР, 1940. 12 с.
5. Землетрясения Урала и сильнейшие землетрясения прилегающих территорий Западной Сибири и Восточно-Европейской платформы / Степанов В. В. [и др.]. М.: ЦСГНЭО, 2002. 135 с.
6. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / Кашубин С. Н. [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 123 с.
7. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн. 1. Землетрясения / под ред. Шарова Н. В., Маловичко А. А., Щукина Ю. К. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. 380 с.
8. Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. Сейсмичность Среднего Урала и строительство в регионе // Архитектон: Известия вузов. 2013. № 42. С. 213–238.
9. Гуляев А. Н. Детальное сейсмическое районирование центральной части Уральского региона // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 6. С. 103–112.
10. Гуляев А. Н. Сейсмичность и сейсмическое районирование Урала // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 6. С. 116–124.
11. Копп М. Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы. М.: Наука, 2005. 339 с.
12. Дягилев Р. А., Верхоланцев Ф. Г., Голубева И. В. Качканарское землетрясение 29 марта 2010 г. с Кр = 12,1, Mw =4,4, Io = 5 (Средний Урал) // Землетрясения Северной Евразии, Ежегодник «Единой геофизической службы Российской академии наук». Обнинск, ФИЦ ЕГС РАН, 2016. 439 с.
13. Осика Д. Г., Черкашин В. И. Энергетика и флюидодинамика сейсмичности. М.: Наука, 2008. 243 с.
14. Натяганов В. Л. Миф о Тунгусском метеорите (дегазационная природа Тунгусского взрыва) // Девятые научные чтения памяти Ю. П. Булашевича «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Матер. Всерос. конф. с международным участием. Екатеринбург, 2017. С. 292–296.
15. Натяганов В. Л. Предвестники землетрясений дегазационно-электромагнитной природы // Девятые научные чтения памяти Ю. П. Булашевича «Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей». Матер. Всерос. конф. с международным участием. Екатеринбург, 2017. С. 297–301.
16. Гусева Н. С. Анализ макросейсмических эффектов землетрясенеия 18 октября на Среднем Урале // XVII Уральская молодежная научная школа по геофизике: сб. науч. матер. Екатеринбург, 2016. С. 74–77.
17. Буданов Н. Д. Гидрогеология Урала. М.: Недра, 1964. 304 с.

Поступила в редакцию 6 сентября 2019 года

Сведения об авторах:

Гуляев Александр Николаевич – старший научный сотрудник Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. E-mail: usc_alex@mail.ru
Осипова Анастасия Юрьевна – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Института геофизики им. Ю. П. Булашевича УрО РАН. E-mail: seismolab@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-68-80

Zones of possible sensible earthquake foci in the Urals

Aleksandr N. Guliaev[1], Anastasiia Iu. Osipova[1]
[1] Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
Introduction. *Modern Ural mountains represent contemporary epiplatform Epi-Paleozoic orogeny which presumably originated within the last 30 million years in the western part of a more ancient pre-Paleozoic-*

Paleozoic folded zone, the central part of which is ancient (Riphean-Vendian) Central-Ural High. In Mesozoic-Cenozoic Period, the activity of tectonic and volcano-magmatic processes in the subsoil of the Urals has fallen, and the Urals entered the period of platform development, which is characterized by slowcontinent-forming movements of the earth's crust. Within over the last 30 million years in the epoch of Alpine tectogenesis, there has been the renewal of the Ural mountain belt. This process continues at the modern period and is accompanied by rare sensible earthquakes with the magnitude from 3–4 to 5–6 on MSK-64 scale; they are not hazardous for engineering structures and people.
***Research aim** is to estimate the connection between seismin activity of the Urals and heterochronous geological-tectonic structures, and draw a scheme of possible sensible earthquake foci (zones of PSE).*
***Research methodology** included the estimation of spatial epicenters of sensible earthquakes in the central part of the Urals relative to Paleozoic and pre-Paleozoic geological-tectonic structures.*
***Research results** made it possible to state that epicenters of sensible earthquakes in the central part of the Urals are concentrated within the limits of the Middle Urals and the adjoining parts of the North and South Urals and are localized mainly in submeridional zones, from the west and from the east embracing the region of pre-Paleozoic Central-Ural High formed by metamorphic rock. The mentioned zones may be considered as the zones of PSE, and the region of the Middle Urals and the adjoining parts of the North and South Urals – as a region of possible earthquakes foci with a magnitude up to 5–6 on MSK-64 scale.*

***Key words:** contemporary epiplatform Epi-Paleozoic orogeny; epoch of Alpine tectogenesis; Central-Ural High; zones of possible sensible earthquake foci (PSE).*

REFERENCES

1. *USSR geology*. Moscow: Nedra Publishing; 1969; 12 (1; 2): 304. (In Russ.)
2. Puchkov V. N. *Geology of the Urals and Cisurals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics, and metallogeny*). Ufa: IG UFA RAS Publishing; 2010: 279. (In Russ.)
3. Sigov A. P., Sigov V. A. (ed.) *Recent tectonics of the Urals*. Saratov: Saratovskii un-t Publishing; 1975; 5: 104. (In Russ.)
4. Veis-Ksenofontova Z. G., Popov V. V. Regarding the problem of seismic characteristics of the Urals. In: *Proceedings of Seismological Institute of AS USSR*; 1940; 104: 12. (In Russ.)
5. Stepanov V. V., Godzikovskaia A. A., Lomakin V. S., et al. (eds.) *Earthquakes of the Urals and the strongest earthquakes of adjoining territories of Western Siberia and Western European platform*. Moscow: TsSGNEO; 2002: 135. (In Russ.)
6. Kashubin S. N. et al. *Earthquake activity and seismic zoning of the Ural region*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2001: 123. (In Russ.)
7. Sharov N. V. et al. (ed.) Earthquakes and micro earthquake activity within the problems of modern geodynamics of Western European platform. In: *Book 1. Earthquakes*. Petrozavodsk; 2007. p. 380. (In Russ.)
8. Guliaev A. N., Osipova A. Iu. Seismicity in the middle urals and building in the region. *Arkhitekton: Izvestiia vuzov = Architecton. Proceedings of Higher Education*. 2013; 42: 213–238. (In Russ.)
9. Guliaev A. N. Detailed seismic zoning of the Urals central part. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2015; 6: 103–112. (In Russ.)
10. Guliaev A. N. Earthquake activity and seismic zoning of the Urals. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*. 2016; 6: 116–124. (In Russ.)
11. Kopp M. L. *Mobilistic neotectonic of South-Eastern Europe platforms*. Moscow: Nauka Publishing; 2005. (In Russ.)
12. Diagilev R. A., Verkholantsev F. G., Golubeva I. V. Catchakanar earthquake on 29th March 2010 (the Middle Urals). In: *Earthquakes of the North Eurasia 2010: collected works*. Obninsk; 2016. p. 336–346. (In Russ.)
13. Osika D. G., Cherkashin V. I. *Energetics and fluid dynamics of the earthquake activity*. Moscow: Nauka Publishing; 2008: 243. (In Russ.)
14. Natiaganov V. L. A myth about the Tungus meteo (degassing nature of Tungus blast). In: *9th scientific readings in memory of Iu. P. Bulashevich "Deep Structure, Geodynamics, the Earth's thermal field, geophysical fields interpretation". Proceedings of All-Russian Conf. with foreign participants*. Ekaterinburg; 2017. p. 292–296. (In Russ.)
15. Natiaganov V. L. Degassing-electromagnetic forerunners of the earthquakes. In: *9th scientific readings in memory of Iu. P. Bulashevich "Deep Structure, Geodynamics, the Earth's thermal field, geophysical fields interpretation". Proceedings of All-Russian Conf. with foreign participants*. Ekaterinburg; 2017. p. 297–301. (In Russ.)
16. Guseva N. S. The analysis of macro seismic effects of the earthquake of the 18th October 2015 at the Middle Urals. In: *17th Youth Scientific School of Geophysics: proceedings*. Ekaterinburg; 2016. p. 74–77. (In Russ.)
17. Budanov N. D. *Hydrogeology of the Urals*. Moscow: Nedra Publishing; 1964: 304. (In Russ.)

Received 6 September 2019

Information about authors:

Aleksandr N. Guliaev – senior researcher of the Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: usc_alex@mail.ru
Anastasiia Iu. Osipova – PhD (Geology and Mineralogy), researcher of Bulashevich Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: seismolab@mail.ru

Для цитирования: Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. Зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений на Урале // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 68–80. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-68-80
For citation: Guliaev A. N., Osipova A. Iu. Zones of possible sensible earthquake foci in the Urals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 68–80 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-68-80

УДК 622.7.09 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-81-87

Воспроизводимость и повторяемость результатов измерений и их использование в расчетах погрешностей подготовки и анализа проб руды и продуктов обогащения

Ступакова Е. В.[1]

[1] Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов, г. Иркутск, Россия

***e-mail: stupakova@irgiredmet.ru**

Реферат

Введение. *Известные формулы позволяют аналитически рассчитать случайную погрешность сокращения при разделке проб и подготовке их к анализу, в том числе отбора навесок для анализа, что дает возможность рассчитывать, анализировать и оптимизировать схемы подготовки проб, в том числе и при подготовке стандартных образцов. Все эти величины могут быть установлены непосредственным измерением, но при этом нельзя учесть квалификацию исполнителя.*

Цель исследования *состоит в определении и экспериментальной проверке коэффициента в формуле погрешности сокращения проб, учитывающего качество работы исполнителей при опробовании.*

Методика исследований. *Для экспериментальной оценки качества работы исполнителя выполнены параллельные анализы золотосодержащего концентрата на золото и серебро в двух независимых лабораториях, которые позволяют определить погрешность повторяемости дубликатным способом. Проведено сопоставление работы двух лабораторий по определению относительных случайных погрешностей повторяемости.*

Результаты. *Предложено использовать при расчете случайных погрешностей подготовки проб к анализу коэффициент качества работы исполнителя. Его применение показано на примере расчета схемы подготовки золотосодержащего продукта.*

Выводы. *Формула расчета погрешности сокращения, вызванной уменьшением массы пробы, без учета коэффициента качества работы исполнителя описывает процедуру идеального сокращения. При расчете и анализе схем подготовки проб (включая отбор навесок для анализа) следует учитывать погрешность, вносимую несовершенством выполнения технических операций исполнителем. Отношение погрешности воспроизводимости к погрешности повторяемости в методиках анализа дает коэффициент несовершенства выполнения операций отбора навесок для анализа от пакета, который для руд благородных металлов составляет 1,1–1,6, а для руд цветных металлов 1,2–1,4. Экспериментальное определение погрешностей подготовки проб и их сравнение с расчетными значениями позволяет оценить качество работы лабораторий и принять меры по улучшению их работы.*

Ключевые слова: *воспроизводимость; повторяемость; случайная погрешность; подготовка проб к анализу; коэффициент качества работы исполнителя.*

Введение. В государственном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений» установлены понятия «повторяемость» и «воспроизводимость» при выполнении измерений, в частности при выполнении анализов массовой доли компонентов в рудах. Условия повторяемости – это «условия, при которых независимые результаты измерений (испытаний) получаются одним и тем же методом на идентичных объектах испытаний, в одной и той же лаборатории, одним и тем же оператором, с использованием одного и того же оборудования, в пределах короткого промежутка времени». Условия воспроизводимости – это «условия, при которых результаты измерений (испытаний) получают одним и

тем же методом, на идентичных объектах испытаний, в разных лабораториях, разными операторами, с использованием различного оборудования».

Различия этих понятий сводятся к тому, что выполнение анализов различными исполнителями на различном оборудовании характеризуется большей случайной погрешностью, чем одним и тем же исполнителем на одном и том же оборудовании. Так как во всех методиках на выполнение анализов приводятся эти погрешности, то, очевидно, их различие и определяет долю погрешности, вносимую различными исполнителями. Оценка различных погрешностей приведена в литературе [1–3]. Определим эту долю, используя методики анализа руд цветных и благородных металлов. В табл. 1 приведены пределы воспроизводимости и повторяемости для стандартизированных методов анализа, регламентированных в ГОСТ 32221-2013 «Концентраты медные. Методы анализа», и отношение этих погрешностей, которое составляет от 1,1 до 1,6.

Таблица 1. Предел воспроизводимости и повторяемости (ГОСТ 32221-2013 «Концентраты медные. Методы анализа»), их отношение и квадрат отношения
Table 1. Reproducibility and repeatability limit (GOST 32221-2013 Copper Concentrates. Methods of Analysis), their ratio and squared ratio

Диапазон массовой доли элемента	Предел		Отношение	
	воспроизводимости R	повторяемости r	R/r	$(R/r)^2$
		Золото		
Св. 1,0 до 4,0 вкл., г/т	0,90	0,60	1,5	2,25
Св. 30,0 до 60,0 вкл., г/т	7,90	5,90	1,3	1,69
Св. 100, г/т	15,00	10,00	1,5	2,25
		Серебро		
От 10 до 20 вкл., г/т	8,80	5,50	1,6	2,56
Св. 150,0 до 300,0 вкл., г/т	22,00	18,00	1,2	1,44
Св. 1500 до 2000 вкл., г/т	88,00	80,00	1,1	1,21
		Медь		
От 10,0 до 13,0 вкл., %	0,18	0,15	1,2	1,44
Св. 20,0 до 25,0 вкл., %	0,29	0,21	1,4	1,96
Св. 40,0, %	0,47	0,34	1,4	1,96

Пределы воспроизводимости R и повторяемости r, указываемые в стандартах, найдены по результатам определений ответственными лабораториями и могут считаться надежно установленными, а их отношение R/r характеризует допустимую разницу в выполнении анализов в различных лабораториях.

Методология. В настоящее время имеются формулы, позволяющие аналитически рассчитать случайную погрешность сокращения, в том числе отбора навесок для анализа [4–7]. Это позволяет рассчитывать, анализировать и оптимизировать схемы подготовки проб, в том числе и при подготовке стандартных образцов.

Формула для определения случайной погрешности операции сокращения [8]:

$$S_{\text{с}}^2 = 2K_{\text{и}} f\, \alpha\beta_{\text{м}}\rho_{\text{м}}\bar{d}^3\left(\frac{1}{q_{\text{кон}}} - \frac{1}{q_{\text{нач}}}\right), \quad (1)$$

где f – коэффициент формы кусков, составляющих пробу; α – массовая доля компонента в пробе; $\beta_{\text{м}}$ – массовая доля компонента в минерале; $\rho_{\text{м}}$ – плотность ми-

нерала; $\overline{d}$ – средняя крупность; $q_{нач}$ и $q_{кон}$ – начальная и конечная массы при сокращении пробы.

Все эти величины могут быть установлены непосредственным измерением, но их использование не позволяет учесть квалификацию исполнителя. Для этого в формулу введем коэффициент качества работы исполнителя – $K_и$:

$$K_и = \left(R / r\right)^2. \tag{2}$$

Как видно по табл. 1, значение коэффициента $K_и$ находится около величины 2.

Покажем использование коэффициента качества работы исполнителя $K_и$ на примере расчета схемы подготовки золотосодержащего продукта (рис. 1) [8].

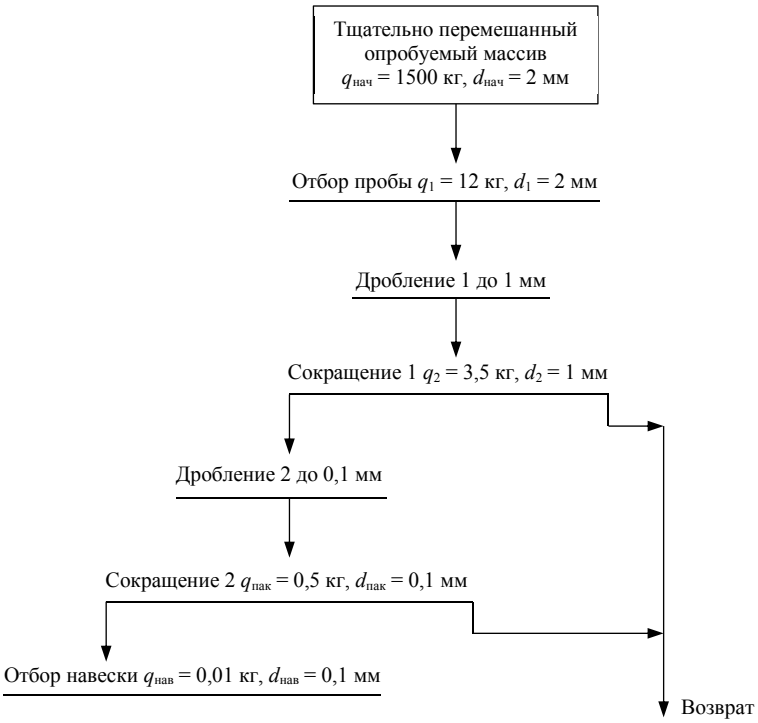


Рис. 1. Схема отбора и подготовки пробы от тщательно перемешанного массива

Fig. 1. Circuit of sample collection and preparation from the well-stirred mass

Любая операция сокращения (отбора) пробы вносит в результат случайную погрешность. Для схемы, представленной на рис. 1, находим случайные погрешности отбора пробы и стадий сокращения пробы по формуле [8]:

$$S_{от}^2 = S_с^2 = 2K_и f\,\alpha\beta_м\rho_м\overline{d}^3\left(\frac{1}{q_{кон}} - \frac{1}{q_{нач}}\right), \tag{3}$$

где f – коэффициент формы золотин, f = 0,17; $K_и$ – коэффициент, учитывающий качество работы, $K_и$ = 2; α – массовая доля золота в продукте, 4000 г/т; $\beta_м$ – массовая доля золота в золотинах, 0,85 · 10^6 г/т; $\rho_м$ – плотность золота, 20 · 10^3 кг/м^3; $\overline{d}$ – средняя крупность материала в партии, мм, $\overline{d} = d_{max} / 2$; $q_{кон}$ и $q_{нач}$ – начальная и конечная массы при сокращении пробы, кг.

Результаты расчетов случайных погрешностей стадий сокращения пробы представлены в табл. 2.

Для расчета случайной погрешности схемы подготовки золотосодержащего продукта погрешность определения массовых долей золота пробирным методом составляет 2 %, т. е. $S_м$ = 40 г/т [9].

Случайная погрешность схемы в целом для результата анализа, выдаваемого как среднее из анализа двух навесок, рассчитывается по формуле [8]:

$$S_{сх}^2 = S_{от}^2 + S_{с1}^2 + S_{с2}^2 + \frac{1}{2}\left(S_{нав}^2 + S_м^2\right) \quad (4)$$

и равна 102 г/т.

Относительная случайная погрешность при работе по схеме [8]:

$$P_{сх} = \frac{2S_{сх}}{\alpha} \cdot 100 = 5{,}1\ \%. \quad (5)$$

Оценивая составляющие случайной погрешности схемы в целом $S_{сх}^2$, можно найти решения по снижению случайной погрешности подготовки пробы.

Таблица 2. Результаты расчетов случайной погрешности стадий сокращения пробы
Table 2. Sample reduction random error calculation results

Операции опробования	Средняя крупность материала $\bar{d}$, мм	Начальная масса пробы $q_{нач}$, кг	Конечная масса пробы $q_{кон}$, кг	Случайная погрешность $S_{сл}^2$, г/т^2
Отбор пробы	1	1500	12	3860
Сокращение 1	0,5	12	3,5	4624
Сокращение 2	0,05	3,5	0,5	39,3
Отбор навески	0,05	0,5	0,01	2266

Экспериментальная оценка качества работы исполнителя. Для непосредственной экспериментальной оценки качества работы исполнителя выполнены анализы золотосодержащего концентрата на золото и серебро в двух лабораториях. В лаборатории направлены параллельные пакеты с золотосодержащим концентратом массой 500 г, крупностью 0,1 мм. Ожидаемое значение погрешности результатов анализа одного пакета найдем как часть случайной погрешности схемы в целом, рассчитанной по формулам (4), (5), полученные значения представлены в табл. 3.

В каждой лаборатории выполнены первичные и повторные определения массовых долей серебра (48 параллельных определений) и массовых долей золота (14 параллельных определений), которые позволяют определить погрешность повторяемости дубликатным способом. Определение случайной погрешности анализов S_α выполнено по разности первичных и повторных определений массовых долей α серебра и золота и рассчитано по формуле [8]:

$$S_\alpha = \frac{\bar{\Delta}}{1{,}13}, \quad (6)$$

где $\bar{\Delta}$ – среднее значение разности первичных и повторных определений ($\alpha_2 - \alpha_1$)

массовых долей золота и серебра, г/т;

$$\overline{\Delta} = \frac{\Sigma\Delta}{N},$$

где N – число параллельных анализов.

Среднее значение разности $\overline{\Delta}$ по 48 параллельным анализам на серебро в лаборатории № 1 ($\overline{\Delta}_1$) оказалось равным 21 г/т при среднем значении массовой доли $\overline{\alpha}_1$ – 1142 г/т , а в лаборатории № 2 ($\overline{\Delta}_2$) – 144 г/т при среднем значении массовой доли $\overline{\alpha}_2$ – 1097 г/т. Тогда случайные погрешности параллельных анализов ($S_{\alpha 2}$ и $S_{\alpha 1}$), рассчитанные по формуле (6), равны: $S_{\alpha 2}$ = 127 г/т, $S_{\alpha 1}$ = 19 г/т, а относительные погрешности $P_{\alpha 1}$ и $P_{\alpha 2}$ составили 2,3 и 16,3 % соответственно. Аналогичные расчеты произведены для параллельных анализов на золото, для полученных в первой лаборатории $\overline{\Delta}_1$ = 168 г/т и $\overline{\alpha}_1$ = 5538 г/т и во второй лаборатории $\overline{\Delta}_2$ = 244 г/т и $\overline{\alpha}_2$ = 3674 г/т. При этом случайные погрешности параллельных анализов ($S_{\alpha 2}$ и $S_{\alpha 1}$), рассчитанные по формуле (6), равны: $S_{\alpha 2}$ = 206 г/т, $S_{\alpha 1}$ = 148 г/т, а относительные погрешности $P_{\alpha 1}$ и $P_{\alpha 2}$ составили 3,7 и 9,4 % соответственно.

Практические результаты. Сравним работу двух лабораторий путем сопоставления величин относительных случайных погрешностей, представленных в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительные показатели работы лабораторий № 1 и № 2
Table 3. Comparative performance indicators of laboratories no. 1 and no. 2

Элемент	Относительная случайная погрешность анализа, %		
	рассчитанная	лаборатория № 1	лаборатория № 2
Золото	2,2	3,7	9,4
Серебро	1,8	2,3	16,3

Можно видеть, что лаборатория № 1 практически идеально вписывается в работу с коэффициентом $K_и$ = 2, т. е. подготовка пробы выполняется на уровне, предопределяемом стандартом. Одновременно видим, что лаборатория № 2 выполняет отбор проб навесок намного хуже [10–12]. Отбор навесок массой 10 г от пакета массой 500 г требует тщательного перемешивания, что, очевидно, не выполняется в лаборатории № 2. Как одно из практических решений, рекомендуется переход к электоромеханическим сократителям [2, 4, 6].

Выводы. Формула расчета погрешности сокращения, вызванной уменьшением массы пробы, без учета коэффициента $K_и$ описывает процедуру идеального сокращения.

При расчете и анализе схем подготовки проб (включая отбор навесок для анализа) следует учитывать погрешность, вносимую несовершенством выполнения технических операций исполнителем.

Отношение погрешности воспроизводимости к погрешности повторяемости в методиках анализа дает коэффициент несовершенства выполнения операций отбора навесок для анализа от пакета. Это отношение для руд благородных металлов составляет 1,1–1,6, а для руд цветных металлов 1,2–1,4. В формулу для расчета дисперсий это отношение входит во второй степени и для руд благородных металлов $K_и$ = 2–2,5, а для руд цветных металлов $K_и$ = 1,5–2.

Экспериментальное определение погрешностей подготовки проб и их сравнение с расчетными позволяет оценить качество работы лабораторий и принять меры по улучшению работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпенко Н. В. Опробование и контроль качества продуктов обогащения руд. М.: Недра, 1987. 215 с.
2. Комлев А. С. Условия достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 5. С. 63–74.
3. Ralph J. Holmes. The importance of sampling in resource definition, process control, metallurgical accounting and sales of mineral products // XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings, Australia, 2016. P. 1–15.
4. Козин В. З. Опробование минерального сырья. Екатеринбург: УГГУ, 2011. 316 с.
5. Stephane Brochot. Sampling within fire assay and screen fire assay // Sampling Conference, Australia, 2012. P. 1–16. URL:http//procsim.ru/papers/Caspeo-SC_2012-Sampling_within_fire_assay_and_screen_fire_assay.pdf
6. Lyman G. J., Robertson I. G. and Day T. The simple facts about sampling gold ores // 13th Ausimm mill operators conference, Perth, WA, 10–12 October, 2016. P. 1–14.
7. Козин В. З., Комлев А. С., Волков П. С., Ступакова Е. В. Определение случайных погрешностей подготовки и анализа проб руды и продуктов обогащения // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 5. С. 82–86.
8. Козин В. З. Опробование минерального сырья на обогатительных фабриках. Екатеринбург: УГГУ, 2018. 208 с.
9. Ступакова Е. В. Определение погрешностей стандартных образцов состава золотосодержащих руд // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 6. С. 81–89.
10. Jean Pauwels, Andree Lamberty, Heinz Schimmel. Homogeneity testing of reference materials. Accred Qual Assur, Springer-Verlag, 1998. No. 3. P. 51–55.
11. Thomas P. J. et. al. Homogeneity and stability of reference materials. Accred Qual Assur, Springer-Verlag, 2001. No. 6. P. 20–25.
12. Brand N. W. Gold Homogeneity in Certified Reference Materials; A Comparison of Five Manufacturers. Explore. 2015. No. 169. P. 1–24.

Поступила в редакцию 4 сентября 2019 года

Сведения об авторах:

Ступакова Екатерина Владимировна – начальник отдела метрологического обеспечения количественного химического анализа Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов «Иргиредмет». E-mail: stupakova@irgiredmet.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-81-87

Reproducibility and repeatability of measurement results and their application when calculating the errors of ore and concentrates samples preparation and analysis

Ekaterina V. Stupakova[1]
[1] Irkutsk research institute of precious and rare metals and diamonds, Irkutsk, Russia.

Abstract

Introduction. *Well-known formulae make it possible to analytically calculate the random error of mass-reduction at samples preparation and their preparation for analysis, which is also true for weighted samples collection for analysis; it helps to calculate, analyze and optimize the circuits of samples preparation, including reference standards preparation. All these values can be determined by means of direct measuring, but the performer's qualification cannot be taken into account.*

Research aim *is to determine and test the sample reduction error formula coefficient which takes into account the quality of performers work at sampling.*

Research methodology. *For experimental evaluation of performance quality, gold and silver side-by-side assays of gold concentrate in two independent laboratories were carried out, which allow determining the repeatability error by duplicate analysis. The comparison was carried out of the two laboratories' work on random repeatability errors determination.*

Results. *It has been proposed to use the coefficient of the performer's work quality when calculating random errors of samples preparation for analysis. Coefficient's application is shown by the example of gold-bearing product preparation circuit design.*

Conclusions. *The formula which calculates the error of mass-reduction caused by the reduction of sample mass describes the procedure of ideal reduction until the quality of the performer's work is taken into*

consideration. When calculating and analyzing sample preparation circuits (including weighted samples collection for analysis), the error should be taken into account, which is introduced due to the imperfect process by the performer. The ratio of reproducibility error to repeatability error in analysis procedures produces the coefficient of imperfection of performing the operation of weighted samples collection for analysis from the package, which is 1.1–1.6 for noble metal ore, and 1.2–1.4 for nonferrous metal ore. Experimental determination of sample preparation errors and their comparison with expected values make it possible to estimate the quality of laboratories' work and take measures to improve their work.

