



Федеральное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела
Уральского отделения Российской академии наук

В НОМЕРЕ:

Теория
проектирования и
геотехнологические
проблемы отработки
месторождений
полезных ископаемых

Геотехника для
открытой, подземной и
комбинированной
отработки
месторождений
полезных ископаемых

Экологические
проблемы
горнопромышленного
комплекса и
природопользование

Геомеханические и
геодинамические
процессы при освоении
месторождений



Сайт
<http://trud.igduran.ru>

Выпуск 3 (38)
2023

СЕТЕВОЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ISSN 2313-1586

ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

PROBLEMS OF SUBSOIL USE

70
лет



ГЛАВНОМУ РЕДАКТОРУ ЖУРНАЛА
КОРНИЛКОВУ
Сергею Викторовичу

16+

Сетевое периодическое научное издание

ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

16+

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела Уральского отделения РАН

№ государственной регистрации Эл № ФС77-56413 от 11.12.2013

Выходит 4 раза в год только в электронном виде

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.В. Корнилов, д.т.н., проф., г.н.с., ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург – главный редактор
В.М. Аленичев, д.т.н., проф., г.н.с., ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург – зам. главного редактора

Члены редакционной коллегии:

Н.Ю. Антонинова, к.т.н., заведующая лабораторией ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
А.А. Абдурасулов, к.ф.-м.н., советник ректора, доцент, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан
Н.Г. Валиев, д.т.н., проф., заведующий кафедрой горного дела УГГУ, г. Екатеринбург
С.Д. Викторов, д.т.н., проф., заведующий отделом проблем геомеханики и разрушения горных пород ИПКОН РАН, г. Москва
С.Е. Гавришев, д.т.н., проф., заведующий кафедрой разработки полезных ископаемых, МГТУ им. Носова, г. Магнитогорск
С.Ж. Галиев, д.т.н., проф., чл.-корр. НАН РК, вице-президент АО «Казахстанский институт развития индустрии» Министерства индустрии и новых технологий Республики Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан
А.В. Глебов, д.т.н., заместитель директора ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
Ш.Ш. Заиров, д.т.н., проф., Навоийский государственный горный институт, г. Навои, Республика Узбекистан
О.В. Зотеев, д.т.н., ведущий научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления ИГД УрО РАН
И. В. Зырянов, д.т.н., заведующий кафедрой горного дела политехнического института (филиал) СВФУ в г. Мирном
В.С. Коваленко, д.т.н., проф., Горный институт НИТУ «МИСиС», г. Москва
К.Ч. Кожогулов, д.т.н., проф., чл.-корр НАН КР, директор Института геомеханики и освоения недр НАН КР, г. Бишкек, Киргизская Республика
И.А. Козлова, к.г.-м. н., директор института геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
И.Л. Кравчук, д.т.н. директор Челябинского Филиала института горного дела УрО РАН, г. Челябинск
М.В. Курлена, д.т.н., проф., академик, научный руководитель ИГД СО РАН, г. Новосибирск
Ю.Г. Лаврикова, д.э.н., проф., директор Института экономики УрО РАН, г. Екатеринбург
С.В. Лукичев, д.т.н., проф., директор ГоИ КНЦ РАН, г. Апатиты
А.М. Макаров, д.т.н., проф., исполнительный директор ООО НИИОГР, г. Челябинск
А.А. Панжин, к.т.н., учений секретарь ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
А.Е. Пелевин д.т.н., проф. кафедры обогащения полезных ископаемых УГГУ, г. Екатеринбург
И.Ю. Рассказов, д.т.н., чл.-корр. РАН, директор Хабаровского федерального научного центра, г. Хабаровск
Л.С. Рыбникова, д.т.н., с.н.с. ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
Д.И. Симисинов, д.т.н., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург
И.В. Соколов, д.т.н., директор ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург
С.М. Ткач, д.т.н., директор ИГД СО РАН, г. Якутск
С.И. Фомин, д.т.н., проф. кафедры НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург
Хадхуугийн Жаргалтайхан, д.т.н., директор Института горного дела Монгольского государственного университета науки и технологий, г. Улан-Батор, Монголия
Л.С. Шамганова, д.т.н., член-корреспондент НАН РК, Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан
В.Л. Яковлев, д.т.н., проф., чл.-корр. РАН, советник РАН, ИГД УрО РАН, г. Екатеринбург

Издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела Уральского отделения РАН

Все статьи проходят обязательное рецензирование

Адрес редакции: 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58, тел. (343)350-35-62
Сайт издания: trud.igduran.ru

Выпускающий редактор: Е.А. Катаева

Редактор: О.А. Истомина

Компьютерный набор и верстка: Я.В. Неугодникова, Т.Г. Петрова

Дорогие друзья, коллеги, читатели!

Представляем Вам очередной выпуск сетевого издания «Проблемы недропользования».

Выпуск необычный и посвящен юбилею главного редактора – Корнилкова Сергея Викторовича. Как же неумолимо быстро течет река времени! Вот и нашему главному редактору, одному из ведущих в России специалистов в области геотехнологии и геосистемологии освоения недр, управления параметрами рабочего пространства глубоких карьеров, геоинформационного обеспечения планирования и проектирования горного производства, промышленной безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых – Сергею Викторовичу Корнилкову – исполняется 70 лет. О достоинствах Сергея Викторовича многое уже сказано и написано – нет нужды повторяться. Главной его заслугой, на наш взгляд, является то, что он сумел создать и сохранить на многие годы активный, работоспособный коллектив единомышленников и ту особую атмосферу творчества, доброжелательности и здорового оптимизма, в которой его коллегам и ученикам комфортно работать и просто жить.

Хотим особо отметить издательскую и просветительскую деятельность Сергея Викторовича. Сам он является автором более 335 научных публикаций, в том числе 15 монографий и 300 научных трудов, посвященных развитию минерально-сырьевой базы страны, в том числе 19 научных изданий, коллективных монографий, учебно-методических разработок, учебных пособий и учебников для ВУЗов.

Сергей Викторович ведет активную научно-педагогическую деятельность, уделяя большое внимание подготовке высококвалифицированных кадров горного профиля – подготовил более 300 горных инженеров-дипломников, трех магистров по направлению «Горное дело» и двух кандидатов наук. С его непосредственным участием в 1980 – 90 гг. в рамках общероссийской программы по созданию учебных САПР был разработан и реализован первый в стране учебный план, обеспечивающий расширенную компьютерную подготовку инженеров горного профиля. Он организовал и осуществляет контроль за работой Научно-образовательного центра ИГД УрО РАН для подготовки специалистов высшей квалификации в области геотехнологии и геомеханики.

Будучи главным редактором сетевого издания «Проблемы недропользования», юбиляр способствовал выходу в свет 31-го выпуска журнала. При участии Сергея Викторовича в качестве автора, главного или научного редактора опубликовано множество статей в нашем и других журналах.

Сергей Викторович также является:

- членом научного совета РАН по проблемам горных наук, экспертом РАН;
- действительным членом Академии горных наук;
- членом Общественного совета МТУ Ростехнадзора РФ по Уральскому федеральному округу;
- сопредседателем Горно-металлургического совета Уральского федерального округа;
- членом наблюдательного и экспертного советов Технологической платформы РФ «Твердые полезные ископаемые»;
- вице-президентом и членом Высшего горного совета НП «Горнопромышленники России»;
- президентом НКП «Взрывники Урала»;
- главным редактором сетевого периодического научного издания «Проблемы недропользования»;





- членом редакционных коллегий журналов «Рациональное освоение недр», «Литосфера», Вестник НАГН;

- заместителем председателя диссертационного совета Д 004.010.01 при ИГД УрО РАН и членом 2 диссертационных советов при УГГУ.

Заслуги и достижения Сергея Викторовича отмечены ведомственными и региональными наградами:

- Почетной грамотой Министерства образования РФ (2003 г.); Почетной грамотой ФАНО (2017 г.)

- Нагрудным знаком "Шахтерская слава" 2 и 3 степени (2004 г., 2007 г.);

- Межведомственным нагрудным знаком "Горняцкая слава" 1, 2, 3 степеней (2012 г.).

- Малым серебряным знаком «Горняк России» (2021 г.).

- Памятными медалями "25 лет Академии горных наук" (2018 г.); "300 лет Бергколлегии России" (2019 г.); "100 лет энергетической стратегии России" (2020 г.), медалью М.В. Ломоносова "За вклад в науку и экологию" (2017 г.)

- Премией УрО РАН имени академика Л.Д. Шевякова (2010 г.);

- Премией РАН имени академика Н.В. Мельникова (2022 г.), Уральской горной премией (2019 г.).

Несмотря на заслуги нашего юбиляра, награды и груз прожитых лет, в нем нет ни капли «забронзовелости», ничто не изменило его деликатный и уважительный подход к людям и мудрое, философское отношение к окружающему миру.

*Дорогой Сергей Викторович, поздравляем Вас с 70-летним юбилеем,
желаем счастья, здоровья и творческого долголетия!*

Редколлегия



Содержание

<i>Поздравление Минобрнауки России</i>	6
<i>Поздравление Министерства промышленности и науки Свердловской области</i>	7
<i>Поздравление Уральского отделения Российской академии наук</i>	8
<i>Поздравление ректора УГГУ Душина А.В.</i>	9
<i>Поздравление Макарова А.М., Галкина В.А. (НИИОГР)</i>	10
<i>Поздравление директора Челябинского филиала ИГД УрО РАН Кравчука И.Л.</i>	11
<i>Поздравление директора Института горного дела Севера СО РАН Ткача С.М.</i>	13
<i>Поздравление директора Горного института КНЦ РАН Лукичёва С.В.</i>	14
<i>Поздравление Кулнияза С.С., профессора Актюбинского регионального института</i>	16
Соколов И.В., Яковлев В.Л. Научно-организационная деятельность Корнилкова Сергея Викторовича.....	17
Яковлев В.Л. Обсуждение назревшей проблемы особенности современного периода исследований по проблемам комплексного освоения недр и развития минерально-сырьевой базы России.....	21

ТЕОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Корнилков С.В., Титов Р.С. Оптимизация параметров карьерных грохотильно-перегрузочных пунктов для выделения продуктивных фракций минерального сырья	36
Корнилков С.В., Яковлев А.М. Совершенствование прогноза качественных показателей полезных ископаемых в карьере на основе блочного моделирования	47
Черских О.И. Развитие угольного разреза в сложных условиях деятельности	59

ГЕОТЕХНИКА ДЛЯ ОТКРЫТОЙ, ПОДЗЕМНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Глебов А.В. К вопросу импортонезависимости на примере производства шарнирно-сочлененных самосвалов для освоения месторождений твердых полезных ископаемых.....	68
Андреева Л.И. Комплексные решения для управления активами в системе технического обслуживания и ремонта горной техники.....	79

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Оролбаева Л.Э. Экологические аспекты геогидросинергетики Тянь-Шаня и Памиро-Алая.....	90
Рыльникова М.В., Швабенланд Е.Е., Олейник Д.Н. Развитие системы обращения и управления отходами недропользования в России	98

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Вашлаев И.И., Михайлов А.Г., Селиванов А.В. Обоснование порядка отработки клиновидных блоков с учетом оптимизации грузопотоков горной массы	109
Жикин А.А., Санфиров И.А., Фатькин К.Б. Классификация волновых образов типовых геологических неоднородностей соляной толщи Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей.....	118



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

Тверская ул., д. 1, стр. 1, Москва, 125009, телефон: (495) 547-13-16,
e-mail: info@minobrnauki.gov.ru, http://www.minobrnauki.gov.ru

/УЖ ЛСВ №г Utt - 8/774

На № _____ от _____

Руководителю
научного направления ИГД УрО РАН
профессору Корнилкову С.В.

О поздравлении с юбилеем

Глубокоуважаемый Сергей Викторович!

От имени Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и от себя лично искренне поздравляю Вас с 70-летием!

На протяжении многих лет Вы преданно служите интересам государства и отечественной науки. Для коллег и учеников Вы являетесь примером настоящего ученого, посвятившего себя развитию горной науки и освоению минерально-сырьевой базы Урала и России.

Богатейший научный и организационный опыт в сочетании с активной жизненной позицией и неиссякаемой энергией позволяют Вам активно трудиться на благо Отечества, передавать свои знания молодым специалистам. Ваш опыт, научная эрудиция, энтузиазм и многочисленные заслуги перед наукой необычайно ценные, востребованы и заслуженно отмечены государственными и отраслевыми наградами!

Примите самые искренние пожелания крепкого здоровья, бодрости духа, благополучия, новых достижений и успехов в Вашей деятельности, направленной на развитие и процветание Российской науки!

Директор
Департамента координации
деятельности научных организаций

С уважением,

К.А. Швед
К.А. Швед



**Уважаемый Сергей Викторович!**

От имени Министерства промышленности и науки Свердловской области и от себя лично сердечно поздравляю Вас с 70-летним юбилеем!

За время своей профессиональной деятельности Вами проделана огромная работа, тесно связанная с горным делом. Вы вносите существенный вклад в подготовку научных и инженерных кадров для развития промышленного комплекса Свердловской области.

Благодаря Вашей преданности профессии развивается научная деятельность в области освоения недр, промышленной безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых, выполняется широкий круг фундаментальных и прикладных исследований.

Особого внимания заслуживает Ваш вклад в развитие теории и практики системных исследований минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала, что позволяет обеспечить металлургическое производство в Свердловской области на долгосрочную перспективу, сохранить достаточные запасы минерально-сырьевых ресурсов.

Благодарю за значимые результаты Вашего труда, целеустремленность, профессионализм и преданность своему делу.

От всей души поздравляю с юбилеем и выражаю глубокую признательность за многолетний самоотверженный труд на благо Отечества. Крепкого Вам здоровья, активного творческого долголетия, добра и благополучия.

С уважением,
Министр промышленности
и науки Свердловской области

С.В. Пересторонин





Глубокоуважаемый Сергей Викторович!

Президиум Уральского отделения Российской академии наук
сердечно поздравляет Вас с юбилеем – 70-летием со дня рождения!

Вы подошли к своему юбилею как известный научному миру ученый-горняк. В области открытой разработки месторождений, теории проектирования освоения недр и геоинформационного моделирования в горном деле Вами получены впечатляющие результаты, которые востребованы среди специалистов не только ученых, но и производственников. Ваши технические решения реализованы и широко используются в программах развития рудной базы многих крупных горнодобывающих предприятий Уральского региона и Якутии.

Весом Ваш вклад в развитие Института горного дела УрО РАН, который Вы возглавляли более десяти лет, способствовал наращиванию его научного потенциала, модернизации и сохранению лучших традиций.

Обладая значительным научным авторитетом, Вы достойно представляете российскую науку, являясь экспертом системы промышленной безопасности РФ в области горных и взрывных работ, вице-президентом НП «Горнопромышленники России», президентом НП «Горнопромышленная ассоциация Урала» и НКП «Взрывники Урала».

Ваш разносторонний талант, Сергей Викторович, проявляется не только в науке, но и в педагогической деятельности. В являясь профессором кафедры разработки месторождений открытым способом Уральского государственного горного университета, Вы передаёте свой опыт молодому поколению. Вами подготовлено более трехсот горных инженеров.

Очень важно, что Вы активно участвуете в развитии сотрудничества в области образования и науки с вузами и научными учреждениями Урала и других регионов страны, ближнего и дальнего зарубежья, являетесь инициатором и участником многих масштабных программ и проектов.

Мы восхищаемся Вашим творческим потенциалом и инициативой. Уверены, что Вы справитесь с любыми трудностями, осуществите все Ваши планы и замыслы!

В этот знаменательный день желаем Вам, Сергей Викторович, крепкого здоровья, неиссякаемого запаса творческих сил, дальнейших успехов, новых научных открытий, долгих лет активной жизни. А также счастья и благополучия Вам и Вашим близким!

Вице-президент РАН,
председатель УрО РАН,
академик РАН

В.Н. Руденко

Главный научный секретарь УрО РАН,
член-корреспондент РАН

А.В. Макаров



Главному научному сотруднику
ФГБУН «Институт горного дела УрО РАН»
д.т.н., проф. С.В. Корнилову

Уважаемый Сергей Викторович!
От коллектива Уральского государственного горного университета
и от себя лично тепло и сердечно поздравляю Вас с юбилеем – 70-летием!

70 лет – прекрасная вершина, позволяющая оценить пройденный путь. А путь этот – как и вся Ваша жизнь – яркий и созидательный, настоящий пример служения науке, стране и людям. В этот день мы имеем честь поздравить Вас со знаменательной датой и выразить Вам слова благодарности за любовь и преданность родному вузу и горному делу. Для нас Вы не только успешный ученый, Вы прежде всего наш друг, уважаемый коллега и единомышленник – гордость и слава Горного университета!

Более 40 лет Вы служите горной науке. Окончив с отличием Свердловский горный институт, Вы прошли путь становления настоящего ученого – исследователя, педагога и наставника, заслужили огромный авторитет в академическом сообществе. С Вашим именем связаны уникальные исследования в области открытой геотехнологии и геосистемологии освоения недр. Ваши наработки нашли практическое применение при разработке стратегии развития горнодобывающей промышленности Свердловской области, освоения месторождений, в программах развития рудной базы многих крупных горнодобывающих предприятий Уральского региона и Якутии.

Особой признательности заслуживает Ваша научная и организаторская деятельность на должности директора Института горного дела УрО РАН. Более 20 лет под Вашим руководством ученые института вносили существенный вклад в создание фундаментальных научных основ эффективного и безопасного освоения недр, разработку ресурсосберегающих, экологически безопасных технологий добычи полезных ископаемых. За это время Институт стал настоящим интеллектуальным достоянием не только Уральского региона, но и всей нашей страны.

Мы высоко ценим Ваш личный вклад в деятельность Горного университета и становление его ведущим вузом Урала, одним из лидеров инженерного образования. Как педагог и наставник Вы помогли многим Вашим ученикам стать квалифицированными специалистами, найти свой путь в жизни и профессии, а с коллегами всегда были искренним и неравнодушным человеком, умеющим выслушать и дать мудрый совет.

В этот знаменательный день от всего сердца желаю Вам, уважаемый Сергей Викторович, крепкого здоровья, жизненных сил, творческого созидания, благополучия и, конечно, талантливых учеников и последователей. Искренне желаю Вам исполнения самых заветных желаний, многих радостных дней и всего самого лучшего Вам, Вашим родным и близким!

С уважением,
ректор УГГУ

А.В. Душин



Сергею Викторовичу Корнилкову – 70

*Приятно поздравить Сергея Викторовича
с третьим замечательным юбилеем!*

Первый замечательный юбилей – 50 лет – он праздновал молодым профессором кафедры РМОС родного Уральского горного университета, широко и глубоко увязанным со студенчеством, профессорско-преподавательским коллективом, многочисленными специалистами – горняками из других вузов, НИИ, проектных институтов, государственных органов управления, и – очень важно – практиками горного дела. И во всех связях был высоко ценим своими человеческими и профессиональными качествами. Но он не только «профессорствовал» и «докторил» – он еще и предпринимал на рынке исследовательских, проектных и консалтинговых услуг, создав для этого дружный коллектив сотрудников своей фирмы.

Второй замечательный юбилей – 60 лет – он встречал уже состоявшимся директором известного научно-исследовательского института: ИГД УрО РАН. На должность директора он был **избран** коллективом этого института, несмотря на заметное противодействие управляющих кругов РАН. Избиратели не ошиблись в своем выборе: новый директор принес в коллектив свой опыт успешного многостороннего сотрудничества, пригласил к управлению институтом молодежь, придал рыночную направленность ряду застоявшихся подразделений. Очень важно то, что он не стал ничего ломать в коллективе, имеющем богатое прошлое и достойные традиции, нашел взаимодействие с научным руководителем института, авторитетным и широко известным членом Российской академии наук Яковлевым Виктором Леонтьевичем. Их тандем достойно прошел многочисленные сложности нашей действительности и превратился в триумвират в результате успешного выбора их преемника – Игоря Владимировича Соколова.

Желаем Сергею Викторовичу еще более интересных и достойных дел на созданной им научной, практической и человеческой базе!!!

Галкин

Владимир Алексеевич

Макаров

Александр Михайлович



Сергею Викторовичу Корнилкову — 70 лет!