Key words: *reproducibility; repeatability; random error; samples preparation for analysis; coefficient of performance.*

REFERENCES

1. Karpenko N. V. Concentrates sampling and quality control. Moscow: Nedra Publishing; 1987. (In Russ.)
2. Komlev A. S. The conditions of reliable determination of valuable component mass fraction in mineral processing products. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 5: 63–74. (In Russ.)
3. Ralph J. Holmes. The importance of sampling in resource definition, process control, metallurgical accounting and sales of mineral products. In: *XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings, Australia*, 2016. P. 1–15.
4. Kozin V. Z. *Mineral sampling*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2011. (In Russ.)
5. Stephane Brochot. Sampling within fire assay and screen fire assay. *Sampling Conference, Australia, 2012*. P. 1–16. Available from: http//procsim.ru/papers/Caspeo-SC_2012-Sampling_within_fire_assay_and_screen_fire_assay.pdf
6. Lyman G. J., Robertson I. G. and Day T. The simple facts about sampling gold ores. *13th Ausimm mill operators conference, Perth, WA, 10–12 October, 2016*. P. 1–14.
7. Kozin V. Z., Komlev A. S., Volkov P. S., Stupakova E. V. Defining random errors of ore and concentrates samples preparation and analysis. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 5: 82–86. (In Russ.)
8. Kozin V. Z. *Mineral sampling at dressing mills*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2018. (In Russ.)
9. Stupakova E. V. Measuring errors in the compositional reference materials of gold ore. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 6: 81–89. (In Russ.)
10. Jean Pauwels, Andree Lamberty, Heinz Schimmel. Homogeneity testing of reference materials. *Accred Qual Assur, Springer-Verlag*. 1998; 3: 51–55.
11. Thomas P. J. et. al. Homogeneity and stability of reference materials. *Accred Qual Assur, Springer-Verlag*. 2001; 6: 20–25.
12. Brand N. W. Gold Homogeneity in Certified Reference Materials; A Comparison of Five Manufacturers. *Explore*. 2015; 169: 1–24.

Received 4 September 2019

Information about authors:

Ekaterina V. Stupakova – Head of the Department of Metrological Provision of Quantitative Chemical Analysis, Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds (IRGIREDMET). E-mail: stupakova@irgiredmet.ru

Для цитирования: Ступакова Е. В. Воспроизводимость и повторяемость результатов измерений и их использование в расчетах погрешностей подготовки и анализа проб руды и продуктов обогащения // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 81–87. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-81-87
For citation: Stupakova E. V. Reproducibility and repeatability of measurement results and their application when calculating the errors of ore and concentrates samples preparation and analysis. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 81–87 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-81-87

УДК 622.342.1 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96

Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота

Семенов А. Н.[1, 2]*, Серый Р. С.[2]
[1] Компания «Золото «Керби», г. Хабаровск, Россия
[2] Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия
e-mail: ans-01@yandex.ru

Реферат

Введение. *Перспективным направлением пополнения сырьевой базы россыпной золотодобычи может стать вовлечение в эксплуатацию месторождений с высоким содержанием глины. Важной научно-практической задачей при этом является решение проблемы повышения качества подготовки песков к обогащению за счет качественной дезинтеграции. Решение проблемы требует не только создания более эффективных аппаратов для дезинтеграции глинистых песков, но и изучения гранулометрии песков, оценки их физико-механических свойств, вещественного состава минеральной горной массы. Состав труднопромывистых песков Дальнего Востока показывает, что содержание глины в них изменяется в широких пределах и может достигать 60 % и более. Анализ существующих способов дезинтеграции песков месторождений показывает, что использование традиционных способов подготовки породы к обогащению не позволит в полном объеме решить проблему переработки высокоглинистых россыпей.*

Цель работы. *Разработка схемы переработки высокоглинистых песков с применением высоконапорного гидродинамического дезинтегратора, в работе которого использован эффект гидродинамической кавитации.*

Методика исследований. *Выполнены эксперименты по переработке высокоглинистых песков на лабораторной дезинтегрирующей установке с различными активаторами кавитации.*

Результаты. *В ходе проведения исследования разработана и предложена к практической реализации конструкция установки для дезинтеграции высокоглинистых песков, позволяющая сократить потери золота при обогащении высокоглинистых песков на шлюзовых промывочных приборах, а также вовлекать в отработку россыпные месторождения с высоким содержанием глины, отработка которых ранее считалась нерентабельной. Использование данной технологической схемы позволит перейти от двухстадийной технологии переработки россыпей к одностадийной, включив в единый технологический процесс переработку песков и эфелей, исключив затраты на переработку техногенных песков россыпных месторождений золота.*

Ключевые слова: *россыпное месторождение золота; высокоглинистые пески; дезинтеграция; кавитация; гидродинамический дезинтегратор.*

Введение. Наиболее значительная часть россыпных месторождений золота, отрабатываемых в настоящее время в Хабаровском крае, представлена глубокозалегающими и древними погребенными россыпями. Особенностью данного вида месторождений является высокое содержание глины в добываемых песках, что относит их к категории труднопромывистых. Однако вовлечение в эксплуатацию месторождений с высоким содержанием глины является перспективным направлением пополнения сырьевой базы россыпной золотодобычи [1–2].

Решение проблемы повышения качества подготовки песков к обогащению за счет качественной дезинтеграции остается важной научно-практической задачей в россыпной золотодобыче. Требуется не только создание более эффективных аппаратов для дезинтеграции глинистых песков, но и объективный учет гранулометрии песков, оценка их физико-механических свойств и вещественного состава.

Анализ вещественного состава труднопромывистых песков месторождений показывает, что содержание глины в них может колебаться от 10 до 60 %, в отдельных случаях и более. Важной характеристикой для выбора способа и технологии дезинтеграции песков является их влажность, существенно влияющая на энергоемкость процесса. Выполненные исследования показывают, что изменение влажности с 17 до 19 % при содержании глины в образцах 60 % повышает эффективность дезинтеграции глинистых пород с 30 до 60 % [1–9]. Вопрос комплексной технологической оценки высокоглинистых песков и выбор эффективной поточной технологии их переработки является актуальной научной задачей.

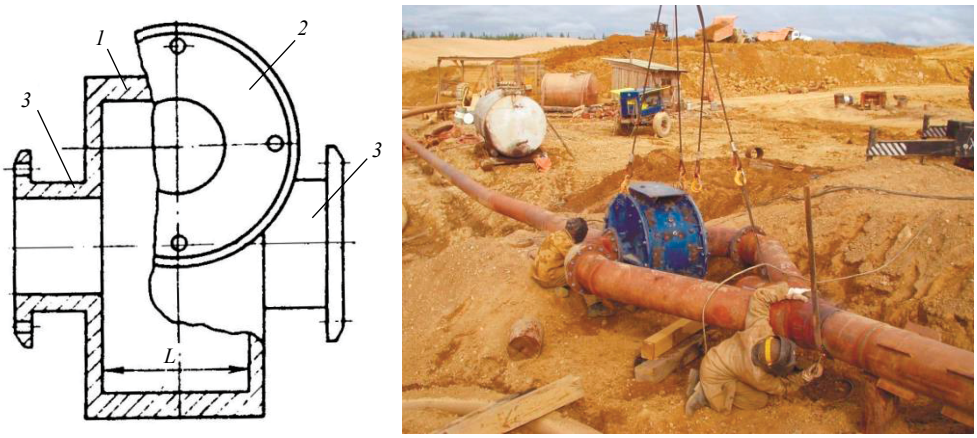


Рис. 1. Конструкция центробежного дезинтегратора и общий вид установки:
1 – цилиндрическая камера; *2* – питающий патрубок; *3* – разгрузочные патрубки
Fig. 1. The design of the centrifugal disintegrator and the general view of the installation:
1 – a cylindrical chamber; *2* – feed pipe; *3* – discharge pipes

Актуальность работы. При извлечении золота из россыпей выделяют эксплуатационные и технологические потери, которые зависят от качества промывки и наличия глинистых фракций в песках. Некачественно продезинтегрированный материал является причиной потерь золота, так как оно теряется с окатышами глины и попадает в эфельные и галечные отвалы.

Например, при дражном способе разработки общие потери полезного ископаемого, обусловленные оставлением межшаговых и межходовых целиков, недозачисткой плотика россыпи и недостаточно высокой эффективностью дезинтеграции песков в дражной бочке достигают 40 % [2].

Наряду с подводным (дражным) способом на Дальнем Востоке широко применяется открытый раздельный способ разработки россыпных месторождений золота, при котором добываемые пески подаются бульдозером на гидровашгерд, где подвергаются размыву, затем гидроэлеватором или землесосом направляются в виде пульпы на промприборы типа ПГШ (приборы гидроэлеваторные шлюзовые) со шлюзами глубокого и мелкого наполнения.

Данный тип промывочных приборов зарекомендовал себя простым в эксплуатации, надежным и производительным, но он имеет ряд существенных недостатков:

– низкая эффективность дезинтеграции высокоглинистых песков;

– увеличение потерь золота в процессе эксплуатации между съемками концентрата вследствие снижения улавливающей способности шлюзов с течением времени из-за накопления в них концентрата и вмещающих пород;

– конструкция плоских грохотов не обеспечивает эффективное грохочение и поступление всего подрешетного материала на шлюзы мелкого наполнения.

В результате потери золота при обогащении высокоглинистых россыпей промприборами типа ПГШ могут достигать более 50 % [1, 2].

Анализ существующих способов дезинтеграции песков данных месторождений показывает, что использование традиционных способов подготовки породы к обогащению не позволит в полном объеме решить проблему переработки высокоглинистых россыпей. При использовании дезинтеграторов центробежного типа, в которых происходит закручивание твердых частиц породы за счет тангенциального подвода пульпы, разрушение породы возникает из-за разности давления и скорости потока [7–9].

Данный вид аппаратов используется совместно с гидровашгердом и землесосом, создающим необходимый напор для транспортировки гидросмеси. Конструкция центробежного дезинтегратора представлена на рис. 1.

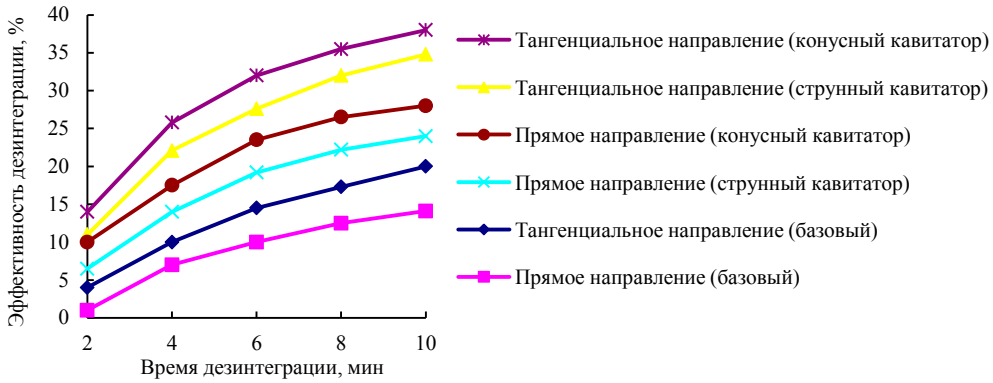


Рис. 2. Влияние эффекта кавитации на эффективность дезинтеграции глины
Fig. 2. The effect of cavitation on the effectiveness of clay disintegration

Использование центробежных дезинтеграторов позволяет уменьшить размер глинистых окатышей примерно вдвое, эффективность дезинтеграции составляет в среднем около 60–70 %, снижается содержание золота в эфельных хвостах, но необходимость повторной промывки остается. Для достижения полной дезинтеграции необходимо включать в технологическую цепь последовательно несколько центробежных дезинтеграторов совместно с энергоемкими землесосами.

Основным недостатком центробежных дезинтеграторов является износ корпуса и высокая энергоемкость процесса.

Традиционные способы и оборудование для переработки песков не способны обеспечить достаточно эффективную степень извлечения золота из высокоглинистых россыпей. Необходимо создание современных гидромеханизированных технологий для эффективного освоения россыпных месторождений, представленных труднопромывистыми породами.

Целью исследования является разработка схемы переработки высокоглинистых песков с использованием высоконапорного гидродинамического дезинтегратора.

Высоконапорный гидродинамический дезинтегратор. Лабораторная установка состоит из бака, расходомера, трубопроводов, подведенных тангенциально и нормально направленных, сменных кавитаторов (струнный, конусный), надеваемых на тангенциальный участок трубы, сливного трубопровода, манометра, крана, насоса.

Методика проведения экспериментов заключается в следующем: в заполненную водой установку погружается образец глины, затем в подведенный трубопровод вкручивается сменный кавитатор (конусный, струнный), проходящая че-

рез него жидкость на выходе образует зону критического давления, приобретая способность к неограниченному росту пузырьков и их схлопыванию. Тем самым образовывается кавитациверна, которая воздействует на исходный материал, в результате чего происходит его расслаивание и разрушение [10].

Из приведенных данных видно, что эффективность дезинтеграции глины зависит от времени воздействия, направления потока воды, подаваемой в бак, и типа кавитатора. Максимальная эффективность – 38 % – получена с использованием конусного кавитатора (рис. 2).

Таблица 1. Эффективность дезинтеграции без активатора кавитации
Table 1. Disintegration efficiency without cavitation activator

Продолжительность дезинтеграции, мин	Скорость потока, м/с				
	4,0	3,5	2,9	2,5	2,0
2	2,0	1,7	1,3	1,0	0,8
4	4,4	3,8	3,4	3,0	2,3
6	6,7	6,1	4,8	4,5	3,2
8	8,5	7,8	6,6	5,7	4,2
10	10,8	9,4	7,7	6,6	5,1

Результаты лабораторных исследований представлены в табл. 1–3.

Жидкость, проходящая через кавитатор, попадает в зону критического давления, приобретает способность к образованию и неограниченному росту в ней пузырьков. После перехода в зону пониженного давления рост прекращается, и пузырьки начинают уменьшаться. Если пузырьки содержат достаточно много газа, то при достижении минимального радиуса они восстанавливаются и совершают несколько циклов затухающих колебаний, а если мало, то пузырек схлопывается

Таблица 2. Эффективность дезинтеграции с применением струнного активатора кавитации
Table 2. The effectiveness of disintegration with application of string cavitation activator

Продолжительность дезинтеграции, мин	Скорость потока, м/с				
	6,3	7,0	7,5	8,0	8,5
2	6,6	7,4	7,93	8,46	9,0
4	13,1	14,9	15,86	17,00	18,5
6	20,4	21,7	23,30	25,37	25,9
8	26,3	30,1	31,50	33,90	35,8
10	33,3	36,8	39,50	42,00	45,2

еще в первом цикле. Таким образом, вблизи обтекаемого тела создается кавитационная зона, заполненная движущимися пузырьками [4]. Сокращение кавитационного пузырька происходит с большой скоростью и сопровождается звуковым импульсом, тем более сильным, чем меньше газа содержит пузырек.

В процессе непрерывного образования и схлопывания пузырьков вблизи поверхности глины происходит ее дезинтеграция. Эффективность дезинтеграции при этом зависит от типа кавитационной насадки и времени воздействия на глину.

Высоконапорный гидродинамический дезинтегратор (рис. 3) является прибором для подготовки глинистых песков перед подачей их на обогащение, который основан на принципе эффекта гидродинамической кавитации.

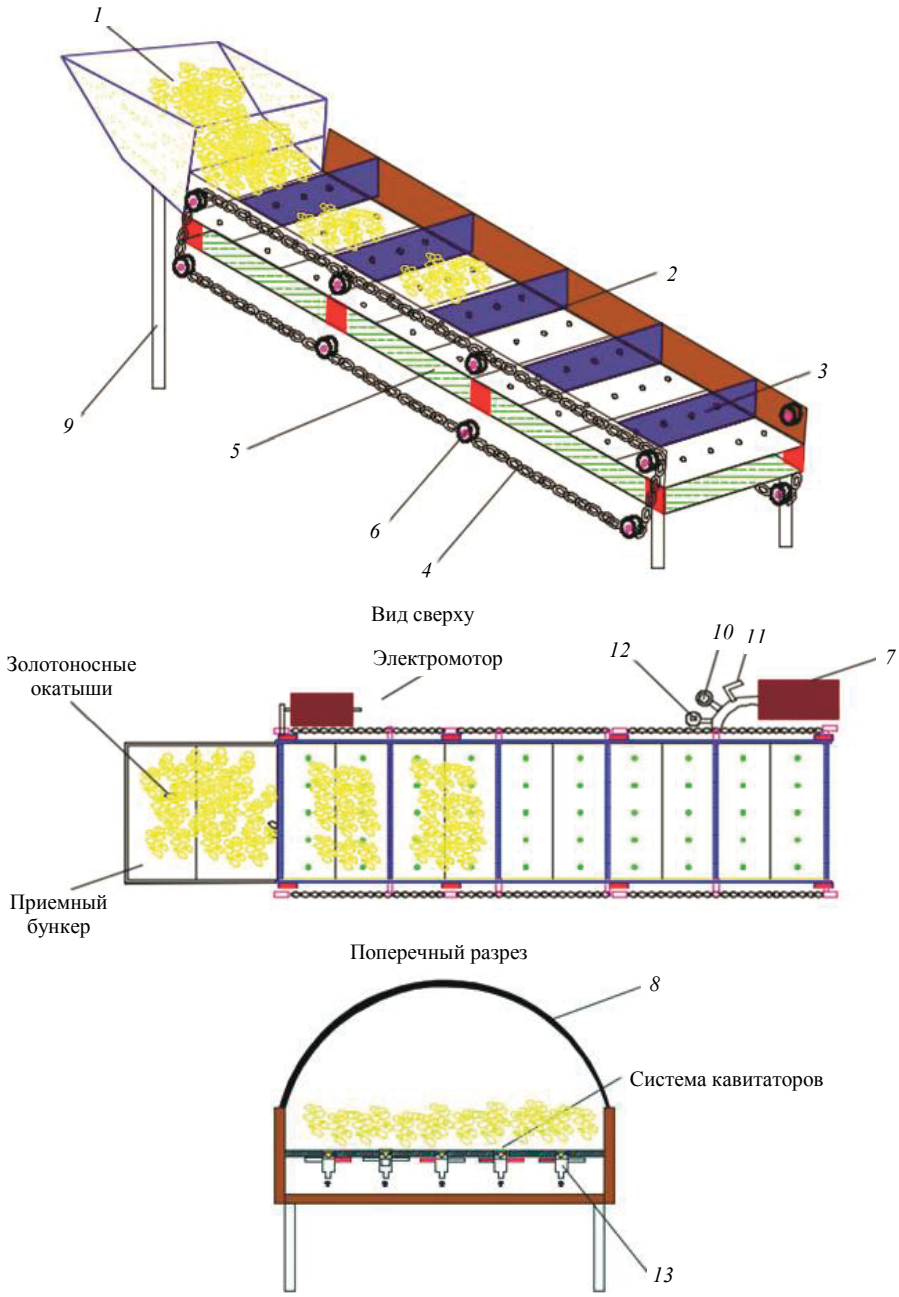


Рис. 3. Высоконапорный гидродинамический дезинтегратор:
1 – приемный бункер; *2* – металлический корпус с бортами; *3* – лопасти (дозаторы); *4* – цепной механизм вращения лопастей; *5* – нижняя поверхность установки; *6* – натяжные ролики; *7* – насос подачи воды; *8* – крышка сферическая; *9* – ножки установки (с регулировкой по высоте); *10* – манометр; *11* – кран регулировки потока; *12* – счетчик воды; *13* – система трубопроводов с кавитаторами

Fig. 3. High-pressure hydrodynamic disintegrator:
1 – receiving hopper; *2* – metal case with sides; *3* – blades (dispensers); *4* – chain mechanism of rotation of the blades; *5* – lower surface of the installation; *6* – tension rollers; *7* – water supply pump; *8* – spherical cover; *9* – installation legs (with height adjustment); *10* – pressure gauge; *11* – flow control valve; *12* – water meter; *13* – piping system with cavitators

Принцип работы установки заключается в следующем. Золотоносный материал попадает в приемный бункер *1*, где лопастями *3* он подается на металлическую поверхность корпуса *2*. Снизу под всей поверхностью вмонтирована система трубопроводов со сменными кавитаторами *13*. При подаче воды под давлением в систему трубопроводов и прохождении потока через кавитаторы создается зона кавитации.

Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек схлопывается, излучая ударную волну. При этом жидкость вскипает и образует пузырьки микроскопических размеров. Образуется кумулятивный эффект, который приводит к точечному повышению давления до десятков тысяч атмосфер.

Таблица 3. Эффективность дезинтеграции с применением конусного активатора кавитации
Table 3. The effectiveness of disintegration using conical cavitation activator

Продолжительность дезинтеграции, мин	Скорость потока, м/с				
	6,9	7,5	8,0	8,5	9,0
2	8,3	9,0	9,6	10,2	10,5
4	16,8	17,9	19,3	21,0	23,5
6	25,1	28,0	30,0	31,2	31,4
8	32,2	36,6	37,5	40,2	43,0
10	42,0	45,5	49,0	52,0	55,4

Кроме того, резкое исчезновение кавитационных пузырьков приводит к образованию гидравлических ударов и, как следствие, созданию волны сжатия и растяжения в жидкости с ультразвуковой частотой. Если ударная волна встречает на своем пути препятствие, то она разрушает его поверхность. Кавитационных пузырьков довольно много, и схлопывание происходит много тысяч раз в секунду и приводит к значительным разрушениям.

Если степень развития кавитации такова, что возникает и схлопывается множество пузырьков, то явление сопровождается сильным шумом со сплошным спектром от нескольких единиц до нескольких сотен герц. По мере увеличения максимального радиуса пузырьков спектр расширяется в область низких частот [11–13].

Кавитация возникает при достижении потоком граничной скорости $v = v_c$, когда давление в потоке становится равным давлению парообразования (насыщение паров).

Увеличение скорости потока после начала кавитации влечет за собой быстрое возрастание пузырьков, после этого происходит их объединение в общую кавитациверну и течение переходит в струйное.

Глиняные окатыши, перемещаясь с помощью лопастей, попадают в зону возникновения гидродинамической кавитации и начинают отслаиваться. Поверхность окатыша разрушается, при этом создается так называемая кавитационная эрозия.

Так как кавитаторы вмонтированы в дно установки и струи воды будут поднимать окатыши вверх, то сверху предусмотрена полусферическая крышка, которая задерживает вынос напором дезинтегрируемого материала из установки. Под силой тяжести дезинтегрируемый материал проходит сквозь отверстия поверхности и осаждается на нижнюю поверхность установки, после чего смывается в сторону обогатительной установки.

На основе изложенных факторов предлагается схема переработки высокоглинистых песков с использованием высоконапорного гидродинамического дезинтегратора и промприбора ГИТ-52 (со шлюзами мелкого наполнения), представленная на рис. 4.

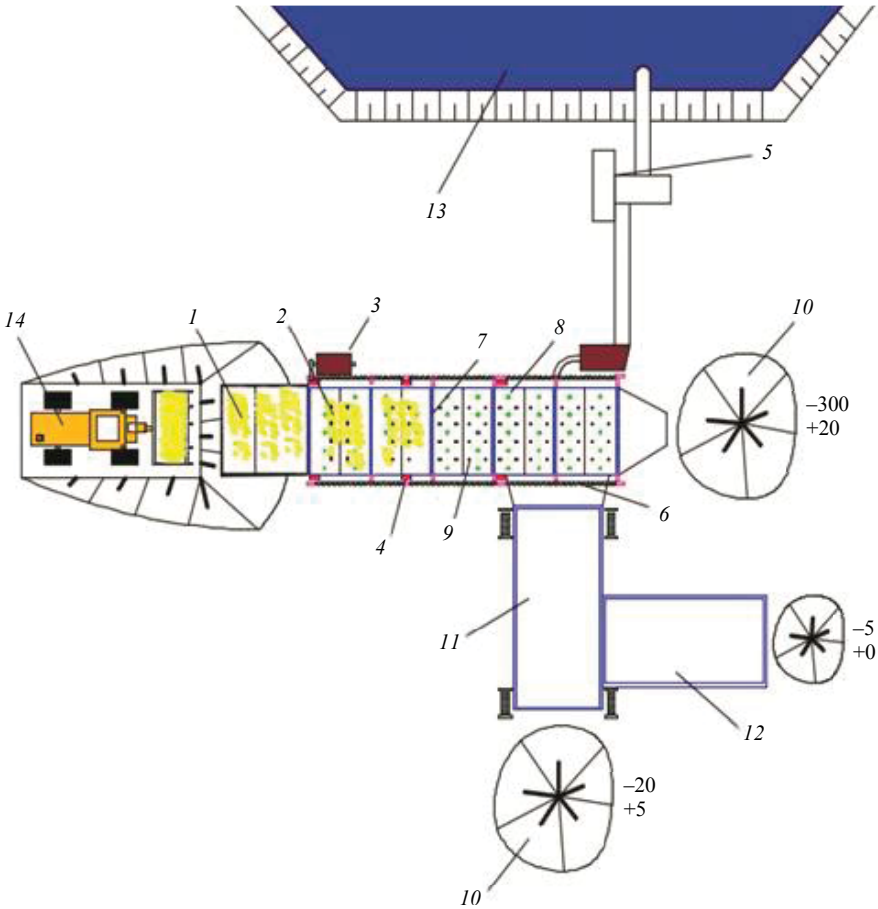


Рис. 4. Схема переработки высокоглинистых песков с использованием высоконапорного гидродинамического дезинтегратора и промприбора ГИТ-52:
1 – приемный бункер; *2* – перерабатываемые пески; *3* – электромотор; *4* – ролики цепи; *5* – насос; *6* – цепи; *7* – лопасти; *8* – кавитаторы; *9* – перфорация; *10* – гале-эфельные отвалы; *11* – ГИТ-52; *12* – шлюзы мелкого наполнения; *13* – отстойник; *14* – погрузчик

Fig. 4. The scheme of processing high clay sands using a high-pressure hydrodynamic disintegrator and industrial instrument GIT-52:
1 – receiving hopper; *2* – recyclable sands; *3* – electric motor; *4* – chain rollers; *5* – pump; *6* – chains; *7* – blades; *8* – cavitators; *9* – perforation; *10* – gale-epile dumps; *11* – GIT-52; *12* – fine filling gateways; *13* – sump; *14* – loader

Высокоглинистые пески фронтальным погрузчиком *14* подаются в приемный бункер *1*, после чего они поступают на перфорированную поверхность *9*, где образуется зона кавитации и происходит разупрочнение глинистых конгломератов. Подготовленные пески проваливаются на сплошную цельную поверхность дезинтегратора и смываются в приемный бункер промывочного прибора *11*, где происходит грохочение и обогащение на шлюзах мелкого наполнения *12*.

Выводы. Предложена конструкция установки для дезинтеграции высокоглинистых песков, позволяющая максимально эффективно использовать энергию подаваемой воды через кавитаторы, воздействуя на глинистые окатыши. Пред-

лагаемая конструкция позволит значительно сократить потери золота при обогащении высокоглинистых песков на шлюзовых промывочных приборах, а также вовлекать в отработку россыпные месторождения с высоким содержанием глины, отработка которых ранее считалась нерентабельной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мирзеханов Г. С., Литвинцев В. С. Состояние и проблемы освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в Дальневосточном регионе // Горный журнал. 2018. № 10. С. 25–30. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04

2. Мирзеханов Г. С., Мирзеханова З. Г. Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота. М.: МАКС Пресс, 2013. 288 с.

3. Litvintsev V. S., Sas P. P. Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East Federal District // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004

4. Litvitsev V. S., Alexeev V. S., Kradenykh I. A. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005

5. MacFarlane K. E., Nordling M. G. Yukon Exploration and Geology Overview 2013. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 2014. 80 p.

6. Oberthuer T., Melcher F., Weiser T. W. Detrital platinum-group minerals and gold in placers of southeastern Samar Island, Philippines // Canadian Mineralogist. 2017. Vol. 55(3). P. 45–62.

7. Серый Р. С., Нечаев В. В. О необходимости комплексного подхода к решению вопроса дезинтеграции труднопромывистых песков россыпей // ГИАБ. 2009. Отд. вып. 4. Дальний Восток-1. С. 268–274.

8. Хныкин В. Ф Перспективы разработки труднопромывистых высокоглинистых россыпных месторождений золота // Горный журнал. 1995. № 11. С. 26–31.

9. Белобородов В. И., Федотов К. В., Романенко А. А. Обогащение золотосодержащих песков с высоким содержанием глинистых // Горный журнал. 1995. № 5. С. 12–18.

10. Кисляков В. Е., Карепанов А. В., Семенов А. Н. Результаты исследований подготовки глинистых песков к гравитационному обогащению // Гравитационные методы обогащения. Современное обогатительное оборудование и новые технологии для переработки минерального сырья. Материалы 2-й науч.-техн. конф., посвященной 100-летию завода «Труд». Новосибирск: Сибпринт, 2005. С. 87–89.

11. Левковский Ю. Л. Структура кавитационных течений. Л.: Судостроение, 1978. 222 с.

12. Кисляков В. Е., Карепанов А. В., Семенов А. Н. Исследования эффективности промывки глинистых песков // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. трудов. Красноярск: ГАЦМиЗ, 2004. С. 354–362.

13. Карепанов А. В., Семенов А. Н. Исследования разупрочнения глины с использованием гидродинамической кавитации // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сб. науч. трудов. Красноярск: ГАЦМиЗ, 2005. С. 190–194.

Поступила в редакцию 7 мая 2019 года

Сведения об авторах:

Семенов Александр Николаевич – аспирант Института горного дела ДВО РАН, технический директор Компании «Золото «Керби». E-mail: ans-01@yandex.ru

Серый Руслан Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сторудник Института горного дела ДВО РАН. E-mail: ruslan_ssr@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96

Hard-to-wash sand disintegration investigation in gold placers

Aleksandr N. Semenov[1, 2], Ruslan S. Seryi[2]

[1] "ZolotoKerby" Ltd, Khabarovsk, Russia.

[2] Institute of Mining FEB RAS, Khabarovsk, Russia.

Abstract

Introduction. *A promising area of replenishing the resource base for placer gold mining could be the involvement of high clay content deposits. Important scientific and practical problem with this solution is improving the quality of sand preparation for enrichment due to high-quality disintegration. Solving the problem requires not only creating more efficient clay sands disintegrators, but also study of sand granulometry, evaluation of their physical and mechanical properties, the material composition of the mineral rock mass. The composition of the hard-to-wash sands of the Far East shows that the clay content in them varies widely and can reach 60% or more. Analysis of the existing methods of sands deposits disintegration shows that the use of traditional methods of rock preparation for enrichment will not allow to fully solving the problem of processing high-clay alluvial deposits.*

Research aim *is the development of a scheme for processing high-clay sands using a high-pressure hydrodynamic disintegrator based on the principle of the effect of hydrodynamic cavitation.*
Research methodology. *The experiments have been carried out on high-clay sand processing with a laboratory disintegration facility with various cavity activators.*
Results. *In the course of the study, the design of the device for the disintegration of high-clay sands was developed and proposed for practical implementation, allowing to reduce the loss of gold in the enrichment of high-clay sands on sluice washers, as well as to engage in mining alluvial deposits with high clay content, mining of which was previously considered unprofitable. The use of this technological scheme will make it possible to switch from a two-stage technology for the processing of placers to a one-stage, incorporating the processing of sands and effel into a single technological process, eliminating the costs of processing man-made alluvial sands of gold deposits.*

Key words: *placer gold deposit; high clay content sands; disintegration; cavitation; hydrodynamic disintegrator.*

REFERENCES

1. Mirzekhanov G. S., Litvintsev V. S. Mining waste management at precious metal placers in the Russian Far East: State-of-the-art and problems. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2018; 10: 25–30. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04. (In Russ.)
2. Mirzekhanov G. S., Mirzekhanova Z. G. *Resource potential of technogenic formations of gold placers*. Moscow: MAKS Press Publishing; 2013. (In Russ.)
3. Litvintsev V. S., Sas P. P. Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East Federal District. In: *E3S Web of Conferences*. 2018; 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004
4. Litvitsev V. S., Alexeev V. S., Kradenykh I. A. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits. In: *E3S Web of Conferences*. 2018; 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005
5. MacFarlane K. E., Nordling M. G. *Yukon Exploration and Geology Overview 2013*. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 2014. 80 p.
6. Oberthuer T., Melcher F., Weiser T. W. Detrital platinum-group minerals and gold in placers of southeastern Samar Island, Philippines. *Canadian Mineralogist*. 2017; 55(3): 45–62.
7. Seryi R. S., Nechaev V. V. On the necessity of an integrated approach to the problem of disintegration of hard-to-wash sands of placers. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2009; special edition 4. Far East-1. pp. 268–274. (In Russ.)
8. Khnykin V. F. Prospects of hard-to-wash high-clay gold placers. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 1995; 11: 26–31. (In Russ.)
9. Beloborodov V. I., Fedotov K. V., Romanenko A. A. Concentrating gold-bearing sand with a high content of clay. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 1995; 5: 12–18. (In Russ.)
10. Kisliakov V. E., Karepanov A. V., Semenov A. N. Results of research of clay-bearing sand preparation to gravitational concentration. In: *Gravitational methods of concentration. Modern concentration equipment and new technologies to process mineral raw material. Proceedings of the 2nd science and technical conference dedicated to the 100th anniversary of Trud plant*. Novosibirsk: Sibprint Publishing; 2005. p. 87–89. (In Russ.)
11. Levkovskii Iu. L. *The structure of cavitation flows*. Leningrad: Sudostroenie Publishing; 1978. (In Russ.)
12. Kisliakov V. E., Karepanov A. V., Semenov A. N. Study of clay-bearing sand washing efficiency. In: *Modern technologies of mineral resources development: collection of works*. Krasnoyarsk: GATsMiZ Publishing; 2004. p. 354–362. (In Russ.)
13. Karepanov A. V., Semenov A. N. Study of clay softening with the use of hydrodynamical cavitation. In: *Modern technologies of mineral resources development: collection of works*. Krasnoyarsk: GATsMiZ Publishing; 2005. p. 190–194. (In Russ.)

Received 7 May 2019

Information about authors:

Aleksandr N. Semenov – PhD student, Institute of Mining FEB RAS, engineering manager of "ZolotoKerby" Ltd. E-mail: ans-01@yandex.ru
Ruslan S. Seryi – PhD (Engineering), senior researcher, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: ruslan_ssr@mail.ru

Для цитирования: Семенов А. Н., Серый Р. С. Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 88–96. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96
For citation: Semenov A. N., Seryi R. S. Hard-to-wash sand disintegration investigation in gold placers. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 88–96 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96

УДК 338.23:330.52(98) DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-97-107

Alignment of interests when exploiting oil and gas resources in the northern territories of the Russian Federation

Vladimir G. Loginov[1]*, Margarita N. Ignatieva[1, 2], Valerii V. Balashenko [1]
[1] Institute of Economics UB RAS, Ekaterinburg, Russia
[2] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia
e-mail: log-wg@rambler.ru

Abstract

Research relevance. *Depletion of commercial fuel, energy, and minerals in the developed regions of the country provides for mineral production increase, including oil and gas resources in the Arctic. Exploitation of subsoil resources will again have negative economic, ecological and social effect. The latter includes the effects connected with indigenous small-numbered peoples of the North (ISNPN) living conditions deterioration, which requires finding the possibilities for peaceful coexistence of subsoil users and ISNPN.*

Research aim *is to determine basic negative effects on ISNPN caused by commercial exploitation of arctic territories and substantiate policies the implementation of which promotes the sustainable development of traditional natural resource use and ISNPN.*

Research methodology. *The methods of systematization, factor, comparative and systemic analysis were used during the course of research.*

Research results. *It follows from the characteristic of oil and gas and mining administrative entities of the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF) that in recent years the amount of mineral production (oil and condensate, natural gas) grows. Thus, natural gas production in the Yamalo-Nenets Autonomous District in 2018 grew by 7.4% as compared to 2017; oil production grew by 2% at the year end of 2018. The formation of new centers of oil, gas and coal production is predicted, which are currently at the stage of exploration. The growth in the intensity and increasing environmental impact (on the environment and population, including ISNPN) is also natural. Generalization and analysis of experience in oil and gas fields exploitation shows that the most severe conflicts erupt between commercial exploitation of the territory and traditional natural resource use: deer pasture pollution, land withdrawal in favor of industrial and transport construction, etc. Implementation of integrated programs, aimed at ISNPN sustainable development, which put major focus on social and cultural development with no appropriate economic support, does not solve the problem under consideration. The authors propose the policy aimed at the preservation of the "feeding environment" of the natives and their cultural heritage, and taking into account the specific character of the current state of traditional economy and indigenous people engaged in it. The main attention has been focused on the effective use of traditional natural resource use territories, their maintenance within the limits of cultural landscapes, governmental assistance, introduction of ecological-economic estimation of natural capital of the territories of traditional natural resource use (TTNRU) and compensatory payments when damaging biota, considering TTNRU as the components of ecological framework, preservation of cultural heritage of an ethnos. Corresponding scientific investigations may help solving the problem of mutual coexistence.*

Summary. *In order to prevent the negative effects on ISNPN from commercial exploitation of the Arctic, possible conflicts should be predicted and prevented, which will be contributed by the implementation of the authors policy aimed at ISNPN sustainable development.*

Key words: *the Arctic zone of the Russian Federation; commercial exploitation; oil and gas and mineral resources; traditional industries; indigenous small-numbered peoples of the North.*

Acknowledgements. *The publication was prepared with the financial support of project no. 18-6-7-42 "Socio-economic development of the Arctic zone of the Urals: potential opportunities, priorities and prospects for spatial development".*

Introduction. A key place in the development of the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF) is occupied by oil and gas producing and mining subjects – Nenets (NAD) and Yamalo-Nenets (YNAD) Autonomous Districts and polar regions (subregion) of the Krasnoyarsk Krai: the territory of the former Dolgano-Nenets (Taimyr) Autonomous District, which is a municipal district since 2007, Turukhansk municipal district and the municipal formation of Norilsk (table 1).

Table 1. Characteristics of oil and gas and mining administrative entities of the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF)

Таблица 1. Характеристика нефтегазовых и горнодобывающих административных образований АЗРФ

Subjects of RF/MF	Area, thousand km^2	Population density, persons/100 km^2	Population, persons, as of 01 January 2019		Share of urban population, %
			total	urban	
NAD	176.8	25	43 829	32 108	73.3
YNAD	769.3	70	541 479	454 254	83.9
Krasnoyarsk Krai	1095.6	21	228 943	207 560	90.7
Taymyr MD	879.9	3.6	31 627	21 487	67.9
Turukhansk MD	211.2	7.4	15 660	4417	28.2
Norilsk MF	4.5	4037	181 656	181 656	100.0
Total	2041.7	40	814 251	693 922	85.2
Share in AZRF, %	55.0	61.5	34.0	32.5	88.9

At the present time (as of January 1st, 2019), the population of oil and gas and mining administrative entities of AZRF is 814.3 thousand people, including 693.2 thousand people in urban settlements, which is 34 and 32.5% correspondingly of their population in AZRF. There are three large (more than 100 thousand citizens) towns at the territory: Norilsk (181.3 thousand people), Novy Urengoy and Noyabrsk (YNAD, 116.9 and 106.1 thousand people correspondingly). There are 7 more towns with the population less than 50 thousand people (except for Salekhard – 50.3 thousand citizens). Large towns are base towns of oil and gas fields and ore deposits exploitation and development. Salekhard, Nadym (YNAD), and Naryan-Mar (NAD) are base towns as well. More than 100 thousand persons of drive-in, drive-out staff, including local residents of the region and residents of other regions of the country, pass through these settlements annually and constitute a significant part of man power engaged in mineral extraction, construction and transport, especially in remote transpolar regions. In addition to the inhabitants of the cities, the inhabitants of workers' settlements also refer to urban citizens; the population of workers' settlements declined significantly in the post-Soviet period.

Major part of population in oil and gas producing Arctic are indigenous small-numbered peoples of the North, the share of which in the rural areas is 42% (table 2).

Rural ethnical population is distinguished by a high share of nomads totaling over 20 thousand people, according to authors' estimates. As at the beginning of 2018 they possessed 1101.7 thousand head of deer. The area of deer pastry is 1025 thousand km^2, which is half the area of these administrative entities.

Industrial potential of the territory, represented by economic entities of oil and gas and mining industries, is based on the world-class deposits (table 3).

The amount of shipped own-produced goods and the amount of works and services domestically performed by the types of economic activity here is 74.4%, and the share of gross regional product of the Arctic zone of the Russian Federation is 72.8%

(including YNAD – about 57%). Mineral production, mainly oil and gas, dominates in the total volume of shipped own-produced goods, with the share of 73%. A special position is occupied by Norilsk, which is home to about a half of (49.8%) process manufactures, 38.2% of work scope performed within the "Construction" type of economic activity and 17.5% of investment into the fixed capital of the Krasnoyarsk Krai.

In 2017, 96.2 million tons of oil were produced in the Arctic, which is 3.8% more than in 2016, and 568.9 billion m^3 of gas (as compared to 2016, growth accounted to 9.6%). Gas output has settled over the last few years, and at the year end of 2017 made up 83% of national output. The share of oil production in the Arctic from 2017 to 2018 increased from 11.8% to 17.6% of national production, and by 2035 this indicator will increase to 26% (*Available from: http://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2018/12/545 (accessed 9th August 2019)*). Oil and natural gas production in AZRF is almost completely concentrated within the territory under consideration. In the recent years, excluding NAD, there has been the process of increasing mineral production. Natural gas production thus increased by 7.4% in 2018 in Yamalo-Nenets Autonomous Districts (YNAD) as compared to 2017 and made 601.531 billion m^3. Oil production in YNAD at the year end of 2018 increased by 2% up to 32 million tons. 9.4% increase up to 21.3 million tons has been recorded in gas condensate (*Available from: https://neftegaz.ru/news/dobycha/194217-neft-gaz-i-gazovyy-kondensat-dobycha-uglevodorodnogo-syrya-v-yanao-v-2018-g-zametno-vyrosla (accessed 9th August 2019)). Main mining corporations are PJSC Gazprom (Gazprom Dobycha Llc*), OOO NOVATEK , PJSC Gazprom Neft, Rosneft, etc.

Table 2. The number and share of indigenous peoples of the North in the population of administrative entities of the AZRF

Таблица 2. Численность и доля КМНС в населении административных образований АЗРФ

Subjects of RF/subregion	Rural population, total		ISNPN, village, persons, 2010	Share of ISNPN in rural population, %	ISNPN, persons, 2010	
	2019	2010			total	share of rural population, %
NAD	11 721	13 969	5735	41.9	7504	76.4
YNAD	87 225	79 854	33 901	42.5	41 415	81.9
Krasnoyarsk Krai	21 383	23 113	9317	40.3	11 498	81.0
Total	120 329	116 935	48 953	41.9	60 417	81.0
Share in AZRF, %	45.4	41.8	68.6	151.0	66.7	68.6

In Krasnoyarsk Krai in 2018 extraction made: oil – 24 million tons, condensate – 0.6, total – 24.6 million tons, free gas, including gas caps – 8.062 billion m^3, solution gas – 1404 million m^3 (mining company RN-Vankor Llc). Gas condensate and oil production in Nenets Autonomous District can be estimated at 18 million tons. Oil extraction is carried out by units of LUKOIL-Komi, Nenets oil company, Rosneft, American company ConocoPhillips; natural gas is extracted by Pechorneftegasprom. In general, despite the incremental production of oil and natural gas in YNAD and Krasnoyarsk Krai, extraction value remained at a level of 2017 because the extraction has been reduced in NAD.

Mineral resource base analysis for the north of YNAD – the Kara sea, the Yamal Peninsula, the Gyda Peninsula – makes it possible to divide these territories into two zones. Pipeline transport zone is determined with the account of the existing gas transmission systems and the ones under construction and includes fields of Bovanenkovo group, Yamal shelf, southern Yamal group and fields of the Gulf of OB

and the Taz Bay (the territory adjoining the projected railway of Ob–Salekhard–Novy Urengoy–Korotchaevo, "the Northern Latitudinal Railway"). The zone of LNG (liquefied natural gas) is determined in NOVATEK plans concerning the construction of LNG plants (the territory of the Yamal Peninsula and a part of the Gyda Peninsula, the circles of influence of Yamal LNG, Arctic LNG-2 projects and the Sabetta Seaport) and includes the fields of Tambeisky group of the Yamal Peninsula and the fields of the Gyda Peninsula. Mineral resource base of the zone makes it possible to reach LNG output volume of 90–100 million tons per year. For this purpose, the possibility of building three more LNG plants, in addition to Yamal LNG and Arctic LNG-2, is considered.

Table 3. Production of minerals, shipped goods and gross regional product (GRP)
Таблица 3. Объемы добычи полезных ископаемых (ПИ), отгруженных товаров и валового регионального продукта (ВРП)

Subjects of RF/MF	Production of minerals, 2017		Shipped goods, million rubles, 2017				GRP, million rubles, 2017
	Oil and condensate, million ton	Natural gas, billion m^3	Production of minerals	manufactu ring industries	Power and gas supply	Water supply, water discharge	
NAD	20.916	1.120	267 838	21 434	3832	479	276 485.1
YNAD	50.848	560.086	1 911 722	346 799	58 693	10 388	2 461 442.8
Krasnoyarsk Krai	23.276	8.976	439 923	493 457	20 000	6 000	470 578.8
Total	95 040	570.182	2 619 303	861 690	82 525	16 867	3 208 506.7
Share in AZRF, %	99.0	100.0	74.4				73.8

Calculated: Regions of Russia. Social and economic indicators. 2018: statistical handbook. Moscow: Rosstat Publishing; 2018: 591–592, 598–599; Environmental status and protection in Krasnoyarsk krai in 2018: state report. Krasnoyarsk, 2019. Available at: http://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2018/12/545/ (Accessed 09 August 2019); http://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/calendar1-2019.htm (Accessed 22 April 2019).

The creation of the Taimyr-Turukhansk stronghold in the north of the Krasnoyarsk Krai provides for the development of new points of coal, gas and oil extraction within the arctic territory of the region [1, 2]. Nornickel company already works in the zone. Polar division of the company produces more than 90% of Russian bulk of nickel, more than 40% of copper, 98% of platinum-group metals (PJSC "MMC "Norilsk Nickel" is a world leader in palladium output (40%), with 2% of copper world's output, 12% of nickel, 11% of platinum (2017)). The company is planning to implement projects on ore base expansion. Future development of Krasnoyarsk Krai arctic zone is connected with further development of metallurgy in Norilsk industrial region and new fields of Vankor oil and gas cluster (Suzunsky, Lodochny, and Tagulsky fields). Development of new points of oil, gas and coal production will raise the region's funds for more than 50 billion rub. before 2026. A coal-mining site will be formed on Taimyr with the projected growth of coal production up to 3 million ton per year before 2026. Development of new sites of oil and gas production is at the stage of geological exploration [3]. The first promising site of oil and gas production, Ust Eniseisky, includes Paiyakhskoe and Baikalovskoe fields. Total field reserves are estimated at 200 million tons of oil and 90 billion m^3 of natural gas. The second is Khatangsky site (East Taimyr license area), according to preliminary estimates, keeps 123.5 million tons of oil and 370.6 billion m^3 of gas (*Monitoring of social and economic development of the North and the Arctic.*

Newsletter. The center of the economy of the North and the Arctic. 2017; 4: 2 (on-line version)).

It is oil and gas industry, together with oil and gas processing and ore minerals development, which determine ecological situation of the territory. Accumulated environmental damage of the past also exerts influence on the ecological situation which requires the substantiation of environmental mitigation measures aimed at reducing damage caused by the growth of economic activity in the region [4–8]. He greatest impact into the total output of pollutant emissions (according to the types of economic activities) is made by section "Mining", the share of solid minerals therefore is 67.9% (the main contaminator is the Polar Division of PJSC "MMC "Norilsk Nickel", 1789.3 thousand tons, 2018) (table 4).

Table 4. Emissions of pollutants of oil and gas and mining administrative entities of the AZRF, 2017, thousand tons

Таблица 4. Выбросы загрязняющих веществ нефтегазовых и горнодобывающих административных образований АЗРФ, 2017 г., тыс. т

Subjects of RF/MF	Emissions into the atmosphere of pollutants from stationary sources	Stationary sources pollutants caught and disposed
NAD	100.0	–
YNAD	786.0	0.3
Krasnoyarsk Krai	1920.4	1601.0
Total	2806.4	1601.3
Share in AZRF, %	83.7	45.1

Sources: State report "Environmental status and protection in Krasnoyarsk krai in 2017". Krasnoyarsk; 2018; 35, 38; Regions of Russia. Social and economic indicators. 2018: statistical handbook. Moscow: Rosstat Publishing; 2018: 444–447.

Results. The level of ecological friendliness of the industry and ecological responsibility of oil and gas and mining enterprises condition the quality of the environment: the availability of fresh air and pure drinking water as well as the "health" of ecosystems receiving human impact [8, 9]. Unfortunately, commercial exploitation sometimes has devastating impact on the environment and the communities of indigenous peoples [10–14]. A position of parity in the relationship between the local population and commercial companies, with relation to bilateral consideration of interests, winning development and risks neutralization, has not been achieved yet, however, some ecological investment projects have been developed in national economy and are being implemented by some mining enterprises [15–17 et al.].

The impact of industrialization on the environment and indigenous population causes negative effects of economic, ecological, and social character on the indicated recipients. Economic effect includes the reduction of ISNPN income from traditional land-use practice as a result of land seizure or withdrawal in favor of the industry-related needs. YNAD heads the list in the country as far as the said indicator is concerned (103.7 thousand ha of disturbed land). Ecological effects are associated not only with land withdrawal, but also with land contamination and the growth of emissions in the atmosphere and discharge in water, which result in natural-resources potential reduction – the fund of ISNPN preservation and development. The social effect includes forced migration, development and growth of assimilation; the young generation, the significant part of which cannot adapt to new conditions, goes lumpen and alcoholic. Fertility behavior of individuals of childbearing age changes due to the shortage of

fiancées as a results of increased competition caused by the arrival of non-indigenous young men to the areas of traditional residence, birth-rate decrease, and growth of premature mortality by unnatural causes. Population growth due to the newcomers also causes poaching. This applies, in particular, to valuable species of fish. Their reproduction has reduced sharply among other things because of water bodies contamination.

Another feature of mineral deposits location should be noted. As nature would have it, the most significant deposits in the subsoil coincide with the most productive biocenoses on the surface. In this regard, even a trifling seizure of land as compared to large sizes of respective subjects of the Russian Federation cause significant loss for traditional natural resource use, both direct (withdrawal) and indirect (contamination).

In order to provide sustainable development of indigenous small-numbered peoples, in addition to a long list of social actions, regional special-purpose programs are being developed for the medium term. Thus, in the Yamalo-Nenets Autonomous District, in order to shape sustainable development of indigenous small-numbered peoples of the North, an integrated program called "Sustainable development of indigenous small-numbered peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous District for 2018–2020" has been approved, tasked with:

– social and economic development of indigenous small-numbered peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous District;

– social development of indigenous small-numbered peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous District including the sphere of education and science, health care, construction and housing, social service and social security;

– ethnocultural development of indigenous small-numbered peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous District;

– ecological development and protection of primordial living environment of indigenous small-numbered peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous District;

– protection of rights and legal interests of indigenous small-numbered peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous District (*Sustainable development of indigenous small-numbered peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous District for 2018–2020. YAND Government Order no. 1271-p of December 12th 2018 "On the approval of the integrated program "Sustainable development of indigenous small-numbered peoples of the North in the Yamalo-Nenets Autonomous District for 2018–2020". Available from: https://www.garant.ru/hotlaw/yamalonenecky/1234977 (Accessed August 9th 2019)*).

Similar programs exist in Nenets Autonomous District and Krasnoyarsk Krai. The main drawback of the regional programs includes their emphasis on social and cultural development, while the economic component is presented only by current expenses. Mining enterprises also try to get along with indigenous peoples of the North, developing programs and cooperation agreements with ISNPN. However, in this case, it is not unambiguous enough, as soon as a cornerstone of these documents is compensation in physical and monetary terms which does not always offset the damage caused to the nature of indigenous population.

In the authors' opinion, high-priority activities aimed at sustainable development of ISNPN should include as ascribed below.

The development of co-management practices at the territories of traditional natural resource use with licensed sites, industrial and transport infrastructure. Such practices were developed in ECORA project by UNEP-GEF for the territory of Russia (*CAFF technical report, 2009, no. 19. Available from: http://library.arcticportal.org/1528/1/ECORA_Report_Russian.pdf (Accessed July 18th 2019)*). Special co-management

training programs are required for the representatives of indigenous small-numbered peoples.

Creation of indigenous peoples cultural sites map, including work areas and sacred territories, both within the boundaries of traditional natural resource use area and beyond (deer migration routes and sacred objects, including virtual ones).

When planning non-operating use of the territories of traditional natural resource use, it is required to introduce the creation of the matrix of conflict with the description of environmental services (resource and habitat-forming ones), which are used in traditional nature resource use and will be used directly or indirectly in industrial, transport or other types of nature resource use [13].

In the areas of cultural heritage of indigenous small-numbered peoples and sacred objects, other types of natural resource use other than natural must be prohibited. These territories may be home to ethno-natural parks which may become the objects of travel company activities.

Ecological and economic estimate of the cost of the natural capital of the territories of traditional natural resource use may be considered as an alternative cost of their lots intended for other types of nature resource use. Compensatory payments should be calculated with the account of the indicated estimates. The current level of payment is about 25% [18].

Based on ecological and economic estimates of environmental services of the territories of traditional natural resource use, it is required to review its functions in the structure of the modern regional economy.

The territories of traditional natural resource use may be considered as regions of "environmentally sound" types of natural resource use and may be included into the system of natural frame when used in accordance with traditional ecological knowledge of ISNPN.

The efficiency of using the territories of traditional natural resource use should be improved by means of upgrading them technically and developing new uses (eco- and ethno-tourism).

Preservation of indigenous peoples' traditional life support and household as a desire to optimize their material and psychological wealth by means of natural resources [19, p. 110].

For the time being, indigenous small-numbered peoples, engaged in traditional natural resource use, need help organizing products processing (venison, wild harvest, and fish) and its transportation to sales markets.

Active support from the public authorities and local government of communities or other forms of self-organization of indigenous peoples through fiscal and tax policy [20, p. 41].

Traditional ecological knowledge should be reinterpreted in order to adapt new types of natural resource use to the natural conditions of the region.

Sustainable development of indigenous small-numbered peoples living at the territory of the region requires high-priority attention to the preservation of their language and culture, the death of which inevitably causes the death of the ethnos, depletes cultural diversity of peoples in Russia which is a pledge of its sustainable development.

Due to the exploitation of remote arctic territories, the role of scientific research concerning ISNPN and environment increases with the purpose of estimating their current state and effects from commercial activities. The introduction of basic research in various branches of science (economy, sociology, ecology, ethology, geography, biology, medicine, etc.) is not enough, applied research is also required. Scientific report "Developing the system of monitoring the state of relationship between economic

agents and indigenous population" may serve as an example of such investigations (*The project has been prepared within the project funded by the National Public Establishment of the Yamalo-Nents Autonomous District "Arctic Research Center" (state contract no. 10ок-1457/2012 of June 14th 2012). Research and development center "Perspektiva". 135 p. Available from: www.ntcpa.ru*) and Ethnic monitoring in the Yamalo-Nenets Autonomous District [21].

Summary. Commercial exploitation of the Arctic provokes conflicts associated with ISNPN. In order to prevent adverse effects for ISNPN, it is required to forecast the possible conflicts and take appropriate measures to prevent conflicts, including the introduction of the measures proposed by the authors aimed at ISNPN sustainable development.

REFERENCES

1. Dmitrieva T. E., Buryi O. V. *Arctic Supporting Zones: the Ranks and the Projects. EKO = ECO*. 2019; 1: 41–59. (In Russ.)

2. Leksin V. N., Porfiliev B. N. Russian Arctic Today: Substantive Novelties and Legal Collisions. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2018; 14(4); 1117–1130. (In Russ.)

3. Leksin V. N., Porfiliev B. N. Redevelopment of the Arctic Area of Russia as an Objective of Systems Research and Special-Purpose Program Management Methodological Issues. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2015; 4(44): 9–20. (In Russ.)

4. Vasiliev S. I., Miloserdov E. E., Bulchaev N. D. Environmental problems of the development and production operations of oil and gas fields of Eastern Siberia. *Gornaia promyshlennost = Mining Industry Journal*. 2015; 3(121): 88–89. (In Russ.)

5. Pakhomov A. A., Mostakhova T. S. Arctic territories: problems of development and exploitation (on the example of the Republic Of Sakha (Yakutia). *Ekonomika vostoka Rossii = Economics of Russian East*. 2014; 2: 33–42. (In Russ.)

6. Cherniago L. S., Boikova D. N. Man-caused transformation of ecosystems of the North in the oil production areas. *Razvedka i okhrana nedr = Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2012; 7: 30–32. (In Russ.)

7. Solodovnikov A. Iu., Khattu A. A. The effect of oil and gas production on the environment in the Tuymen region: role and significance of eco-management when solving ecological problems. *Regionalnaia ekologiia = Regional Ecology*. 2010; 4(30): 86–96. (In Russ.)