Мое знакомство с Сергеем Викторовичем Корнилковым начало наших отношений произошло в 1997 году, когда Сергей Викторович готовился, а в декабре защитил докторскую диссертацию в межрегиональном диссертационном совете при НИИОГР. Я тогда несколько месяцев исполнял обязанности стажера исполнительного директора НИИОГР. С целью подготовки к защите Сергей Викторович неоднократно приезжал в наш институт. Мне, как и.о. стажера исполнительного директора, доводилось с ним пересекаться. Все, что я знал о нем на тот момент, — потомственный горняк, сын известного и уважаемого в горном сообществе специалиста по пластовой разработке месторождений полезных ископаемых, доктора технических наук, профессора Уральской государственной горно-геологической академии Виктора Николаевича Корнилкова.

Сергей Викторович оказался очень открытым и легким в общении и крайне интересным человеком! Всегда в хорошем настроении, всегда говорит о позитивном; ни одна встреча не была «обделена» новым анекдотом. И, что важно, практически при каждой встрече я узнавал о каком-то интересном технологическом решении или событии в производственной жизни горняков. Так и проходил первый этап нашего общения, друг друга ни к чему не обязывающего.

Кардинально изменилось наше общение после того, как я стал одним из работников Института горного дела. К тому времени С. В. Корнилков уже 4 года был директором этого института. По согласованию с директором НИИОГР Владимиром Алексеевичем Галкиным мне было предложено возглавить Челябинский филиал ИГД УрО РАН. Наши отношения с Сергеем Викторовичем перешли в разряд деловых. При этом, надо отметить, отношения стали ближе и за 10 лет моей работы в ИГД под его руководством только окрепли, несмотря на то что мы были уже в категории «начальник – подчиненный». Я уверен, что основная заслуга в этом принадлежит Сергею Викторовичу.

В результате нашего взаимодействия и, что важно, активного участия в нем Виктора Леонтьевича Яковлева, филиал более органично встроился в тематику Института горного дела, а постепенно — и в жизнь института в целом. Филиал, как и задумывалось изначально, стал звеном, соединяющим два института: ИГД УрО РАН и НИИОГР. Сформировалось новое для ИГД направление — безопасность производства в организационном аспекте, результаты исследований филиала стали включаться в консолидированный отчет института по направлению «Геотехнология», руководителем которого является член-корреспондент РАН В.Л. Яковлев. Сотрудники филиала (они же сотрудники НИИОГР) вошли в диссертационный совет ИГД по специальности «Организация производства». В этом совете неоднократно защищались работы кандидатского и докторского уровня, подготовленные руководителями и специалистами угольных компаний и ГОКов совместно со специалистами НИИОГР и ИГД по специальности «Организация производства».

С 2019 года С.В. Корнилков является главным научным сотрудником ИГД, и наше взаимодействие с ним перешло на третий этап: Сергей Викторович стал прямым участником работ, выполняемых НИИОГРом и филиалом в части разработки методологии



управления производственным риском на горнодобывающем предприятии. Разрабатываемая методология стала приобретать более тесную связь с технологией горных работ, а именно с технологическими предпосылками возникновения опасных производственных ситуаций.

Человеческие и деловые взаимоотношения с профессором С.В. Корниловым для меня, безусловно, приятны, интересны и полезны как в профессиональном, так и в этическом аспектах.

От всей души поздравляю Сергея Викторовича с 70-летием! Надеюсь на дальнейшее взаимовыгодное профессиональное взаимодействие и взаимное удовольствие от личного общения! Желаю ему крепкого здоровья, профессионального и делового долголетия, неиссякаемого жизнелюбия и бодрого состояния духа!

Директор ЧФ ИГД УрО РАН,
директор по безопасности
горного производства ООО «НИИОГР»

И.Л. Кравчук



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕДЖЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА СЕВЕРА
ИМ. Н.В. ЧЕРСКОГО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИГДС СО РАН)

Просп. Ленина, д. 43, Якутск, 677980
Факс (4112) 33-59-30
Телефон (4112) 33-59-30, 39-00-40
E-mail: igds@ysn.ru
<http://www.igds.ysn.ru>
ОГРН 1021401060306/ИНН 1435035057
КПП 143545005

28.09.2023 г. № _____

Вице-президенту НП «Горнопромышленники России»,
сопредседателю Горно-металлургического совета
Уральского федерального округа, члену научного совета
РАН по проблемам горных наук, члену наблюдательного и
экспертного советов Технологической платформы РФ
«Твердые полезные ископаемые», главному научному
сотруднику ИГД УрО РАН, доктору технических наук,
профессору Корнилкову Сергею Викторовичу

Глубокоуважаемый Сергей Викторович!

От имени коллектива Института горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук сердечно поздравляем Вас с замечательной датой - 70-летием со дня рождения.

Многие годы нас с Вами лично и ведущими учеными ИГДС СО РАН и ИГД УрО РАН связывают многолетние дружеские и профессиональные отношения в части служения академической горной науке и практике. Этому, несомненно, в свое время поспособствовал Виктор Леонтьевич Яковлев, возглавлявший с 1986 по 1995 год наш Институт, который приложил максимум усилий и настойчивости в части поддержки Вашей кандидатуры по избранию директором ИГД УрО РАН, который Вы успешно возглавляли в 2006-2018 гг. и продолжаете в настоящее время руководить важным научным направлением Института «Геоинформатика и геоэкология горного производства». Помимо общего руководства исследованиями сотрудников института, в том числе и молодежных коллективов, Вы являетесь непосредственным исполнителем целого ряда важных фундаментальных и прикладных исследований в рамках государственного задания, направленных на изыскание и внедрение технологий раздельной добычи и переработки титано-магнетитов, отработку техногенных месторождений, эффективное освоение угольных и железорудных месторождений, бедных хромитовых и титан-циркониевых руд Урала, Приполярья и Якутии, а также внедрение информационных технологий в проектирование и подготовку специалистов.

Сергей Викторович, мы знаем Вас как талантливого педагога, отдавшего не одно десятилетие делу подготовки научных и инженерных кадров в стенах родного Вам Уральского государственного горного университета и продолжающего дело наставничества молодежи в ИГД УрО РАН. Вами подготовлено 3 кандидата наук, более 300 дипломников и 2 магистра по направлению «Горное дело». Ваша многогранная научная, научно-организационная и общественная деятельность по праву снискала уважение к Вам многочисленных коллег и руководителей горных предприятий страны, как специалисту горного дела высокой квалификации. Подтверждение этому - премия УрО РАН им. академика Л.Д. Шевякова (2010 г.), премия РАН имени акад. Н.В. Мельникова (2022 г.).

Дорогой Сергей Викторович, мы искренне поздравляем Вас с Юбилеем и желаем крепкого, как якутский алмаз, здоровья, благополучия Вам и Вашим близким, творческих успехов в научной деятельности. Оставайтесь всегда таким, как Вы есть - жизнерадостным, общительным и просто хорошим человеком! Всегда рады встрече с Вами на якутской земле!

Директор ИГДС СО РАН, д.т.н.

С.М. Ткач

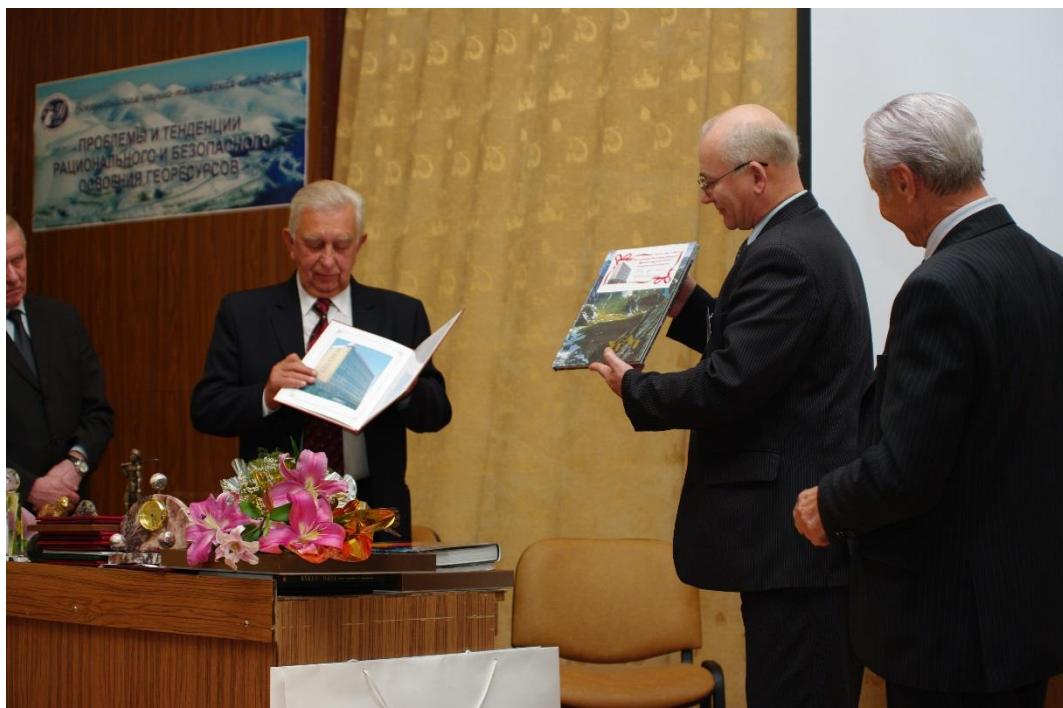
Зам. директора по научной работе, к.т.н.

В.П. Зубков

С.В. Корнилкову – 70 лет

В Горном институте Кольского научного центра РАН хорошо знают Сергея Викторовича как крупного ученого в области открытой разработки месторождений, теории проектирования горных работ, рационального освоения недр, геоинформационных технологий.

Будучи директором Института горного дела УрО РАН, он неоднократно приезжал в Горный институт КНЦ РАН для участия в конференциях и заседаниях совета директоров академических Горных институтов.



Вручение поздравительного адреса Горному институту
в честь 50-летия в 2010 году
(на фото: академик РАН Н.Н. Мельников, д.т.н. С.В. Корнилков,
чл.-корр. РАН В.Л. Яковлев)

Доклады Сергея Викторовича на конференциях неизменно вызывают большой интерес за умение посмотреть на проблему с необычной стороны и предложить оригинальные решения.

Исследования Сергея Викторовича по формированию стратегии развития горнодобывающей промышленности Урала и Сибири, выработка практических рекомендаций освоения и разработки месторождений в сложных горно-геологических условиях, совершенствования проектирования горных работ представляют интерес для Горного института КНЦ РАН, решавшего аналогичные задачи для горной промышленности Кольского полуострова.

Многочисленные труды Сергея Викторовича хорошо известны учёным Кольского полуострова, а его научно-организаторская деятельность заслуживает самого большого уважения.

Несомненная заслуга Сергея Викторовича в подготовке инженерных и научных кадров для горнодобывающей промышленности, что подчёркивает многогранность его личности.



На конференции «Глубокие карьеры» в 2012 году
(на фото: д.т.н. С.В. Лукичёв и д.т.н. С.В. Корнилов)

Горный институт КНЦ РАН благодарен Сергею Викторовичу за неизменную поддержку на протяжении многих лет исследований в области цифровых технологий и надеется на продолжение этих работ.

В день юбилея желаем Сергею Викторовичу от всей души здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.

Директор Горного института
КНЦ РАН, д.т.н.

С.В. Лукичёв

**Уважаемый Сергей Викторович!**

Казахстанские учёные-горняки и руководители крупных горнорудных предприятий знают Вас как известного учёного в области теории проектирования освоения недр, геоинформационного моделирования в горном деле, применения компьютерных технологий при подготовке горных инженеров, а также соавтора известного учебника по проектированию карьеров и как руководителя одного из подразделений Российской Академии Наук – Института горного дела УрО РАН.

Вы на протяжении более 13-ти лет возглавляли ИГД УрО РАН и коллектив, руководимый Вами, постоянно достигал высоких результатов в выполнении планов научно-исследовательских работ.

Все, кто с Вами общался, с особой теплотой отзываются о Вас, как об интеллигентном и владеющем разносторонними знаниями и опытом учёном и руководителе, который в своей работе руководствовался девизом: инновационная направленность научных исследований.

В лабораториях и кабинетах ИГД УрО РАН немало учёных из Казахстана повышали свои знания и обменивались опытом работы, выполняли совместные грантовые работы.

Желаем Вам плодотворной и насыщенной деятельности не только в науке, но и в общественной жизни, в укреплении и расширении научных контактов с учёными Казахстана, создания совместных научных коллективов для внедрения в практику работы горных предприятий Ваших идей и научных разработок.

Поздравляя Вас с 70-летием, от всей души желаем Вам крепкого здоровья, долгих лет жизни, семейного благополучия и новых творческих успехов на благо и процветание своего Отечества!

Доктор технических наук,

Профессор Актюбинского регионального университета

имени К. Жубанова

Кулнияз С.С.



Научно-организационная деятельность Корнилкова Сергея Викторовича

Корнилков Сергей Викторович родился в г. Свердловске 28 сентября 1953 г. в семье горных инженеров и из роддома был доставлен в общежитие Свердловского горного института, в котором жил вместе с родителями и младшим братом до 1967 г.

С 1960 по 1970 гг. обучался в средней школе №110 г. Свердловска, по окончании которой в 1970 г. поступил в Свердловский горный институт им. В.В. Вахрушева, а в 1975 г. закончил его с отличием, получив квалификацию горного инженера по специальности «Технология и комплексная механизация разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом».

При обучении трижды отмечен Почетным знаком ЦК ВЛКСМ «За отличную учебу», начиная со второго курса был привлечен к научно-исследовательской работе лаборатории физики горных пород кафедры шахтного строительства, а с третьего – работал лаборантом в группе применения ЭВМ при моделировании месторождений и горных работ кафедры разработки месторождений открытым способом (РМОС). Защищил диплом по теме «Обоснование производительности Коршуновского карьера с применением ЭВМ». По распределению направлен для работы в научно-исследовательском секторе СГИ в качестве младшего научного сотрудника.

Кандидатская диссертация (технические науки) на тему «Разработка метода расчета годовых контуров карьера при эксплуатации сложноструктурных многокомпонентных месторождений» защищена в октябре 1982 г. (ИПКОН АН СССР, Москва), докторская диссертация (технические науки) на тему «Управление рабочей зоной действующих и проектируемых глубоких карьеров» защищена в декабре 1997 г. (НТЦ-НИИОГР, Челябинск). Ученое звание профессора по кафедре Разработки месторождений открытым способом присвоено в 2000 г.

В период 1973 – 90 гг. основным направлением исследовательской, педагогической и организационной деятельности коллектива кафедры РМОС, возглавляемой проф. В.С. Хохряковым, помимо работ технологического характера и подготовки специалистов по открытой разработке, стало научное, методическое и организационное обеспечение новой специализации – автоматизированное проектирование. Подготовка горных инженеров-пользователей САПР была открыта в 1980 г., осуществлялась в течение более чем 10 лет и стала базой для совершенствования учебных планов подготовки инженеров-открытиков в области применения компьютерной техники при автоматизированном проектировании горных работ. В это время Корнилков С.В. стал ответственным за программно-методическое обеспечение создаваемой специализации, руководителем учебно-производственной лаборатории САПР, обеспечивающей подготовку горных инженеров – пользователей САПР, а также сопровождение развития научных исследований в области моделирования горных работ, впоследствии обоснованное как самостоятельное направление – геоинформатика горного производства.

В 1979 – 2006 гг. выполнял научно-организационную работу в качестве ученого секретаря кафедры, заместителя заведующего кафедрой и заместителя проректора по научной работе. Профессиональная карьера: с 1978 г. – ассистент, с 1984 г. – доцент, а с 1998 г. – профессор кафедры Разработки месторождений открытым способом. С 2004 г. – заместитель проректора по научной работе, директор Научно-производственного объединения УГГУ.

С 2006 г. для С.В. Корнилкова наступает новый этап в его научно-организационной деятельности, когда он на конкурсной основе был избран директором Института горного дела УрО РАН и находился на этой должности до 2019 года.



На основе анализа исторического опыта развития научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ с послевоенного до современного периода и по результатам фундаментальных и прикладных исследований института по проектам программ Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН, Комплексной программы УрО РАН дано обоснование основных элементов инновационного базиса как научно-технологической основы современной стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья, отражающих существование современных взглядов на развитие горной науки, техники и технологий горного производства, представленное в монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья» (В.Л. Яковлев, С.В. Корнилков, И.В. Соколов), авторам которой Президиумом РАН в 2022 году присуждена премия им. Н.В. Мельникова за выдающуюся научную работу.

В настоящее время Корнилков С.В. является научным руководителем направления «Геоинформатика горного производства» Института горного дела УрО РАН, а также научным руководителем и непосредственным исполнителем фундаментальных и прикладных исследований в рамках государственного задания ИГД УрО РАН, а ранее – целевых программ Президиума УрО РАН в области наук о Земле, которые направлены на изыскание и внедрение технологий раздельной добычи и переработки титано-магнетитов с получением титана и ванадия, отработку техногенных месторождений, освоение угольных и железорудных месторождений, бедных хромитовых и титан-циркониевых руд Урала, Приполярья и Якутии, а также внедрение информационных технологий в проектирование и подготовку специалистов.

Корнилков С.В. – один из ведущих в России специалистов в области геотехнологии и геосистемологии освоения недр, управления параметрами рабочего пространства глубоких карьеров, геоинформационного обеспечения планирования и проектирования горного производства, промышленной безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых. Выполняемые в течение длительного времени комплексные междисциплинарные исследования внесли значительный вклад в развитие концепции сырьевого обеспечения горно-металлургического комплекса Урала и развития его минерально-сырьевой базы.

Результаты исследований, выполненных под руководством Корнилкова С.В. и при его личном участии, внедрены в проектное обоснование возобновления добычи бедных хромитовых руд Урала, на предприятиях Высокогорского ГОКа, Челябинского электрометаллургического комбината, УГМК-Холдинга, комбината «Ураласбест», ОАО «Магнезит», при формировании стратегии развития горнодобывающей промышленности Свердловской области до 2020 г. и разработке рекомендаций по освоению месторождений твердых полезных ископаемых на Северном и Приполярном Урале (Ханты-Мансийский автономный округ, Югра).

Разработан экспресс-метод направленного поиска и генерирования вариантов поддержания и развития сырьевой базы крупных горно-обогатительных предприятий, обоснована стратегия создания минерально-сырьевых центров в сложных природно-климатических условиях, учитывающая не только необходимость комплексного освоения недр, но и комплексного освоения территорий. Показана технологическая возможность и экологическая эффективность вовлечения в эксплуатацию отходов добычи и переработки руд цветных и черных металлов. Предложена методика геоинформационной оценки совокупного техногенного воздействия горных работ на геосреду, основанная на выделении областей (зон) по типам «техногенного поражения» георесурсов и геосистем, трансформирующихся в пространстве и времени.

Серия научных работ Корнилкова С.В. «Разработка геоинформационных техно-



логий оценки минерально-сырьевых ресурсов Урала и обоснования эффективных параметров эксплуатации месторождений» в 2010 г. отмечена премией УрО РАН им. академика Л.Д. Шевякова.

С апреля 2006 г. по октябрь 2019 г., успешно совмещая административную, научно-организационную и научную деятельность, активно участвовал в адаптации коллектива института и выполняемых им исследований при реализации пилотного проекта, опираясь на опыт ветеранов института и во взаимодействии с руководителями институтов горного профиля. Реструктуризация целей и задач, а также существа исследований применительно к сложившейся экономической обстановке позволила в тот период создать эффективное ядро исследователей, обеспечивающее устойчивую работу по развитию фундаментальных и прикладных исследований, омолодить исследовательский коллектив.

Корнилков С.В. является автором более 300 научных трудов, посвященных развитию минерально-сырьевой базы страны, в том числе 19 научных изданий, коллективных монографий, учебно-методических разработок, учебных пособий и учебников для ВУЗов.

Корнилков С.В. ведет активную научно-педагогическую деятельность, уделяя большое внимание подготовке высококвалифицированных кадров горного профиля – подготовил более 300 горных инженеров-дипломников, трех магистров по направлению «Горное дело» и двух кандидатов наук. С его непосредственным участием в 1980 – 90 гг. в рамках общероссийской программы по созданию учебных САПР был разработан и реализован первый в стране учебный план, обеспечивающий расширенную компьютерную подготовку инженеров горного профиля. Организовал и осуществляет контроль за работой Научно-образовательного центра ИГД УрО РАН для подготовки специалистов высшей квалификации в области геотехнологии и геомеханики.

Корнилков С.В. также является:

- членом научного совета РАН по проблемам горных наук, экспертом РАН;
- действительным членом Академии горных наук;
- членом Общественного совета МТУ Ростехнадзора РФ по Уральскому федеральному округу;
- сопредседателем Горно-металлургического совета Уральского федерального округа;
- членом наблюдательного и экспертного советов Технологической платформы РФ «Твердые полезные ископаемые»;
- вице-президентом и членом Высшего горного совета НП «Горнопромышленники России»;
- президентом НКП «Взрывники Урала»;
- главным редактором сетевого периодического научного издания «Проблемы недропользования»;
- членом редакционных коллегий журналов «Рациональное освоение недр», «Литосфера», Вестник НАГН;
- заместителем председателя диссертационного совета Д 004.010.01 при ИГД УрО РАН и членом 2 диссертационных советов при УГГУ.

Заслуги и достижения Корнилкова С.В. отмечены ведомственными и региональными наградами:

- Почетная грамота Министерства образования РФ (2003 г.); Почетная грамота ФАНО (2017 г.);
- Нагрудный знак «Шахтерская слава» 2 и 3 степени (2004 г., 2007 г.);
- Межведомственный нагрудный знак «Горняцкая слава» 1, 2, 3 степеней (2012 г.);
- Малый серебряный знак «Горняк России» (2021 г.);



- Памятные медали: «25 лет Академии горных наук» (2018 г.); «300 лет Берг-колледжи России» (2019 г.); «100 лет энергетической стратегии России» (2020 г.); медаль М.В. Ломоносова «За вклад в науку и экологию» (2017 г.);
- Премия УрО РАН имени академика Л.Д. Шевякова (2010 г.); Премия РАН имени академика Н.В. Мельникова (2022 г.); Уральская горная премия (2019 г.).

Сердечно поздравляем Сергея Викторовича – одного из ярких представителей Уральской школы отечественной горной науки – со славным юбилеем и желаем ему доб-
рого здоровья и дальнейших творческих успехов!

Директор ИГД УрО РАН, д.т.н.

Соколов И.В.

Руководитель аналитической
группы ИГД УрО РАН,
член-корр. РАН, Советник РАН

Яковлев В.Л



УДК 622.014.3:553.042

Яковлев Виктор Леонтьевич

доктор технических наук, профессор,
советник РАН, член-корреспондент РАН,
Институт горного дела Уральского отделения
Российской академии наук,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: yakovlev@igduran.ru

**ОБСУЖДЕНИЕ НАЗРЕВШЕЙ ПРОБЛЕМЫ
ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО
ПЕРИОДА ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ПРОБЛЕМАМ КОМПЛЕКСНОГО
ОСВОЕНИЯ НЕДР И РАЗВИТИЯ
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ
РОССИИ ***

Аннотация:

Минерально-сырьевая потенциал России оценивается как достаточный для проведения независимой экономической политики и обеспечения национальной безопасности.

После распада СССР разведанные и освоенные месторождения многих видов минерального сырья оказались за пределами России, а в период перехода от плановой к рыночной экономике возникли проблемы в производстве и потреблении минерального сырья.

Институтом разработан и обоснован методологический подход к решению проблем освоения недр, изложенный в монографии «Иновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья».

В статье представлены методологические результаты исследований по оценке состояния и развитию минерально-сырьевой базы России на основе результатов исследований ИГД УрО РАН, предложенные в качестве научного сопровождения при разработке и реализации «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2030 – 2050 гг.». Изложены предложения института для учета при разработке проекта федеральной научно-технической программы «Развития минерально-сырьевой базы и технологии добычи и обогащения руд стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, стратегия развития, комплексное освоение, горнотехническая система, методологический подход, инновационная направленность.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.021

Yakovlev Viktor L.

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Advisor of the Russian Academy of Sciences,
Corresponding Member of the RAS,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: yakovlev@igduran.ru

**DISCUSSION OF THE URGENT PROBLEM -
FEATURES OF THE MODERN PERIOD
OF RESEARCH ON ISSUES
OF THE COMPLEX DEVELOPMENT
OF THE BOWELS AND OF THE MINERAL
RESOURCE BASE DEVELOPMENT
IN RUSSIA ***

Abstract:

The mineral resource potential of Russia is to assess as sufficient for conducting an independent economic policy and for ensuring national security. After the collapse of the USSR, the explored and developed deposits of many types of mineral raw materials turned out to be outside of Russia, and during the transition from a planned economy to a market one, problems arose in the production and consumption of mineral raw materials.

The Institute of Mining has developed and substantiated a methodological approach to solving the problems of subsurface development, described in the monograph "The Innovative Basis of the Strategy of Complex Development of Mineral Resources".

The article presents the methodological results of studying the assessment of the state and prospective of the mineral resource base in Russia based on the research results of the IGD URO RAS, proposed as scientific support in the development and implementation of the "Strategy for the development of the mineral resource base of the Russian Federation for the period up to 2030 – 2050." The paper presents the proposals of the Institute for consideration in the development of the draft federal scientific and technical program "Development of the mineral resource base and technology of extraction and enrichment of ores of strategic metals and their extraction to ensure the high-tech industry of the Russian Federation".

Key words: mineral resource base, development strategy, complex development, mining system, methodological approach, innovative orientation.

Введение

Проблемы эффективного и безопасного освоения минерально-сырьевых ресурсов планеты в целом и России в частности выходят за рамки горного производства, более

* Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки №075-00412-22ПР. Тема 1. FUWE 2022-0005



того, они могут быть решены не только с участием геологов, горняков, металлургов, экономистов, но и специалистов других отраслей, так как носят геополитический характер.

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

В.В. Путин, еще не будучи президентом России, в «Записках горного института» отмечал: «*Устойчивое развитие экономики России в ближайшие годы должно базироваться ... прежде всего за счет минерально-сырьевого потенциала. Под устойчивым развитием ... подразумевается гарантированное обеспечение экономической безопасности страны путем создания надежной минерально-сырьевой базы для удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики России с учетом экологических, социальных, демографических, оборонных и других факторов.*

Уже тогда с тревогой были восприняты намерения западных стран использовать минеральные ресурсы стран «третьего мира», к которым они относили и Россию. Об этом свидетельствует опубликованная в журнале «Глюкауф» (2004 г.) статья руководителя департамента Горной промышленности и науки проф. Х. Вагнера и почетного доктора горных наук Г.В. Феттвайса (Австрия), в которой рассматриваются вопросы горной науки и технологии разработки месторождений полезных ископаемых в западных странах в начале нового столетия. Вот цитата из этой статьи: «*...западные промышленно развитые страны не имеют права полностью устраниться от развития горной науки и возложить основную ответственность на добывающие страны третьего мира. Существует настоятельная необходимость в разработке долгосрочной политики стабильного снабжения минеральными ресурсами Европы и других стран Запада с тем, чтобы сохранить позиции ведущего экономического региона. Запланированная ЕС «Восточная экспансия» по присоединению ряда важных добывающих стран может рассматриваться как идеальная возможность пересмотреть политику Европы в области горной науки.*

К сожалению, следует отметить, что Европе и Западу в целом удалось в последние годы, включая и современный период, реализовать запланированную «Восточную экспансию». Об этом свидетельствуют опубликованные в 2011 г. в журнале «Маркшейдерия и недропользование» № 4 (54) и № 5 (55) статьи Вице-президента РАН, д.т.н., проф. Е.А. Козловского (министра геологии СССР 1975 – 1989 гг.) «Национальная безопасность в свете минерально-сырьевых проблем» [1], в которых отмечены следующие негативные моменты: «*Общий экономический кризис и спад промышленного производства, вызванные «глубоким реформированием» экономики и переходом к рыночным отношениям, привели к резкому падению внутреннего спроса практически по всем видам минерально-сырьевой продукции. Так, с 1991 г. внутреннее потребление алюминия первичного снизилось в 3 раза, меди рафинированной – в 3,4, свинца – в 3,3, цинка – в 2,7, никеля – в 5,7, олова – в 4,2, вольфрамовых и молибденовых концентратов – соответственно, в 8,4 и 6,4 раза.*

Резкое сокращение внутреннего рынка заставило российских продуцентов расширять позиции на внешних рынках. За рубежи России вывозится 41 – 45 % добываемой в стране нефти и 30 – 35 % производимых нефтепродуктов, 30 – 33 % газа, а по алюминию, никелю, меди, металлам платиновой группы и алмазам Россия занимает ведущее место среди стран-экспортеров, оказывая значительное влияние на конъюнктуру мирового рынка.

Экспорт важнейших видов минерально-сырьевой продукции является важнейшим источником наполнения бюджета, обеспечивая свыше 70 % валютных поступлений. Однако это неизбежно вело к превращению нашей страны в минерально-сырьевой придасток Запада и к быстрому исчерпанию ранее разведанных запасов полезных ископаемых. К тому же валютные поступления от экспорта оказывались не у государства, а в значительной степени в руках олигархов и разного рода посредников».



В этих работах им дана оценка состояния и перспектив развития минерально-сырьевого комплекса России:

«1. Состояние сырьевых баз многих важнейших горнодобывающих регионов страны и действующих предприятий резко ухудшилось.

2. Важнейшими факторами, определяющими критическое состояние минерально-сырьевого комплекса России на современном этапе, являются выбытие добывающих мощностей при существующих низких темпах ввода в эксплуатацию новых месторождений и значительное сокращение объемов геологоразведочных работ.

3. Указанные негативные факторы в ближайшей перспективе могут привести к существенному сбою минерально-сырьевого комплекса и как результат – к замедлению темпов экономического развития и к угрозе экономической безопасности страны».

В обобщенном виде можно выделить несколько проблем в развитии минерально-сырьевой базы России, производстве и потреблении минерального сырья.

После распада СССР разведанные и освоенные месторождения многих видов минерального сырья (хромиты, марганцевые и урановые руды и др.) оказались за пределами России, а потому ряд перерабатывающих и металлургических предприятий, особенно в Уральском регионе, оказался отрезанным от источников минерального сырья.

В период перехода от плановой к рыночной экономике практически распались геологоразведочные службы, а действующие горнодобывающие и металлургические предприятия почти вдвое снизили объемы производства.

В еще большей степени, чем производство продукции минерального сырья, снизилось его внутреннее потребление, в частности машиностроительными предприятиями, в связи с чем на горных предприятиях все в больших масштабах стало применяться импортное горное, транспортное и обогатительное оборудование.

На большинстве горнодобывающих предприятий наиболее богатые по содержанию полезных компонентов и расположенные в верхней зоне участки месторождений оказались отработанными, и требовалось вскрытие глубоких горизонтов как на открытых, так и подземных горных разработках, что связано со значительными капитальными вложениями.

В силу специфики природно-климатических условий России и горно-геологических особенностей месторождений, их освоение требует больших материальных и трудовых затрат, в том числе на строительство и развитие транспортных коммуникаций, инфраструктуры, на применение оборудования в северном исполнении. Особенно это характерно для уже разрабатываемых и в еще большей степени подлежащих разведке и последующему освоению месторождений Северо-Запада и Северо-Востока России, Полярного Урала, северных регионов Сибири.

Сегодня с сожалением приходится констатировать, что в России не завершена разработка государственной стратегии управления минерально-сырьевой составляющей жизнеобеспечивающего потенциала государства. Ресурсы недр, людские ресурсы и денежные средства не сведены в единый государственный комплекс, в единую структурную систему, целевой функцией которых стала бы безопасность страны и благосостояние проживающего на ее территории населения. Действующий закон о недрах не подкреплен регламентирующими подактами, инвестиционная политика не стимулирована на поддержку и развитие собственной сырьевой базы и металлургических производств, экспорт сырья превратился в важную составляющую экономического сектора страны. В то же самое время металлургический комплекс испытывает значительный дефицит в рудном сырье, машиностроение – в металле с повышенными качественными показателями, наука – в поддержке развития прорывных и наукоемких технологий.

Стратегия как долгосрочная политика развития минерально-сырьевой базы государства является ступенчатой структурой, в которой переплетаются интересы трех основных недропользователей – государства, региона, прямого недропользователя. Их общим интересом является укрепление и развитие сырьевой составляющей экономики, их



пути и возможности разные. Государство обеспечивает законодательно-правовую основу – фундамент стратегии; регион разрабатывает концепцию развития промышленных, сельскохозяйственных и социальных комплексов на своей территории; прямой недропользователь в рамках законодательных актов осуществляет разработку месторождений полезных ископаемых. При этом его интересы очевидны и просты – извлечь максимальную выгоду при отработке месторождения, не вступая в противоречие с законодательством.

Задача государственных структур также очевидна и проста – обеспечить поступление в государственную казну дивидендов от сдачи в эксплуатацию общенародного достояния – богатств Недр. Эти отношения регулируются нормативно-правовыми актами.

Региональная стратегия освоения недр строится на основе долговременного функционирования крупных промышленных комплексов как основных источников пополнения бюджета. Поэтому регионы заинтересованы в поддержании и развитии минерально-сырьевой базы того или иного промышленного комплекса, укрепляя свое положение на рынке. Корпоративные формы создают условия устойчивого и более планомерного функционирования перерабатывающих производств и горнодобывающих предприятий. Но и здесь сохраняется противоречие между требованием наиболее полного и комплексного использования недр и узкой специализацией горных предприятий на извлечение конкретного компонента.

Выбор стратегии освоения минеральных ресурсов ставит перед федеральными органами задачу: разработать государственную программу развития горнодобывающих комплексов и связанных с ними отраслей промышленности. Такая программа должна четко очертить перспективу государственного отношения к недрам и пробудить интерес у недропользователей к бережному обращению с богатствами. При составлении этой программы необходимо учитывать реконструкцию действующих горнодобывающих предприятий, размещение и строительство новых, экологическую обстановку, социальные условия, долгосрочную перспективу развития всего экономического комплекса государства. Потребуется поэтапное решение задач как на федеральном, так и на государственном уровне.

Особенности условий развития горнодобывающей промышленности обусловлены также уникальностью объектов освоения: нет двух одинаковых месторождений. Объективно существует многообразие природных условий расположения месторождений и горно-геологических условий залегания рудных тел; пространственная ограниченность геологических объектов и структур. Последнее, в частности, означает, что запасы конкретного минерального образования в недрах ограничены и невозобновляемы, что говорит о временных ограничениях эксплуатации конкретного участка недр. Это обстоятельство предъявляет особые требования к прогнозу, планированию, организации и управлению горной промышленностью, оказывая влияние на стратегию освоения недр и методологию ее выбора.

Результаты многолетних фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН по Программам Президиума РАН Отделения наук о Земле РАН и УрО РАН, междисциплинарным и интеграционным проектам с институтами Уральского, Сибирского и Дальневосточного отделений РАН, Госзаданиям Минобрнауки по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых соответствуют целям и задачам «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 декабря 2018 г. № 2914-Р, как основы для формирования и реализации государственной политики в области геологического изучения недр, использования минерально-сырьевой базы на федеральном и региональном уровнях, а также для разработки государственной программы Российской Федерации.

Основные результаты исследований представлены в монографии «Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья» [2], авторам



которой Яковлеву В.Л., Корнилову С.В., Соколову И.В. в феврале 2022 года Бюро ОНЗ РАН присуждена премия им. Н.В. Мельникова за выдающиеся работы в области проблем комплексного освоения недр.

В укрупненном виде основные результаты исследований состоят в следующем:

- обоснована необходимость новых методологических подходов к решению проблем освоения недр на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности;
- дано определение стратегии разработки глубокозалегающих крутопадающих месторождений с учетом нарастания геологической, горнотехнической и технико-экономической информации в динамике развития горных работ;
- в целях комплексного решения проблем освоения недр и территорий при вовлечении в эксплуатацию месторождений в сложных природно-климатических условиях обоснована целесообразность создания минерально-сырьевых центров при формировании горнопромышленных комплексов Дальневосточного и Уральского регионов;
- оценен ресурсный потенциал и перспективы развития минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала, испытывающего дефицит в железорудном, медном, хромитовом и марганцевом сырье;
- обоснована технологическая возможность и экономическая эффективность вовлечения в эксплуатацию отходов добычи и переработки руд черных и цветных металлов Урала;
- изложены принципы формирования транспортных систем глубоких карьеров;
- предложена новая схема комбинированной и подземной геотехнологии добычи и переработки железных руд;
- обоснована последовательность создания геоинформационных моделей и ГИС-технологий для решения комплексных задач горного производства.

Главным результатом исследований института является разработка и обоснование стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья.

На основе анализа исторического опыта развития научных идей и методологических подходов к обоснованию технологий и параметров горных работ (вторая половина XX века – начало XXI века), а также результатов фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН по проектам Программ Президиума РАН, Отделения наук о Земле РАН, Комплексной программы УрО РАН сформулировано определение инновационного базиса как научно-технологической основы современной стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья.

Предложена формулировка сущности методологии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Стратегия освоения глубокозалегающего сложноструктурного месторождения – долгосрочный план действий на всех этапах разведки, проектирования и разработки месторождения до получения товарной продукции на основе методологического подхода на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, учитывающих нарастание геологической и горнотехнической информации, включая исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при реализации принимаемых инновационных технологий оценки, добычи, рудоподготовки и обогащения минерального сырья.

Методологические результаты исследований предложено учитывать при разработке стратегии развития минерально-сырьевой базы России на период до 2030 – 2050 гг.

Месторождения и горные предприятия по их разработке являются сложными многофакторными горно-технологическими комплексами, развивающимися в течение длительного времени (20 – 25 и более лет) в пространстве и во времени и характеризующимися как объекты исследования с большим массивом нарастающей информации – геологической, геометрической, экологической, технической, технологической, экономической, находящихся в сложной взаимосвязи, что предопределяет необходимость периодического поэтапного пересмотра ранее принятых при проектировании и эксплуатации



решений на основе исследования переходных процессов с целью адаптации горно-технической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования [3].

Особо сложно осваивать глубокозалегающие сложноструктурные месторождения, когда, в связи с нарастанием информации о геологических параметрах залежей полезных ископаемых и вмещающих пород и с ростом глубины, требуется уточнять кондиции и пересчитывать запасы, изменять границы поэтапной разработки, переходить на новые технологии добычи и переработки минерального сырья.

Переходные процессы при разработке месторождений полезных ископаемых возникают в период реконструкции горных предприятий, диверсификации производства, освоения новых технологий, перестройки системы управления, изменения форм организации труда и других преобразований.

В качестве подтверждения актуальности исследования переходных процессов следует отметить, что на Общем собрании членов РАН (г. Москва, 13 – 14 ноября 2018 г.) была проведена научная сессия «Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации», на которой были заслушаны и обсуждены доклады председателей Советов семи приоритетов научно-технологического развития, при этом в 4-х приоритетах ключевым являлось слово «переход».

Во всех докладах председателей Советов и содокладах членов РАН нашли отражение три основных вопроса: оценка сложившегося состояния, обоснование необходимости исследований и разработки комплекса научных и организационных мероприятий по переходу к новому этапу научно-технологического развития в выделенных Президентом и Правительством РФ приоритетных направлениях и достижению по ним за 6-летний период с 2019 к 2024 г. 4 – 5-ых мест в рейтинге ведущих стран мира по критериальным параметрам оценки научно-технологического уровня развития.

Одной из главных причин необходимости исследования переходных процессов в технике и технологии горно-обогатительного производства минерального сырья является высочайшая степень зависимости от природной изменчивости геологических параметров глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, информация о которых нарастает по мере развития горных работ, что требует создания стратегии управления этими процессами в течение всего срока их отработки.

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

Новые методологические направления в решении проблем освоения недр являются результатом многолетних исследований, основанных на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности. Но этого еще недостаточно. Требуется изучить многолетний опыт развития не только техники и технологии горного производства, но и технического прогресса в смежных областях, при этом не только в области наук о Земле, но и в других, достижения которых содействуют техническому прогрессу в горнодобывающих отраслях и, естественно, в теории и практике технологических процессов горно-обогатительного и металлургического производства, а также ряда отраслей горного машиностроения.

Что касается собственно наук о Земле, то успешное, то есть экономически эффективное, технологически и экологически безопасное освоение месторождений возможно лишь на основе достоверной геологической информации по параметрам залежей полезных ископаемых, о наличии, помимо основного, попутных полезных компонентов, физико-механических свойствах залежи и вмещающих горных пород, при этом главным является знание свойств и параметров залежей и закономерностей их изменения в связи



с нарастанием геологической и горнотехнической информации по мере развития горных работ в процессе разработки месторождения.

Направления опережающего развития в науке, технике, технологии и организации поиска, разведки, добычи и переработки недровых запасов полезных ископаемых – важнейшая проблема стратегии освоения недр.

Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2914-р от 22 декабря 2018 г. утверждена Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года.

Минприроды России было поручено разработать и утвердить в трехмесячный срок со дня вступления в силу данного распоряжения план мероприятий по реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года и обеспечить его выполнение, а также рекомендовано органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации в пределах своей компетенции руководствоваться положениями Стратегии при разработке и реализации программ социально-экономического развития субъектов РФ, нормативных правовых актов и иных документов.

С методологической точки зрения у утвержденной «стратегии» есть два недостатка:

- в ней нет механизма (методики) реализации в принципе правильно сформулированной идеи, целей и задач выбора стратегии освоения минерально-сырьевых ресурсов;
- основное внимание уделено геологическому изучению недр и оценке современного состояния с обеспеченностью разведанными запасами различных видов минерального сырья, без учета геолого-технолого-экономических, природных и социально-экономических условий комплексного освоения месторождений сырьевых регионов России.

В «Докладе о реализации Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» содержится следующая информация.

Утвержденная Правительством «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» является отраслевым документом стратегического планирования, разработанным Министерством природных ресурсов и экологии России.

В качестве соисполнителей указаны восемь федеральных органов исполнительной власти, однако неясно, кто за что отвечает.

В «Аналитической справке о реализации отраслевого документа стратегического планирования» показателем, определяющим результивность развития минерально-сырьевой базы в части экономической и энергетической безопасности страны является соотношение прироста запасов полезных ископаемых и для трех групп полезных ископаемых определены целевые значения показателей:

- для первой группы (медь, никель, молибден, вольфрам и др.) – не ниже 50 %, что позволит поддержать достигнутые уровни добычи на протяжении многих десятилетий;
- для второй группы (золото, серебро, алмазы, цинк и др.) – недостаточно обеспеченных запасами месторождений на уровне 100 %;
- для третьей группы (уран, марганец, хром, титан, бокситы, редкоземельные металлы) – на уровне 75 %, а предельно допустимые – на уровне 50 %.

Отмечено, что достижение этих показателей будет обеспечено открытием месторождений с качественными рудами на основе внедрения усовершенствованных прогнозно-поисковых комплексов, а также разработка новых экономически эффективных технологий обогащения и переработки низкокачественного минерального сырья и вовлечение его в освоение.

Возникает вопрос: кем будет или должно быть обеспечено открытие новых месторождений и почему отсутствует добыча и оценка этих видов минерального сырья в недрах? В качестве показателя, характеризующего повышение инвестиционной привлекательности геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой



базы, установлено отношение вложений внебюджетных средств на выполнение геологоразведочных работ к объему бюджетного финансирования.

Начиная с 2019 года, на каждый рубль бюджетного финансирования, вложенный в геологоразведочные работы, будет приходиться не менее 10 рублей средств недропользователей. Вновь возникает вопрос: а недропользователи знают, что разведывать и для каких полезных ископаемых?

В пункте 9 доклада отмечено, что в 2021 году продолжена работа по совершенствованию механизма «заявительного» принципа предоставления права пользования недрами для геологического изучения недр за счет средств недропользователей. А каков принцип предоставления прав пользования недрами за счет бюджета?

К числу факторов, оказывающих негативное влияние на развитие минерально-сырьевой базы Российской Федерации, отнесено колебание мировых цен на минеральное сырье, падение доходов российских компаний, поступление средств в бюджетную систему, проявление негативной политической и экономической конъюнктуры, внешнее санкционное давление, ограничение рынков сбыта отечественной минеральной продукции, запреты на использование иностранной техники и технологий. К сожалению, не указано, что надо делать в этих условиях.

Выполненный аудиторами Счетной палаты РФ (М. Мень и А. Каульбарс) «Анализ воспроизводства минерально-сырьевой базы Российской Федерации в 2015 – 2019 годах» выявил нормативные и управленческие проблемы, которые сдерживают развитие минерально-сырьевой базы страны [4].

В первую очередь – это несовершенство нормативно-правовой базы. Существующая регуляторная основа развития отрасли не отвечает современным требованиям.

Не принят ряд приоритетных законов, направленных на повышение инвестиционной привлекательности недропользования, обеспечение воспроизводства минерально-сырьевой базы, рационального использования и охраны недр. Не в полной мере регламентированы вопросы лицензирования, оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых и их классификации. Другая проблема – слабый приток частных инвестиций в геологическое изучение недр, особенно на ранних стадиях. Инвесторов останавливает отсутствие эффективных экономических стимулов и чрезмерно длительный процесс получения разрешительной документации на геологическое изучение недр – от 180 до 300 дней.

Еще один сдерживающий фактор – недостаточная доступность геологической информации. Значительная часть геологических отчетов, созданных в период СССР, остается засекреченной при том, что их тематика в настоящее время открыта. Кроме того, материалы исследований, проведенных до 2000 года, хранятся в основном на бумажных носителях и требуют перевода в электронный вид.

В то же время, несмотря на проблемы, в целом объем финансирования геологического изучения и воспроизводства минерально-сырьевой базы на протяжении последних лет растет. В 2015 – 2019 годах он составил 1,8 трлн рублей, увеличившись за этот период в 1,2 раза. Причем 90 % финансирования – средства недропользователей. Однако вкладываются они преимущественно в разведку месторождений в районах с наибольшей концентрацией и доступностью запасов. Риски ранних стадий геологоразведки берет на себя федеральный бюджет. В результате по 197 из 228 разведенным твердым полезным ископаемым поиск и оценка запасов вообще не проводится. Это касается и стратегических видов, потребность в которых Россия в значительной мере удовлетворяет за счет импортных поставок.

Ими был сделан вывод: *«При всем богатстве и многообразии минерально-сырьевой базы России в ее нынешнем состоянии имеет риски стагнации и не может служить драйвером экономического роста. Потенциал «поискового задела» для наращивания минерально-сырьевой базы ограничен из-за недостаточной геологической изученности»*



сти недр. Сегодня среднемасштабным картированием охвачено только 24,1 % территории страны. Для дальнейшего развития геологической отрасли не хватает передовых технологий, инвестиционной привлекательности, современного нормативного регулирования, цифровизации и открытости геологической информации».

В качестве объектов экспертно-аналитического анализа выделены следующие объекты:

- Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации;
- Министерство промышленности и торговли Российской Федерации;
- Министерство экономического развития Российской Федерации;
- Министерство финансов Российской Федерации;
- Федеральная налоговая служба;
- Федеральное агентство по недропользованию;
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский федеральный геологический фонд»;
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»;
- Акционерное общество «Росгеология».

Предложено направить информационные письма Счетной палаты Российской Федерации Президенту Российской Федерации и в Правительство Российской Федерации, а отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия – в Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации и Государственную Думу Федерального Собрания Российской Федерации.

Приведенные краткие результаты анализа позволяют выделить два важных вопроса. Во-первых, какие из девяти объектов экспертного аналитического мероприятия за что отвечают и кто координирует их деятельность. Во-вторых, когда и в какой форме будут устранены отмеченные экспертами недостатки, изложенные в отчете экспертно-аналитического мероприятия, направленные в Высшие Государственные органы.

На состоявшемся 23 – 24 мая 2023 года общем собрании президент РАН Г.Я. Красников отметил необходимость «изменения» сложившегося миропорядка, формирования новой структуры экономических и международных отношений.

Сегодня РАН становится для России стратегическим интеллектуальным ресурсом для решения приоритетных государственных задач, обеспечения технологического суверенитета, перехода экономики на инновационный путь развития. РАН начинает формировать Государственное задание на проведение фундаментальных исследований по новым принципам. Дополнительно к публикационной активности вносится новый критерий – «востребованность научных результатов».

Одна из основных целей РАН – экспертное научное обеспечение деятельности органов Государственной власти. РАН объединяет специалистов высочайшей квалификации практически по всем направлениям деятельности и должна обеспечить экспертизу важнейших государственных решений, стратегических документов, программ и проектов.

В составе РАН действует 42 научных совета, в том числе Научный совет РАН по проблемам Горных наук (председатель акад. Захаров В.Н.) и Научный совет РАН по проблемам обогащения полезных ископаемых (председатель акад. Чантурия В.А.). В числе трех новых создан Межведомственный научный совет РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рационального использования (председатель акад. Алдошин С.М.) с целью содействия РАН в реализации задач, возложенных на нее Федеральным законом от 27 сентября 2013 года №253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и уставом РАН.



Совет является экспертым и научно-консультативным органом РАН. Совет создан в целях развития отечественной перспективной минерально-сырьевой базы, содействия в проведении научных исследований по обеспечению комплексного сопровождения геологоразведочных работ, добычи и промышленной переработки твердых полезных ископаемых, а также ускоренного замещения импортных технологий и оборудования российскими аналогами.

Разрабатывается проект федеральной научной технической программы «Развитие минерально-сырьевой базы, технологий добычи и обогащения руд стратегических металлов, их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации».

В задачу ученых в области горных наук и специалистов горного дела в решении проблем комплексного освоения недр входит участие в разработке научно-технических программ развития минерально-сырьевой базы и обоснование технологий и объемов добычи и переработки утвержденных запасов минерального сырья конкретных месторождений твердых полезных ископаемых на территориях федеральных округов и субъектов Российской Федерации с учетом их природно-климатических, геологических, горно-технических, социально-экономических и инфраструктурных условий организации горного производства.

На основе многолетних фундаментальных и прикладных исследований института по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых сформулированы «Предложения Института горного дела УрО РАН по корректировке основных положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 г.», направленные в адрес Межведомственного совета РАН с готовностью принять участие в проведении исследований по разрабатываемой научно-технической программе.

Суть этих предложений сводится к следующему.

1. Минерально-сырьевая база отрасли, региона, предприятия – не только совокупность разведанных на определенной территории месторождений. При существующих подходах к оценке сырьевых ресурсов даже наличие апробированных балансовых запасов полезных ископаемых совсем не означает, что они будут отрабатываться в обозримом будущем. *Поэтому под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также средства и способы их добычи и переработки.*

2. К числу сложностей развития минерально-сырьевой базы следует отнести природно-климатические условия; недостаточное развитие или отсутствие энергетической и транспортной инфраструктуры; экологические ограничения, дефицит рабочей силы, сырья и материалов. Развитие МСБ должно быть увязано с перспективами освоения и социально-экономического развития территорий РФ, привязано к стратегии их сырьевого обеспечения и дополняться *принципом комплексного освоения территорий, сопровождающегося формированием минерально-сырьевых центров.*

3. Современный этап требует особое внимание *уделить не только добыче и глубокой переработке трудно извлекаемых запасов нефти, но и твердых полезных ископаемых*, а при разработке стратегии развития сырьевой базы обеспечить реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии, промышленности строительных материалов и других, основанных на опережающем изучении и комплексной оценке дефицитных месторождений твердых полезных ископаемых, углей, редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр.

4. Стратегическими направлениями разведки, добычи и переработки полезных ископаемых следует полагать комплексное освоение минерального сырья для производства сталей с заданными свойствами (твердосплавными, нержавеющими, термостойкими, холодостойкими, износостойкими и пр.). Опережающие темпы освоения и переработки минеральных ресурсов должны обеспечивать сырьевое наполнение развивающихся



и формируемых на территории РФ станкостроительных, машиностроительных, транспортных (морских, речных и железнодорожных), строительных и других промышленных кластеров, обеспечивающих импортозамещение и развитие прорывных технологий, в том числе технологий раздельной глубокой переработки по технологическим сортам и природным типам руд.

5. Стратегическим резервом являются минеральные ресурсы накопленных техногенных образований, извлечение и глубина переработки которых обосновывается экономически. Подлежат консервации опасные отходы, эффективная и безопасная технология утилизации которых не отработана. Индикаторами эффективности переработки техногенно-минеральных образований следует считать существенное сокращение (ликвидацию) отходов, образовавшихся в процессе вторичной переработки техногенного сырья, со снижением класса их опасности; наличие инженерных мероприятий, предотвращающих распространение текущих и прогнозируемых загрязнений.

В дополнение в адрес Председателя Межведомственного совета РАН направлено «Обоснование целесообразности участия ИГД УрО РАН в проведении исследований по разрабатываемой научно-технической программе», основанное на учете особенностей научного коллектива Института горного дела УрО РАН, состоящих в том, что коллектив освоил и развил научно-методологический потенциал, позволяющий полученные знания в результате фундаментальных исследований по программам Президиума РАН, ОНЗ РАН и УрО РАН, особенностей и закономерностей развития горного дела, выполнения интеграционных проектов в творческом сотрудничестве с учеными институтов горного профиля РАН, Института геологии и геохимии УрО РАН, Института металлургии УрО РАН и Института экономики УрО РАН, УГГУ, Минобрнауки РФ использовать при оценке состояния и разработки инновационных технических и технологических решений проблем комплексного освоения недр (табл. 1).

Таблица 1
**Результаты исследований по конкурсным проектам ИГД УрО РАН
по Программам Президиума РАН и УрО РАН**

Программа	Проект	Основные результаты
Программа Президиума РАН № 27 «Фундаментальный базис инновационных технологий прогноза, оценки, добычи и глубокой комплексной переработки стратегического минерального сырья, необходимого для модернизации экономики России» 2012 – 2014 гг. (координаторы ак. Л.И. Леонтьев, ак. Д.В. Рундквист)	Проект «Разработка инновационных технологий добычи и рудоподготовки стратегического минерального сырья на основе геолого-технологической оценки месторождений и техногенных объектов Уральского региона» (рук. проф., д.т.н. В.Л. Яковлев)	Разработаны инновационные технологические процессы добычи и рудоподготовки с выявлением продуктов, характеризующихся накоплением ценных компонентов, пригодных для последующей комплексной переработки.
Программа № 3 ОНЗ РАН «Комплексное освоение недр Земли: новые методы разработки, обогащения многокомпонентных руд и углей в условиях кризиса» на 2009 – 2011 гг. (координаторы ак. К.Н. Трубецкой, ак. В.А. Чантuria)	Проект «Обеспечение устойчивого развития горного производства при освоении месторождений многокомпонентных руд и углей» (рук. проф., д.т.н. В.Л. Яковлев)	Систематизированы месторождения многокомпонентных руд Урала по признаку извлекаемой ценности руды с учетом оптимизации показателей извлечения и повышения качества добываемой руды, что позволяет выбирать наиболее эффективные системы разработки.



Окончание таблицы 1

Подпрограмма № 11 «Фундаментальный базис инновационных технологий оценки, добычи и глубокой комплексной переработки стратегического минерального сырья» (коррдинатор член-корр. РАН В.Л. Яковлев). Комплексная программа фундаментальных исследований УрО РАН на 2015 – 2017 гг. (координатор ак. В.Н. Чарушин)	Проект № 15-11-5-7 «Исследование переходных процессов и учет закономерностей их развития при разработке инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья» (рук. проф., д.т.н. В.Л. Яковлев)	Развит методологический подход, основанный на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности в части исследования переходных процессов, которые являются этапами стратегии освоения глубокозалегающих сложно-структурных месторождений при реализации принимаемых инновационных решений по адаптации горнотехнической и организационно-технологической системы предприятия к изменяющимся условиям его функционирования.
Программа междисциплинарных проектов фундаментальных исследований, выполняемых в Учреждении Российской академии наук Уральском отделении РАН в 2012 – 2014 гг. и финансируемых из средств Уральского отделения РАН в 2012 – 2014 гг.	Проект № 12-М-23457-2041 «Освоение недр Земли: перспективы расширения и комплексного освоения рудной минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала» (рук. проф., д.т.н. С.В. Корнилков).	Научное обеспечение и выработка поэтапной стратегии комплексного расширения и освоения минерально-сырьевой базы Урала по производству и переработке титаномагнетитовых и сульфидных руд во всех предметных областях геологоразведочного и горно-металлургического комплекса.

В настоящее время институт проводит исследования по теме, утвержденной Минобрнауки РФ «Разработка методологических основ стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых».

Институт имеет опыт организации и координации междисциплинарных исследований по проблемам комплексного освоения запасов месторождений полезных ископаемых.

Предложен перечень задач, которые могут быть предметом исследований:

1. Обоснование принципов проектирования технологий добычи и переработки руд стратегических металлов и разработка методов учета горно-технологических, природно-климатических, инфраструктурных особенностей и условий регионов освоения месторождений на основе принципов комплексного освоения территорий, сопровождающихся формированием минерально-сырьевых центров.

2. Реализация комплексного метода геолого-технолого-экономической оценки месторождений на основе:

- создания и использования совокупности геоинформационных моделей оцениваемых объектов;
- поэтапного технико-экономического обоснования параметров стратегий развития горнодобывающих предприятий;
- выявления системообразующих элементов минерально-сырьевой базы и формирования очередности вовлечения в отработку месторождений.



3. Технологический аудит на действующих горных предприятиях с целью разработки инновационных технологий добычи, рудоподготовки, обогащения и производства товарной продукции с учетом потребностей в сырье и ценовой перспективы.

4. Обоснование инновационных технологий добычи и переработки руд по технологическим сортам и природным типам, использования минеральных ресурсов накопленных техногенных образований, ликвидация негативных экологических последствий горно-обогатительного и металлургического производств.

5. Разработка стратегий и программ освоения и развития минерально-сырьевой базы субъектов РФ и крупных добывающих предприятий, основанных на принципах общегосударственного управления ресурсами и обоснование способов и технологий освоения недр в различных горно-геологических и природно-климатических условиях с привлечением широкого круга специалистов в области геологии, горного дела, металлургии, экономики и экологии.

Заключение

На основе многолетних фундаментальных и прикладных исследований института по проблемам комплексного освоения запасов минерального сырья месторождений твердых полезных ископаемых сформулированы «Предложения Института горного дела УрО РАН по корректировке основных положений Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации на период до 2050 г.».

Суть этих новых подходов сводится к следующему.

1. Под минерально-сырьевой базой следует понимать не только совокупность минеральных ресурсов, но также средства и способы их добычи и переработки.

2. Развитие минерально-сырьевой базы должно быть увязано с перспективами освоения и социально-экономического развития территорий РФ и дополняться принципом комплексного освоения территорий, сопровождающегося формированием минерально-сырьевых центров.

3. Технологии добычи и глубокой переработки твердых полезных ископаемых должны обеспечивать реализацию приоритетных программ отечественного машиностроения, металлургии и других отраслей промышленности на основе опережающего изучения и комплексной оценки дефицитных месторождений редких земель, драгоценных и благородных металлов и пр.

4. Предложен перечень научных задач, которые могут быть предметом дальнейших исследований института, включающий обоснование принципов проектирования технологий добычи и переработки руд стратегических металлов и разработку методов учета горно-технологических, природно-климатических, инфраструктурных особенностей и условий регионов освоения месторождений, определенных другими исполнителями. Программы междисциплинарных исследований в целях содействия развитию отечественной минерально-сырьевой базы, ускоренному замещению импортных технологий и обеспечению сырьевого и технологического суверенитета.

5. Оценка минерально-сырьевого потенциала недр Российской Федерации [5] должна быть пересмотрена с учетом изложенного в работах [2 – 3] методологического подхода при выделении приоритетных территорий для освоения месторождений стратегических металлов и их извлечения для обеспечения высокотехнологичной промышленности Российской Федерации.

Список литературы

1. Козловский Е.А., 2011. Национальная безопасность в свете минерально-сырьевых проблем. *Маркинейдерия и недропользование*, №4 (54), С. 3 – 11; № 5 (55) С. 12 - 20.
2. Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В., 2018. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья*. Под ред. член-корр. РАН Яковleva В.Л. Екатеринбург: УрО РАН, 360 с. DOI: 10.25635/IM.2018.18.37360

3. Яковлев В.Л., 2019. *Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов*. Екатеринбург: УрО РАН, 284 с. DOI: 10. 25635 / IM. 2020. 54. 57311.
4. Мень М., Каульбарс А., 2020. *Отчет о результатах экспериментально-аналитического мероприятия «Анализ воспроизведения минерально-сырьевой базы Российской Федерации в 2015–2019 годах»*. Счетная палата Российской Федерации. URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/b99/b998773313b87e724ed09f287754d180.pdf> (дата обращения 20.07.2023)
5. *Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации: в 2 –х т.: т. 2 Минерально-сырьевой и стоимостный анализ*. Минприроды РФ, Роснедра ФГУП; науч. ред. Петров О.В. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 492 с.