8. Iudakhin F. N., Gubaidullin M. G., Korobov V. B. Environmental Problems upon the Development of Mineral and Natural Raw Material Resources in the Arkhangelsk Region. *Geoekologiia = Environmental Geoscience*. 2004; 3: 195–206. (In Russ.)

9. Litvinova A. A., Ignatieva M. N., Kosolapov O. V. To methodical provision of forecasting of ecological consequences of the impact of oil extraction in northern regions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2011;7: 70–76. (In Russ.)

10. Tishkov V. A., Novikova N. I., Pivneva E. A. Indigenous Peoples of the Russian Arctic. *Vestnik RAN = Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2015; 85 (5–6): 491–500. (In Russ.)

11. Loginov V. G., Ignatieva M. N., Balashenko V. V. Ethnic social and ecosystem approach to the evaluation of the lifehoods of small indigenous peoples of the North. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2018; 14(3): 896–913. (In Russ.)

12. Loginov V. G. *Social-economic estimation of developing national-resources regions of the North*. Ekaterinburg: Institute of Economics UB RAS; 2007. (In Russ.)

13. Krasovskaia T. M. *Natural resource management of Russian North*. Moscow: LKI Publishing; 2008. (In Russ.)

14. Loginov V. G., Ignatieva M. N., Balashenko V. V. Harm to the resources of traditional nature management and its economic evaluation. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2017; 13(2): 396–409. (In Russ.)

15. Novoselov A. L., Potravnyi I. M., Novoselova I. Iu., Chavez Fareira K. I. The mechanism to implement environmental investment projects on the basis of equity financing. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2018; 14(4): 1488–1497. (In Russ.)

16. Kriukov V. A., Tokarev A. N. Relationship between assets and organizational structure in the oil industry: regional aspects. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2018; 14(4): 1076–1087. (In Russ.)

17. Erokhina E. A. Indigenous Peoples and Mining Companies in the Ob North: Cooperation or Conflict? *EKO = ECO Journal*. 2018: 81–92. (In Russ.)

18. Gorbunov A. S. Problems and ways of improving the socio-economic development of the indigenous peoples of the North in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra. *Biznes v zakone = Business in Law*. 2010; 4: 349–351. (In Russ.)

19. Dmitrieva T. E. et al. *Modernization of bioresources economy of the North*. Syktyvkar: Komi respublikanskaia tipografiia Publishing; 2018. (In Russ.)

20. Iudin V. I. Russian national policy towards indigenous small-numbered peoples of the North: social and political analysis. *Vlast = Authority*. 2012; 2: 40–44. (In Russ.)

21. Vasilkova T. N., Evai A. V., Martynova E. P., Novikova N. I. *Indigenous small-numbered peoples and industrial development of the Arctic (ethnological monitoring in Yamalo-Nenets Autonomous District)*. Moscow-Shadrinsk: Shadrinskii Dom Pechati Publishing; 2011. (In Russ.)

Received 25 August 2019

Information about authors:

Vladimir G. Loginov – DSc (Economics), Associate professor, Head of Regional Nature Management and Geoecology, Department of UB RAS. E-mail: log-wg@rambler.ru
Margarita N. Ignatieva – DSc (Economics), Professor, professor of the Department of Economics and Management, Ural State Mining University, leading researcher of Regional Nature Management and Geoecology, Department of UB RAS. E-mail: rinis@mail.ru
Valerii V. Balashenko – PhD (Economics), researcher of Regional Nature Management and Geoecology, Department of UB RAS. E-mail: bala10@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-97-107

Согласование интересов при освоении нефтегазовых ресурсов северных территорий Российской Федерации

Логинов В. Г.[1], Игнатьева М. Н.[1, 2], Балашенко В. В.[1]
[1] Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург, Россия
[2] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Реферат

Актуальность. *Отработка промышленных запасов топливно-энергетических и минеральных ресурсов в освоенных районах страны предусматривает увеличение добычи полезных ископаемых, в том числе нефтегазовых ресурсов, расположенных в Арктике. В свою очередь освоение ресурсов недр будет иметь отрицательные последствия экономического, экологического и социального характера. К числу последних относятся последствия, связанные с ухудшением условий жизни коренного малочисленного населения Севера (КМНС), что требует изыскания возможностей взаимного бесконфликтного сосуществования недропользователей и КМНС.*

Цель работы. *Выяснение основных отрицательных последствий для КМНС, связанных с промышленным освоением арктических территорий, и обоснование системы мер, реализация которых способствует устойчивому развитию традиционного природопользования и КМНС.*

Методы исследования. *В процессе работы использовались методы систематизации, факторного, сравнительного и системного анализа.*

Результаты исследования. *Из характеристики нефтегазовых и горнодобывающих административных образований Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) следует, что объем добычи полезных ископаемых (нефть и конденсат, природный газ) в последние годы нарастает. Так, добыча природного газа в Ямало-Ненецком автономном округе в 2018 г. выросла на 7,4 % по сравнению с 2017 г., добыча нефти по итогам 2018 г. выросла на 2 %. Ожидаемо формирование новых центров добычи нефти, газа и угля, которые на сегодня находятся на стадии геологоразведочных работ. Естественен и рост интенсивности и нарастающего воздействия на окружающую среду (природную среду, население, в том числе КМНС). Обобщение и анализ опыта разработки нефтяных и газовых месторождений показывает, что наиболее серьезные конфликтные ситуации возникают между промышленным освоением территории и традиционным природопользованием: загрязнение площади оленьих пастбищ, изъятие земель под промышленное и транспортное строительство и др. Реализация комплексных программ, ориентированных на устойчивое развитие КМНС, в которых основной упор делается на социально-культурное развитие без соответствующего экономического обеспечения, не решает рассматриваемую проблему. Авторами предлагается система мер, направленная на сохранение «кормящего ландшафта» аборигенов и их культурного наследия и учитывающая специфику современного состояния традиционного хозяйствования и коренного населения, занятого в нем. Основное внимание сосредоточено на эффективности использования территорий традиционного природопользования, сохранение их в границах культурных ландшафтов, оказание поддержки со стороны государства, введение в практику эколого-экономической оценки природного капитала территорий традиционного природопользования (ТТП) и компенсации выплат при нанесении вреда биоте, рассмотрение ТТП в качестве составляющих экологического каркаса, сохранение культурного наследия этноса. Во многом решению проблемы взаимного сосуществования могут помочь научные исследования соответствующей направленности.*

Выводы. *Для предотвращения отрицательных последствий для КМНС при промышленном освоении Арктики необходимо прогнозировать возможные конфликтные ситуации и предупреждать их, чему будет способствовать реализация предлагаемой авторами системы мер, направленных на устойчивое развитие КМНС.*

Ключевые слова: *Арктическая зона Российской Федерации; промышленное освоение; нефтегазовые и минеральные ресурсы; традиционные отрасли; коренные малочисленные народы Севера.*

Публикация подготовлена при финансовой поддержке проекта № 18-6-7-42 «Социально-экономическое развитие арктической зоны Урала: потенциальные возможности, приоритеты и перспективы пространственного освоения».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитриева Т. Е., Бурый О. В. Опорные зоны Российской Арктики: содержание, рейтинги и проекты // ЭКО. 2019. № 1. С. 41–59.

2. Лексин В. Н., Порфильев Б. Н. Российская Арктика сегодня: содержательные новации и правовые коллизии // Экономика региона. 2018. Т. 14(4). С. 1117–1130.

3. Лексин В. Н., Порфильев Б. Н. Переосвоение российской Арктики как предмет системного исследования и государственного программно-целевого управления. Вопросы методологии // Экономика региона. 2015. № 4(44). С. 9–20.

4. Васильев С. И., Милосердов Е. Е., Булчаев Н. Д. Экологические проблемы при разработке нефтяных и газовых месторождений Восточной Сибири // Горная промышленность. 2015. № 3(121). С. 88–89.

5. Пахомов А. А., Мостахова Т. С. Арктические территории: проблемы развития и освоения (на примере Республики Саха (Якутия)) // Экономика востока России. 2014. № 2. С. 33–42.

6. Черняго Л. С., Бойкова Д. Н. Техногенная трансформация экосистем Севера в районах нефтедобычи // Разведка и охрана недр. 2012. № 7. С. 30–32.

7. Солодовников А. Ю., Хатту А. А. Воздействие нефтегазодобычи на окружающую среду в Тюменской области: роль и значение экологического менеджмента в решении экологических проблем // Региональная экология. 2010. № 4(30). С. 86–96.

8. Юдахин Ф. Н., Губайдуллин М. Г., Коробов В. Б. Экологические проблемы при освоении минерально-сырьевых ресурсов Архангельской области // Геоэкология. 2004. № 3. С. 195–206.

9. Литвинова А. А., Игнатьева М. Н., Косолапов О. В. К методическому обеспечению прогнозирования экологических последствий воздействия добычи нефти и газа в северных регионах // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 7. С. 70–76.

10. Тишков В. А., Новикова Н. И., Пивнева Е. А. Коренные народы российской Арктики // Вестник РАН. 2015. Т. 85. № 5–6. С. 491–500.

11. Логинов В. Г., Игнатьева М. Н., Балашенко В. В. Этносоциоэкосистемный подход к оценке жизнедеятельности коренных малочисленных народов Севера // Экономика региона. 2018. Т. 14(3). С. 896–913.

12. Логинов В. Г. Социально-экономическая оценка развития природно-ресурсных районов Севера. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2007. 311 с.

13. Красовская Т. М. Природопользование Севера России. М.: ЛКИ, 2008. 270 с.

14. Логинов В. Г., Игнатьева М. Н., Балашенко В. В. Вред, причиненный ресурсам традиционного природопользования и его экономическая оценка // Экономика региона. 2017. Т. 13(2). С. 396–409.

15. Новоселов А. Л., Потравный И. М., Новоселова И. Ю., Чавез Фарейра К. Й. Механизм реализации инвестиционных проектов экологической направленности на основе долевого финансирования // Экономика региона. 2018. Т. 14(4). С. 1488–1497.

16. Крюков В. А., Токарев А. Н. Взаимосвязь активов и организационной структуры в нефтяной промышленности: региональные аспекты // Экономика региона. 2018. Т. 14(4). С. 1076–1087.

17. Ерохина Е. А. Коренные малочисленные народы и добывающие компании на Обском Севере: сотрудничество или конфликт // ЭКО. 2018. С. 81–92.

18. Горбунов А. С. Проблемы и пути совершенствования социально-экономического развития коренных народов Севера в Ханты-Мансийском автономном округе–Югре // Бизнес в законе. Международный экономико-юридический журнал. 2010. № 4. С. 349–351.

19. Модернизация биоресурсной экономики северного региона / Т. Е. Дмитриева [и др.]. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2018. 212 с.

20. Юдин В. И. Государственная политика России в отношении коренных малочисленных народов Севера: социально-политический анализ // Власть. 2012. № 2. С. 40–44.

21. Василькова Т. Н., Евай А. В., Мартынова Е. П., Новикова Н. И. Коренные малочисленные народы и промышленное развитие Арктики (этнологический мониторинг в Ямало-Ненецком автономном округе). Москва–Шадринск: Шадринский Дом Печати, 2011. 268 с.

Поступила в редакцию 25 августа 2019 года

Сведения об авторах:

Логинов Владимир Григорьевич – доктор экономических наук, доцент, заведующий сектором регионального природопользования и геоэкологии Института экономики УрО РАН. E-mail: log-wg@rambler.ru

Игнатьева Маргарита Николаевна – доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики и менеджмента Уральского государственного горного университета, ведущий научный сотрудник сектора регионального природопользования и геоэкологии Института экономики УрО РАН. E-mail: rinis@mail.ru

Балашенко Валерий Васильевич – кандидат экономических наук, научный сотрудник сектора регионального природопользования и геоэкологии Института экономики УрО РАН. E-mail: bala10@mail.ru

Для цитирования: Логинов В. Г., Игнатьева М. Н., Балашенко В. В. Согласование интересов при освоении нефтегазовых ресурсов северных территорий Российской Федерации // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 97–107 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-97-107
For citation: Loginov V. G., Ignatieva M. N., Balashenko V. V. Alignment of interests when exploiting oil and gas resources in the northern territories of the Russian Federation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 97–107. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-97-107

УДК 332.14;553.04 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-108-124

Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации

Наумов И. В.[1], Красных С. С.[1]*
[1] Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
e-mail: sergeykrasnykh@yahoo.com

Реферат

Целью работы *является исследование и моделирование межрегиональных взаимосвязей в развитии минерально-сырьевого комплекса РФ и определение основных векторов их развития для реализации Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 года.*

Методология *исследования заключается в использовании инструментов пространственной эконометрики, а именно пространственной автокорреляции субъектов РФ по основным направлениям развития минерально-сырьевого комплекса.*

Результаты. *Проведенный пространственный анализ взаимосвязи регионов в процессах развития минерально-сырьевого комплекса с использованием автокорреляции по методике Морана позволил установить в РФ перспективные центры по добыче нефти и газа (Республика Саха, Сахалинская, Томская, Астраханская, Самарская, Оренбургская области), золота и металлических руд (Красноярский, Забайкальский и Камчатский край, Республика Бурятия и Кемеровская область), угля (республики Коми, Саха и Бурятия, Новосибирская область, Красноярский край), не учтенные Стратегией пространственного развития РФ на период до 2025 года в качестве приоритетных минерально-сырьевых центров.*

Выводы. *Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года в качестве приоритетных территорий пространственного развития минерально-сырьевого комплекса рассматривает только республики Саха (Якутия), Коми и Татарстан, Красноярский, Хабаровский край, Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий, Чукотский автономные округа, Тюменскую, Кемеровскую, Иркутскую, Амурскую, Магаданскую и Сахалинскую области. При этом совершенно игнорируется развитие минерально-сырьевого комплекса части регионов Южного, Уральского и Сибирского макрорегионов. Территориальные системы, образующие Уральский макрорегион, имеют высокие показатели уровня добычи полезных ископаемых и являются перспективными минерально-сырьевыми центрами страны, обладающими для этого всеми необходимыми ресурсами и тесными связями с другими регионами по переработке добываемого сырья.*

Ключевые слова: *межрегиональные взаимосвязи; минерально-сырьевой комплекс РФ; пространственная автокорреляция; Стратегия пространственного развития РФ до 2025 года.*

Особенности пространственного развития минерально-сырьевого комплекса в России. Добыча и переработка минеральных ресурсов является одной из самых доходных отраслей промышленности, а сами минерально-сырьевые ресурсы – важнейшим национальным достоянием и значимой статьей экспорта большинства стран. Во многих из них развитие минерально-сырьевого комплекса относится к числу важнейших приоритетных общенациональных направлений [1]. К таким странам относится и Российская Федерация. Доминирование добычи сырой нефти и природного газа в структуре ее минерально-сырьевого комплекса объясняется огромными запасами данного сырья. По запасам газа Россия занимает первое место в мире – более 32 % – и обеспечивает 30 % его мировой добычи. Запасы нефти составляют почти 13 %, угля – 11 % от мировых разведанных

запасов. По запасам угля Россия занимает третье место в мире после США и Китая; по разведанным запасам железных руд – первое место; меди – третье место в мире после Чили и США. [2].

Для большинства видов полезных ископаемых характерна неравномерность распределения запасов и объектов добычи по территории страны. Так, запасы нефти сосредоточены главным образом в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции – в ХМАО и ЯНАО (около 70 % запасов), частично в Волго-Уральской (Татарстан, Башкортостан, Удмуртия) и Тимано-Печорской (Республика Коми). На этих же территориях сосредоточено почти 90 % добычи нефти [3]. Россия обладает значительной минерально-сырьевой угольной базой, однако разведанные запасы высококачественных коксующихся углей локализуются только в Кузнецком (Кемеровская область), Канско-Ачинском (Красноярский край, Кемеровская и Иркутская область), Печорском (Республика Коми) и Южно-Якутском (Якутия) бассейнах. Крупные угольные бассейны Тунгусский (Красноярский край, Якутия и Иркутская область), Ленский и Зырянский (Якутия), расположенные в регионах со слаборазвитой инфраструктурой, остаются невостребованными, 70 % российских запасов и добычи углей обеспечивают Кузнецкий и Канско-Ачинский бассейны. Для регионов Центральной России и Урала уголь является дефицитным. При всей неравномерности распределения нефтегазоносные и угольные бассейны занимают весьма значительные территории.

Месторождения твердых полезных ископаемых и отдельных их видов занимают несопоставимо меньшие площади. Запасы многих видов твердых полезных ископаемых сосредоточены лишь в нескольких или даже единичных федеральных округах и субъектах РФ: уран – Забайкальский край и Республика Бурятия (95 % российских запасов), железные руды – Белгородская и Курская области (67 %), хромовые руды – Республика Карелия, Мурманская область (67 %), марганцевые руды – Кемеровская область, Красноярский край (70 %), титан – Республика Коми (67 %) и Забайкальский край (25 %), цирконий – Забайкальский край, Томская область, Республика Тыва (90 %), медь – Красноярский и Забайкальский край (70 %), Оренбургская область, Республика Башкортостан (16 %), свинец – Красноярский край, Республика Бурятия, Забайкальский край (80 %), цинк – Республика Бурятия (70 %), никель – Красноярский край (95 %) [4].

Данные Федеральной службы государственной статистики подтверждают, что крупнейшие месторождения полезных ископаемых сосредоточены в Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Однако, по мнению ряда ученых, перспективными для развития минерально-сырьевого комплекса являются не только указанные макрорегионы. Так, В. Н. Беляев, О. В. Бурый, С. В. Дорошенко и А. Г. Шеломенцев наиболее перспективными с точки зрения развития минерально-сырьевого комплекса видят Дальневосточный федеральный округ (золото, серебро, алмазы, уголь, олово, железо); Сибирский федеральный округ (железо, медь, полиметаллы, золото, серебро, уголь, марганец, редкие металлы); Уральский федеральный округ (железо, хромиты, медь, полиметаллы, золото, серебро, уголь, марганец, редкие металлы, титан, фосфориты); Северо-Западный федеральный округ (хромиты, алмазы, золото, бокситы, титан, молибден); Центральный федеральный округ (железо, уголь, цирконий); Южный федеральный округ (уголь, цирконий, титан, золото); Приволжский федеральный округ (уголь, бокситы, титан, марганец, бариты). О. В. Петров в своем исследовании обращает внимание на наличие в РФ субъектов с высоким и выше среднего уровнем освоения минерально-сырьевой базы (ХМАО и ЯНАО, Ненецкий АО,

Мурманская, Иркутская, Томская, Свердловская, Челябинская области, Республика Саха), а также на субъекты, которые имеют дальнейшие перспективы освоения минерально-сырьевых ресурсов (Чукотский АО, Омская, Новосибирская, Амурская области, Еврейская автономная область).

Большинство крупных месторождений полезных ископаемых в перспективных минерально-сырьевых центрах обладают развитой инфраструктурой, за исключением территорий Крайнего Севера, Западной Сибири, Дальнего Востока, но, по мнению сторонников сырьевой теории роста, в отсталых районах экономический рост обычно начинается с бума в сфере добычи природных ресурсов, который привлекает труд и капитал. По мере продолжения роста прибыли сырьевого сектора реинвестируются в местную инфраструктуру и в отрасли, создающие добавленную стоимость. А также, по мнению некоторых исследователей, освоение МСР определяет развитие всех базовых отраслей российской экономики, способствует созданию новых рабочих мест и является необходимым условием для совершенствования военно-промышленного комплекса государства и создания необходимого стратегического запаса и потенциала; создает необходимые предпосылки для дальнейшего развития инфраструктуры России, укрепления национального присутствия в отдаленных регионах и защиты отечественных геополитических интересов. На основании этого можно заключить: даже не имея достаточной инфраструктуры, данные территории могут считаться перспективными [5].

Однако несмотря на многочисленные исследования, принятая в феврале 2019 года Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года (*Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. № 207-р*) в качестве перспективных территорий пространственного развития минерально-сырьевого комплекса рассматривает только:

– Республику Коми и Татарстан, Красноярский край, Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, а также Тюменскую и Иркутскую области (добыча нефти и природного газа);

– Кемеровскую и Сахалинскую области (добыча угля);

– Иркутскую, Амурскую и Магаданскую области, Хабаровский край, Чукотский автономный округ и Республику Саха (добыча золота и металлических руд).

В данных региональных системах в рамках Стратегии предполагается формирование минерально-сырьевых центров (МСЦ), то есть территорий одного или нескольких муниципальных образований, в пределах которых расположена совокупность разрабатываемых и планируемых к освоению месторождений и перспективных площадей, связанных общей существующей и планируемой инфраструктурой и имеющих единый пункт отгрузки добываемого сырья или продуктов его обогащения в федеральную или региональную транспортную систему. По сути, Стратегией пространственного развития РФ предполагается формирование МСЦ на тех территориях, которые уже долгое время специализируются на добыче полезных ископаемых. При этом игнорируются связанные с ними регионы, в которых добываемые полезные ископаемые обрабатываются, через которые осуществляется их транспортировка и т. д. Значительная часть перспективных в плане развития минерально-сырьевого комплекса территорий Урала осталась без должного внимания (Свердловская, Челябинская, Оренбургская области, Пермский край, Республика Башкортостан). Исследованиями научных сотрудников Института экономики УрО РАН еще в 2012 г. обоснована необходимость формирования МСЦ в данных регионах. Те межрегиональные связи, на важность раз-

вития которых делается акцент в Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 года, к сожалению, не раскрываются.

Несмотря на наличие достаточно широкого спектра работ в области пространственного взаимодействия между региональными системами в Российской Федерации [6–8], проблема исследования межрегиональных взаимосвязей в процессах добычи полезных ископаемых методами пространственного анализа и моделирования не получила должного внимания. Исследование пространственных особенностей развития минерально-сырьевого комплекса, поиск основных центров его концентрации, пространственное моделирование межрегиональных кооперационных связей с данными центрами для реализации Стратегии пространственного развития РФ до 2025 года и стали основными задачами данного исследования.

Методический подход к исследованию межрегиональных взаимосвязей в развитии минерально-сырьевого комплекса РФ. Анализ научной литературы, представленный в работе [8], позволил установить три наиболее используемых теоретико-методических подхода к исследованию межтерриториальных взаимосвязей: пространственное автокорреляционное и авторегрессионное моделирование (пространственная эконометрика), пространственное агент-ориентированное и имитационное моделирование социально-экономических процессов в пространстве на основе межотраслевого баланса. Несмотря на существенное содержательное отличие данных методических подходов, объединяющим их звеном являются формируемые пространственные автокорреляционные и авторегрессионные функциональные взаимосвязи между исследуемыми объектами. Данное исследование показало, что методический подход, предполагающий использование таких инструментов, как пространственная автокорреляция и авторегрессия, является базовым подходом при исследовании взаимосвязей между территориальными системами различного уровня по исследуемым социально-экономическим процессам. Исследование особенностей межрегионального взаимодействия в процессах развития минерально-сырьевого комплекса будет построено с использованием данного инструментария по апробированному в ранней работе авторов алгоритму, основными этапами которого являются:

1. *Исследование структуры анализируемых процессов с использованием регрессионного анализа по методу наименьших квадратов.* Основной целью исследования на данном этапе является анализ и моделирование основных направлений развития минерально-сырьевого комплекса РФ.

2. *Пространственная автокорреляция субъектов РФ по основным направлениям развития минерально-сырьевого комплекса.* Ее исследование позволит установить наличие взаимосвязи между региональными системами по добыче угля, сырой нефти, природного газа, металлических руд, направление данной связи, определить центры локализации процессов добычи указанных природных ископаемых и зоны их влияния. Формируемая на данном этапе диаграмма рассеивания Морана позволит выявить пространственные приоритеты развития минерально-сырьевого комплекса. Проведение пространственной автокорреляции предполагается с использованием методики П. Морана и стандартизированной матрицы расстояний по дорогам между административными центрами субъектов РФ. Исследования авторов показали, что использование других типов матриц расстояний (линейных расстояний, по смежным границам между ними при помощи бинарных переменных) не приводит к кардинально отличающимся результатам от используемой авторами методики.

Данный анализ предполагает:

– расчет глобального индекса автокорреляции регионов I_G [9, 10]:

$$I_G = \frac{N}{\Sigma_i \Sigma_j W_{ij}} \frac{\Sigma_i \Sigma_j W_{ij} \left(x_i - \mu\right)\left(x_j - \mu\right)}{\Sigma_i \left(x_i - \mu\right)^2}, \quad (1)$$

где N – число регионов; W_{ij} – элемент матрицы пространственных весов для регионов i и j; μ – среднее значение показателя; x_i – анализируемый показатель одного региона; x_j – анализируемый показатель другого региона;

– расчет локальных индексов автокорреляции Морана I_{Li} для поиска взаимосвязанных территориальных систем в процессах добычи полезных ископаемых [11, 12]:

$$I_{Li} = N \frac{\left(x_i - \mu\right) \Sigma_i W_{ij} \left(x_j - \mu\right)}{\Sigma_i \left(x_i - \mu\right)^2}; \quad (2)$$

– анализ пространственной автокорреляции между регионами с помощью диаграммы рассеивания Морана (рис. 1), позволяющей распределить исследуемые объекты по четырем категориям (HH, HL, LL, LH) в зависимости от объема добычи полезных ископаемых и особенностей пространственной локализации добычи.

По оси абсцисс диаграммы откладываются стандартизированные Z-значения исследуемого показателя, а по оси ординат – значения пространственного фактора W_z [13]. Согласно данной диаграмме территории с высокой концентрацией объемов добычи полезных ископаемых, так называемые «полюса роста», находятся в квадранте HL. Однако к ним предлагаем относить не все территории, попавшие в данную категорию, а только те, значение локального индекса автокорреляции которых находится выше верхней границы разброса отклонения его значений, оцененных по всем регионам:

$$I_{Li} > \left(\overline{I}_{Li} + \sqrt{\frac{\Sigma \left(I_{Li} - \overline{I}_{Li}\right)^2}{n}} \right). \quad (3)$$

Это позволит отобрать из всей совокупности региональных систем, попавших в данный квадрант, территории, обладающие действительно высокими объемами добычи полезных ископаемых, являющиеся полюсами роста для других территориальных систем.

Согласно методологии пространственной автокорреляции Морана объекты, располагающиеся в квадрантах HH и LH, являются взаимосвязанными с выявленными полюсами роста (зоной взаимовлияния). Однако опыт использования данного инструмента показывает, что в данные категории территориальных систем часто попадают территории с низкими значениями локальных индексов Морана. Поэтому к действительно взаимосвязанным региональным системам из находящихся в квадрантах HH и LH предлагаем относить только те территории, локальные индексы автокорреляции которых превышают среднее значение. Проверка выявленных межрегиональных взаимосвязей будет осуществляться с помощью корреляционного анализа с использованием временных рядов и построе-

ния карты пространственной автокорреляции региональных систем по основным направлениям развития минерально-сырьевого комплекса с изображением сетевыми линиями взаимосвязанных территорий по локальному индексу Морана (выше среднего уровня).

Результаты исследования межрегиональных взаимосвязей в процессах развития минерально-сырьевого комплекса РФ. Основными направлениями развития минерально-сырьевого комплекса в России, как показало исследование статистических данных, являются добыча угля, сырой нефти и природного газа, металлических руд и прочих полезных ископаемых, таких как алмазы, уран и др. Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах развития данных направлений с помощью пространственной автокорреляции позволило получить следующие результаты (табл. 1).

Рис. 1. Диаграмма рассеивания П. Морана
Fig. 1. Morans catterchart

Рассчитанные глобальные индексы Морана по добыче сырой нефти и природного газа, металлических руд свидетельствуют о наличии тесной взаимосвязи между исследуемыми регионами, а *p*-значения подтверждают статистическую значимость выявленной взаимосвязи (*p*-значения не превышают критическое значение 0,05). Межрегиональная взаимосвязь в процессах добычи угля является не такой тесной, как по нефти, газу и металлическим рудам. Рассмотрим особенности взаимосвязей между региональными системами по выявленным направлениям развития минерально-сырьевого комплекса в РФ. Исследование пространственной автокорреляции между региональными системами по добыче сырой нефти и природного газа позволило выявить территории-полюса роста (квадрант HL), отличающиеся высокими показателями добычи нефти и газа, находящиеся в окружении территорий с низкими показателями их добычи (рис. 2).