References

1. Kozlovskii E.A., 2011. Natsional'naya bezopasnost' v svete mineral'no-syr'evykh problem . [National security in the light of mining and raw material problems]. Marksheideriya i nedropol'zovanie, №4 (54), P. 3 – 11; № 4 (54) P. 12 – 20.
2. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V., Sokolov I.V., 2018. Innovatsionnyi bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya [Innovation basis of the strategy of the complex development of mineral resources]. Pod red. chlen-korr. RAN Yakovleva V.L. Ekaterinburg: UrO RAN, 360 p. DOI: 10.25635/IM.2018.18.37360
3. Yakovlev V.L., 2019. Issledovanie perekhodnykh protsessov – novoe napravlenie v razvitiu metodologii kompleksnogo osvoeniya georesursov [Study of transients as a new direction in the development of the methodology of integrated development of geological resources]. Ekaterinburg: UrO RAN, 284 p. DOI: 10. 25635 / IM. 2020. 54. 57311.
4. Men' M., Kaul'bars A., 2020. Otchet o rezul'tatakh ekspertno-analiticheskogo mero-priyatiya "Analiz vosproizvodstva mineral'no-syr'evoi bazy Rossiiskoi Federatsii v 2015–2019 godakh" [Report on the results of the expert and analytical event "Analysis of the reproduction of the mineral resource base of the Russian Federation in 2015-2019"]. Schetnaya palata Rossiiskoi Federatsii. URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/b99/b998773313b87e724ed09f287754d180.pdf> (data obrashcheniya 20.07.2023)
5. Mineral'no-syr'evoi potentsial nedr Rossiiskoi Federatsii: v 2 –kh t.: t. 2 Mineral'no-syr'evoi i stoimostnyi analiz [Mineral resource potential of the subsoil of the Russian Federation: in 2 volumes: volume 2 Mineral resource and value analysis]. Minprirody RF, Rosnedra FGUP; nauch. red. Petrov O.V. Sankt-Peterburg: Izd-vo VSEGEI, 2009. – 492 p.



**ТЕОРИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**



УДК 622.271.325:622.74

Корнилков Сергей Викторович

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: kornilkov@igduran.ru

Титов Роман Сергеевич

старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: ukrigd15@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КАРЬЕРНЫХ ГРОХОТИЛЬНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ ПУНКТОВ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ФРАКЦИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ*

Аннотация:

Горно-геологические особенности ряда месторождений приводят к тому, что при разработке массива под воздействием буровзрывных работ степень дробления полезного ископаемого зависит от содержания в нем полезных компонентов, а химический состав руды дифференцирован по классам крупности. Установленная зависимость между качеством рудной массы и ее крупностью может быть использована для повышения эффективности технологии рудоподготовки за счет применения в карьерах грохотильно-перегрузочных пунктов (ГПП). Реализация технологии рудоподготовки на основе ГПП позволит сократить затраты на обогащение и транспортирование рудной массы за счет выделения ее некондиционной части непосредственно в карьере и исключения ее из транспортного потока на обогатительную фабрику (ОФ), где эффективное функционирование ГПП возможно за счет оптимизации ряда параметров как горно-транспортного оборудования, обслуживающего ГПП, так и самого грохота. Для определения основных параметров ГПП установлены характеристики начального движения горной массы по наклонной поверхности грохота, такие как производительность выгрузки транспортного средства на поверхность, начальная толщина слоя по питанию и скорость движения горной массы по откосу грохота. На основе представленного алгоритма рассчитаны основные характеристики процесса грохочения: величина слоя потока материала в i -м сечении грохота; скорость движения сыпучей массы по грохоту; средний размер куска в исходном материале и выход материала в подрешетный продукт. Параметры процесса грохочения определялись исходя из заданного относительного содержания класса крупности материала, подаваемого на поверхность грохота, при условии равномерного распределения его внутри класса. Выбраны оптимизируемые параметры ГПП: угол наклона грохота и линейные размеры разгрузочной площадки, зависящие от габаритов автосамосвалов. Определение оптимальных параметров ГПП производилось построением обобщенной функции

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.036

Kornilkov Sergey V.

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Chief Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: kornilkov@igduran.ru

Titov Roman S.

Senior Researcher,
Laboratory of Quality management,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: ukrigd15@mail.ru

PARAMETER OPTIMIZATION FOR QUARRY BOUTING AND RELOADING POINTS FOR THE ALLOCATION OF PRODUCTIVE FRACTION OF MINERAL RAW MATERIALS

Abstract:

The mining and geological features of a number of deposits lead to the fact that during the development of the massif under the influence of drilling and blasting, the degree of crushing of the mineral depends on the content of useful components in it, and size classes differentiate the chemical composition of the ore. The established relationship between the quality of the ore mass and its size can be used to improve the efficiency of ore preparation technology due to the use of bouting and reloading points (BRP) in quarries. The implementation of the ore preparation technology based on the BRP will reduce the cost of enrichment and transportation of ore mass by allocating its substandard part directly in the quarry and by excluding it from the transport flow, where the effective functioning of the BRP is possible by optimizing some parameters of both the mining equipment servicing the BRP and the boults itself. To determine the main parameters of BRP, the characteristics of the initial movement of the rock mass along the inclined surface of the boults are established, such as the performance of uploading the vehicle on the surface, the initial thickness of the feed layer and the speed of movement of the rock mass along the slope of the boults. Based on the presented algorithm, the main characteristics of the bouldering process are calculated: the size of material flow layer in the i -th section of the boults; the speed of movement of the bulk mass through the screen; the average size of the piece of the mineral and the output of the material into the sublattice product. The parameters of the screening process were determined on the basis of a given relative content of the coarseness class of the material supplied to the surface of the screen, provided its equal distribution within the class. Optimized parameters of the BRP: the angle of inclination of the screen and the linear dimensions of the unloading platform, depending on the dimensions of the dump truck. The optimal parameters of the BRP were determined by constructing a generalized desirability function for two optimized criteria: the yield of the material into the sublattice product and the consumption of the sublattice product through the screen. Based on the calculation results, optimization graphs of

* Статья подготовлена по материалам НИР. Тема 1. Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. № 1021062010531-8-1.5.1.



желательности для двух оптимизируемых критерий: выхода материала в подрешетный продукт и расхода надрешетного продукта по грохоту. По результатам расчета построены оптимизационные графики зависимости оптимизационной функции от угла наклона поверхности грохота и грузоподъемности разгружаемого на грохот автосамосвала. Оптимальный угол наклона грохота ГПП равен $40 - 42^\circ$ и не зависит от гранулометрического состава исходного сырья, подаваемого на грохочение.

Ключевые слова: оптимизация, рудоподготовка, грохотильно-перегрузочный пункт, эффективность грохочения, параметры грохота, крупность материала, функция желательности.

the dependence of the optimization function on the angle of inclination of the screen surface and the load capacity of the dump truck unloaded on the screen are constructed. The optimal angle of inclination for the screen of the BRP is $40 - 42^\circ$ and does not depend on the granulometric composition of the feedstock supplied for screening.

Key words: optimization, ore preparation, boulding/screening and reloading point, screening efficiency, screening parameters, material size, desirability function.

Введение

Предварительное обогащение твердых полезных ископаемых (ПИ) – одно из перспективных направлений совершенствования способов управления качеством минерального сырья и повышения эффективности горного производства. Одним из методов предварительного обогащения является использование ГПП в карьере (или на отвале) для предварительной крупной сортировки сырья и выделения для последующего обогащения богатых фракций [1 – 5].

Указанный способ предобогащения основан на специфическом генезисе ряда месторождений твердых ПИ, в основе которого лежит различие физико-механических свойств вмещающих пород и технологических сортов руды. Горно-геологические особенности таких месторождений, как Баженовское хризотил-асбеста (АО «Ураласбест»), Карагайское магнезита (АО «Комбинат «Магнезит»), приводят к тому, что при разработке массива под воздействием буровзрывных работ (БВР) степень дробления ПИ зависит от содержания в нем полезных компонентов, а химический состав руды дифференцирован по классам крупности.

Проведенные исследования на ряде горнодобывающих предприятий позволили установить следующие закономерности [6 – 9, 12]:

- при опробовании рудных складов ОАО «Комбинат «Магнезит» было установлено, что рудная мелочь (-15 мм) содержит вредных примесей CaO и SiO_2 в 2-3 раза больше, чем кусковой ($+30$ мм) материал. Кусковая магнезитовая рудная масса на 60 – 90 % содержит в себе магнезит высших марок, в то время как мелочь – только на 30 – 40 %;
- на ОАО «Ураласбест» общее содержание асбестового волокна в мелочи (-100 мм) в 3,7 раза выше, чем в куске ($+150$ мм);
- на Михайловском ГОКе было отмечено, что мелкая фракция ($0 - 100$ мм) на 10 - 15 % богаче крупной ($+100$ мм) (табл. 1).

Таким образом, установленный на предприятиях факт зависимости между качеством рудной массы и ее крупностью может быть использован для повышения эффективности технологии рудоподготовки за счет применения в карьерах ГПП. Схема рудоподготовки следующая:

- просеивание поступающей из забоев рудной массы на неподвижных или вибрационных грохотах, разделение рудного потока на богатую фракцию и некондицию;
- отгрузка обогащенного продукта для дальнейшей переработки на ДОФ, в том числе надрешетного – на АО «Комбинат «Магнезит», подрешетного – на АО «Ураласбест»;
- отгрузка некондиционной рудной массы в отвал или на склад низкокачественного сырья.



Таблица 1

Результаты опробования железных руд Михайловского ГОКа

Тип руды	Исходная руда (400-0 мм)			Надрешетный продукт (+100 мм)			Подрешетный продукт (-100 мм)		
	Выход, т	Содержание, %		Выход, %	Содержание, %		Выход, %	Содержание, %	
		Fe	SiO ₂		Fe	SiO ₂		Fe	SiO ₂
Руда маршалитизированная	278	46,7	25,1	6,2	36,4	43,4	93,8	47,6	23,9
Гематито-маргитовая, маршалитизированная руда и кварциты	380	48,7	23,3	8,7	39,8	40,1	91,3	49,6	21,7
Смешанная руда	358	53,4	13,9	8,4	43,5	29,9	91,6	54,3	12,4
Карбонатизированная руда	43	51,8	10,9	10,9	51,2	10,9	89,1	52,1	10,9
Руда со значительным содержанием карбонатизированных разностей	134	50,8	9,53	9,3	49,8	10,5	90,7	50,1	9,42
Карбонатизированная руда	140	52,7	9,88	7,1	49,2	10,3	92,7	52,9	9,83
Переотложенная руда	357	45,2	12,7	10,2	35,7	24,6	89,8	46,2	11,3

Предложенная ресурсосберегающая технология рудоподготовки позволит сократить затраты на обогащение и транспортирование за счет выделения некондиционной руды непосредственно в карьере и исключения ее из транспортного потока на ОФ.

Для эффективного функционирования ГПП в карьере необходима оптимизация ряда параметров как горно-транспортного оборудования, обслуживающего ГПП, так и самого грохота, в том числе длины грохота; размера щели просеивающей поверхности; коэффициента живого сечения и угла наклона грохота.

Результаты

Первым этапом оптимизации основных параметров грохота является определение характеристик начального движения горной массы (ГМ) на его поверхности, таких как производительность выгрузки транспортного средства на поверхность грохота Q_o и начальные толщина слоя по питанию h_o и скорость движения горной массы по откосу грохота v_o .

Начальную скорость движения горной массы по наклонной поверхности грохота при выгрузке автосамосвала можно установить из следующего выражения [11]:

$$v_o = \sqrt{(v \cos \theta)^2 + (gt + v \sin \theta)^2} [(1 - \lambda_r) \cos(\beta - \alpha)], \quad (1)$$

где v – скорость сползания горной массы при подъеме кузова а/с, м/с;

θ – угол сползания (угол при котором начинается движение горной массы в кузове а/с при ее разгрузке), град;

g – ускорение свободного падения, м/с²;



t – параметр времени выгрузки, с;

λ_t – коэффициент мгновенного трения при ударе (0,4), дол. ед.;

β – угол падения (встречи горной массы с наклонной поверхностью грохота), отсчитываемый от линии горизонта, град.

Производительность выгрузки автосамосвала может быть определена как величина исходного потока горной массы при его выгрузке:

$$Q_o = \frac{G_{a/c}}{t_b}, \quad (2)$$

где $G_{a/c}$ – вместимость кузова а/с, м³;

t_b – продолжительность операции выгрузки, с.

Начальная толщина слоя по питанию определяется следующим выражением:

$$h_o = \bar{d}_o B = \bar{d}_o \frac{Q_o}{Q_o^{\min}}, \quad (3)$$

где B – коэффициент, связанный с производительностью выгрузки автосамосвала, ед.;

\bar{d}_o – средний размер куска в исходном материале, м;

Q_o^{\min} – производительность выгрузки принятого автосамосвала с наименьшей грузоподъемностью (30 т) при $B = 1$ м³/с.

В табл. 2 приведены значения исходных данных при подаче горной массы на поверхность грохота в зависимости от параметров автомобильного транспорта [5 – 8, 11].

Таблица 2

Кинематические характеристики выгрузки автосамосвала на поверхность грохота

Грузоподъемность автосамосвала, т	Вместимость кузова, м ³	Ширина кузова a , м	Производительность выгрузки Q_o , м ³ /с	Начальная скорость движения ГМ по откосу v_o , м/с
30	18	3,5	0,9	2,50
40	26	3,6	1,3	2,60
75	46	5,4	2,3	3,15
120	61	6,2	3,1	3,5

Важным параметром, характеризующим процесс грохочения, является величина слоя потока материала [9] в i -м сечении грохота h_i , рассчитываемая по модели В.Г. Маслобоева [10]:

$$h_i = \frac{h_o v_o}{v_i} \left\{ 1 - \left\langle p_i \left[\frac{\lambda_{жс} \mu \sqrt{(g \cos \alpha)}}{3 \cdot k \cdot \sqrt{h_o v_o}} (v_i^{1,5} - v_o^{1,5}) \right] \right\rangle \right\}^2, \quad (4)$$

где v_o – начальная скорость движения сыпучей массы, м/с;

v_i – скорость движения сыпучей массы по грохоту, м/с;

h_o – начальная толщина слоя материала по питанию (связана со средним размером куска подаваемой на грохот горной массы), м;

p_i – доля мелкого класса в исходном продукте, доли ед.;

$\lambda_{жс}$ – коэффициент живого сечения;

μ – коэффициент затрудненности просеивания, зависящий от физико-механических свойств материала и разрещающей способности сита (для рудной горной массы μ можно принять равным 0,05);

α – угол наклона поверхности грохота, град.;



$$k = g[\sin \alpha - f'_d(1 - \lambda_{жс} \mu^2) \cos \alpha], \quad (5)$$

где f'_d – коэффициент внешнего трения движения горной породы в сыпучем состоянии по наклонной поверхности (учитывает свойства просеиваемого минерального материала), $f'_d = \operatorname{tg} \rho'$;

ρ' – угол внешнего трения разрыхленной породы, равный углу естественного откоса $\varphi = 36^\circ$.

Скорость движения сыпучей массы по грохоту рассчитывается по формуле [11]:

$$v_i = \sqrt{v_o^2 + 2ky} = \sqrt{v_o^2 + 2yg[\sin \alpha - f'_d(1 - \lambda_{жс} \mu^2) \cos \alpha]}, \quad (6)$$

где y – текущая координата по длине грохота, м.

Коэффициент живого сечения рассчитывается по следующей формуле:

$$\lambda_{жс} = \frac{S_{ж}}{S_{общ}} = \frac{d_p}{d_p + b_p}, \quad (7)$$

где $S_{ж}$ – площадь свободного отверстия грохота, через которое непосредственно происходит отсеивание материала, м^2 ;

$S_{общ}$ – площадь ячейки грохочения с учетом толщины сетки (решетки) грохота, м^2 ;

d_p – размер щели (связан с размером задаваемого куска подрешетного продукта), м;

b_p – ширина рельса, м.

Параметры процесса грохочения на ГПП определялись исходя из заданного относительного содержания класса крупности материала, подаваемого на поверхность грохота, при условии равномерного распределения его внутри класса. Для расчетов задано два класса крупности, в том числе 0 – 150 мм – нижний класс (подрешетный) и 150 – 1000 мм – верхний класс (надрешетный), с долями относительного содержания по мелкому классу в исходном подаваемом материале $p_{н}$ – 0,25, 0,5 и 0,75.

Таким образом, средний размер куска в исходном материале определялся как

$$\bar{d}_o = \frac{\bar{d}_n \cdot p_{in} + \bar{d}_v \cdot p_{iv}}{p_{in} + p_{iv}}, \quad (8)$$

где \bar{d}_n – средний размер куска по нижнему классу, м;

\bar{d}_v – средний размер куска по верхнему классу, м;

p_{in} – доля мелкого класса в исходном материале (0,25, 0,5, 0,75), доли ед.;

p_{iv} – доля крупного класса в исходном материале, доли ед., $p_{iv} = 1 - p_{in}$.

Эффективность грохочения связана с содержанием подрешетного продукта в исходном материале и выходом подрешетного продукта [11–13]. Выход надрешетного и подрешетного продуктов по длине грохота определяется величиной h_i . Выход материала в подрешетный продукт определяется из следующего выражения [5, 11]:

$$\gamma_i = 1 - \frac{Q_{hi}}{Q_o^r} = 1 - \frac{h_i v_i a}{h_o v_o a}, \quad (9)$$

где Q_{hi} – расход по надрешетному продукту в i -м сечении грохота, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_o^r – производительность грохота по питанию, $\text{м}^3/\text{с}$;

a – ширина просеивающей поверхности грохота, соизмеримая с шириной h_i (ширина кузова автосамосвала), м.

Конструктивные параметры грохота задаются исходя из следующего:

– размер щели грохота d_p определяется в соответствии с заданным гранулометрическим составом подаваемой горной массы на его поверхность по нижнему классу крупности (подрешетный продукт). В расчетах нижний класс 0 – 150 мм, соответственно, принимаем по максимальному куску класса $d^{150} = d_p = 0,15$ м;

- ширина элемента поверхности b_p принимается исходя из принятой конструкции просеивающей поверхности грохота, $b_p = 150$ мм = 0,15 м;
- конечная длина грохота равна стандартной длине рельса 25 м. Для расчета параметров процесса грохочения задано шесть точек координат по длине грохота, равных $y = 0, 5, 10, 15, 20, 25$ м, соответственно;
- угол наклона грохота α принимается в пределах изменения 35 – 55 град. Для расчета приняты углы $\alpha = 36, 40, 44, 48, 52^\circ$, соответственно.

На рис. 1, 2 приведены графики, построенные по результатам расчетов изменения толщины слоя потока материала на грохоте h_i и выхода материала в подрешетный продукт γ_i в i -м сечении в зависимости от изменения текущей координаты y прохождения материала по длине грохота.

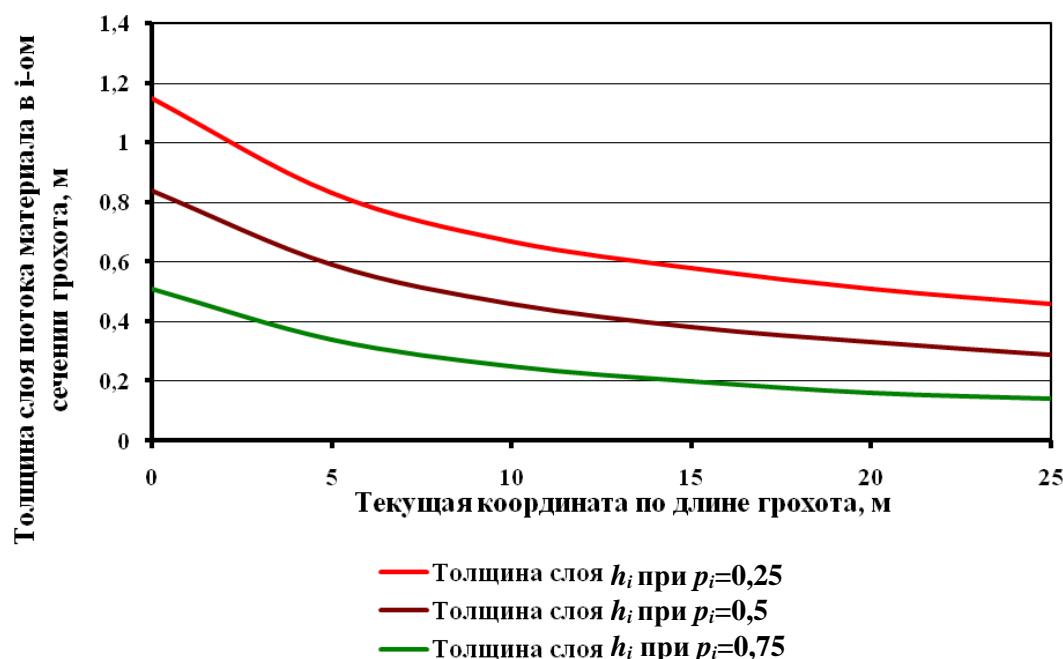


Рис.1. График изменения толщины слоя h_i по длине грохота при $\alpha = 40^\circ$ и $Q_a = 75$ т

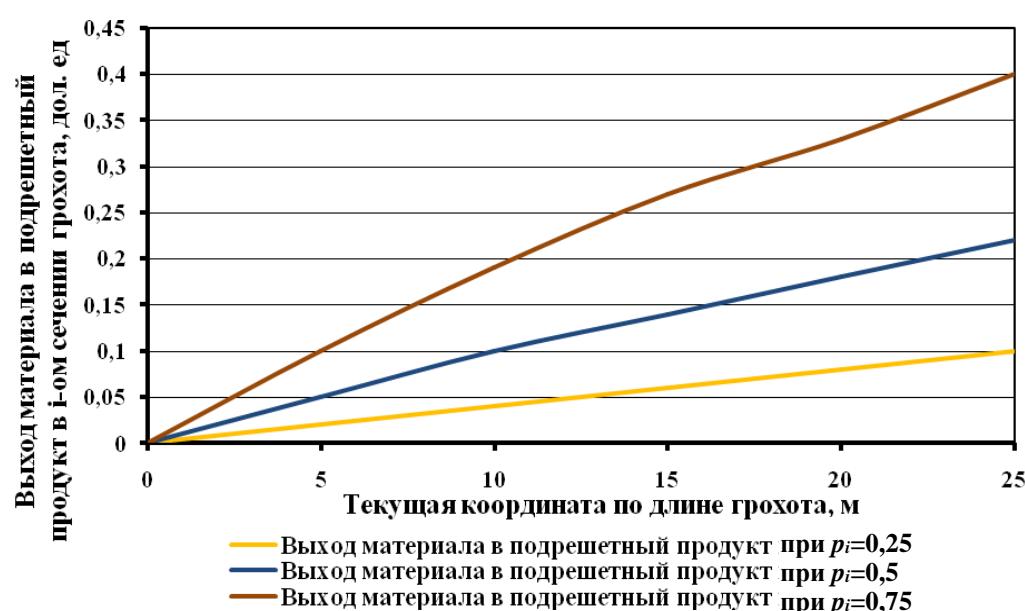


Рис. 2. График выхода материала в подрешетный продукт γ по длине грохота при $\alpha = 40^\circ$ и $Q_a = 75$ т



Для определения оптимальных параметров грохотильно-перегрузочных пунктов принята расчетная схема построения обобщенной функции желательности [15–18].

В качестве оптимизируемых принимаются два критерия (параметры функции желательности):

- выход материала в подрешетный продукт γ ;
- расход надрешетного продукта по грохоту Q_n .

Алгоритм построения обобщенной функции желательности включал в себя следующее:

- построение шкалы желательности, устанавливающей соотношение между значением отклика $f(x)$ и соответствующим значением частной функции желательности d ;
- вычисление частных функций желательности d ;
- вычисления обобщенной функции желательности D .

Частная функция желательности имеет экспоненциальную зависимость и следующий вид [14]:

$$d = \exp \{-\exp [-f(x)]\}. \quad (10)$$

Обобщенная функция желательности определяется следующим соотношением:

$$D = \sqrt[n]{d_1 d_2 \dots d_n} = \left(\prod_{i=1}^N d_i \right)^{1/n}, \quad (11)$$

где d_i – частные функции желательности.

Значение $d = 0$ соответствует абсолютно неприемлемому значению целевой функции, при $d = 1$ значение целевой функции соответствует ее лучшему, предельному значению. Если $d = 0$, то обобщенная функция желательности D также равна нулю. С другой стороны, если все $d_i = 1$ то и $D = 1$. Соответственно, $D \leq 1$. Наилучшему результату оптимизируемых параметров соответствует максимальное значение функции D_{\max} .

Оптимизация параметров грохотильно-перегрузочного пункта производилась двумя этапами.

Первым этапом являлась оптимизация угла наклона грохота ГПП, производимая по следующему алгоритму:

- в заданном интервале углов наклона грохота ($\alpha = 36^\circ$ – 52°) и грузоподъемности автосамосвалов ($Q_a = 30, 40, 75, 120$ т) рассчитываются показатели процесса грохочения γ и Q_n ;

- производится расчет частных d_i и обобщенной D функций желательности.

Вторым этапом оптимизации параметров ГПП являлся расчет функции D , определяющей оптимальную грузоподъемность подающих горную массу на грохот автосамосвалов. В качестве оптимизационного параметра автотранспортного оборудования, разгружающего горную массу, служат скорость и производительность выгрузки на грохот (см. табл. 2).

Оптимизация производилась для грузоподъемности автосамосвалов, равной 30, 40, 75 и 120 т, и установленного в первом этапе оптимального угла наклона грохота α с учетом доли мелкого класса в исходном продукте $p_i = 0,25, 0,5$ и $0,75$ доли ед. Оптимационными показателями в расчетах являлись выход материала в подрешетный продукт γ и изменение расхода надрешетного продукта Q_n по грохоту.

По результатам расчета построены оптимизационные графики зависимости функции D от угла наклона поверхности грохота α и грузоподъемности автосамосвала, представленные на рис. 3, 4.

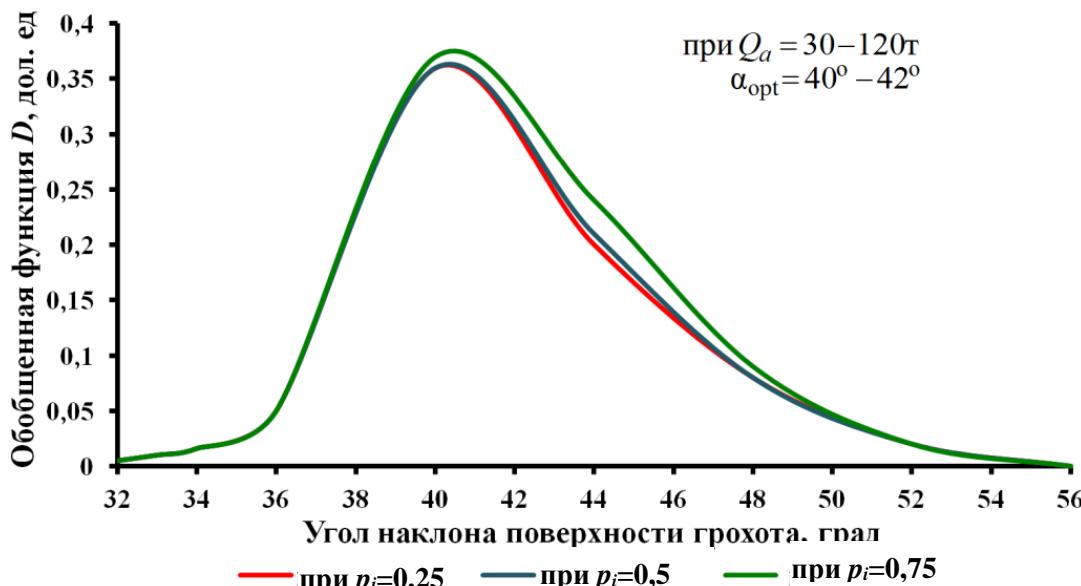


Рис. 3. График зависимости функции D от угла наклона поверхности грохота α

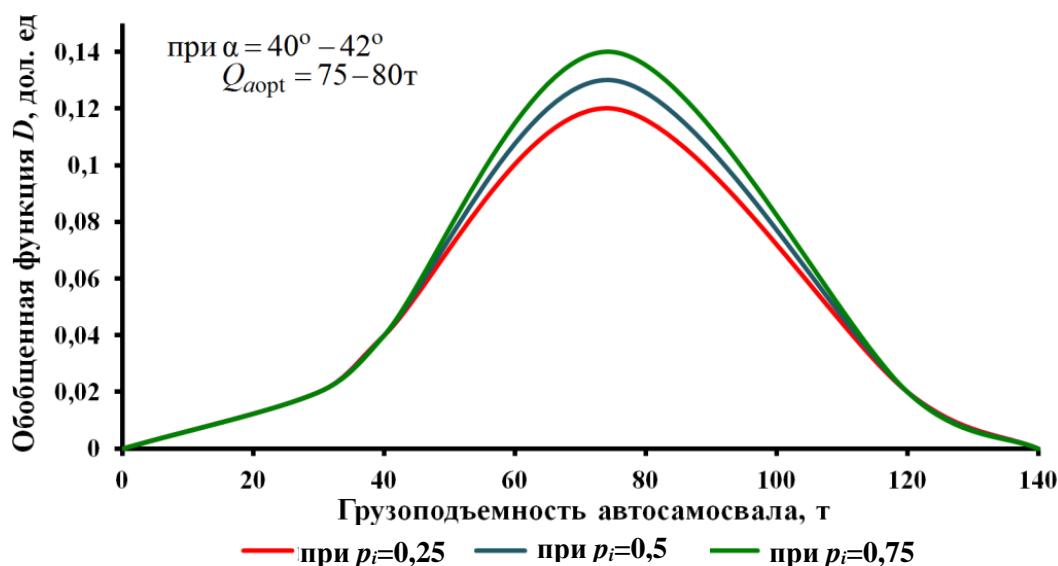


Рис. 4. График зависимости функции D от параметров грузоподъемности автосамосвала

Выводы

На основе анализа результатов исследований содержания ценных компонентов (волокон хризотил-асбеста, вредных примесей в составе магнезита и др.) в кусках дробленной после БВР руды установлено, что на отдельных характерных месторождениях содержание ценных компонентов в кусках руды зависит от ее фракционного состава.

Предложена технология предварительного обогащения ПИ указанных ранее месторождений, основанная на грохочении в карьере взорванной рудной массы на специальных ГПП, которая позволит разделить рудный поток на богатую фракцию (например – надрешетную на АО «Комбинат «Магнезит», подрешетную – на АО «Ураласбест») и некондицию (в отвал или склад).

На основе разработанной методики оптимизации параметров карьерных ГПП установлено, что



- оптимальный угол наклона грохота ГПП равен $40 - 42^\circ$ и не зависит от гранулометрического состава исходного сырья, подаваемого на грохочение;
- оптимальные параметры грузоподъемности автосамосвалов, загружающих ГПП, равны 75 – 80 т и не зависят от гранулометрического состава исходного сырья, подаваемого на грохочение;
- оптимальные параметры автотранспорта определяют линейные размеры разгрузочных площадок в верхней части ГПП.

Предложенная технология рудоподготовки позволит сократить затраты на обогащение и транспортирование за счет выделения некондиционной руды непосредственно в карьере и исключения ее из транспортного потока на ОФ.

Список литературы

1. Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В., 2018. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья: монография*; под редакцией В.Л. Яковleva. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 360 с.
2. Яковлев В.Л., Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., 2019. Основные направления совершенствования методов рудоподготовки минерального сырья. *Проблемы недропользования*, № 3, С. 95 – 106. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.03.095>
3. Кантемиров В.Д., 2014. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 6, С. 369 – 373.
4. Кантемиров В.Д., 2015. Технологические аспекты разработки в одном карьере нескольких видов полезных ископаемых. *Маркидерия и недропользование*, № 5, С. 22 - 30.
5. Васильев М.В., 1968. *Внутрикарьерное складирование и перегрузка руд*. Москва: Недра, 184 с.
6. Гальянов А.В., Лаптев Ю.В., 1999. *Рудоподготовка на карьерах*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 426 с.
7. Гальянов А.В., Лаптев Ю.В., Блинов А.Н., Афонин Ю.А., Мосейкин Д.Е., 2000. *Совершенствование технологии отбора и подготовки проб магнезитового сырья в рудных потоках ОАО «Комбинат «Магнезит»*: отчет / ИГД УрО РАН; рук. Гальянов А.В., Лаптев Ю.В. Екатеринбург, 48 с.
8. Лаптев Ю.В., Гальянов А.В., Корешков Д.В., 2003. Перспективы грохотильных схем рудоподготовки на горных предприятиях. *Сб. науч. трудов ИГД УрО РАН*, Вып. 1(91), С. 67– 76.
9. Гальянов А.В., Лаптев Ю.В., Корешков Д.В., Ключикова Т.И., 2003. *Технико-экономическое обоснование грохотильной схемы рудоподготовки в карьере ОАО «Ураласбест»*: отчет ИГД УрО РАН; рук. Гальянов А.В., Лаптев Ю.В. Екатеринбург, 57 с.
10. Вайсберг Л.А., Рубисов Д.Г., 1988. Массово-балансовая модель вибрационного грохочения сыпучих материалов. *Обогащение руд*, № 5, С. 5 – 8.
11. Маслобоев В.Г., 1987. Математическая модель процесса грохочения. *Известия вузов. Горный журнал*, № 7, С. 109 – 122.
12. Лаптев Ю.В., 2007. *Геометризация процесса сегрегации скальных пород по крупности при формировании отвалов*: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 303 с.
13. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В., 1980. *Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых*. Москва: Недра, 415 с.
14. Барон Л.И., 1967. *Характеристики трения горных пород*. Москва: Наука, 206 с.
15. Рубинштейн Ю.Б., Волков Л.А., 1987. *Математические методы в обогащении полезных ископаемых*. Москва: Недра, 296 с.
16. Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф., Петров В.А., 1990. *Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых*. Москва: Недра, 301 с.

17. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И., 1980. *Планирование эксперимента в химии и химической технологии*. Москва: Химия, 280 с.

18. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В., 1978. *Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии*. Москва: Высшая школа, 319 с.

References

1. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V., Sokolov I.V., 2018. Innovatsionnyi bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya: monografiya [Innovation basis of the strategy of integrated development of mineral resources: monograph]; pod redaktsiei V.L. Yakovleva. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 360 p.
2. Yakovlev V.L., Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S., 2019. Osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya metodov rudopodgotovki mineral'nogo syr'ya [The main directions for improving the methods of ore preparation of mineral raw materials]. Problemy nedropol'zovaniya, № 3, P. 95 – 106. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2019.03.095>
3. Kantemirov V.D., 2014. Tekhnologicheskie osobennosti osvoeniya novykh syr'evykh baz [Technological features of the development of new raw materials bases]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 6, P. 369 – 373.
4. Kantemirov V.D., 2015. Tekhnologicheskie aspekty razrabotki v odnom kar'ere neskol'kikh vidov poleznykh iskopaemykh [Technological aspects of the development of several types of minerals in one quarry]. Marksheideriya i nedropol'zovanie, № 5, P. 22-30.
5. Vasil'ev M.V., 1968. Vnutrikar'ernoje skladirovanie i peregruzka rud [Intra-quarry storing and transshipment of ores]. Moscow: Nedra, 184 p.
6. Gal'yanov A.V., Laptev Yu.V., 1999. Rudopodgotovka na kar'erakh [Ore preparation at quarries]. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 426 p.
7. Gal'yanov A.V., Laptev Yu.V., Blinov A.N., Afonin Yu.A., Moseikin D.E., 2000. Sovershenstvovanie tekhnologii otbora i podgotovki prob magnezitovogo syr'ya v rudnykh potokakh OAO "Kombinat "Magnezit": otchet [Improvement of the technology of samples selection and preparation of magnesite raw materials in ore flows of JSC "Magnezit Combine": report] / IGD UrO RAN; ruk. Gal'yanov A.V., Laptev Yu.V. Ekaterinburg, 48 s.
8. Laptev Yu.V., Gal'yanov A.V., Koreshkov D.V., 2003. Perspektivnye grokholti'nykh skhem rudopodgotovki na gornykh predpriyatiyakh [Prospects of screening schemes of ore preparation at mining enterprises]. Sb. nauch. trudov IGD UrO RAN, Vyp. 1(91), P. 67– 76.
9. Gal'yanov A.V., Laptev Yu.V., Koreshkov D.V., Klochikhina T.I., 2003. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie grokholti'noi skhemy rudopodgotovki v kar'ere OAO "Uralasbest" [Feasibility study of the screening scheme of ore preparation in the quarry of JSC "Uralasbest"]: otchet IGD UrO RAN; ruk. Gal'yanov A.V., Laptev Yu.V. Ekaterinburg, 57 p.
10. Vaisberg L.A., Rubisov D.G., 1988. Massovo-balansovaya model' vibratsionnogo grokhocheniya sypuchikh materialov [Mass-balance model of vibrating screening of bulk materials]. Obogashchenie rud, № 5, P. 5 – 8.
11. Masloboev V.G., 1987. Matematicheskaya model' protsessa grokhocheniya. Izvestiya vuzov [Mathematical model of the screening process.]. Gornyi zhurnal, № 7, P. 109 - 122.
12. Laptev Yu.V., 2007. Geometrizatsiya protsessa segregatsii skal'nykh porod po krupnosti pri formirovaniyu otvalov [Geometrization of the process of rocks segregation by size during the formation of dumps]: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Ekaterinburg, 303 p.
13. Andreev S.E., Perov V.A., Zverevich V.V., 1980. Droblenie, izmel'chenie i grokhochenie poleznykh iskopaemykh [Crushing, grinding and screening of minerals]. Moscow: Nedra, 415 p.
14. Baron L.I., 1967. Kharakteristiki treniya gornykh porod [Friction characteristics of rock]. Moscow: Nauka, 206 s.



-
15. Rubinshtein Yu.B., Volkov L.A., 1987. Matematicheskie metody v obogashchenii poleznykh iskopaemykh [Mathematical methods in minerals processing]. Moscow: Nedra, 296 p.
 16. Andreev E.E., Bilenko L.F., Petrov V.A., 1990. Droblenie, izmel'chenie i grokhochenie poleznykh iskopaemykh [Crushing, grinding and screening of minerals]. Moscow: Nedra, 301 p.
 17. Ruzinov L.P., Slobodchikova R.I., 1980. Planirovaniye eksperimenta v khimii i khimicheskoi tekhnologii [Planning of an experiment in chemistry and chemical technology]. Moscow: Khimiya, 280 s.
 18. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V., 1978. Optimizatsiya eksperimenta v khimii i khimicheskoi tekhnologii [Optimization of an experiment in chemistry and chemical technology]. Moscow: Vysshaya shkola, 319 p.



УДК [622.34:519.256]:519.72

Корнилков Сергей Викторович

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: kornilkov@igduran.ru

Яковлев Андрей Михайлович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория управления качеством
минерального сырья,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: krissy-puh@yandex.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В КАРЬЕРЕ НА ОСНОВЕ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

Аннотация:

В статье приведены результаты разработки методики оценки качественных показателей полезных ископаемых на основе технологий блочного моделирования с использованием современных горно-геологических информационных систем (ГГИС). Предложена блок-схема моделирования качественных показателей полезного ископаемого и приведены результаты ее использования на примере Серовского месторождения комплексных руд и месторождения каменного угля Одегельдей, Республика Тыва. Представленная методика блочного моделирования позволяет с высокой достоверностью районировать в карьерном пространстве технологические типы и сорта руд, что способствует решению задач проектирования, планирования и управления производством в условиях экономической неопределенности, ухудшающихся горно-геологических и горно-технологических условий разработки месторождений.

Ключевые слова: горно-геологическая информационная система, ГГИС, качественные характеристики руд, блочное моделирование, геометризация, геологическая база данных.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.047

Kornilkov Sergei V.

Doctor of Engineering Sciences,
Chief Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: kornilkov@igduran.ru

Yakovlev Andrei M.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of Quality management,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: krissy-puh@yandex.ru

IMPROVING THE PRGNOSIS FOR QUALITATIVE INDICATORS OF ROW MINERAL IN THE QUARRY BASED ON BLOCK MODELLING

Abstract.

The article presents the results of methodology development for assessing the quality indicators of minerals based on block modeling technologies using modern mining and geological information systems (GGIS). A flowchart for modeling the qualitative indicators of a mineral is proposed and the results of its use are given on the example of the Serovskoye complex ores deposit and the Odegeldey coal deposit, the Republic of Tyva. The presented method of block modeling makes it possible to zone technological types and grades of ores with high reliability in the quarry space, which contributes to solving the problems of design, planning and production management in conditions of economic uncertainty, deteriorating mining-geological and mining-technological conditions for the development of deposits.