К таким территориям были отнесены Республика Саха, Татарстан, Красноярский край, Иркутская, Сахалинская, Томская, Астраханская, Самарская, Оренбургская области. Тюменская область, ХМАО, ЯНАО, Пермский край, Республика Коми, Удмуртия и Башкортостан, граничащие с данной группой регионов, формируют группу регионов с очень высокими объемами добычи сырой нефти и природного газа (квадрант HH). Два региона из этой группы (ХМАО и ЯНАО) являются тесно связанными с регионами из квадранта HL, так как их локальные индексы автокорреляции превышают среднее значение. Рассмотренные регионы с высокими показателями добычи сырой нефти и природного газа оказывают сильное влияние на Свердловскую, Челябинскую, Курганскую, Московскую, Омскую и Тверскую области, республики Хакасия и Бурятия, располагающиеся в квадранте LH. Данные регионы тесно связаны с территориальными системами, входящими в группы HL и HH.

Таблица 1. Результаты пространственной автокорреляции субъектов РФ по добыче сырой нефти и природного газа, металлических руд и угля
Table 1. The results of spatial autocorrelation of constituent entities of the Russian Federation for the extraction of crude oil and natural gas, metal ores and coal

Показатель	Индекс Морана	*z*-оценка	*p*-значение	Дисперсия
Добыча сырой нефти и природного газа	0,415311	7,228838	0,000000	0,003495
Добыча металлических руд	0,109948	2,602297	0,009260	0,002198
Добыча угля	0,024561	1,792169	0,073106	0,000417

Пространственная автокорреляция позволила выявить основные центры добычи нефти и природного газа (Республика Саха, Татарстан, Красноярский край, Иркутская, Сахалинская, Томская, Астраханская, Самарская, Оренбургская области) и тесно связанные с ними регионы (ХМАО, ЯНАО, Тюменская область, Республика Коми, Башкортостан, Удмуртия и Пермский край). Представленные регионы являются перспективными МСЦ в области добычи нефти и газа, поскольку обладают высокими показателями добычи данного вида ископаемых и устойчивыми межрегиональными связями. Стратегия пространственного развития РФ не учитывает регионы, обладающие высоким потенциалом добычи нефти и газа (Республику Саха, Сахалинскую, Томскую, Астраханскую, Самарскую, Оренбургскую области), а также тесные межрегиональные связи центров добычи с другими регионами. Республика Саха имеет на своей территории 34 месторождения углеводородного сырья. По прогнозам ученых, к 2030 г. объем добычи газа составит 35,5 млрд м^3, а нефти – свыше 20 млн т [14]. В Сахалинской области, в частности на Сахалинском шельфе, в настоящее время открыто 6 нефтегазовых месторождений и 2 газовых. Подтвержденные запасы нефти составляют объем более 300 млн т, газа – более 560 млрд м^3 [15]. Томская область имеет на своей территории 131 месторождение углеводородного сырья, из них: 102 – нефтяные месторождения, 21 – нефтегазокондесатное, 8 – газоконденсатные месторождения. При этом 112 месторождений относятся к категории малых. Нераспределенный фонд недр в настоящее время составляет 151,4 км^2. В настоящее время в Томской области, по подсчетам специалистов, разведанность извлекаемых запасов составляет 42 %, в том числе по нефти – 39,6 %, свободному по газу – 44,8 %. Выработанность запасов по нефти составляет 46 %, по свободному газу – 21 %. Начальные суммарные извлекаемые ресурсы составляют 2,4 млрд т условных углеводородов, из них: 1,6 млрд т нефти; 671,6 млрд м^3 свободного газа, 54,8 млн т

конденсата, остальное – растворенный в нефти газ. Начальные разведанные запасы категории А + В + С в Томской области на 1 января 2014 г. составляют: 698,5 млн т нефти, 365, 1 млрд м^3 природного газа, 34,6 млн т конденсата [16]. Ресурсный потенциал углеводородов Астраханской области на суше является самым крупным на европейской территории Российской Федерации. Его размер оценивается в более чем 6 трлн м^3 газа и 1,3 млрд т нефти. Сырьевую базу региона составляют 11 месторождений: 4 газоконденсатных, 4 нефтяных и 3 газовых [17]. В Самарской области числится 280 месторождений нефти, на балансе нефтедобывающих предприятий – 144 месторождения. Извлекаемые запасы природного газа промышленных категорий – 3 млрд м^3. Прогнозные ресурсы пород с кондиционным битумонасыщением составляют 920 млн т. В недрах Оренбургской области разведано более 2500 месторождений 75 видов полезных ископаемых.

Рис. 2. Картографическое изображение диаграммы рассеивания Морана по объему добычи сырой нефти и природного газа по субъектам РФ за 2017 год
Fig. 2. A cartographic image of the Moran dispersal diagram in terms of crude oil and natural gas production by constituent entities of the Russian Federation for 2017

В регионе ежегодно добывается более 17 млн т сырой нефти, что составляет 3,7 % от общероссийского объема нефтедобычи. Предприятия нефтепереработки ежегодно изготавливают более 4 млн т качественных нефтепродуктов, соответствующих мировым требованиям [18]. Данные территории обладают высокими показателями добычи нефти и сырого газа, но ряд территорий, например Сахалинская и Астраханская области, требуют существенных инвестиций для реализации максимального потенциала добычи полезных ископаемых. Связано это в первую очередь с трудностью добычи нефти и сырого газа, в Сахалинской области огромные запасы углеводородов находятся на Сахалинском шельфе, в море, в Астраханской области – на Каспии.

Межрегиональные взаимосвязи в процессах добычи углеводородного сырья обусловлены в первую очередь процессами добычи, транспортировки и переработки нефти и сырого газа. Территории HH, HL являются центрами добычи углеводородного сырья, а регионы LH и LL оказывают услуги по транспортировке нефти, имея на своей территории компрессорные станции, линейные производ-

ственно-диспетчерские станции, нефтеперекачивающие станции и нефтеперерабатывающие заводы.

Расчет и оценка пространственной автокорреляции между субъектами РФ по объемам добычи золота и металлических руд позволили выявить три пространственных центра, кластера добычи данного вида полезных ископаемых: «Северо-западный» (ядром являются Мурманская область и Республика Карелия); «Урало-Приволжский» (ядро формируют Свердловская, Челябинская и Оренбургская области, Республика Башкортостан); «Сибирский-Дальневосточный» (ядром является Кемеровская область), составляющие квадрант HL (рис. 3).

Рис. 3. Картографическое изображение диаграммы рассеивания Морана по объему добычи золота и металлических руд по субъектам РФ
Fig. 3. A cartographic image of the Moran scattering diagram in terms of gold and metal ore production by subjects of the Russian Federation

Урало-Приволжский макрорегион (Свердловская, Челябинская и Оренбургская области, Республика Башкортостан) оказывает сильное влияние на Курганскую и Тюменскую области, входящие в квадрант LH, образуя с ними единый кластер тесно взаимосвязанных регионов. Дальневосточный кластер добычи золота и металлических руд формирует Кемеровская область и связанные с ней регионы из квадранта HH с высокими значениями добычи данного вида полезных ископаемых (Амурская, Иркутская области, Хабаровский, Красноярский, Забайкальский, Камчатский край, республики Саха и Бурятия, Чукотский автономный округ). Принятая Стратегия пространственного развития РФ в качестве приоритетных территорий пространственного развития минерально-сырьевого комплекса в области добычи золота и металлических руд рассматривает только часть регионов, образующих Дальневосточный кластер (Иркутскую, Амурскую и Магаданскую области, Хабаровский край, Чукотский автономный округ и Республику Саха), игнорируя связанные с ними регионы (Красноярский, Забайкальский и Камчатский край, Республику Бурятия и Кемеровскую область). При реализации пространственной стратегии считаем целесообразным формирование и развитие МСЦ и на территории Уральского и Северо-западного кластеров.

Данные территории обладают существенными запасами золота и имеют огромный ресурсный потенциал, так, например, Красноярский край имеет валовую потенциальную ценность балансовых запасов золота более 10 млрд долл. (с прогнозными ресурсами – более 20 млрд долл.) [19]. На территории Забайкальского края государственным балансом (01.01.2018 г.) учтено 442 месторождения золота с суммарными запасами 1 306 715 кг и забалансовыми – 321 053 кг [20]. Камчатский край имеет разведанные балансовые запасы золота (коренные + россыпные месторождения) в размере 213 573 кг, а минерально-сырьевой потенциал составляет 239 157,5 млн р. [21]. Государственным балансом запасов полезных ископаемых по состоянию на 01.01.2016 г. на территории Республики Бурятия учитываются 313 месторождений золота с балансовыми запасами категории А + В + C_1 – 49 345 кг, категории C_2 – 91 968 кг и забалансовыми – 16 380 кг [22].

Рис. 4. Картографическое изображение диаграммы рассеивания Морана по объему добычи угля по субъектам РФ за 2017 год
Fig. 4. A cartographic image of the Moran dispersal chart by the volume of coal production by subjects of the Russian Federation for 2017

В Кемеровской области Государственным балансом учтено 148 месторождений золота, из них собственно золоторудных 10, россыпных 128, комплексных золотосодержащих 8 и хвостов-отвалов 2. Суммарные запасы золота в них составляют около 162 т. Запасы собственно золоторудных коренных месторождений около 48,5 т (29,9 %), россыпных месторождений – 42,7 т (26,4 %) и комплексных – 70,8 т (43,7 %) [23].

Автокорреляционный анализ процессов добычи угля в субъектах РФ за 2017 г. позволил установить три пространственных центра добычи данного полезного ископаемого (рис. 4): «Южный» (в Ростовской области), «Урало-Приволжский» с ядром в Республике Коми и зоной влияния в ХМАО и «Сибирский-Дальневосточный» (с ядром в Кемеровской области, тесной взаимосвязью с Красноярским и Забайкальским краем, республиками Саха и Хакасия, Новосибирской и Сахалинской областями, а также зоной влияния на территории Сибирского и Дальневосточного макрорегионов).

Исследование межрегиональных взаимосвязей субъектов РФ в процессах добычи угля показало, что приоритетными в данной области МСЦ являются не только Кемеровская и Сахалинская области, признанные таковыми Стратегией пространственного развития РФ на период до 2025 года, но и Республика Коми, Новосибирская область, Красноярский край, республики Саха и Бурятия. Республика Коми имеет на своей территории запасы угля в размере 7048,97 млн т [24]. Новосибирская область по прогнозам к 2025 г. сможет добывать до 28 млн т угля ежегодно. Также решается вопрос с развитием транспортной инфраструктуры, связанный с планами по увеличению угледобычи, в том числе в Сибири и на Дальнем Востоке. Совершенствование логистики, транспортной инфраструктуры для угольной отрасли страны предполагает в том числе расширение пропускной способности БАМа, реконструкцию Транссиба, строительство морских портов с учетом синхронизации сроков их ввода со сроками ввода угледобывающих мощностей. По данным Министерства энергетики в Красноярском крае функционируют 192 угольных предприятия, из которых 121 предприятие производит добычу открытым способом, а 71 – закрытым. Часть Тунгусского угольного бассейна, что находится в Красноярском крае, расположена на севере региона в труднодоступных районах, поэтому он слабо обследован и изучен. Существует мнение, что этот бассейн самый крупный в мире, но на данный момент не проведены соответствующие исследования, подтверждающие это. Добыча угля ведется в Кайерканском, Котуйском, Кокуйском и других менее крупных угольных разрезах. Уголь этого бассейна потребляется близлежащими районами, главным образом Мотыгинским и Норильским районами края [25]. В настоящее время на территории Республики Саха (Якутия) добывается около 12,6 млн т угля (в том числе 11,7 млн т в Южно-Якутском регионе), из которых используется на территории Якутии 2,6 млн т (20,6 %), на экспорт – 5,6 млн т (более 44 %) в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Разведанные запасы угля только в Южной Якутии составляют 4609,5 млн т, в том числе коксующихся марок 4056,5 млн т, энергетических углей 553,0 млн т [26]. Республика Бурятия обладает достаточно большими разведанными запасами каменных и бурых углей, в том числе и для наиболее экономичной открытой отработки, разведано 4 месторождения каменного угля и 10 месторождений бурого угля. По состоянию на 01.01.2010 г. балансовые запасы угля составляют 1722,7 млн т, из них 64 % бурого и 36 % каменного угля. Обеспеченность республики балансовыми запасами угля при добыче 4–5 млн т в год составляет сотни лет. На территории Республики Бурятия выделяются три наиболее крупных по масштабам промышленной угленосности района: Гусиноозерско-Загустайский, Тугнуйский и Тункинский. В настоящее время ни в одном из трех не ведется добыча. Шахта «Гусиноозерская» закрыта в 1997 г., разрез «Хольбоджинский» – в 2000 г. Действующий разрез «Тугнуйский» отрабатывает Олонь-Шибирское месторождение, находящееся в Забайкальском крае. Республика Бурятия обладает достаточно большими разведанными запасами каменных и бурых углей, в том числе для более экономичной открытой отработки [27]. Данные регионы имеют тесные взаимосвязи с остальными территориальными системами Сибири и Востока, которые следует учитывать при реализации пространственной стратегии. Межрегиональные взаимодействия на данных территориях связаны с процессами транспортировки угля. В частности, больше половины добываемого в России угля уходит на экспорт. Так, в 2018 г. на экспорт было отправлено 193,2 млн т угольной продукции, из которых через морские порты было отгружено 64,7 % общего объема вывоза. Наиболее используемыми являются порты восточного и западного направления, что в свою очередь связано с крупнейшими странами-импортерами угля – Республика Корея, Китай и Япония [28].

Крупные угольные месторождения Ростовской области, Республики Коми и Кемеровской области (территории HH) взаимодействуют, соответственно, с территориями Краснодарского края (территория LL), Мурманской и Архангельской области (территории LL) и регионами Дальнего Востока (территории LH). Связано это с процессами транспортировки и отгрузки угля, так как данные территории обладают крупными морскими портами, расположенными сравнительно недалеко от стран-импортеров.

Установленные пространственные взаимосвязи между регионами по основным направлениям развития минерально-сырьевого комплекса в РФ обусловлены не только сложившейся спецификой пространственной локализации разведанных месторождений, но и пространственными особенностями инвестиционной деятельности предприятий в сфере добычи полезных ископаемых. Предыдущие исследования авторов подтверждают выявленные межрегиональные взаимосвязи

Рис. 5. Картографическое изображение диаграммы рассеивания Морана по инвестициям в добычу полезных ископаемых за 2017 год
Fig. 5. A cartographic image of the Moran dispersal chart by the volume of coal production by subjects of the Russian Federation for 2017

по добыче угля, сырой нефти, природного газа, золота и металлических руд с инвестициями в основной капитал в соответствующие регионы [8]. Картографическое изображение диаграммы рассеивания Морана по инвестициям в добычу полезных ископаемых представлено на рис. 5.

Основными центрами притяжения инвестиций в области добычи полезных ископаемых являются такие регионы, как Красноярский край, Республика Саха (Якутия), Коми, Татарстан, Сахалинская, Оренбургская, Самарская области, то есть те регионы, которые определены авторами как перспективные минерально-сырьевые центры РФ. Данные регионы обладают мощным инвестиционным потенциалом для развития минерально-сырьевого комплекса и тесно связаны с другими регионами, обладающими инвестиционными ресурсами для прогрессивного развития отрасли добычи полезных ископаемых (ХМАО, ЯНАО, Тюменской, Кемеровской и Иркутской областями). Такая же взаимосвязь между регионами прослеживается и по показателям добычи полезных ископаемых. Несмотря на то что

в данных регионах ведется добыча полезных ископаемых, осуществляются инвестиции в разработку месторождений, ряд указанных регионов не вошел в список перспективных территорий формирования минерально-сырьевых центров по Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 года.

Считаем, что при реализации Стратегии пространственного развития РФ на период до 2025 года необходимо помимо закрепленных в качестве приоритетных регионов учитывать и связанные с ними территориальные системы, входящие в квадрант НН диаграммы рассеивания Морана с локальным индексом автокорреляции выше среднего по субъектам РФ. Данные территориальные системы обладают высокими значениями объемов добычи полезных ископаемых, инвестиций в основной капитал и сложившейся инфраструктурой, межрегиональными взаимосвязями с регионами квадранта LH.

Заключение. Проведенный пространственный анализ взаимосвязи регионов в процессах развития минерально-сырьевого комплекса с использованием автокорреляции по методике Морана позволил установить группы взаимосвязанных регионов по добыче полезных ископаемых:

– *в области добычи сырой нефти и природного газа*: «Приволжский» (республики Татарстан, Коми, Удмуртия и Башкортостан, Пермский край, Самарская, Оренбургская области), «Уральский» (ХМАО, ЯНАО, Тюменская область), «Дальневосточный» (Республика Саха, Красноярский край, Иркутская, Сахалинская, Томская, Астраханская области);

– *в области добычи угля*: «Южный» (Ростовская область), «Уральский» (Республика Коми), «Сибирский-Дальневосточный» (Кемеровская, Новосибирская и Сахалинская области, Красноярский и Забайкальский край, республики Саха и Хакасия);

– *в области добычи золота и металлической руды*: «Северо-западный» (Мурманская область и Республика Карелия), «Урало-Приволжский» (Свердловская, Челябинская и Оренбургская области, Республика Башкортостан), «Сибирский-Дальневосточный» (Кемеровская, Амурская, Иркутская область, Хабаровский, Красноярский, Забайкальский, Камчатский край, республики Саха и Бурятия, Чукотский автономный округ).

Принятая в феврале 2019 г. Стратегия пространственного развития РФ на период до 2025 года в качестве приоритетных территорий пространственного развития минерально-сырьевого комплекса рассматривает только Республику Саха (Якутия), Коми и Татарстан, Красноярский, Хабаровский край, Ненецкий, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий, Чукотский автономные округа, Тюменскую, Кемеровскую, Иркутскую, Амурскую, Магаданскую и Сахалинскую области. При этом совершенно игнорируется развитие минерально-сырьевого комплекса части регионов Южного, Уральского и Сибирского макрорегионов. Несмотря на декларацию о важности и необходимости развития межрегиональных взаимосвязей в Стратегии пространственного развития РФ, формирование минерально-сырьевых центров на взаимосвязанных с крупнейшими центрами добычи полезных ископаемых территориях Стратегией не предполагается.

При реализации Стратегии пространственного развития, формирования и развития минерально-сырьевых центров важным является развитие и укрепление кооперационных связей с регионами, входящими в квадрант НН, так как данные территориальные системы отличаются высокими темпами и объемами добычи полезных ископаемых и окружены похожими по результатам развития территориями. Так, например, перспективным макрорегионом в области добычи сырой нефти и природного газа является Уральско-Сибирский макрорегион (кластер), который формируют Свердловская, Тюменская, Челябинская, Курганская обла-

сти, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа. Формирование и развитие минерально-сырьевых центров является сложной и важной задачей, реализация которой потребует развития существующих кооперационных взаимосвязей между территориальными системами.

Статья подготовлена в соответствии с планом НИР лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики УрО РАН на 2019 год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чан Т. Х., Егорова М. С. Минерально-сырьевая база России. Влияние минерально-сырьевого комплекса на экономику страны // Молодой ученый. 2015. № 11.4. С. 226–229.

2. Чуйков А. Век минерального сырья // Аргументы недели. 2015. № 33. С. 3.

3. Петров О. В., Татаркин А. И. Инновационная модель расширенного воспроизводства минерально-сырьевой базы Российской Федерации // Стратегия выделения и ресурсное обеспечение минерально-сырьевых центров на территории Российской Федерации: круглый стол. 25–26 ноября 2010 г. Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2010. С. 29–37.

4. Кимельман С. А., Неженский И. А. Минерально-сырьевой потенциал Российской Федерации в вещественном и стоимостном выражении // Открытое образование. 2011. № 2-2. С. 257–260.

5. Петров О. В. Об эффективном использовании минерально-сырьевого потенциала недр России // Вестник ЧелГУ. 2010. № 2. С. 20–28.

6. Рапаков Г. Г., Лебедева Е. А., Горбунов В. А., Абдалов К. А., Мельничук О. В. Анализ пространственных кластеров и идентификация выбросов с помощью геоинформационных технологий // Вестник Череповецкого государственного университета. 2018. № 5(86). С. 25–35.

7. Балаш В. А., Файзлиев А. Р. Пространственная корреляция в статистических исследованиях // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2008. № 4 (23). С. 122–125.

8. Наумов И. В. Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах формирования инвестиционного потенциала экономического роста территорий методами пространственного моделирования // Экономика региона. 2019. № 3. С. 720–735.

9. Moran P. Notes on continuous stochastic phenomena // Biometrika. 1950. No. 37(1/2). P. 17–23. https://doi. org/10.2307/23321 42 1950

10. Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA // Geogr. Anal. 1995. No. 27(2). P. 93–115. https://doi. org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb003 38.x

11. Geary R. The contiguity ratio and statistical mapping // Inc. Stat. 1954. No. 5(3). P. 115–146. https://doi. org/10.2307/29866 45

12. Anselin L. The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association // In: Spatial Analytical Perspectives on Gis in Environmental and Socio-Economic Sciences. 1996. P. 111–125.

13. Damodar N., Gujarati. Basic econometrics. The McGraw-Hill Companies. New York. 2004. No. 4. P. 1002.

14. Коржубаев А. Г., Филимонова И. В., Мишенин М. В. Современная стратегия комплексного освоения ресурсов нефти и газа Востока России // Бурение и нефть. 2011. № 11. С. 24–28.

15. Меткин Д. М. Экономическая оценка углеводородных месторождений шельфа о. Сахалин // Записки Горного института. 2007. Т. 173. С. 184–187.

16. Шарф И. В., Гринкевич Л. С. Оценка потенциала добычи трудноизвлекаемых запасов нефти Томской области // Экономика региона. 2016. № 1. С. 201–210.

17. Тараскина Ю. В. Топливно-энергетический комплекс Астраханской области: состояние и перспективы развития // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Экономика». 2011. № 1. С. 117–123.

18. Аралбаева Г. Г., Аралбаев З. Т. Тенденции развития нефтегазовой промышленности в Оренбургской области // Вестник ОГУ. 2014. № 4 (165). С. 159–164.

19. Ашихмин А. А., Погонин В. В. Разработка механизмов стимулирования инвестиций в проекты освоения месторождений золота Красноярского края // ГИАБ. 1999. № 4. С. 177–179.

20. Корчагина Д. А. Состояние и прогноз развития минерально-сырьевой базы золота Забайкальского края // Отечественная геология. 2019. № 4. С. 3–13.

21. Ширкова Е. Э., Ширков Э. И., Дьяков М. Ю. Природно-ресурсный потенциал Камчатки, его оценка и проблемы использования в долгосрочной перспективе // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2014. № 35. С. 5–21.

22. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2016 года. Вып. 29. Золото. Т. VII. Сибирский Федеральный округ. Ч. 7. Республика Бурятия. М., 2016. С. 180.

23. Черных А. И., Кураев А. А. Состояние и перспективы освоения минерально-сырьевой базы золота Кемеровской области // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2010. № 3. С. 10.

24. Калинин Е. П. Минерально-сырьевой потенциал Республики Коми на современном этапе // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 6. С. 10–17.

25. Власенко А. В., Скрябин В. В., Пацук О. В. Состояние и перспективы угледобывающей промышленности в Красноярском крае // Проблемы современной экономики и менеджмента: сб. матер. I Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 35–40.
26. Голубенко А. В., Новиков М. В. Перспективы использования угля в топливно-энергетическом комплексе Республики Саха (Якутия) // ГИАБ. 2009. № 12. С. 495–502.
27. Тубчинов Б. Н., Ширапова С. Д. Перспективы использования бурого угля в Республике Бурятия, особенности современного этапа развития естественных и технических наук: сб. науч. трудов по матер. Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Е. П. Ткачевой. 2018. С. 191–193.
28. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2018 года // Уголь. 2019. № 3 (1116). С. 64–79.

Поступила в редакцию 5 сентября 2019 года

Сведения об авторах:

Наумов Илья Викторович – кандидат экономических наук, руководитель лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики УрО РАН. E-mail: ilia_naumov@list.ru
Красных Сергей Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории моделирования пространственного развития территорий Института экономики УрО РАН. E-mail: sergeykrasnykh@yahoo.com

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-108-124

The research of interregional relationships in the development of the mineral resource complex of the Russian Federation

Ilia V. Naumov[1], Sergei S. Krasnykh[1]
[1] Institute of Economics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
The research aims *to study and model inter-regional interconnections in the development of mineral resource complex of the Russian Federation and determine the main vectors of their development for the implementation of RF Spatial Development Strategy for the period up to 2025.*
The research methodology *is based on spatial econometrics tools application, such as: spatial autocorrelation of RF subjects in the main areas mineral resource complex development.*
Results. *The spatial analysis of regions interconnection in the development of the mineral resource complex with the use of autocorrelation according to Moran method allowed us to establish RF promising centers for oil and gas production (Sakha, Sakhalin, Tomsk, Astrakhan, Samara, and Orenburg regions), gold and metal ore (Krasnoyarsk, Transbaikal and Kamchatka regions, the Republic of Buryatia and the Kemerovo region), coal (Komi Republic, Sakha and Buryatia, Novosibirsk Region, Krasnoyarsk Krai). These territories are not considered by the Strategy for Spatial Development of the Russian Federation for the period up to 2025 as priority mineral resource centers.*
Summary. *The spatial development strategy of the Russian Federation for the period until 2025 considers only the Republic of Sakha (Yakutia), Komi and Tatarstan, Krasnoyarsk, Khabarovsk Territory, Nenetsky, Khanty-Mansiysk and Yamalo-Nenets, Chukotka Autonomous Districts, Tyumen, Kemerovo, Irkutsk, Amur, Magadan and Sakhalin regions as priority territories for the spatial development of the mineral resource complex. At the same time, mineral resources development of a number of regions in the Southern, Ural and Siberian macro-regions is ignored. The territorial systems that make up the Ural macro-region have high levels of mineral production and are promising mineral resource centers of the country, which have all the necessary resources and close ties with other regions in processing the extracted raw materials.*

Key words: *interregional relationships; mineral and raw materials complex of RF; spatial autocorrelation; RF Spatial Development Strategy until 2025.*

Acknowledgements. The research has been carried out in accordance with the research plan of the Laboratory for Spatial Development of Territories, Institute of Economics UB RAS for 2019.

REFERENCES

1. Chan T. H., Egorova M. S. Russian mineral base. The influence of the mineral resources sector on the country's economy. *Molodoj uchenyj = Young Scientist*. 2015; 11.4: 226–229. (In Russ.)
2. Chuikov A. The century of the minerals. *Argumenty nedeli = Arguments of the Week*. 2015; 33: 3. (In Russ.)
3. Petrov O. V., Tatarkin A. I. An innovative model for the expanded reproduction of the mineral resource base in the Russian Federation. In: *The strategy of finding and resourcing mineral resources centers at the territory of the Russian Federation: round table, 25–26 November, 2010*. St. Petersburg: VSEGEI Publishing; 2010. p. 29–37. (In Russ.)