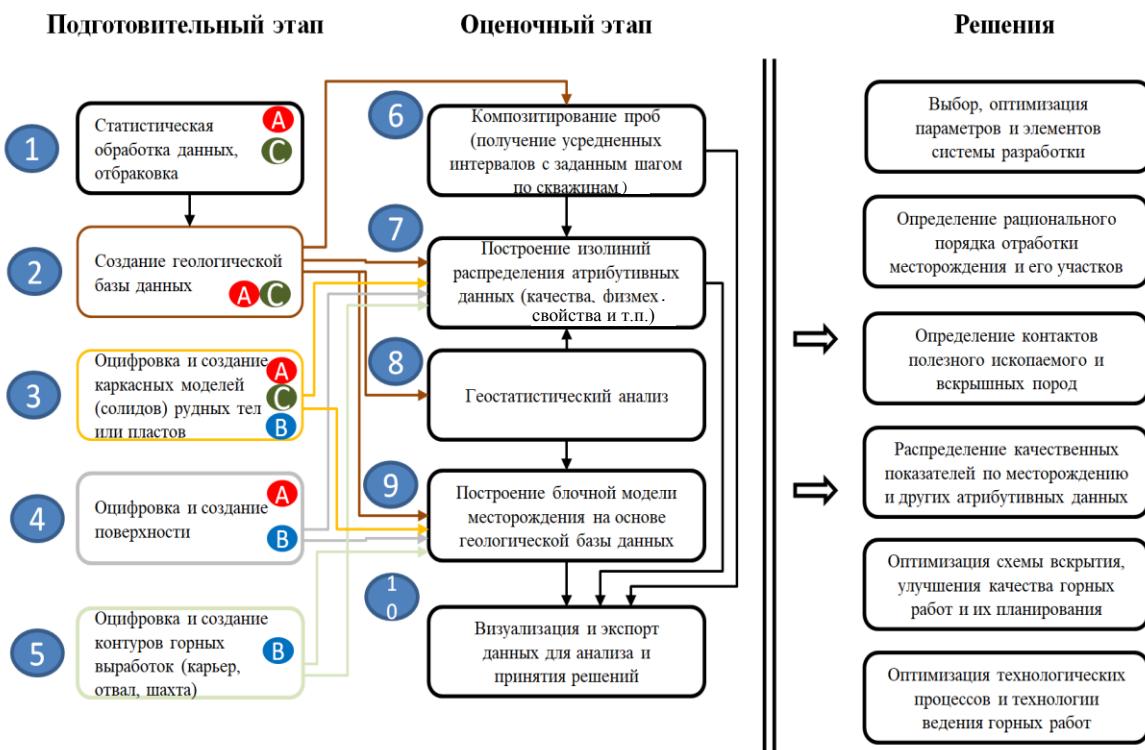
Key words: mining and geological information system, GGIS, qualitative characteristics of ores, block modeling, geometrization, geological database.

Введение

В современных условиях планирования разработки месторождений твердых полезных ископаемых (ПИ) большое значение для рационального использования недр приобретает комплексная оценка и геометризация в карьерном пространстве качественных

* Тема 1. Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1.

характеристик ПИ, включая распределение содержания в рудном массиве ценных компонентов и вредных примесей [1, 2]. Для решения этих задач используется моделирование горно-геологических объектов и оценка запасов месторождений твердых ПИ на основе распространенных в РФ программных продуктов (SURPAC, DATAMINE, MINEFRAME и др.). При этом создается геометрическая модель месторождения, которая служит основой для решения многих задач: подсчета запасов, проектирования предприятия, планирования горных работ, обоснования кондиций ПИ, нормирования потерь ПИ, комплексного использования недр, выбора технологического оборудования и др. Основные задачи геометризации: создание наиболее точной модели месторождения ПИ при минимальном числе исходных данных (рис. 1).



Используемые исходные данные:

- A** Данные детальной разведки (запасы, планы, контуры, интервал. колонки скважин, качество и др.).
- B** Проекты, технико-экономическое обоснование (ТЭО) и иные материалы (контуры выработок, рельеф, параметры системы разработки и др.)
- C** Эксплуатационная разведка и оперативное опробование (детализация качества)

Рис. 1. Блок-схема методики моделирования качественных характеристик полезного ископаемого

Материалы исследований

Начальным этапом (на рис. 1 позиции 1-2) формирования модели месторождения является создание геологической базы данных, в которой хранятся данные разведки скважинных интервалов и результаты опробования керна. Они должны быть оцифрованы и приведены в табличный вид унифицированного формата ГГИС. В таблицах содержится следующая информация: название скважин, их координаты, высотная отметка устьев скважин, номер геологического профиля, данные интервального опробования по содержаниям ценных компонентов и вредных примесей, информация о глубинах скважин и данных инклинометрии (наклон и азимут).

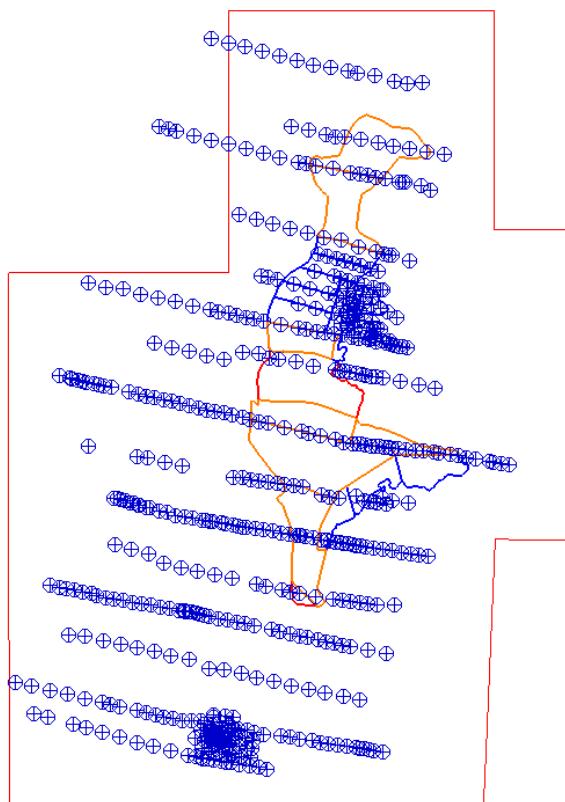


Рис. 2. План геологической базы данных в форме массива скважин на фоне блоков подсчета запасов Серовского месторождения комплексных руд

Геологическая база данных является основой для геостатистического анализа и построения вероятностных распределений качественных показателей в пространстве на основе кригинга, метода обратных расстояний, радиально-базисных функций и других методов интер- и экстраполяций [3 – 4]. Она позволяет произвести первичную оценку месторождения для выработки стратегии его разработки с условием стабильного по качественным показателям рудопотока. Пример использования геологической базы данных для первичного анализа месторождения, выбора технологии отработки и схемы вскрытия приведен в табл. 1, 2 и на рис. 2 – 4 [5].

Следующий этап 3 (см. рис. 1) – это построение каркасных моделей рудных тел или угольных пластов на основании оцифрованных сечений с продольных и поперечных разрезов, погоризонтных планов, планов кровли и почвы пластов. Часто возникающая задача – создание сечений по разведочным профилям геологической базы данных при подсчете и переоценке запасов. Для решения такой задачи необходимо выделение кондиционных интервалов с учетом содержаний полезных или вредных компонентов с распределением по высоте, т.е. композитирование.

Таблица 1

Статистические показатели залегания руд Серовского месторождения комплексных руд

Элемент	Кол-во данных	min	max	Сред.	σ	R	Медиана	$K_{\text{вар}}$
Мощность покрывающей рудное тело вскрыши	168	3	156	74,8	32,8	153	76,6	43,8
Мощность рудного тела	168	2	38,1	11,5	7,7	36,1	9,5	66,9

Таблица 2

**Статистические показатели содержания полезных компонентов
Серовского месторождения комплексных руд**

Элемент	Кол-во данных	min	max	Сред.	σ	R	Медиана	$K_{\text{вар}}$
Железо	2236	3,28	57,07	35,9	9,78	53,8	37,2	27,3
Никель	2236	0,01	2,2	0,2	0,15	2,19	0,16	75,7
Кобальт	2236	0,001	0,41	0,029	0,025	0,409	0,023	87,1
Хром	2236	0,01	7,46	1,68	0,74	7,446	1,64	44,3

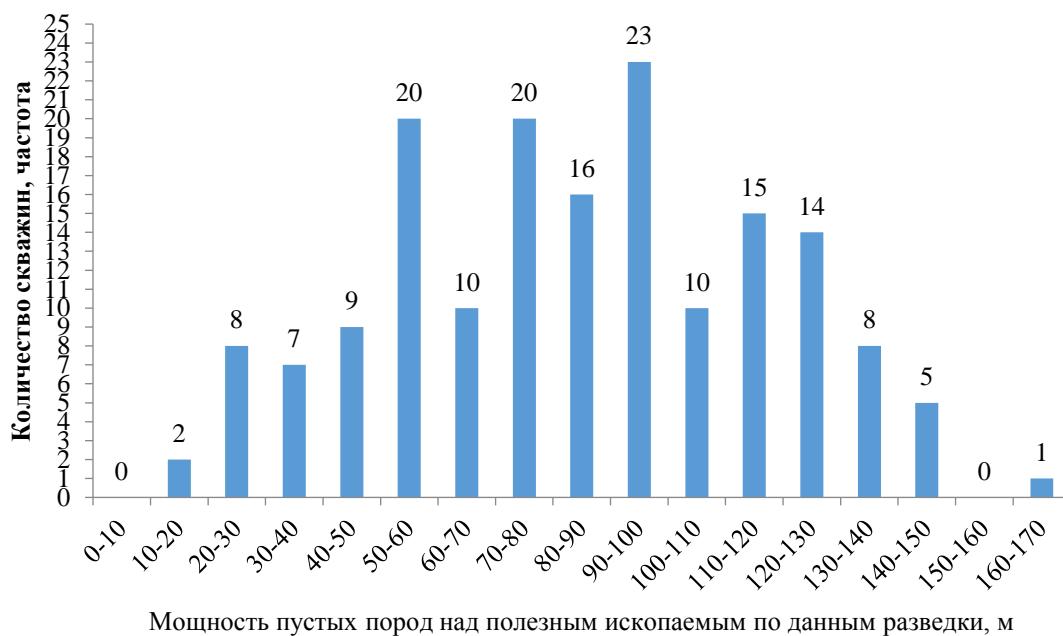


Рис. 3. Глубина подсечения разведочными скважинами полезного ископаемого на Серовском месторождении комплексных руд

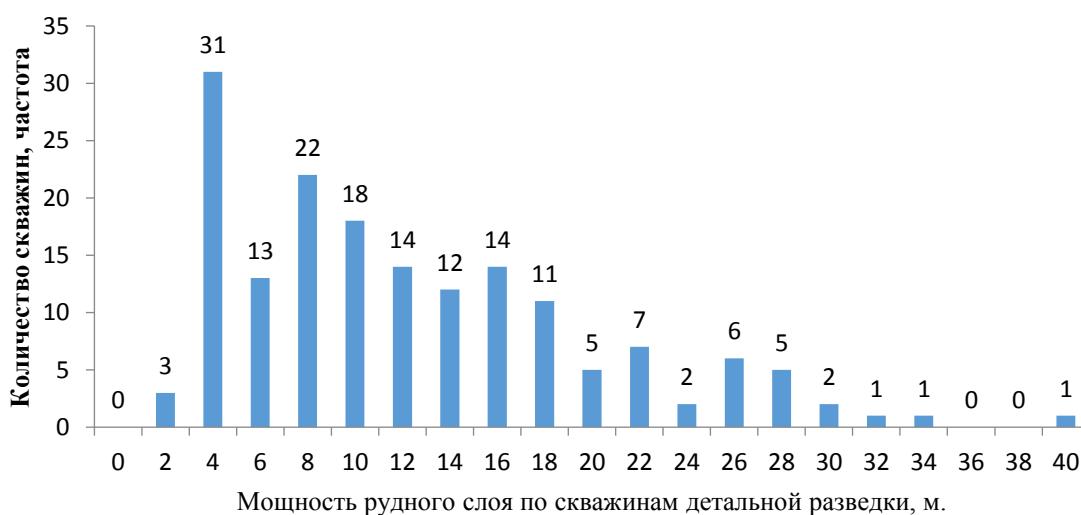


Рис. 4. Распределение мощностей рудных интервалов по данным разведки на Серовском месторождении комплексных руд

Сечения представляют собой замкнутые контуры, из которых, как правило, методами триангуляции Делоне и полигонами Воронова-Тиссена формируется трехмерная модель полезного ископаемого, обладающая объемом и линейными характеристиками трехмерного тела [6 – 7]. Каркасная модель полезного ископаемого – это также физическая граница, ограничивающая интер- и экстраполяцию при построении блочной модели (см. рис. 5). Ее предназначение – экспресс-оценка вариантов вскрытия, динамики развития рабочей зоны для месторождений с простыми горно-геологическими условиями и качественными показателями, характеризуемыми низкой дисперсией.

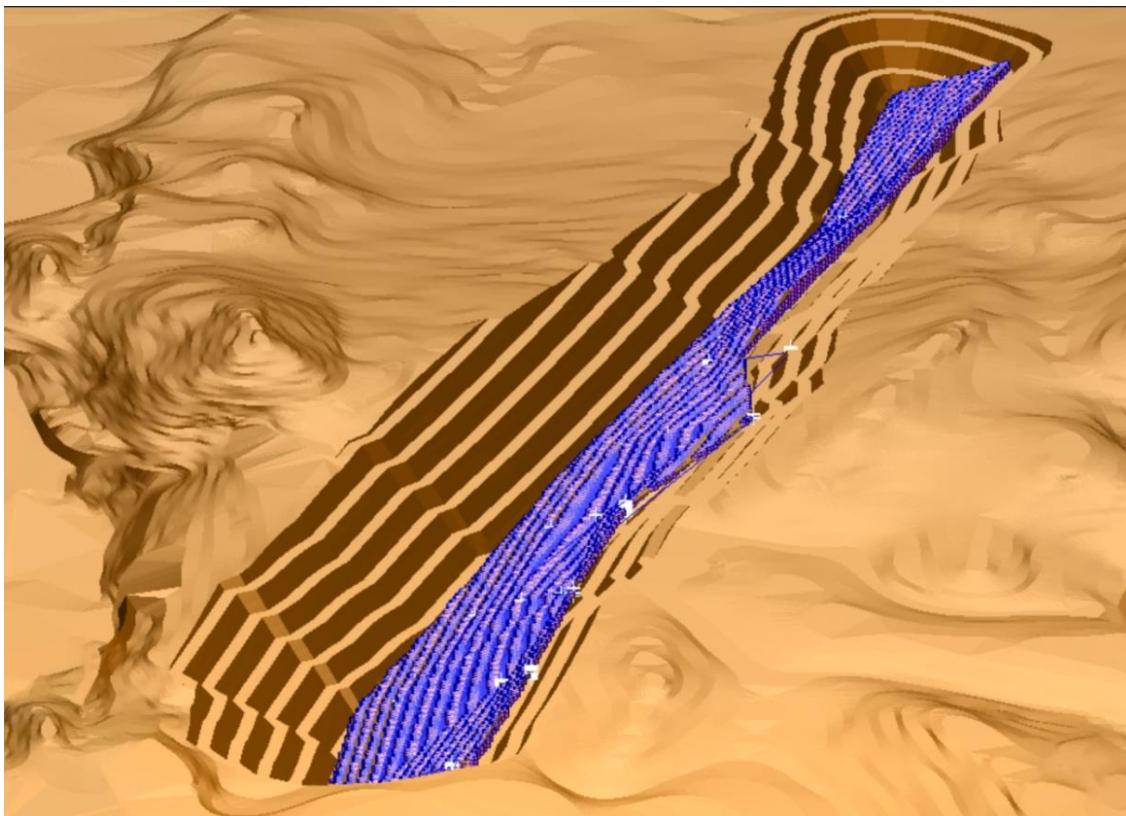


Рис. 5. Каркасная модель угольного пласта и цифровая топографическая модель рельефа с карьером в проектном контуре на конец отработки угольного разреза Одгельдей

Результаты исследований

Цифровая топографическая модель (ЦТМ) поверхности (и открытых горных выработок) формируется на основе топографической маркшейдерской съемки объекта ведения горных работ, графических материалов детальной разведки, разработанных ТЭО и проектов освоения месторождения. ЦТМ представляет из себя массив пространственных координат объектов местности, сопряженных в виде триангуляционных или сеточных моделей. Для их построения используются те же методы оценки пространственного распределения данных: геостатистики, обратного расстояния, радиально-базисных функций и другие [8 – 10].

Предназначение топографических моделей – горно-геометрические расчеты, планирование горных работ и использование в качестве базы для построения блочных моделей. На рис. 6 представлена карта изомощностей вскрышных пород в виде изолиний на Серовском месторождении комплексных руд, построенная на основе анализа геологической базы данных. Выделены перспективные с точки зрения рельефа и качества ПИ места проходки капитальных и заложения разрезных траншей.

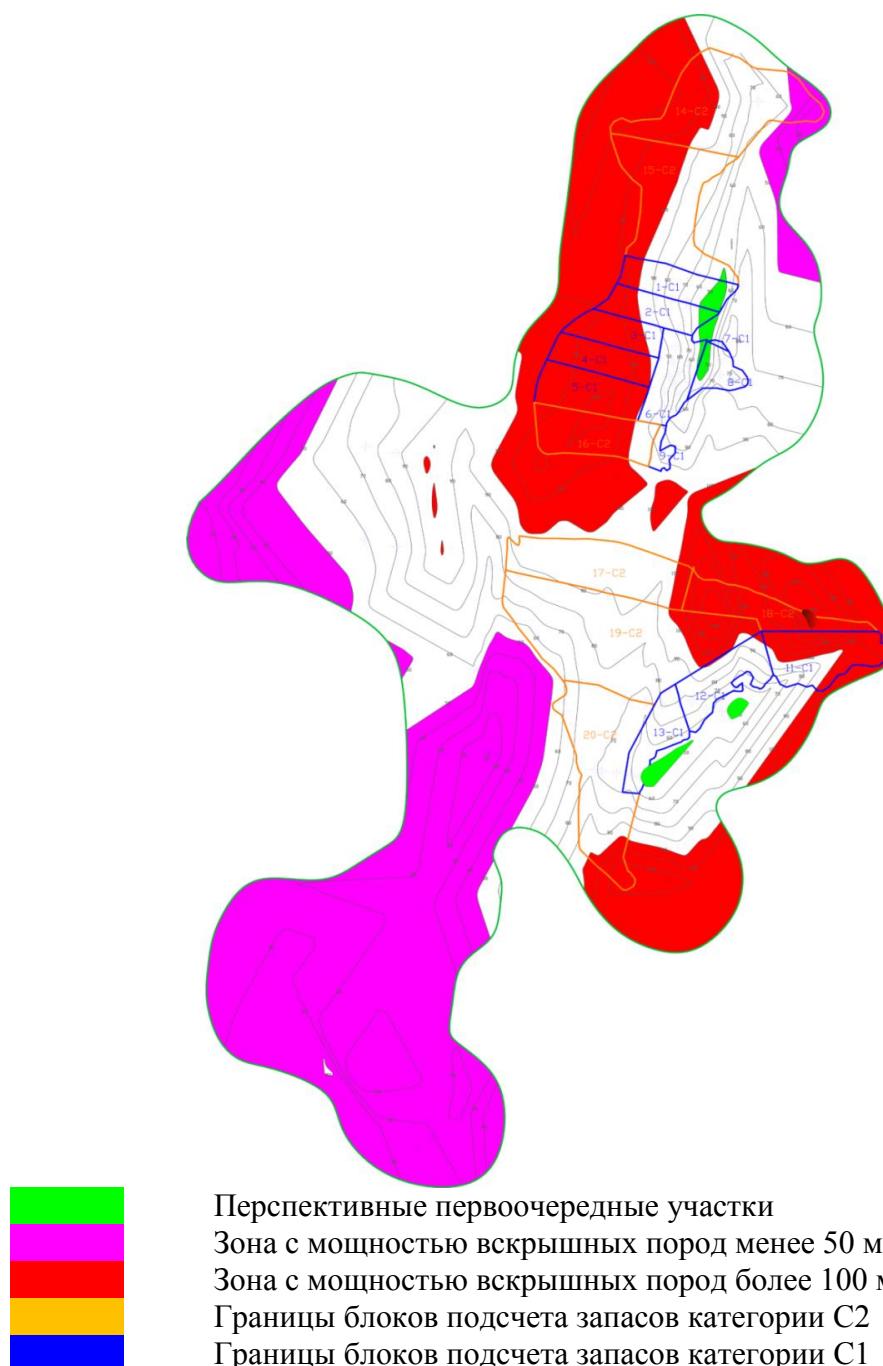


Рис. 6. Карта изомощностей вскрышных пород Серовского месторождения комплексных руд в зоне прогноза с выделением перспективных (по качественным характеристикам и мощности вскрыши) участков первоочередной отработки (выделено зеленым цветом)

Анализ геологической базы данных необходим, так как позволяет определить тип распределения минерализации (нормальный, логнормальный и др.) и неоднородность массива данных, что может быть связано с несколькими генерациями минерализации полезного компонента. Полигенетические разнородные множества желательно обрабатывать и рассматривать раздельно. Если пробы исследованы на содержание нескольких компонентов или разными аналитическими методами, то необходимо выполнить для них корреляционный анализ с построением линии регрессии внутри программ 3-мерного моделирования. Корреляционный анализ позволяет предварительно выявить экстремальные значения проб, не укладывающиеся в общую линию регрессии и отсеять их.