4. Kimelman S. A., Nezhenskii I. A. Mineral resources potential of the Russian Federation in material and monetary terms. Otkrytoe obrazovanie = Open Education. 2011; 2-2: 257–260 (In Russ.)
5. Petrov O. V. On the effective use of mineral resources potential of Russian subsoil. *Vestnik ChelGU = Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2010; 2: 20–28. (In Russ.)
6. Rapakov G. G., Lebedeva E. A., Gorbunov V. A., Abdalov K. A., Melnichuk O. V. Spatial cluster analysis and emission detection by using geoinformation technology. Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Cherepovets State University. 2018; 5 (86): 25–35. (In Russ.)
7. Balash V. A., Faizliev A. R. The spatial correlation in statistical researches. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsialno-ekonomicheskogo universiteta = Bulletin of the Saratov State Socio-Economic University*. 2008; 4 (23): 122–125 (In Russ.)
8. Naumov I. V. Investigation of the interregional relationships in the processes of shaping the territories' investment potential using the methods of spatial modelling. *Ekonomika regiona = Economic of Region*. 2019; 3: 720–735. (In Russ.)
9. Moran P. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*. 1950; 37(1/2): 17–23. Available from: https://doi. org/10.2307/23321 42 1950
10. Anselin L. Local indicators of spatial association—LISA. *Geogr Analis*. 1995; 27(2): 93–115. Available from: https ://doi. org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb003 38.x
11. Geary R. The contiguity ratio and statistical mapping. *Inc Stat*. 1954; 5(3): 115–146. Available from: https ://doi. org/10.2307/29866 45
12. Anselin L. The Moran Scatterplot as an ESDA Tool to Assess Local Instability in Spatial Association. *In Spatial Analytical Perspectives on Gis in Environmental and Socio-Economic Sciences*. 1996. p.111–25.
13. Damodar N., Gujarati. Basic Econometrics. *The McGraw-Hill Companies*. New York. 2004; 4: 1002.
14. Korzhubaev A. G., Filimonova I. V., Mishenin M. V. Modern strategy of integrated development of oil and gas resources of the Russian East. *Burenie i neft = Drilling and oil*. 2011; 11: 24–28 (In Russ.)
15. Metkin D. M. Economic evaluation of hydrocarbon deposits of Sakhalin shelf. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2007. 184–187. (In Russ.)
16. Sharf I. V., Grinkevich L. S. Assessing the Extraction Potential of Tomsk Region's Difficult-To-Obtain Oil Reserves. *Ekonomika regiona = Economy of Region*. 2016; 1: 201–210. (In Russ.)
17. Taraskina Y. V. Fuel and energy complex of the astrakhan region: state and prospects of its development. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, nauchnyj zhurnal seriya «Ekonomika» = Bulletin of the Astrakhan State Technical University, a scientific journal series "Economics"*. 2011; 1: 117–123. (In Russ.)
18. Aralbaeva G. G., Aralbaev Z. T. Trends in the development of oil and gas industry in the orenburg region. *Vestnik OGU = Bulletin of Orenburg State University*. 2014; 4(165): 159–164 (In Russ.)
19. Ashihmin A. A., Pogonin V. V. Developing the mechanisms of stimulating investments into the projects of goldfields development of Krasnoyarsk Krai. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 1999; 4. (In Russ.)
20. Korchagina D. A. Trans-Baikal area gold mineral base status and development forecast. *Otechestvennaya geologiya = National Geology*. 2019; 4: 3–13. (In Russ.)
21. Shirkova E. E., Shirkov E. I., Diakov M. Iu. Kamchatka's natural resource potential assessment and the problems of its use in the long term. *Issledovaniya vodnyh biologicheskih resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana = Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the Northwest Pacific*. 2014; 35: 5–21. (In Russ.)
22. *State register of mineral resources in the Russian Federation as of January 2016. Issue 29. Gold. Vol. 7. Siberian Federal District. Part. 7. The Republic of Buryatia*. Moscow; 2016. (In Russ.)
23. Chernykh A. I., Kuraev A. A. State and prospects of gold mineral resource base development in the Kemerovo region. *Geologiya i mineralno-syrievye resursy Sibiri = Geology and mineral resources of Siberia*. 2010; 3: 10. (In Russ.)
24. Kalinin E. P. Mineral and raw materials potential of the Republic of Komi at the present time. *Vestnik Instituta geologii Komi NC UrO RAN = Bulletin of the Institute of Geology of Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS*. 2010; 6: 10–17. (In Russ.)
25. Vlasenko A. V., Skriabin V. V., Patsuk O. V. The state and prospect of coal-mining industry in the Krasnoyarsk Krai. *Problemy sovremennoj ekonomiki i menedzhmenta = Problems of modern economics and management*. 2017; 35–40 (In Russ.)
26. Golubenko A. V., Novikov M. V. Perspectives for the use of coal in fuel and energy complex of the Republic of Sakha (Yakutia). *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2009; 12: 495–502. (In Russ.)
27. Tubchinov B. N., Shirapova S. D. *The prospects of using brown coal in the Republic of Buryatia, the features of the modern stage of natural and engineering sciences development: Proceedings of International science to practice conference*. 2018: 191–193. (In Russ.)
28. Tarazanov I. G. Russia's coal industry performance for January – December, 2018. *Ugol = The Coal*. 2019; 3(116): 64–79. (In Russ.)

Received 5 September 2019

Information about authors:

Ilia V. Naumov – PhD (Economics), Supervisor of the Laboratory for Spatial Development of Territories, Institute of Economics UB RAS. E-mail: ilia_naumov@list.ru
Sergei S. Krasnykh – senior researcher, Laboratory for Spatial Development of Territories, Institute of Economics UB RAS. E-mail: sergeykrasnykh@yahoo.com

Для цитирования: Наумов И. В., Красных С. С. Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 108–124. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-108-124
For citation: Naumov I. V., Krasnykh S. S. The research of interregional relationships in the development of the mineral resource complex of the Russian Federation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 108–124 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-108-124

УДК 622.231 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-125-132

Vibratory conveying equipment with steady elliptical oscillations

Andrei M. Shikhov[1]*, Sergei A. Rumiantsev[1], Evgenii B. Azarov[1]
[1] Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia
e-mail: usart@inbox.ru

Abstract

Introduction. *Vibratory conveying equipment is widely used in many branches of mining industry at various enterprises (concentrating mills, transfer points at railway stations, steelworks, etc.). Design of vibratory conveying equipment with new qualities requires a more detailed analysis of oscillation parameters, in particular, oscillation parameters of machine working member.*

Research aim *is to investigate the oscillation parameters of vibratory conveying equipment with three vibration exciters by means of vibratory equipment dynamics mathematical model.*

Methodology. *The nature of working member movements is studied by means of vibratory equipment dynamics mathematical model. The model is based on the numerical solution to a system of differential equations governing the dynamics of vibratory conveying equipment with n-unbalance vibration exciters.*

Results. *The present article investigates the parameters of oscillations and the features of the center-of-mass motion in vibratory conveying equipment with three vibration exciters placed on one working member. As a result of numerical experiment, the impact of location of vibration exciters and eccentric torque of unpaired vibration exciters on the working member vibration parameters has been determined. The dependence between the direction of mass center trajectory and the direction of an unpaired vibration exciter rotation is studied.*

Summary. *The quoted results of theoretical studies through a mathematical model show that the addition of a third vibration exciter to vibratory conveying equipment design qualitatively influences working member vibration parameters: by changing the position and eccentric torque of an unpaired vibration exciter, it is possible to get the various options of working member vibrations. Consequently, the study of new types of vibratory equipment is a very promising direction.*

Key words: *vibratory conveying equipment; vibrating screen; self-synchronization; vibration exciter; dynamics; mathematical model.*

Introduction. Vibratory conveying equipment is widely used in many branches of mining industry at various enterprises (concentrating mills, transfer points at railway stations, steelworks, etc.) which is due to a variety of advantages: high capacity, low energy intensity of the process, simple construction, and high availability [1–5].

Design of vibratory conveying equipment with new qualities requires a more detailed analysis of oscillation parameters, in particular, oscillation parameters of machine working member.

The machine represents a single solid body, a working member, which is attached on springs enabling it to carry out plane-parallel motion. Special devices, vibration exciters, generate the motion of the working member. Mechanical unbalance vibrators are used as vibration exciters [6–9].

Vibratory equipment with unbalanced rotors attached to the working member and generated by electric motors operate in synchronization under particular circumstances (despite a possible difference between the parameters of working members and electric motors as well as the absence of kinematic links between their rotors). In this case, the

synchronization of rotors, which are not kinematically interconnected and are generated by two independent electric motors, is reached naturally due to the natural properties of the oscillatory system itself.

Works [10, 12] consider the dynamics of vibratory conveying equipment with independently rotating vibration exciters which base their operation on the phenomenon of vibration exciters self-synchronization. The main attention of these work is focused on the study of transient dynamic processes leading (or not leading) to vibration exciters self-synchronization which ensures steady and reliable operation of vibratory equipment.

In this type of machines, synchrony and the required relations between the rotor phases of the two vibration exciters are achieved due to the adaptability of the synchronization phenomenon, discovered by A. N. Kosolapov [13].

The adaptability is manifested in that under certain conditions the direction of the resultant exciting forces generated by the vibration exciters "controls" the position of the center of inertia of the body it is attached to.

The present article investigates the parameters of oscillations and the features of the center-of-mass motion in vibratory conveying equipment with three vibration exciters placed on one working member.

The method of numerical experiment. The nature of working member motion is investigated with the help of a mathematical model of vibratory equipment dynamics [10, 11]. The model is based on the numerical solution to a system of differential equations governing the dynamics of vibratory conveying equipment with n-unbalance vibration exciters; for the instance with three vibration exciters and non-impact loading, the system is as follows:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \dfrac{1}{M}\left[-k_x\dot{x} - k_{x\varphi}\dot{\varphi} - c_x x - c_{x\varphi}\varphi + \sum\limits_{i=1}^{3} m_i\varepsilon_i\left(\ddot{\varphi}_i \sin\varphi_i + \dot{\varphi}_i^2\cos\varphi_i\right)\right], \\ \ddot{y} = \dfrac{1}{M}\left[-k_y\dot{y} - k_{y\varphi}\dot{\varphi} - c_y y - c_{y\varphi}\varphi + \sum\limits_{i=1}^{3} m_i\varepsilon_i\left(\dot{\varphi}_i^2\sin\varphi_i - \ddot{\varphi}_i\cos\varphi_i\right)\right], \\ \ddot{\varphi} = \dfrac{1}{J}\Big[-k_{x\varphi}\dot{x} - k_{y\varphi}\dot{y} - k_\varphi\dot{\varphi} - c_{x\varphi}x - c_{y\varphi}y - c_\varphi\varphi + \\ + \sum\limits_{i=1}^{3} m_i\varepsilon_i r_i(\dot{\varphi}_i^2\sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - \ddot{\varphi}_i\cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi))\Big], \\ \ddot{\varphi}_i = \dfrac{1}{J_i} I_i(L_i(\dot{\varphi}_i) - R_i(\dot{\varphi}_i)) + \dfrac{m_i\varepsilon_i}{J_i}\ (\ddot{x}\sin\varphi_i - \ddot{y}\cos\varphi_i - g\cos\varphi_i - \\ -r_i\ddot{\varphi}\cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - r_i\dot{\varphi}^2\sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi)\Big], \\ (i = 1,\ \ldots,\ 3). \end{cases}$$

Here x, y, φ, φ_i – the generalized coordinates of the system, where x, y – the coordinates of the center of masses of the vibratory equipment working member in some Cartesian coordinate system, rigidly bound with the base; φ – working member angle of rotation about the axis reestablished in the center of masses; φ_i – angle of rotation of the i-unbalance about an axis of an electric motor; $L_i(\dot{\varphi}_i)$ – the torque of the i-unbalance; $R_i(\dot{\varphi}_i)$ – the rotational resistance torque for the i-unbalance; I_i – the indexes of the rotational direction of the i-unbalance, with the value accepted as 1 for the unbalances rotating in a counterclockwise direction (positive direction), and –1 for the unbalances rotating in a clockwise direction; M – the total mass of

the vibratory equipment (the working body and the unbalances); m_i – the mass of the i-unbalance; J – inertia of the vibratory equipment about the center of masses; J_i – inertia of the i-unbalance about the axes of rotation; ε_i – the radius of gyration of the i-unbalance about the axes of rotation; δ_i – the angle which references the position of the i-unbalance; r_i – the distance between the center of masses and the axes of the i-unbalance; c_x, c_y, c_φ, $c_{x\varphi}$, $c_{y\varphi}$ – the generalized stiffness ratios of elastic supporting elements; k_x, k_y, k_φ, $k_{x\varphi}$, $k_{y\varphi}$ – viscous resistance coefficients; g – gravitational acceleration.

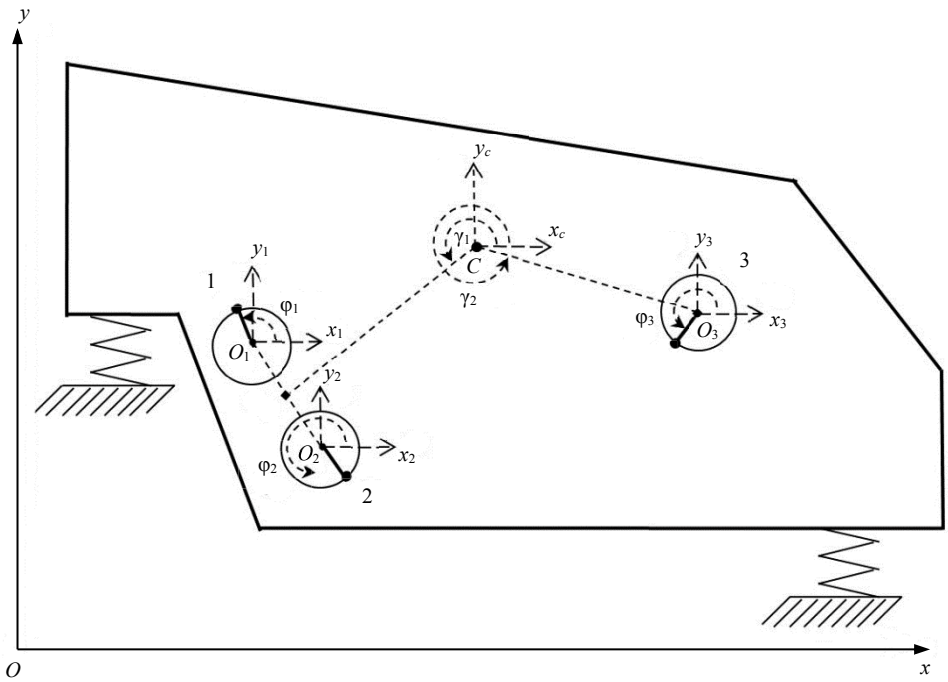


Fig. 1. Scheme of vibratory equipment with three unbalance vibration exciters
Рис. 1. Схема вибромашины с тремя дебалансными вибровозбудителями

The unbalances lay-out diagram shown in fig. 1 was used for the numerical studies.

Fig. 2 presents a graph of behavior of the generalized coordinates of a mechanical system with three vibration exciters within the first 15 seconds after start from the state of rest (fig. 2, *a*) and the trajectory of the center of masses of the working member during stable operation (fig. 2, *b*). Colored lines of a graph correspond to the following generalized system coordinates relative to the initial position: the green line – x (horizontal oscillations of the center of masses); the red line – y (vertical oscillations of the center of masses); and the blue line – φ (the rotational angle of the working member).

Dependence of vibration parameters on the adjustment angles. In order to determine the behavior of vibration parameters of a machine with three vibration exciters when the adjustment members γ_1 and γ_2 are changed, as initial parameters, let us assume that $\gamma_1 = 180°$, $\gamma_2 = 0°$, unbalance 1 rotates in a counterclockwise direction, and unbalances 2 and 3 rotate in a clockwise direction. Working member oscillation dynamics at initial parameters is shown in fig. 2. The arrangement of vibration exciters rotation axes will be changed due to the change of the adjustment angles γ_1 and γ_2. Trajectories of the center of masses of the working member under various values of the adjustment angels are shown in fig. 3.

When the adjustment angle γ_2 of an unpaired vibration exciter is reduced, the ellipse will rotate in the direction of angle alternation ($\gamma_2 = 340°$; $\gamma_2 = 320°$), oscillations of the working member don't change significantly, i. e. remain practically the same as in fig. 2, *a*. When angle γ_2 is reduced by more than 45°, the ellipse stops rotating.

When the angle γ_2 is increased, an oscillation ellipse of a working body will be the same as when angle γ_2 is reduced by the same measures, and the ellipse of motion of the center of masses will be inversely rotated relative to the horizontal axis ($\gamma_2 = 20°$; $\gamma_2 = 40°$).

When the adjustment angle of a pair of vibration exciters γ_1 reduces, the ellipse rotates in the direction of angle alternation by the angle approximately equal to the rotation angle of the axes of the pair ($\gamma_1 = 160°$; $\gamma_1 = 140°$; $\gamma_1 = 120°$). Horizontal oscillations reduce, and the vertical ones increase.

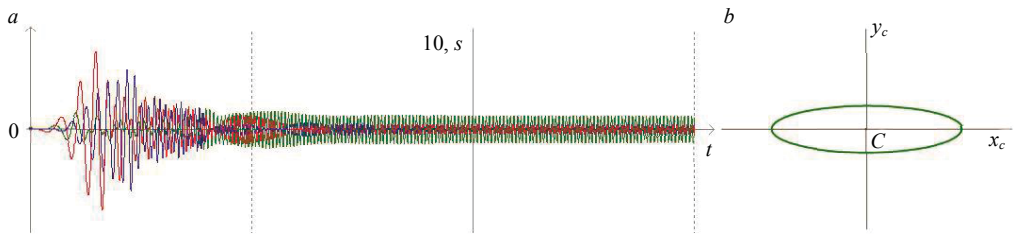


Fig. 2. Vibrations of the working member of vibratory equipment with three vibration exciters:
a – working member oscillations curve; *b* – trajectory of the center of masses
Рис. 2. Вибрации рабочего органа вибромашины с тремя вибровозбудителями:
a – график колебаний рабочего органа; *b* – траектория движения центра масс

When γ_1 angle is increased, the oscillations of the working member will be about the same as when γ_1 angle is reduced by the same measures ($\gamma_1 = 200°$; $\gamma_1 = 220°$; $\gamma_1 = 240°$), and the ellipse of motion of the center of masses, as well as when the axis of an unpaired unbalance vibration exciter is rotated, will be inversely rotated relative to the horizontal axis.

Thus, based on design considerations, it is inefficient to excessively increase the adjustment angle of the unpaired vibration exciter and reduce the adjustment angle of a pair of vibration exciters, because the rise of engines, which generate the vibration exciters, increases. The adjustment angle of a pair of vibration exciters $\gamma_1 = 180°$ should not be kept either, because the engine of each vibration exciter is better to be adjusted on a separate stiff support.

On the authors' opinion, the adjustment angle of an unpaired vibration exciter $\gamma_2 = 330°$ and the adjustment angle of a pair $\gamma_1 = 210°$, will be most optimal. All follow-up studies of this set of experiments were carried out with these exact adjustment angles.

Dependence between the motion of the working member and the eccentric torque of the third vibration exciter. Under the initial parameters the unpaired unbalance was 30 kg and 600 mm radius of gyration, i. e. the eccentric torque ($m\varepsilon$) was 18 kg · m. The parameters of vibrations of vibratory conveying equipment with these values are presented in fig. 2, 3. The influence of eccentric torque change on the trajectory of the center of masses is shown in fig. 4.

When the eccentric torque of the unpaired vibration exciter is reduced ($m\varepsilon = 10$ kg · m), the minor axis of an ellipse is reduced, it becomes more elongated (converges to a line segment) and rotates in a counterclockwise direction, i. e. the effect of the unpaired unbalance of a vibrating exciter on the system is reduced, the oscillations steadily

become the same as the ones of the vibratory conveying equipment with two vibrating exciters.

When the eccentric torque is increased ($m\varepsilon$ = 30 kg · m), the ellipse rotates in a clockwise direction, horizontal oscillations reduce, ellipse becomes more round.

The maximum roundness of an ellipse is achieved when the eccentric torque of the unpaired vibration exciter is numerically equal to the eccentric torque of one of the paired vibration exciters ($m\varepsilon$ = 45 kg · m). In this case, vertical oscillations are about the same as horizontal, with a rather wide inclination angle of ellipse.

It is not necessary to allow too large vertical oscillations, as soon as the conveyed material will be thrown at a great height, and excess energy will be wasted on it, i. e. power consumption increases and the probability of material out-throw beyond the working member increases.

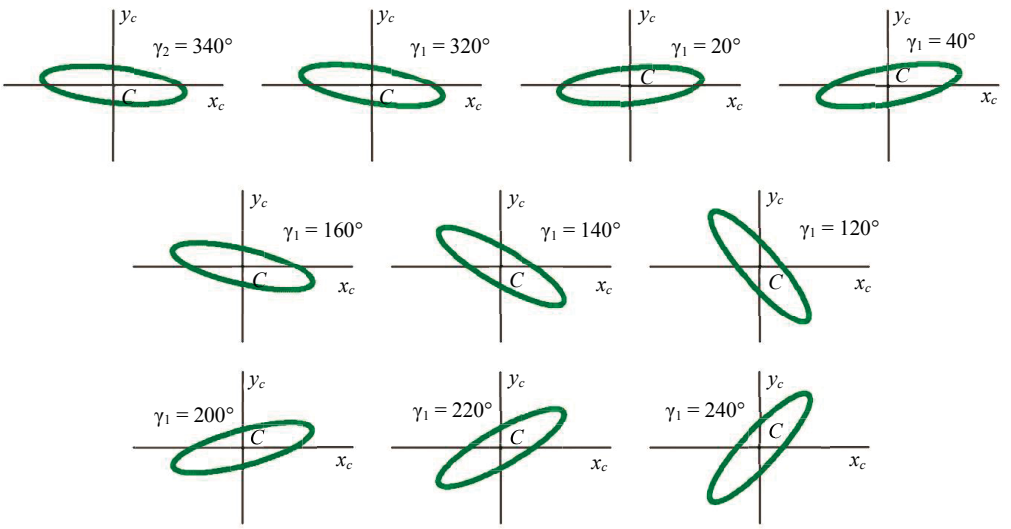


Fig. 3. Trajectories of the center of masses of vibratory equipment working member under various values of adjustment angles γ_1 and γ_2

Рис. 3. Траектории движения центра масс рабочего органа вибромашины при различных значениях установочных углов γ_1 и γ_2

In case the eccentric torque of the unaired vibration exciter is increased, the ellipse will elongate again and will remain rotating in a clockwise direction, and the oscillations will increase significantly.

In the following set of numerical experiments the eccentric torque of the unpaired exciter was accepted as 18 kg · m, with this approach an approximate average thickness of ellipse is achieved.

Dependence between the motion of a working member and the direction of the unpaired vibration exciter rotation. Under the initial conditions, vibration exciter 1 rotates in a counterclockwise direction, and vibration exciters 2 and 3 rotate in a clockwise direction. The character of machine vibration under these parameters is shown in fig. 2.

Change in the direction of an unpaired vibration exciter rotation changes the rotational direction of the ellipse, which characterizes the trajectory of the center of masses. Consequently, it may be concluded that the direction of the unpaired vibration exciter rotation determines the trajectory of the center of masses: ellipse rotates in the same direction as the unpaired vibration exciter.

The parameters of the working member oscillations are not significantly influenced by the direction of the unpaired vibration exciter rotation.

Change in the direction of a pair of vibration exciters rotation does not change the direction of ellipse rotation, oscillation parameters of a working member do not change significantly as well.

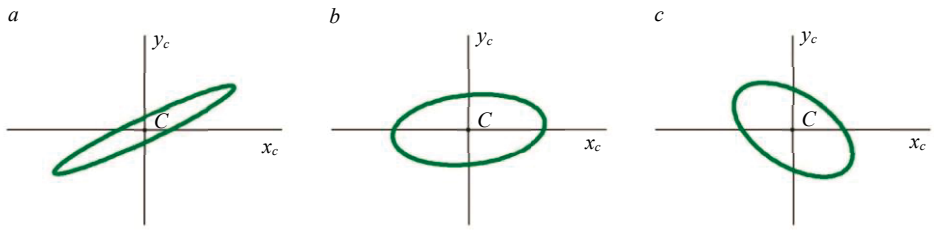


Fig. 4. Trajectories of the center of masses of vibratory equipment working member under various values of eccentric torque $m\varepsilon$:
a – $m\varepsilon$ = 10 kg · m; b – $m\varepsilon$ = 30 kg · m; c – $m\varepsilon$ = 45 kg · m
Рис. 4. Траектории движения центра масс рабочего органа вибромашины при различных значениях эксцентрического момента $m\varepsilon$:
a – $m\varepsilon$ = 10 кг · м; b – $m\varepsilon$ = 30 кг · м; c – $m\varepsilon$ = 45 кг · м

Summary. Addition of the third vibration exciter into the structure of vibratory conveying equipment will therefore qualitatively influence the parameters of its motion (vibration). Elliptical motion of the center of masses can increase the speed of material motion along the working member, consequently, the capacity is improved and the possibility appears to convey along the horizontal plane and the inclined plane in any direction (including material up feed).

Summing up this set of experiments, the following conclusions can made.

Vibration exciters position on the working member influences the vibration parameters of the working member.

When reducing the eccentric torque of the unpaired vibration exciter, ellipse of motion of the center of masses of the vibratory equipment becomes more elongated (converges to a line segment) and rotates in a counterclockwise direction; when the eccentric torque is increased, ellipse becomes more round and rotates in a clockwise direction, horizontal oscillations reduce while the vertical ones increase, and the angle of ellipse inclination increases.

The direction of the unpaired vibration exciter rotation determines the trajectory of the center of masses, and change in the direction of rotation of a pair of vibration exciters does not influence the direction of the trajectory of the center of masses.

REFERENCES

1. Blekhman I. I. *Synchronization of dynamic systems*. Moscow: Nauka Publishing; 1971. (In Russ.)

2. Irvin R. A. Large vibrating screen design-manufacturing and maintenance consideration. *Mining Engineering*. 1984; 36 (9): 1341–1346.

3. Sperling L. Selbstsynchronisation statisch und dynamisch unwuchtiger Vibratoren. *Technische Mechanic*. 1994; 14 (1, 2).

4. Pikovsky A., Rosenblum M., Kurths J. Synchronization: *A universal concept in nonlinear sciences. Cambridge Nonlinear Science*. Series 12. Cambridge University press, 2001. 411 p.

5. Kartavyi A. N. *Vibration units for processing of mineral and technogenic raw materials. Modeling and elements of calculation for criteria of energy and resource efficiency*. Moscow: MSMU Publishing; 2014. (In Russ.)

6. Kosolapov A. N. Periodic solutions of forced oscillations of vibratory conveying equipment working member in view of disturbance load and friction force in supports. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 1989; 11: 103–107. (In Russ.)

7. Afanasiev A. I., Kazakov Iu. M., Suslov D. N., Chirkova A. A. Analysis of overall performance of vibration exciters of resonant vibratory conveying equipment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 1: 71–77. (In Russ.)

8. Afanasiev A. I., Suslov D. N., Chirkova A. A. Assessment of energy efficiency of resonant vibratory conveying equipment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 2: 68–75. (In Russ.)

9. Afanasiev A. I., Suslov D. N. Evaluation of energy efficiency of resonance conveyor vibration exciters. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 1: 126–132. (In Russ.)

10. Afanasiev A. I., Potapov V. Ia., Suslov D. N., Chirkova A. A. Reducing the load of the elastic support of the resonance vibrating conveyor machines. *Izvestiya Uralskogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta = News of the Ural State Mining University*. 2018; 1(49): 85–87. (In Russ.)

11. Rumiantsev S. A., Azarov E. B., Alekseeva O. N., Tarasov D. Iu., Shikhov A. M. Non-linear dynamics of new perspective types of vibration transport machines with selfsinchronized vibration exciters. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod*. 2011; 4 (2): 302–304. (In Russ.)

12. Rumyantsev S., Alexeyeva O., Azarov E., Shihov A. Numerical simulation of non-linear dynamics of vibration transport machines. *Recent Researches in Engineering and Automatic Control*. Spain, 2011. P. 88–92.

13. Azarov E. B., Rumiantsev S. A., Shikhov A. M. Experimental vibration table to study oscillatory system dynamics. *Transport Urala = Transport of the Urals*. 2014; 4: 3–7. (In Russ.)

Received 5 July 2019

Information about authors:

Andrei M. Shikhov – senior lecturer, Department of Bridges and Tunnels, Ural State University of Railway Transport. E-mail: usart@inbox.ru
Sergei A. Rumiantsev – DSc (Engineering), professor of Department of Higher and Applied Mathematics, Ural State University of Railway Transport. E-mail: srumyantsev@usurt.ru
Evgenii B. Azarov – PhD (Engineering), assistant professor of Department of Electric Machinery, Ural State University of Railway Transport. E-mail: eazarov@usurt.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-125-132

Вибротранспортные машины с устойчивыми эллиптическими колебаниями

Шихов А. М.[1], Румянцев С. А.[1], Азаров Е. Б.[1]
[1] Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия.

Реферат

Введение. *Вибротранспортные машины нашли широкое применение во многих отраслях горной промышленности и на различных предприятиях (обогатительные фабрики, перегрузочные пункты железнодорожных станций, металлургические заводы и т. д.). Проектирование вибротранспортных машин с новыми качествами требует более подробного анализа параметров колебаний, в частности параметров колебаний рабочего органа машины.*

Цель работы. *С помощью математической модели динамики вибромашины исследовать параметры колебаний вибротранспортной машины с тремя вибровозбудителями.*

Методика. *Исследование характера движений рабочего органа осуществляется с помощью математической модели динамики вибромашины. В основе модели лежит численное решение системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику вибротранспортных машин с n-дебалансными вибровозбудителями.*

Результаты. *В статье представлено исследование параметров колебаний и особенностей движения центра масс вибротранспортной машины с тремя вибровозбудителями, расположенными на одном рабочем органе. В результате численного эксперимента определено влияние расположения вибровозбудителей и эксцентрического момента непарного вибровозбудителя на параметры вибраций рабочего органа вибромашины. Изучена зависимость направления траектории движения центра масс от направления вращения одиночного вибровозбудителя.*

Выводы. *Приведенные результаты теоретических исследований с помощью математической модели показывают, что добавление третьего вибровозбудителя в конструкцию вибротранспортной машины качественно влияет на параметры вибраций рабочего органа: изменением положения и эксцентрического момента одиночного вибровозбудителя можно получать различные варианты вибраций рабочего органа. Следовательно, изучение новых типов вибромашин с тремя вибровозбудителями является весьма перспективным.*

Ключевые слова: *вибротранспортные машины; вибрационный грохот; самосинхронизация; вибровозбудитель; динамика; математическая модель.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Блехман И. И. Синхронизация динамических систем. М.: Наука, 1971. 654 с.

2. Irvin R. A. Large vibrating screen design-manufacturing and maintenance concideration // Mining Engineering. 1984. Vol. 36. No. 9. P. 1341–1346.

3. Sperling L. Selbstsynchronisation statisch und dynamisch unwuchtiger Vibratoren // Technische Mechanic. 1994. Vol. 14. No. 1, 2.

4. Pikovsky A., Rosenblum M., Kurths J. Synchronization: A universal concept in nonlinear sciences // Cambridge Nonlinear Science. Series 12. Cambridge University press, 2001. 411 p.

5. Картавый А. Н. Вибрационные агрегаты для переработки минерального и техногенного сырья. Моделирование и элементы расчета по критериям энерго- и ресурсоэффективности. М.: МГГУ, 2014. 328 с.

6. Косолапов А. Н. Адаптивное свойство вибрационных машин с самосинхронизирующимися вибровозбудителями // Известия вузов. Горный журнал. 1989. № 11. С. 103–107.

7. Афанасьев А. И., Казаков Ю. М., Суслов Д. Н., Чиркова А. А. Периодические решения вынужденных колебаний рабочего органа вибротранспортной машины с учетом действия возмущающей нагрузки и силы трения в опорах // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 1. С. 71–77.

8. Афанасьев А. И., Суслов Д. Н., Чиркова А. А. Анализ эффективности работы вибровозбудителей резонансных вибротранспортных машин // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 2. С. 68–75.

9. Афанасьев А. И., Суслов Д. Н. Оценка энергетической эффективности вибровозбудителей резонансных вибротранспортных машин // ГИАБ. 2018. № 1. С. 126–132.

10. Афанасьев А. И., Потапов В. Я., Суслов Д. Н., Чиркова А. А. Снижение нагруженности упругих опор резонансных вибротранспортных машин // Известия УГГУ. 2018. Вып.1(49). С. 85–87.

11. Румянцев С. А., Азаров Е. Б., Алексеева О. Н., Тарасов Д. Ю., Шихов А. М. Нелинейная динамика новых перспективных типов вибротранспортирующих машин с самосинхронизирующимися вибровозбудителями // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2011. № 4. Ч. 2. С. 302–304.

12. Rumyantsev S., Alexeyeva O., Azarov E., Shihov A. Numerical simulation of non-linear dynamics of vibration transport machines // Recent Researches in Engineering and Automatic Control. Spain, 2011. P. 88–92.

13. Азаров Е. Б., Румянцев С. А., Шихов А. М. Экспериментальный вибрационный стенд для исследований динамики колебательных систем // Транспорт Урала. 2014. № 4. С. 3–7.

Поступила в редакцию 5 июля 2019 года

Сведения об авторах:

Шихов Андрей Михайлович – старший преподаватель кафедры мостов и транспортных тоннелей Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: usart@inbox.ru

Румянцев Сергей Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры высшей и прикладной математики Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: srumyantsev@usurt.ru

Азаров Евгений Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических машин Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: eazarov@usurt.ru

Для цитирования: Шихов А. М., Румянцев С. А., Азаров Е. Б. Вибротранспортные машины с устойчивыми эллиптическими колебаниями // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 125–132 (In Eng.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-125-132

For citation: Shikhov A. M., Rumiantsev S. A., Azarov E. B. Vibratory conveying equipment with steady elliptical oscillations. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 125–132. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-125-132

УДК 001.8:622.256.75:622.45: 622.678.53 DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-133-142

Исследование влияния изменения параметров свободного падения скипа на устойчивость предохранительных полков при углубке вертикальных стволов

Копытов А. И.[1]*, Першин В. В.[1], Вети А. А.[1]
[1] Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия
e-mail: L01BDV@yandex.ru

Реферат

Введение. *Для защиты рабочих, занятых в процессе производства работ по углубке стволов, используются искусственные предохранительные устройства (полки) с опорным элементом из мощных двутавровых балок или ферменных конструкций. Они должны выдерживать огромную ударную нагрузку, быть прочными, простыми по конструкции, иметь меньшую трудоемкость при сооружении и демонтаже.*

Цель работы. *На основе полученных результатов математического моделирования повысить эффективность оснащения углубки вертикальных стволов шахт путем обоснования динамических нагрузок на предохранительные полки и определения их рациональных параметров, обеспечивающих сокращение материалоемкости и трудоемкости работ.*

Методология. *Для обоснования параметров и разработки конструкции предохранительных полков при углубке вертикальных стволов в условиях эксплуатационного подъема с помощью математического моделирования установлены зависимости времени падения скипа при изменении высоты его падения с учетом скорости и направления воздушной струи в стволе.*

Результаты. *Компанией «СибГорКомплексИнжиниринг» (г. Новокузнецк) совместно с кафедрой «Строительство подземных сооружений и шахт» КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева разработано несколько вариантов новых конструкций предохранительных полков для углубки вертикальных стволов в условиях работы эксплуатационного подъема. Они представляют собой Z-образную конструкцию из смещенных по высоте, параллельных друг другу верхнего и нижнего предохранительных полков, футерованных наклонными отражательными металлическими листами и соединенными между собой вертикальной разделительной стенкой.*

Выводы. *Разработанная конструкция полка позволяет многократно снизить воздействие ударной нагрузки за счет изменения направления движения и гашения кинетической энергии падающих тел. Промышленные испытания новой конструкции клинового предохранительного полка подтвердили ее высокую надежность, эффективность и безопасность работ при углубке ствола «Скиповой» Горно-Шорского филиала АО «Евразруда».*

Ключевые слова: *вертикальный ствол; углубка; клиновой предохранительный полок; обрыв скипа; динамическая нагрузка.*

Введение. При углубке вертикальных стволов действующих шахт в них возможно падение различных предметов, что представляет большую опасность для проходчиков, работающих в забое углубляемой части стволов [1, 2]. Для безопасного ведения работ углубляемая часть стволов ограждается от действующей защитными устройствами – предохранительными полками. Наибольшие динамические нагрузки на предохранительный полок следует ожидать при падении подъемных сосудов с нулевой отметки.

Для решения вопросов устойчивости предохранительных полков особое значение имеет определение скорости падающего сосуда в момент его соударения с поверхностью предохранительного полка. Широкое распространение получили методы определения скорости свободного падения в безвоздушном пространстве

в зависимости от высоты падения или же определение скорости падения с учетом сопротивления воздуха. Ограниченность пространства, в котором происходит падение, не учитывается. В этом случае все виды сопротивления воздуха, кроме лобового, также не учитываются, а его значение определяется с помощью коэффициента лобового сопротивления c_x [3]. Принимаемые значения c_x, равные 1–1,1, обеспечивают решения, которые идентичны на 95–100 % классическому решению механики о свободном падении тела с учетом воздушной среды неограниченных размеров. Однако известно, что площадь вытеснения потока падающим телом в ограниченной среде больше площади миделева сечения самого тела. Это приводит к повышению местных скоростей и к значительному возрастанию c_x. Таким образом c_x при падении сосудов в стволе будет существенно больше принимаемых значений [4].

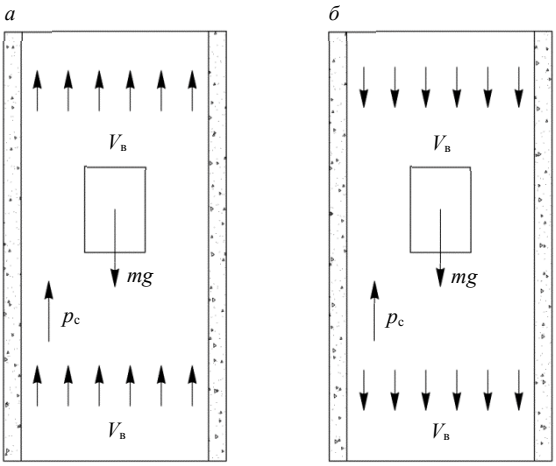


Рис. 1. Схема действующих сил при свободном падении сосуда в вертикальном стволе:
а – вентиляционный поток направлен против падения; *б* – направление вентиляционного потока совпадает с направлением падения

Fig. 1. Scheme of the acting forces with the free fall of a vessel in a vertical shaft:
а – the ventilation flow is directed against falling; *б* – the direction of the ventilation flow coincides with the direction of fall

Результаты исследований. Так как аварийные ситуации в стволах действующих шахт полностью ликвидировать не удается, при проектировании предохранительных полков приходится определять величину динамической нагрузки, возникновение которой возможно в данном стволе. Существенное влияние на величину динамического нагружения, а следовательно и на устойчивость предохранительных полков, оказывает скорость свободного падения сосуда в момент соударения. Общеизвестно, что скорость падения сосудов в стволе будет меньше теоретической. Этому способствуют факторы как механического, так и аэродинамического характера. Факторы механического характера практически предсказать невозможно, и их следует отнести к запасу прочности. Фактически при падении тел с большими скоростями в ограниченной среде общая величина сопротивления воздуха является величиной переменной, зависящей от скорости падения, и описать ее достаточно сложно. При учете сопротивления воздуха падению оборвавшегося сосуда необходимо рассматривать его как силу, действующую в направлении, противоположном движению. В данном случае решается задача определения параметров движения оборвавшегося в стволе сосуда с учетом ограниченной среды и направления вентиляционного потока воздуха.

При этом рассматриваются два случая движения, представленные на рис. 1, когда направление движения падающего сосуда не совпадает с направлением вентиляционного потока и когда направление движения падающего сосуда совпадает

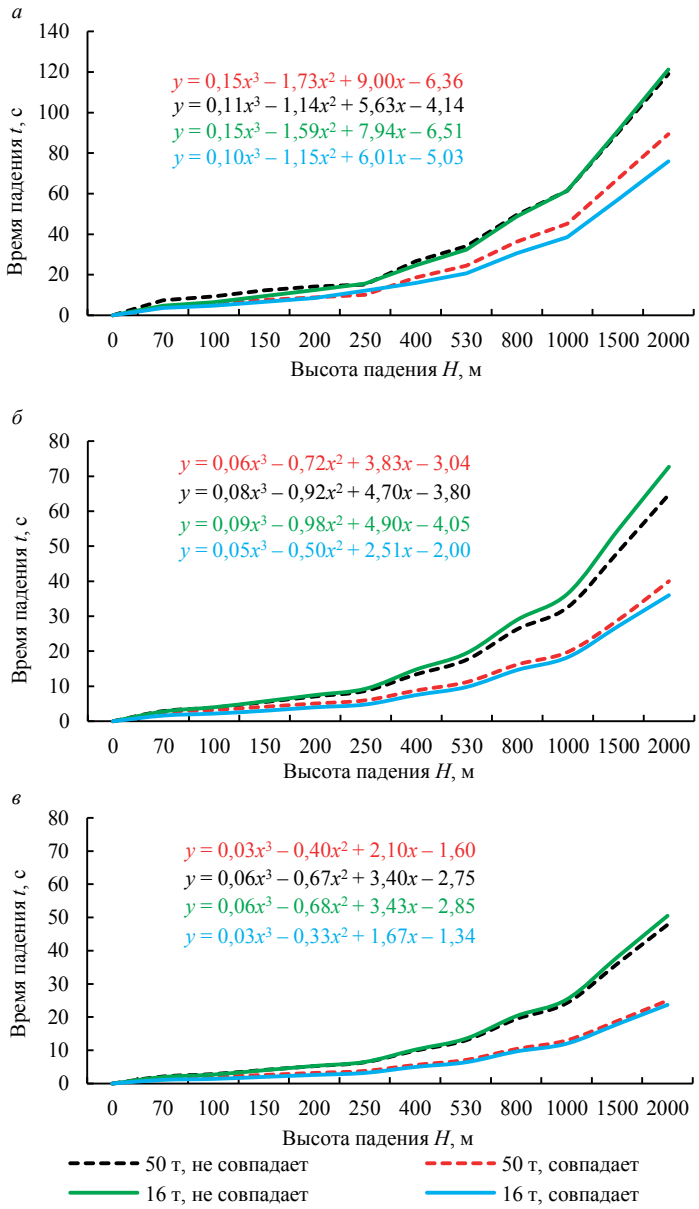


Рис. 2. Изменение времени падения скипа 1СН-20 в зависимости от высоты падения при скорости воздушной струи в стволе:
а – 5 м/с; *б* – 10 м/с; *в* – 15 м/с (50 т – вес груженого скипа; 16 т – вес порожнего скипа)

Fig. 2. Change in the time of 1CH-20 skip fall depending on the height of the fall at the speed of the air flow in the shaft:
а – 5 m/s; *б* – 10 m/s; *в* – 15 m/s (50 t – loaded skip weight; 16 t – empty skip weight)

с направлением вентиляционного потока (*Временная инструкция по защите забоев вертикальных стволов шахт / Минчермет СССР; ВО «Союзшахтопроходка»; МВССО УССР; Криворожкий горный институт. Кривой Рог, 1985. 104 с.; Опреде-*

ление вероятных нагрузок и разработка эффективных способов защиты забоев углубляемых стволов шахт для условий Горной Шории: отчет о НИР / КГРИ. Руководитель А. М. Задорожний. № ГР68053180. Кривой Рог, 1983. 200 с.).

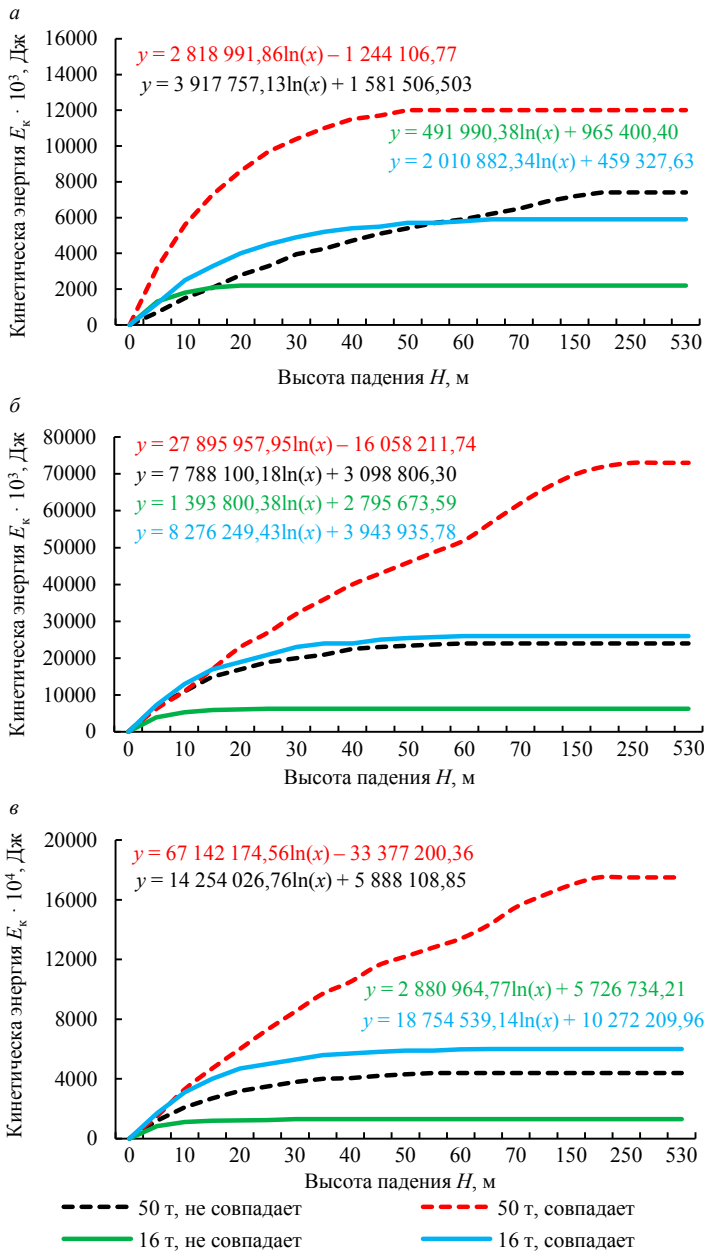


Рис. 3. Изменение кинетической энергии падения скипа 1СН-20 в зависимости от высоты падения при скорости воздушной струи в стволе: *а* – 5 м/с; *б* – 10 м/с; *в* – 15 м/с (50 т – вес груженого скипа; 16 т – вес порожнего скипа)

Fig. 3. 1CH-20 skip fall kinetic energy change depending on the height of the fall at the speed of the air flow in the shaft: *а* – 5 m/s; *б* – 10 m/s; *в* – 15 m/s (50 t – loaded skip weight; 16 t – empty skip weight)

Для более точного определения скорости и величины кинетической энергии падающего тела была принята методика, разработанная Криворожским горнорудным институтом для шахт Кривбасса на основании инструкции ВНИИОМШС,

позволяющая в полной мере оценить характер движения тела в воздушном потоке, ограниченном стенками вертикального ствола (*Инструкция по расчету, сооружению и ликвидации предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шахт / ВНИИОМШС. Харьков, 1979. 91 с.*).

Определение скорости падения сосудов в стволе можно произвести с учетом аэродинамического сопротивления движению, которое возникает в ограниченной воздушной среде. Это сопротивление существенно влияет на скорость падения, а следовательно и на величину динамических нагрузок. Оно наиболее часто определяется с помощью коэффициента лобового сопротивления. Определение этого коэффициента сложно, и получаемые его значения не обеспечивают достаточной точности решений.

Более точно величину сопротивления ограниченной воздушной среды при свободном падении подъемного сосуда можно определить аналитическим методом на основе обобщения решений шахтной аэродинамики и математической физики, согласно которым сопротивление ограниченной воздушной среды $p_с$ является функцией скорости:

$$p_с = f(V) = p_с(V).$$

Сопротивление ограниченной воздушной среды $p_с(V)$ и потерю давления воздуха в горной выработке $h_л$ при обтекании воздушным потоком оборудования связывает зависимость

$$p_с(V) = h_л\left(S_с - S_м\right), \tag{1}$$

где $S_с$ – площадь сечения ствола в свету, м; $S_м$ – площадь миделевого сечения сосуда, м.

Для определения потерь давления $h_л$ наиболее целесообразно использовать формулы, предложенные К. А. Корепановым. Подставив их в (1), после соответствующих преобразований получаем выражение для правой части относительно скорости падения V, позволившее определять величину сопротивления воздуха свободному падению сосуда в стволе как функцию скорости.

Полученное выражение устанавливает закономерность, связывающую скорость падения сосуда в стволе с сопротивлением ограниченной воздушной среды [4, 5]:

$$p_с(V) = AV^2 + BV + D,$$

где A, B, D – величины, зависящие от аэродинамических и геометрических характеристик ствола и сосуда.

Определение A, B, D следует производить с учетом направления вентиляционного потока в стволе согласно расчетной схеме, представленной на рис. 1, по следующим формулам.

Если направление движения падающего сосуда не совпадает с направлением вентиляционного потока в стволе:

$$A = \frac{153\alpha S_м(0{,}5S_с - S_м)}{S_с - S_м} + \frac{\alpha P l_с S_м^2}{(S_с - S_м)^2} + \frac{\alpha_с P_с l_с S_с^2}{(S_с - S_м)^2}; \tag{2}$$

$$B = \frac{306\alpha V_в S_м(0{,}5S_с - S_м)}{S_с - S_м} + \frac{2\alpha P l_с V_в S_м S_с}{(S_с - S_м)^2} + \frac{2\alpha_с P_с l_с V_в S_с^2}{(S_с - S_м)^2}; \tag{3}$$

$$D = \frac{153\alpha S_м V_в^2(0{,}5S_с - S_м)}{S_с - S_м} + \frac{\alpha P l_с V_в S_с^2}{(S_с - S_м)^2} + \frac{\alpha_с P_с l_с V_в^2 S_с^2}{(S_с - S_м)^2} - \frac{\alpha P l_с V_в^2 S_с^2}{S_с}. \tag{4}$$

Если направление движения падающего сосуда совпадает с направлением вентиляционного потока в стволе:

$$A = \frac{153\alpha S_{\text{м}}(0{,}5S_{\text{с}} - S_{\text{м}})}{S_{\text{с}} - S_{\text{м}}} - \frac{\alpha P l_{\text{с}} S_{\text{м}}^2}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2} + \frac{\alpha_{\text{с}} P_{\text{с}} l_{\text{с}} S_{\text{с}}^2}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2}; \tag{5}$$

$$B = -\frac{306\alpha S_{\text{м}}(0{,}5S_{\text{с}} - S_{\text{м}})}{S_{\text{с}} - S_{\text{м}}} - \frac{2\alpha P l_{\text{с}} V_{\text{в}} S_{\text{м}} S_{\text{с}}}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2} - \frac{2\alpha_{\text{с}} P_{\text{с}} l_{\text{с}} V_{\text{в}} S_{\text{с}}^2}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2}; \tag{6}$$

$$D = \frac{153\alpha S_{\text{м}} V_{\text{в}}^2 (0{,}5S_{\text{с}} - S_{\text{м}})}{S_{\text{с}} - S_{\text{м}}} - \frac{\alpha P l_{\text{с}} V_{\text{в}}^2 S_{\text{с}}^2}{(S_c - S_{\text{м}})^2} + \\ + \frac{\alpha_{\text{с}} P_{\text{с}} l_{\text{с}} V_{\text{в}}^2 S_{\text{с}}^2}{(S_{\text{с}} - S_{\text{м}})^2} + \frac{\alpha P l_{\text{с}} V_{\text{в}}^2 (S_{\text{с}} - S_{\text{м}})}{S_{\text{с}}}, \tag{7}$$

где α – коэффициент аэродинамического сопротивления ствола; $V_{\text{в}}$ – скорость движения воздушной струи в стволе, м/с; $\alpha_{\text{с}}$ – коэффициент аэродинамического сопротивления сосуда; P – периметр ствола в свету, м; $P_{\text{с}}$ – периметр сосуда по площади миделевого сечения, м; $l_{\text{с}}$ – длина сосуда, м.

Зная геометрические и аэродинамические характеристики ствола и подъемного сосуда, по формулам (2)–(7) находим числовые значения A, B, D.

Найденное выражение для определения сопротивления ограниченной воздушной среды при свободном падении в ней подъемного сосуда позволяет определить скорость падения. Дифференциальное уравнение движения оборвавшегося сосуда в стволе с учетом ограниченности пространства примет вид

$$m\frac{dV}{dt} = mg - (AV^2 + BV + D), \tag{8}$$

где t – время падения сосуда, с; m – масса падающего сосуда, кг; g – ускорение свободного падения.

Уравнение (8) является дифференциальным уравнением с разделяющими переменными. Его решение позволило получить расчетные формулы для нахождения скорости падения сосуда в стволе в любой промежуток времени с любой высоты:

$$H = a_5 \ln\left|\frac{a_4 e^{a1t} - a_2}{a_4 - a_2}\right| - a_6 t; \tag{9}$$

$$V_u = a_3 \frac{1 - e^{a1t}}{a_4 e^{a1t} - a_2}, \tag{10}$$

где e – основание натурального логарифма; H – высота падения, м; V_u – скорость свободного падения сосуда в вертикальном стволе, м/с; a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6 – величины, постоянные для конкретных условий, определяемые по формулам:

$$a_1 = \frac{\sqrt{|\Delta|}}{m}; \qquad a_2 = 2A\left(B - \sqrt{|\Delta|}\right); \qquad a_3 = B^2 + |\Delta|;$$

$$a_4 = 2A\left(B + \sqrt{|\Delta|}\right); \qquad a_5 = \frac{a_3\left(a_4 - a_2\right)}{a_1 a_2 a_4}; \qquad a_6 = \frac{a_3}{a_2},$$

где $\Delta = -\left[4A(mg - D) + B^2\right]$.

Для определения $V_и$ необходимо по формуле (9), зная высоту H, найти время падения t, а затем по формуле (10) определить скорость падения, соответствующую данной высоте и времени.

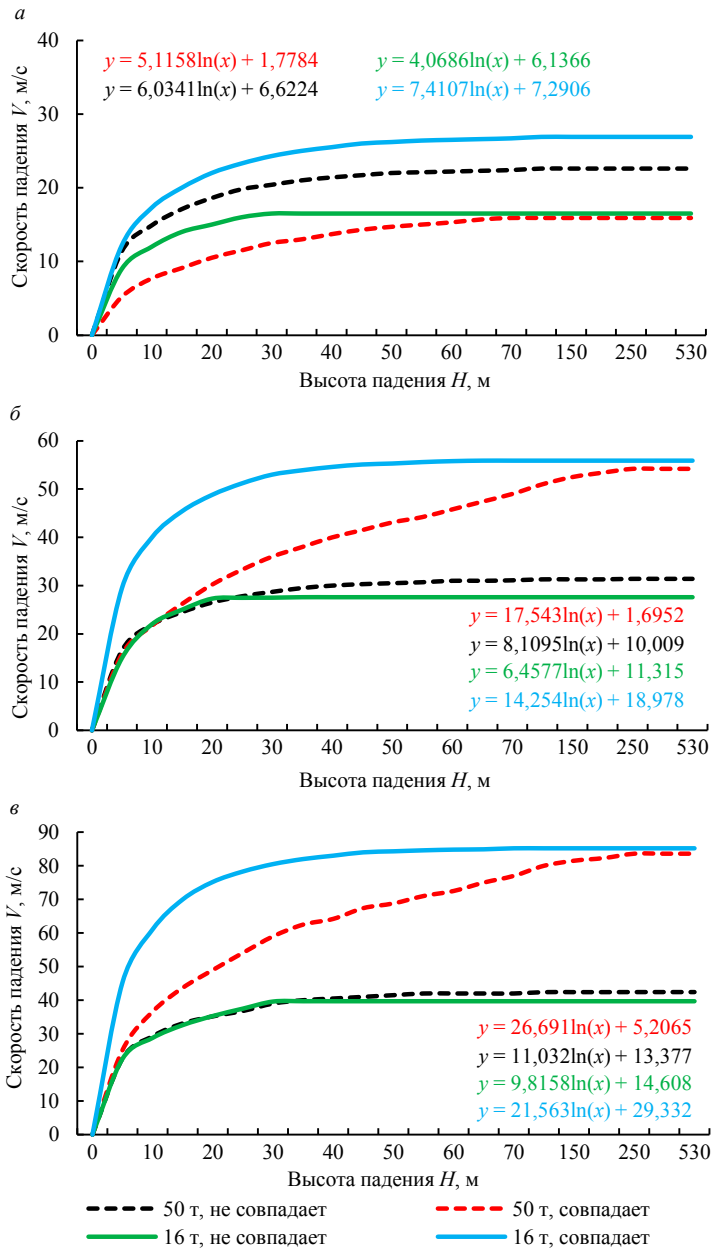


Рис. 4. Изменение скорости падения скипа 1СН-20 в зависимости от высоты падения при скорости воздушной струи в стволе:
а – 5 м/с; *б* – 10 м/с; *в* – 15 м/с (50 т – вес груженого скипа; 16 т – вес порожнего скипа)
Fig. 4. Change in the speed of 1CH-20 skip fall depending on the height of the fall at the speed of the air flow in the shaft:
а – 5 m/s; *б* – 10 m/s; *в* – 15 m/s (50 t – loaded skip weight; 16 t – empty skip weight)

В соответствии с предложенной методикой [5, 6] авторами выполнены расчеты по определению времени падения (рис. 2), величины кинетической энергии (рис. 3) и скорости (рис. 4) в зависимости от высоты падения скипа в условиях

реализации проекта по углубке ствола «Скиповой» Шерегешской шахты Горно-Шорского филиала АО «Евразруда» [7, 8].

Заключение. Для обоснования параметров и разработки конструкции предохранительных полков при углубке вертикальных стволов в условиях эксплуатационного подъема с помощью математического моделирования установлены зависимости времени падения скипа при изменении высоты его падения с учетом скорости и направления воздушной струи в стволе. При этом установлено следующее.

При увеличении скорости воздушной струи время падения скипа описывается уравнением кубической функции. При изменении направления воздушной струи время, затраченное на прохождение того же участка скипом, увеличивается в 1,4 раза для груженого скипа массой 50 т, и в 2,1 раза для порожнего скипа массой 16,6 т (см. рис. 2).

Кинетическая энергия падающего скипа изменяется логарифмически и зависит от высоты падения, направления и скорости воздушной струи, а также от массы скипа и отношения площади миделевого сечения скипа к общей площади сечения ствола (см. рис. 3).

Скорость падающего скипа логарифмически зависит от высоты падения (см. рис. 4). При этом сопротивление воздуха в глубоких стволах обеспечивает существенное снижение скорости падения. Наибольшее влияние на ее снижение оказывает отношение миделевого сечения скипа к площади сечения ствола. Фактически меньшая по отношению к теоретической скорость свободного падения скипа обеспечивает существенное снижение его кинетической энергии, что в свою очередь снижает величину динамической нагрузки на предохранительный полок.

Таким образом, результаты исследований позволяют в полной мере обосновать и определить вид и величину вероятных нагрузок при проектировании защитных устройств, что обеспечит сокращение сроков их сооружения, стоимости и материалоемкости [9–12].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kempson W. J. Designing energy-efficient mineshaft systems // Essays Innovate. 2014. No. 9. P. 76–79.

2. Kratz T., Martens P. N. Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking // Glückauf. 2015. No. 2. P. 16–22.

3. Шутько Ю. П., Морозов А. Е., Мордухович В. Д. Углубка вертикальных стволов шахт. М.: Недра, 1978. 277 с.

4. Ксенофонтова А. И. Справочник по рудничной вентиляции. М.: Госгортехиздат, 1962. 688 с.

5. Ушаков К. З. Справочник по рудничной вентиляции. М.: Недра, 1977. 327 с.

6. Задорожний А. М., Липовик В. В., Козариз В. Я. Определение параметров движения свободного сосуда в стволе шахты // Известия вузов. Горный журнал. 1979. № 5. С. 24–28.

7. Копытов А. И., Войтов М. Д., Вети А. А. Новые технологические решения предохранительных устройств для углубки вертикальных стволов шахт // Горный журнал. 2015. № 1. С. 67–70.

8. Pershin V. V., Kopytov A. I., Fadeev Yu. A., Wetti A. A. Study of the dynamic loading impact on the design of pentices when sinking vertical mine shafts // E3S web of conferences. IIIrd International Innovative Mining Symposium. 2018. Vol. 41. P. 105–109.

9. Жук И. В., Копытов А. И., Першин В. В., Войтов М. Д., Вети А. А. Клиновой предохранительный полок: пат. 133198 Рос. Федерация. № 2013120745; заявл. 06.05.13; опубл. 10.10.13. Бюл. № 28. 2 с.

10. Копытов А. И., Войтов М. Д., Вети А. А. Клиновой предохранительный полок: пат. 139338 Рос. Федерация. № 2013152988/03; заявл. 28.11.2013; опубл. 14.03.2014. Бюл. № 10. 2 с.

11. Копытов А. И., Першин В. В., Фадеев Ю. А., Вети А. А. Исследование воздействия динамических нагрузок на конструкцию предохранительных устройств при углубке скиповых стволов // Горный журнал. 2019. № 4. С. 27–31.

12. Kopytov A. I., Pershin V. V., Voitov M. D., Wetti A. A. The improvement of the bunton construction of mine-shaft equipment // The 8th Russian-Chines symposium coal in 21st century: mining, processing and safety. 2016. P. 108–111.

Поступила в редакцию 24 мая 2019 года

Сведения об авторах:

Копытов Александр Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства подземных сооружений и шахт Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева. E-mail: L01BDV@yandex.ru
Першин Владимир Викторович – доктор технических наук, заведующий кафедрой строительства подземных сооружений и шахт Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева. E-mail: pvv.spssh@kuzstu.ru
Вети Ахмед Аиманович – аспирант кафедры строительства подземных сооружений и шахт Кузбасского государственного технического университета им. Т. Ф. Горбачева. E-mail: wetti_a@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-133-142

Research on free fall skip parameters variation impact on pentice stability when sinking vertical shafts

Aleksandr I. Kopytov[1], Vladimir V. Pershin[1], Akhmed A. Wetti[1]
[1] T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia.

Abstract

Introduction. *In order to protect workers engaged in shaft sinking works, artificial protective equipment (pentices) with the support element from powerful I-beams or truss structures are used. They have to withstand enormous push loading, be strong, simple in design, have less labor input during construction and dismantling.*

Research aim. *On the basis of the obtained results of mathematical modeling, the research aims to increase the efficiency of equipment for the deepening of vertical shafts of mines, by justifying the dynamic loads on the safety shelves and determining their rational parameters, which ensure the reduction of material intensity and labor-intensive work.*

Methodology. *In order to substantiate parameters and develop the design of pentices when sinking vertical shafts in case of operational winding performance, with the help of mathematical modeling, the dependencies between the skip fall time at falling height variation with the account of speed and the direction of the air flow in the shaft were determined.*

Results. *LLC SibGorComplexEngineering (Novokuznetsk) together with the Department of Construction of Underground Structures and Mines of T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University have developed several new design variants of protective pentices for vertical shafts sinking in case of operational winding performance. It is a Z-shaped structure of the offset in height, parallel to each other upper and lower protective pentices, bushed with sloped reflective metal sheets and interconnected by a vertical division wall.*

Summary. *Pentice design allows reducing the impact of push loading due to direction changing and kinetic energy reduction of falling bodies. Industrial testing of a new construction of wedge protective pentices proved their high reliability, efficiency and safety of operations under shaft sinking Skipovoi of Gorno-Shoria branch of OJSC Evrazruda.*

Key words: *vertical shaft; shafts sinking; wedge protective pentice; dynamic load; skip fall.*

REFERENCES

1. Kempson W. J. Designing energy-efficient mineshaft systems. *Essays Innovate*. 2014; 9: 76–79.
2. Kratz T., Martens P. N. Optimization of mucking and hoisting operation in conventional shaft sinking. *Glückauf*. 2015; 2: 16–22.
3. Shutko Iu. P., Morozov A. E., Mordukhovich V. D. *Sinking vertical shafts*. Moscow: Nedra Publishing; 1978. (In Russ.)
4. Ksenofontova A. I. *Reference on shaft ventilation*. Moscow: Gosgortekhizdat Publishing; 1962. (In Russ.)
5. Ushakov K. Z. *Reference on shaft ventilation*. Moscow: Nedra Publishing; 1977. (In Russ.)
6. Zadorozhnii A. M., Lipovik V. V., Kozariz V. Ia. Estimating the parameters of free vessel motion in a shaft. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 1979; 5: 24–28. (In Russ.)
7. Kopytov A. I., Voitov M. D., Veti A. A. New engineering solutions for safety platforms in deepening mine shafts. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2015; 1: 67–70. (In Russ.)
8. Pershin V. V., Kopytov A. I., Fadeev Yu. A., Wetti A. A. Study of the dynamic loading impact on the design of pentices when sinking vertical mine shafts. In: *E3S web of conferences. IIIrd International Innovative Mining Symposium*. 2018; 41: 105–109.
9. Zhuk I. V., Kopytov A. I., Pershin V. V., Voitov M. D., Veti A. A. *Wedge pentice*. Patent RF no. 2013120745. (In Russ.)
10. Kopytov A. I., Voitov M. D., Veti A. A. *Wedge pentice*. Patent RF no. 2013152988/03. (In Russ.)
11. Kopytov A. I., Pershin V. V., Fadeev Iu. A., Veti A. A. Research on the impact of dynamic load on the structure of safety units when sinking skip shafts. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2019; 4: 27–31. (In Russ.)

12. Kopytov A. I., Pershin V. V., Voitov M. D., Wetti A. A. The improvement of the pentice construction of mine-shaft equipment. In: *The 8th Russian-Chines symposium coal in 21st century: mining, processing and safety*. 2016. P. 108–111.

Received 24 May 2019

Information about authors:

Aleksandr I. Kopytov – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Construction of Underground Structures and Mines, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: L01BDV@yandex.ru
Vladimir V. Pershin – DSc (Engineering), Head of the Department of Construction of Underground Structures and Mines, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: pvv.spssh@kuzstu.ru
Akhmed A. Wetti – PhD student, Department of Construction of Underground Structures and Mines, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: wetti_a@mail.ru

Для цитирования: Копытов А. И., Першин В. В., Вети А. А. Исследование влияния изменения параметров свободного падения скипа на устойчивость предохранительных полков при углубке вертикальных стволов // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 8. С. 133–142. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-133-142
For citation: Kopytov A. I., Pershin V. V., Wetti A. A. Research on free fall skip parameters variation impact on pentice stability when sinking vertical shafts. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 8: 133–142 (In Russ.). OI: 10.21440/0536-1028-2019-8-133-142

ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2019 ГОДУ

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ		
Аленичев В. М. О возможности импортозамещения абразива при гидроабразивном резании	7	60
Багазеев В. К., Бойков И. С., Валиев Н. Г., Здоровец И. Л. Оценка попутной концентрации тяжелых минералов при гидротранспорте пульпы в трубопроводе	7	25
Багазеев В. К., Бойков И. С., Валиев Н. Г., Здоровец И. Л. Разделение песков в процессе их гидротранспортирования	8	21
Валиев Н. Г., Беркович В. Х., Пропп В. Д. Исследование системы разработки горизонтальными слоями с гидрозакладкой и выемкой руды в нисходящем порядке под гибким перекрытием	5	5
Волков Е. П., Анушенков А. Н. Разработка технологии закладки горных выработок твердеющими смесями на основе хвостов обогащения (In English)	7	5
Вохмин С. А., Курчин Г. С., Майоров Е. С., Кирсанов А. К., Костылев С. С. Технологии крепления горных выработок глубоких горизонтов Октябрьского месторождения	7	45
Гевало К. В. Обзор технологии скважинной гидродобычи для разработки глубокозалегающих, погребенных и обводненных россыпных месторождений	7	53
Журавлев А. Г., Буднев А. Б. Влияние грузоподъемности автосамосвалов на себестоимость горных работ по мере углубки карьера	2	20
Земсков А. Н., Бехер А. В. Перспективы применения грузовых подвесных канатных дорог для условий Севера	8	5
Кантемиров В. Д., Титов Р. С., Яковлев А. М. Анализ эксплуатационных показателей горнодобывающего оборудования ведущих железорудных карьеров России	2	40
Кантемиров В. Д., Титов Р. С., Яковлев А. М. Обоснование технологий освоения месторождений медноколчеданных руд в арктической зоне Урала	3	6
Кузнецов Д. В., Косолапов А. И. Обоснование параметров горнотехнической системы карьера для разработки Олимпиадинского золоторудного месторождения	4	5
Латышев О. Г., Хлебников П. К. Исследование параметров рамно-анкерной крепи горизонтальных выработок в условиях влияния очистных работ	1	14
Лель Ю. И., Исаков С. В., Мусихина О. В., Костин А. Л., Ганиев Р. С. Оценка эффективности реконструкции и перспектив развития циклично-поточной технологии горных работ на Бачатском угольном разрезе	7	14
Мажитов А. М., Волков П. В., Красавин А. В., Аллабердин А. Б. Разработка технологии формирования искусственного массива с заданными геотехническими характеристиками	2	51
Малиновский Е. Г., Ахпашев Б. А., Голованов А. И., Гильдеев А. М. Сравнение результатов физического моделирования и натурного эксперимента по торцевому выпуску руды при системе этажного принудительного обрушения для пологих залежей	7	34
Муленкова А. О., Демченко И. И. О параметрах технологического автотранспортного средства, предназначенного для вывозки сортового угля из забоя разреза (In English)	1	6
Смирнов А. А., Никитин И. В. Обоснование типов и методов адаптации горно-технологической системы горного предприятия к изменяющимся условиям подземной разработки	6	14

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
Смирнов О. Ю. **Исследование условий применения систем разработки месторождений с закладкой в различных горно-геологических условиях**	5	14
Смирнов Ю. Г., Орлов А. О. **Принципы строительства подземных атомных станций малой мощности при современном подходе к освоению российской Арктики**	2	32
Соколов И. В., Рожков А. А. **Исследование параметров рассредоточения в плоской системе зарядов при подземной добыче гранулированного кварца (In English)**	6	5
Стетюха В. А. **Расчет основания штабеля кучного выщелачивания (In English)**	2	5
Цидаев Б. С. **Комплексный подход к оптимизации освоения морских месторождений углеводородов в акватории Северного Каспия в сложных геологических условиях**	8	14
Шишлянников Д. И., Максимов А. Б. **Исполнительный орган агрегата для проходческих и очистных работ**	2	13
Шишлянников Д. И., Максимов А. Б. **Развитие средств механизированной добычи калийных руд**	3	15

ГЕОМЕХАНИКА. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Боровков Ю. А., Якшибаев Т. М. **Теоретические исследования изменения радиуса зон трещинообразования в рудном штабеле кучного выщелачивания взрывом камуфлетного скважинного заряда ВВ**	5	30
Гладырь А. В., Сидляр А. В., Константинов А. В., Ломов М. А. **Сравнительный анализ результатов тестирования геофонов системы «Prognoz ADS» в шахтных условиях**	8	38
Гордеев В. А. **Расчет статистических характеристик паспорта прочности горных пород**	4	33
Жариков С. Н. **Разработка ресурсосберегающей технологии буровзрывных работ**	1	21
Зубков А. В., Феклистов Ю. Г., Сентябов С. В. **Особенности формирования напряженно-деформированного состояния в бетонной крепи стволов Донского и Гайского ГОКов**	4	12
Караблин М. М., Гурьев Д. В., Простов С. М., Лесин Ю. В. **Автоматизированный прогноз устойчивости борта карьера в глинистых породах четвертичных отложений (In English)**	6	21
Караблин М. М., Простов С. М., Лесин Ю. В. **Оползневые процессы в бортах при ведении горных работ на угольном разрезе «Ангренский»**	8	47
Кашников Ю. А., Ермашов А. О., Лебедева О. О. **Трехмерное геомеханическое моделирование как основа решения сложных задач обеспечения промышленной безопасности разработки калийных месторождений (In English)**	3	30
Козырев А. А., Кузнецов Н. Н., Федотова Ю. В., Шоков А. Н. **Определение степени удароопасности скальных горных пород по результатам испытаний при одноосном сжатии**	6	41
Константинов А. В., Гладырь А. В. **Проектирование универсальной измерительно-аналитической платформы для исследования состояния породного массива**	4	24
Миренков В. Е. **Интегральные уравнения, выявляющие некорректные формулировки задач геомеханики (In English)**	3	22
Мислибаев И. Т., Заиров Ш. Ш., Солиев Б. З., Норов А. Ю. **Исследование разрушения продуктивного пласта урана взрывом камуфлетного заряда взрывчатых веществ**	4	43
Панжин А. А., Панжина Н. А. **Оценка стабильности опорных пунктов как основы для геодинамического мониторинга**	6	31

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
Потапчук М. И., Рассказов И. Ю., Корнеева С. И., Ломов М. А. Оценка влияния параметров внутреннего отвалообразования на геомеханическое состояние подземной отработки месторождения «Восток-2»	7	77
Сосновская Е. Л., Авдеев А. Н. Прогноз потенциальной удароопасности нижних горизонтов Холбинского рудника	8	30
Сосновская Е. Л., Авдеев А. Н. Управление геомеханическими процессами на золоторудных жильных месторождениях Восточной Сибири (In English)	5	21
Харисов Т. Ф., Панжин А. А., Харисова О. Д. О проблемах экспресс-метода определения прочности горных пород	7	86
Черданцев Н. В. Построение решения задачи о состоянии угольного пласта методами механики сыпучей среды (In English)	7	68
ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА. АЭРОГАЗОДИНАМИКА		
Аликулов Ш. Ш. Лабораторные исследования применения поверхностно-активных веществ для подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд.....	3	48
Дырдин В. В., Ким Т. Л., Фофанов А. А., Плотников Е. А., Воронкина Н. М. Газовыделение при механодеструкции угля	5	44
Кошкаров В. Е., Неволин Д. Г., Кошкаров Е. В. Оценка прочностных свойств грунтов, укрепленных эмульсионными связующими при обеспыливании карьерных автодорог	1	33
Латышев О. Г., Казак О. О., Сынбулатов В. В. Исследование реологических характеристик горных пород в условиях воздействия на массив поверхностно-активными веществами	3	39
Смирнов В. Г., Дырдин В. В., Ким Т. Л. Фактор выбросоопасности зон угольных пластов, обусловленный крупностью частиц угля (In English)	6	51
Шевченко Л. А., Ткаченко Д. А. Физические аспекты массопереноса метана в зонах влияния скважин при дегазации угольных пластов (In English)	5	37
Шустов Д. В. Анизотропия физико-механических свойств сланцевых пород Баженовской свиты	4	55
ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА		
Борисов А. В., Виноградов В. Б. Электродинамическая модель плотины пруда-накопителя (In English)	8	58
Гуляев А. Н. Сейсмотектоника Урала (In English).....	1	42
Гуляев А. Н., Осипова А. Ю. Зоны возможного возникновения очагов ощутимых землетрясений на Урале	8	68
Давыдов В. А., Арзамасцев Е. В., Байдиков С. В., Горшков В. Ю. Электрометрические исследования на Крылатовском руднике.....	3	64
Егошина О. С., Александров Б. М. Система цифрового кодирования генетической классификации видов торфа и ее роль в комплексной оценке запасов торфа по категориям сырья и направлениям использования	3	55
Мамедтагизаде А. М., Шмончева Е. Е., Джаббарова Г. В., Абишев А. Г. Расчет расширителя при комплексном способе строительства многоствольных скважин	1	60
Теплухин В. К., Ратушняк А. Н., Ван Сяолун. Электромагнитная технология диагностики состояния внутренних защитных покрытий промысловых трубопроводов	6	60
Филатов В. В., Болотнова Л. А. О подобии и иерархии тектонических структур	1	52

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
Филатов В. В., Болотнова Л. А. **Обобщение опыта прогнозирования динамических явлений на Верхнекамском месторождении калийных солей по геолого-геофизическим данным (In English)**	**4**	**61**
Шестаков А. Ф. **О методе сопротивлений на переменном токе с применением установки Шлюмберже (In English)**	**2**	**59**
МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО, ГЕОДЕЗИЯ И КАДАСТР		
Балтиева А. А., Шамганова Л. С., Абдыкаримова Г. Б., Панжин А. А. **Существующие системы мониторинга и необходимость обновления нормативно-методологической базы для обеспечения безопасности горных работ на карьерах**	**7**	**92**
Ефремов Е. Ю. **Погрешности измерения конвергенции поперечного сечения горных выработок (In English)**	**2**	**70**
Лаптев Ю. В., Гордеев В. А. **Управление качеством минерального сырья на основе комплексной оценки контрастности руд и результатов геометризации месторождения (на примере ОАО «Евраз КГОК»)**	**1**	**67**
ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ		
Алешин Д. С., Халезов Б. Д., Крашенинин А. Г. **Сырьевая база молибдена**	**7**	**113**
Козин В. З., Комлев А. С., Ступакова Е. В. **Оценка однородности навесок и погрешности метода выполнения измерений при анализе руд и продуктов обогащения (In English)**	**3**	**72**
Комлев А. С. **Условия достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения**	**5**	**63**
Морозов Ю. П., Валиева О. С., Евграфова Е. Л. **Совершенствование разомкнутой схемы флотации на основе дробной подачи собирателя по фронту флотации**	**4**	**80**
Прокопьев С. А., Пелевин А. Е., Прокопьев Е. С., Иванова К. К. **Повышение комплексности использования железорудного сырья с помощью винтовой сепарации**	**6**	**70**
Семенов А. Н., Серый Р. С. **Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота**	**8**	**88**
Ступакова Е. В. **Воспроизводимость и повторяемость результатов измерений и их использование в расчетах погрешностей подготовки и анализа проб руды и продуктов обогащения**	**8**	**81**
Ступакова Е. В. **Определение погрешностей стандартных образцов состава золотосодержащих руд**	**6**	**81**
Усов Г. А., Фролов С. Г., Тарасов Б. Н. **Разработка технологии извлечения россыпного микронного золота с использованием диспергирования глинистой составляющей вмещающих пород**	**5**	**75**
Хопунов Э. А. **Проблемы методологии оценки селективности дезинтеграции руд**	**1**	**79**
Хопунов Э. А. **Проблемы рудоподготовки в «четвертой промышленной революции»**	**5**	**54**
Цыпин Е. Ф., Овчинникова Т. Ю., Ефремова Т. А., Елизаров Д. Б. **Технологические аспекты предварительной концентрации руд с использованием рентгенофлуоресцентной сепарации (In English)**	**7**	**101**
Цыпин Е. Ф., Попова Е. В., Ефремова Т. А. **Влияние рентгенорадиометрической сепарации на технологические показатели глубокого обогащения забалансовой цинковой руды**	**4**	**71**
Шаихова Д. Р. **Перспективы использования *Acidithiobacillus ferrooxidans* в биовыщелачивании металлов из отходов производства**	**6**	**90**

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ		
Андреева Л. И., Красникова Т. И., Ушаков Ю. Ю. **Методология формирования эффективной системы обеспечения работоспособности горной техники**	5	92
Бутко Г. П. **Особенности управления горным предприятием как эколого-экономической системой**	2	90
Галкина Н. В. **Обеспечение жизнеспособности предприятия в условиях инновационного технологического развития**	5	83
Даваадорж Д., Соколова О. Г. **Интегральный подход к управлению товарно-материальными запасами горного предприятия**	2	99
Иванов А. Н., Игнатьева М. Н. **Экономическая оценка последствий при освоении ресурсов недр**	4	98
Иванов А. Н., Логвиненко О. А., Игнатьева М. Н. **Экономическая оценка экологических последствий при недропользовании**	6	98
Косолапов О. В., Игнатьева М. Н. **Экологически устойчивое недропользование: понятие, основополагающие принципы**	2	79
Логинов В. Г., Игнатьева М. Н., Балашенко В. В. **Согласование интересов при освоении нефтегазовых ресурсов северных территорий Российской Федерации (In English)**	8	97
Наумов И. В., Красных С. С. **Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации**	8	108
Подкорытов В. Н., Мочалова Л. А. **Анализ влияния сырьевых цен на возможность управления рыночной капитализацией компании нефтегазодобывающего сектора**	7	122
Подкорытов В. Н., Мочалова Л. А. **Рыночная капитализация крупнейших предприятий минерально-сырьевого комплекса России в условиях экспортно-сырьевой модели экономики (In English)**	1	87
Семенкин А. В., Антонов В. А. **Исследование экономического показателя затрат при циклично-поточной технологии на рудных карьерах.**	1	103
Стровский В. Е., Комарова О. Г., Логвиненко О. А. **Специфические особенности моделей устойчивого развития (In English)**	4	89
Трушина Г. С. **Значение угольной промышленности на современном и перспективном этапах развития мировой и российской энергетики**	3	81
Трушина Г. С. **Значение экономико-математических методов в изыскании резервов роста и прогнозировании производительности труда (на примере шахт Кузбасса)**	1	95
ГОРНАЯ МЕХАНИКА. ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ТРАНСПОРТ		
Афанасьев А. И., Казаков Ю. М., Копачев В. Ф. **Градиент давления по высоте лопаток в шахтных осерадиальных вентиляторах с конической проточной частью**	3	90
Беловодский В. Н., Букин С. Л. **Полигармонические возможности вибромашин с карданной передачей в трансмиссии инерционного привода**	4	114
Бовин К. А., Гилев А. В., Плотников И. С., Герасимова Т. А. **Исследование нагруженности и напряженного состояния бурового инструмента с зубчато-дисковыми фрезами на стадии его проектирования**	2	110
Жетесова Г. С., Бейсембаев К. М., Мендикенов К. К., Телиман И. В., Акижанова Ж. Т. **Моделирование работы скребкового конвейера в зоне поворота**	6	108
Комиссаров А. П., Плотников Н. С., Лукашук О. А., Летнев К. Ю. **Определение энергоемкости процесса экскавации рабочим оборудованием типа прямая лопата карьерного экскаватора**	1	112

Автор, название статьи	Номер журнала	Страница
Копытов А. И., Першин В. В., Вети А. А. **Исследование влияния изменения параметров свободного падения скипа на устойчивость предохранительных полков при углубке вертикальных стволов**	8	133
Макаров В. Н., Макаров Н. В., Угольников А. В., Свердлов И. В. **Энергоэффективная технология локализации техногенных аварий в шахтах на базе математической модели гидровихревой коагуляции**	2	118
Поляков С. В. **Вывод параметров стального каната, влияющих на безопасность эксплуатации**	6	118
Софьина Н. Н., Островский В. Г., Воробель С. В., Романов В. А., Зверев В. Ю. **Диагностирование нефтепромыслового и горного оборудования методом анализа возбужденных резонансных колебаний**	3	107
Таугер В. М., Леонтьев А. А. **Расчет теплообменных процессов в подъемном трубопроводе скиповой пневмоподъемной установки (In English)**	4	106
Телиман И. В. **Обоснование конструктивных и режимных параметров рычажно-гидравлических механизмов карьерного гидравлического экскаватора**	7	132
Шихов А. М., Румянцев С. А., Азаров Е. Б. **Вибротранспортные машины с устойчивыми эллиптическими колебаниями (In English)**	8	125
Юдин А. В., Абдулкаримов М. К., Шестаков В. С. **Анализ и оценка параметров колебаний двухмассной с диссипативными свойствами системы грохота с каскадной просеивающей поверхностью**	3	97
Юдин А. В., Попов А. Г., Шестаков В. С. **Бункерные системы комплексов комбинированного транспорта в карьерах**	2	128
ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ		
Бабокин Г. И., Шпрехер Д. М., Колесников Е. Б. **Синтез системы стабилизации момента резания выемочного комбайна с нечетким регулятором (In English)**	5	107
Лапин С. Э., Леонов Р. Е. **Выделение значимых факторов при моделировании горных объектов**	2	140
Леонов Р. Е. **К обоснованию моделей некоторых аппаратов обогатительных фабрик при создании систем автоматического регулирования**	1	119
БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА		
Минин И. В., Заворницын В. В., Плотников А. М., Минин В. В. **Управление атмосферой замкнутых пространств рудников**	1	134
Шахрай С. Г., Курчин Г. С., Сорокин А. Г. **Экспериментальное исследование эффективности естественного проветривания карьера через трубопроводы**	1	127
Шинкевич М. В., Родин Р. И. **Способ дегазации отрабатываемого угольного пласта скважинами в породах кровли**	3	115
ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ		
Поленов Ю. А., Огородников В. Н., Кисин А. Ю. **Эффективные условия формирования научных кадров и повышения их профессионализма……**	5	116
ИСТОРИЯ. ИНФОРМАЦИЯ. РЕЦЕНЗИИ		
К юбилею Виктора Леонтьевича Яковлева	6	124
Курлаев Е. А. **Формирование промышленного ландшафта Урала**	1	140
Памяти коллеги. Латышев Олег Георгиевич	3	122
Памяти Николая Григорьевича Картавого	1	147

Р е д а к ц и я
Главный редактор Е. Ф. Цыпин
Зам. главного редактора Ю. И. Лель, М. Г. Бабенко
Ответственный секретарь Л. А. Решеткина
Редакторы Л. Г. Соколова, Л. Ю. Парамонова

Перевод И. В. Шайхутдиновой

Компьютерная верстка Ю. Б. Швецовой

Подп. в печать 05.12.2019. Дата выхода в свет 19.12.2019
Формат 70 x 108 1/16. Печать офсетная
12,5 усл. печ. л., 11,5 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. Заказ 6786
Цена свободная

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-76015 от 19.06.2019 выдано
Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий
и массовых коммуникаций

Издатель ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
620144, г. Екатеринбург, ГСП, ул. Куйбышева, 30

Редакция «Известия вузов. Горный журнал»
г. Екатеринбург, пер. Университетский, 7, к. 4101
тел. (факс) (343) 257-65-59
E-mail: gornij_journal@ursmu.ru
http://www.mining-science.ru

Типография ООО «Издательство УМЦ УПИ»
620078, г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2

Индекс 70367

ISSN 0536-1028. Известия высших учебных заведений. Горный журнал, № 8, 2019.