При анализе необходимо учесть декластеризацию данных, если геологоразведочная сеть имеет нерегулярный порядок, что приводит к смещению оценки среднего, это достигается разбиением данных на элементарные единицы пространства на основании среднего расстояния между скважинами, предельными координатами, при этом внутри них вычисляется вес проб в каждом узле сети [11].

Геостатистический анализ позволяет сделать выводы о степени неоднородности месторождений, обосновывается необходимость деления его на участки однородного строения. Анализ заключается в построении гистограмм, построении и заверке вариограмм с учетом анизотропии, кластеризации данных. В зависимости от вида распределения качественных показателей ПИ в рудном массиве обосновывается выбор метода интерполяции данных (индикаторный кригинг, с внешним дрейфом или др.) [12 – 14]. Основная задача геостатистического анализа – определить параметры и алгоритм построения блочной модели месторождения.

Кроме алгоритма и параметров интерполяции данных, ограничивающих каркасные и цифровые топографические модели месторождения, важно определиться с размером структурных единиц модели – блоков.

Основные этапы создания блочной модели горно-геологического объекта (месторождения):

- обоснование размеров блоков и их пространственного положения;
- создание геометрической модели, при сложной конфигурации рудного тела рекомендуется уточнение ее каркаса на основе индикаторного кригинга;
- интерполяция и экстраполяция данных на основании принятого в результате геостатистической оценки алгоритма;
- заполнение полученными в результате анализа геоданными блоков модели.

Факторы, влияющие на размеры блоков модели:

- плотность разведочной сети и горно-геологические условия разработки месторождения, конфигурация границ рудных тел;
- пространственная изменчивость содержаний полезных компонентов и параметров системы отработки месторождения;
- размеры блоков модели и их соответствие параметрам выемочной единицы (на открытых горных работах высота блока модели принимается кратной высоте уступа в карьере).

При блочном моделировании качества ПИ следует учитывать следующее:

- пространственная изменчивость качества ПИ в блочной модели должна учитывать модель вариограммы;
- размеры блока модели должны отражать анизотропию качественных показателей (генеральное направление изменчивости);
- размер основных блоков (ячеек) модели не должен быть меньше половины среднего расстояния между пробами в анализируемом направлении;
- при детализации блочной модели в случаях сложных рудных тел (тонкие линзы, выклинивание рудных тел на флангах, отсутствие четких контактов и т.п.) основные блоки блочной модели разделяются на подъячейки (субблоки) [15 – 20].

Для разработки блочных моделей использовались встроенные в ГГИС методы интерполяции, реализованные в программных продуктах (ПО Geovia Surpac, Mineframe и др.). На рис. 7 представлена блочная модель планируемого угольного разреза Одегельдей (Республика Тыва). В результате проведенных исследований и моделирования месторождения каменного угля (участка) Одегельдей было установлено, что 66 % запасов характеризуется зольностью от 20 до 30 %, 21 % низкозольного угля с высокой теплотой сгорания и 13 % угля с повышенной зольностью (до 35%) (рис. 8).

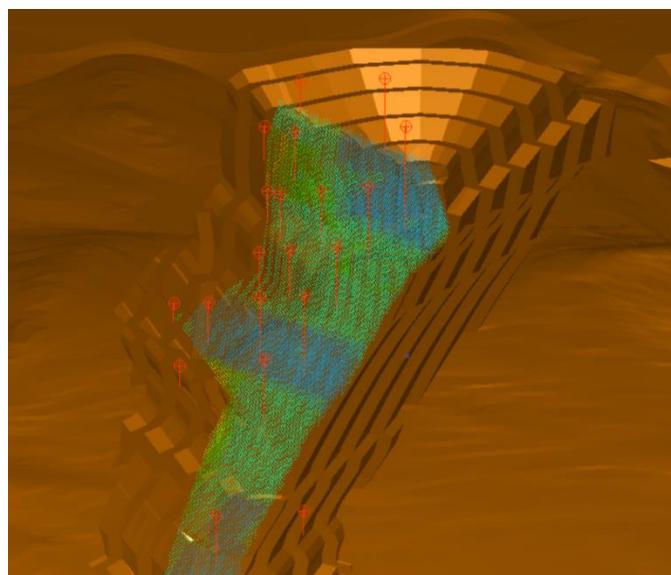
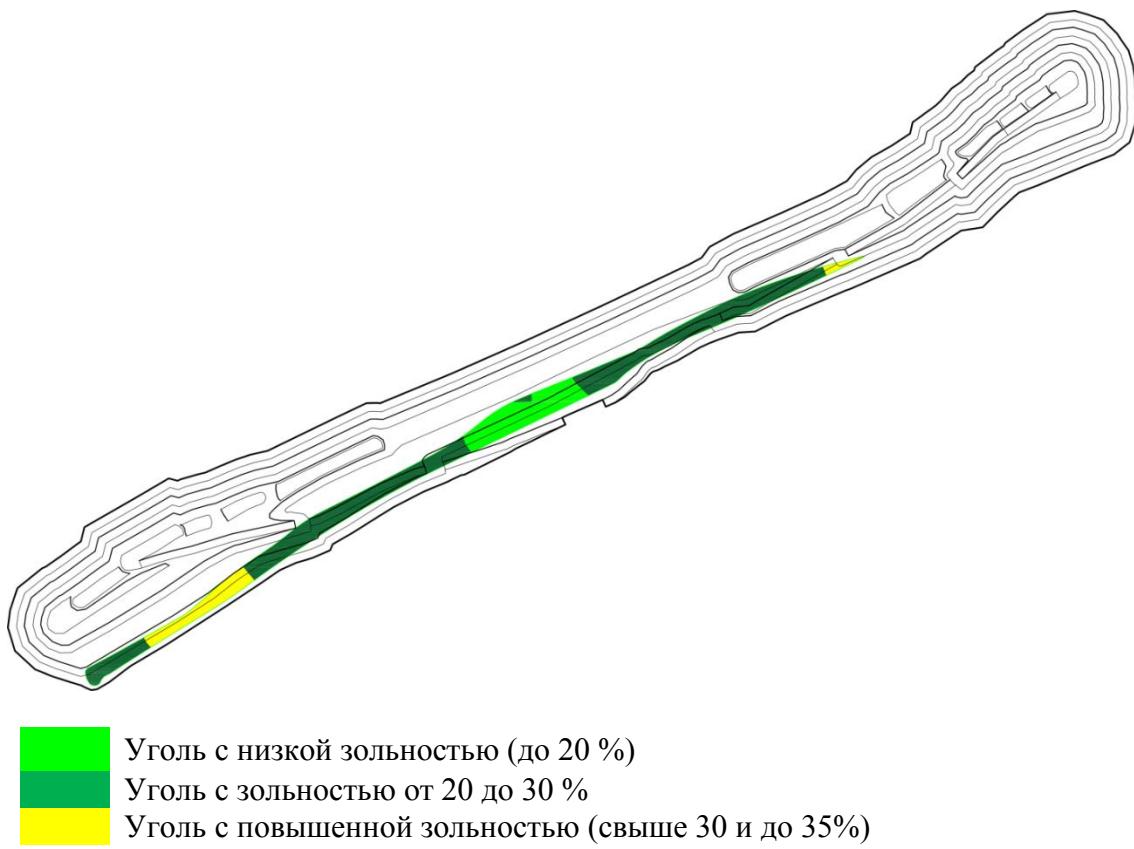


Рис. 7. Облако точек, характеризующее блочную модель с качественными характеристиками угля разреза Одгельдей (зольность, теплота сгорания, выход летучих веществ и т.п.)



Уголь с низкой зольностью (до 20 %)
Уголь с зольностью от 20 до 30 %
Уголь с повышенной зольностью (свыше 30 и до 35%)

Рис. 8. План гор. +1260 м разреза Одгельдей в конечном положении с указанием зон высокозольного и низкозольного угля

Выводы

1. Разработана методика геометризации качественных показателей ПИ в карьере (в плане и по глубине). Основа методики заключается в создании блочной модели геологического объекта и интерпретации полученных данных программными средствами ГГИС.



Результаты геометризации способствуют выявлению сортовых закономерностей в недрах, используемых в процессе планирования горных работ, а также при разработке более эффективной технологии рудоподготовки на горном предприятии.

2. Этап построения блочной модели состоит из следующих операций: преобразования подготовленных данных в нормализованную геологическую базу данных; анализа соответствующих особенностей моделируемого объекта и определения условий для его моделирования; обоснования и выбора соответствующего метода пространственной интерполяции данных (метод «обратных расстояний» или др.); композитирования данных по скважинам с заданным интервалом; создания блочной модели.

3. В результате апробирования предложенной методики (см. рис. 1) построены блочные модели, разрезы и погоризонтные планы по группе месторождений (комплексных руд, каменного угля и др.), при этом для интерполяции геоданных использовались методы триангуляции Делоне Шепарда, кригинг и радиально-базисный метод.

Результаты исследований на примере планируемых к разработке месторождений позволили установить:

- рациональные места заложения разрезных траншей при проектировании вскрытия Серовского месторождения комплексных руд;
- высокую изменчивость качественных показателей ПИ на Серовском месторождении и необходимость тщательного погоризонтного анализа распределений полезных компонентов при проектировании и отработке месторождения;
- предложенная методика моделирования позволила выбрать оптимальный порядок вскрытия и составить рациональный календарный план отработки разреза Одегельдей;
- построить карты зольности как основу для создания системы управления качеством на планируемом разрезе Одегельдей.

4. Подтверждена универсальность методики блочного моделирования качества ПИ, она может быть использована на любом месторождении для решения конкретных горнотехнических задач.

Представленные научные результаты служат основой для разработки положений методики управления качеством минерального сырья и совершенствования планирования горных работ в режиме управления качеством.

Список литературы

1. Яковлев В.Л., 2017. Исследование переходных процессов – новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 5 – 14. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.005
2. Яковлев В.Л., Корнилков С.В., Соколов И.В., 2018. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья: монография*; под редакцией В. Л. Яковлева. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 360 с.
3. Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н., 2005. *Геоинформатика и геоинформационные системы*. Москва: ВНИИгеосистем, 453 с.
4. Демьянин В.В., Савельева Е.А., 2010. *Геостатистика: теория и практика*. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. Москва: Наука, 327 с.
5. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., 2016. Возможности компьютерного моделирования для решения вопросов управления качеством минерального сырья. *Проблемы недропользования*, № 4, С. 170 – 176. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.170
6. Ясковский П.П., 2001. *Горно-геологические условия при оценке месторождений*. Москва: МГГА, 37 с.
7. Dell'Accio F., Filomena Di Tommaso, 2020. On the hexagonal Shepard method. *Applied Numerical Mathematics*, Volume 150, April, P. 51 – 64.

8. Badel M., Saeed Angorani, Masoud Shariat Panahi, 2011. The application of median indicator kriging and neural network in modeling mixed population in an iron ore deposit. *Computers & Geosciences*, Volume 37, Issue 4, April, P. 530 – 540.
9. Afzal P., Nasser Madani, Shahab Shahbeik, Amir Bijan Yasrebi, 2015. Multi-Gaussian kriging: a practice to enhance delineation of mineralized zones by Concentration–Volume fractal model in Dardevey iron ore deposit, SE Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 158, November, P. 10 – 21.
10. Mohammadpour M., Abbas Bahroudi, Maysam Abedi, Gholamreza Rahimipour, Farzaneh Mami Khalifani, 2019. Geochemical distribution mapping by combining number-size multifractal model and multiple indicator kriging. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 200, May, P. 13 – 26.
11. Afeni T.B. Victor Oluwatosin Akeju, Adeyemi Emman Aladejare, 2020. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit. *Geoscience Frontiers, in press, journal pre-proof, Available online*, 8 April.
12. Marques D.M., João Felipe C. L. Costa, 2014. Choosing a proper sampling interval for the ore feeding a processing plant: A geostatistical solution. *International Journal of Mineral Processing*, Volume 131, 10 September, P. 31 – 42.
13. Mery N., Xavier Emery, Alejandro Cáceres, Diniz Ribeiro, Evandro Cunha, 2017. Geostatistical modeling of the geological uncertainty in an iron ore deposit. *Ore Geology Reviews*, Volume 88, August, Pages 336 – 351.
14. Корнилков С.В., Аленичев В.М., Лаптев Ю.В., Яковлев А.М., 2017. Прогноз качественных показателей добываемого сырья на основе геоинформационных технологий. *Горный журнал*, № 12, С. 10 – 15.
15. Яковлев В.Л., Лаптев Ю.В., Яковлев А.М., 2014. Геоинформационная оценка изменчивости качества титаномагнетитовых руд Гусевогорского месторождения. *Литосфера*, № 5, С. 122 – 128.
16. Яковлев А.М., 2021. Апробация алгоритмов автоматизированной обработки геологических баз данных в технологических схемах управления качеством минерального сырья. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5 – 1, С. 248 – 257.
17. Яковлев А.М., 2021. Планирование горных работ в режиме управления качеством сырья на основе геоинформационного моделирования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5 – 1, С. 258 – 268.
18. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., 2020. Оценка качественных показателей полезных ископаемых с использованием геоинформационных технологий блочного моделирования. *Геоинформатика*, № 3, С. 29 – 37.
19. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., 2019. Геоинформационные технологии при моделировании качественных характеристик руд. *Геоинформатика*, № 3, С. 12 – 18.
20. M. W. A. Asad, 2005. Cutoff grade optimization algorithm with stockpiling option for open pit mining operations of two economic minerals. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Volume 19, Issue 3, P. 176 – 187.

References

1. Yakovlev V.L., 2017. Issledovanie perekhodnykh protsessov – novyi metodologicheskii podkhod k razrabotke i razvitiyu innovatsionnykh tekhnologii dobuchi i rudopodgotovki mineral'nogo syr'ya pri osvoenii glubokozalegushchikh slozhnostruktturnykh mestorozhdenii [Study of transients as a new methodological approach to the creation and development of innovative technologies for the extraction and ore preparation of mineral raw materials in the development of deep-lying complex-structured deposits]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2, P. 5 – 14. DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.005

2. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V., Sokolov I.V., 2018. Innovatsionnyi bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya: monografiya [Innovative basis of the strategy of integrated development of mineral resources: monograph]; pod redaktsiei V.L. Yakovleva. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 360 p.
3. Kuznetsov O.L., Nikitin A.A., Cheremisina E.N., 2005. Geoinformatika i geoinformatsionnye sistemy [Geoinformatics and geoinformation systems]. Moscow: VNIIgeosistem, 453 p.
4. Dem'yanov V.V., Savel'eva E.A., 2010. Geostatistika: teoriya i praktika [Geostatistics: theory and practice]. Institut problem bezopasnogo razvitiya atomnoi energetiki RAN. Moscow: Nauka, 327 p.
5. Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M., 2016. Vozmozhnosti komp'iuternogo modelirovaniya dlya resheniya voprosov upravleniya kachestvom mineral'nogo syr'ya [Possibilities of computer modeling for solving issues of quality management of mineral raw materials]. Problemy nedropol'zovaniya, № 4, S. 170 – 176. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.170
6. Yaskovskii P.P., 2001. Gorno-geologicheskie usloviya pri otsenke mestorozhdenii [Mining and geological conditions in the evaluation of deposits]. Moscow: MGGA, 37 p.
7. Dell'Accio F., Filomena Di Tommaso, 2020. On the hexagonal Shepard method. *Applied Numerical Mathematics*, Volume 150, April, P. 51 – 64.
8. Badel M., Saeed Angorani, Masoud Shariat Panahi, 2011. The application of median indicator kriging and neural network in modeling mixed population in an iron ore deposit. *Computers & Geosciences*, Volume 37, Issue 4, April, P. 530 – 540.
9. Afzal P., Nasser Madani, Shahab Shahbeik, Amir Bijan Yasrebi, 2015. Multi-Gaussian kriging: a practice to enhance delineation of mineralized zones by Concentration–Volume fractal model in Dardevey iron ore deposit, SE Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 158, November, P. 10 – 21.
10. Mohammadpour M., Abbas Bahroudi, Maysam Abedi, Gholamreza Rahimipour, Farzaneh Mami Khalifani, 2019. Geochemical distribution mapping by combining number-size multifractal model and multiple indicator kriging. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 200, May, P. 13 – 26.
11. Afeni T.B. Victor Oluwatosin Akeju, Adeyemi Emman Aladejare, 2020. A comparative study of geometric and geostatistical methods for qualitative reserve estimation of limestone deposit. *Geoscience Frontiers, in press, journal pre-proof, Available online*, 8 April.
12. Marques D.M., João Felipe C. L. Costa, 2014. Choosing a proper sampling interval for the ore feeding a processing plant: A geostatistical solution. *International Journal of Mineral Processing*, Volume 131, 10 September, P. 31 – 42.
13. Mery N., Xavier Emery, Alejandro Cáceres, Diniz Ribeiro, Evandro Cunha, 2017. Geostatistical modeling of the geological uncertainty in an iron ore deposit. *Ore Geology Reviews*, Volume 88, August, Pages 336 – 351.
14. Kornilkov S.V., Alenichev V.M., Laptev Yu.V., Yakovlev A.M., 2017. Prognoz kachestvennykh pokazatelei dobyvaemogo syr'ya na osnove geoinformatsionnykh tekhnologii [Forecast of quality indicators of extracted raw materials based on geoinformation technologies]. Gornyi zhurnal, № 12, P. 10 – 15.
15. Yakovlev V.L., Laptev Yu.V., Yakovlev A.M., 2014. Geoinformatsionnaya otsenka izmenchivosti kachestva titanomagnetitovykh rud Gusevogorskogo mestorozhdeniya [Geoinformation assessment of the quality variability for titan-magnetite ores of the Gusevogorskoye deposit]. Litosfera, № 5, P. 122 – 128.
16. Yakovlev A.M., 2021. Aprobatsiya algoritmov avtomatizirovannoj obrabotki geologicheskikh baz dannykh v tekhnologicheskikh skhemakh upravleniya kachestvom mineral'-nogo syr'ya [Probation of algorithms for automated processing of geological databases in technological management schemes of mineral raw material quality]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5 – 1, P. 248 – 257.



-
17. Yakovlev A.M., 2021. Planirovanie gornykh rabot v rezhime upravleniya kachestvom syr'ya na osnove geoinformatsionnogo modelirovaniya [Planning of mining operations in the raw material quality management mode based on geoinformation modeling]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5 – 1, P. 258 – 268.
18. Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S., 2020. Otsenka kachestvennykh po-kazatelei poleznykh iskopaemykh s ispol'zovaniem geoinformatsionnykh tekhnologii blochnogo modelirovaniya . [Assessment of qualitative indicators of minerals using geoinformation technologies of block modeling]. Geoinformatika. № 3, P. 29 – 37.
19. Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S., 2019. Geoinformatsionnye tekhnologii pri modelirovaniyu kachestvennykh kharakteristik rud [Geoinformation technologies in modeling the qualitative characteristics of ores]. Geoinformatika, №. 3, P. 12 – 18.
20. M. W. A. Asad, 2005. Cutoff grade optimization algorithm with stockpiling option for open pit mining operations of two economic minerals. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Volume 19, Issue 3, P. 176 – 187.



УДК 622:658.5

Черских Олег Ивановичкандидат технических наук, директор
ООО «Солнцевский угольный разрез»,
694910, г. Шахтерск (о-в Сахалин), Россия
e-mail: cherskikh@eastmining.ru**РАЗВИТИЕ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА
В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ***Аннотация:*

Солнцевский угольный разрез является динамично развивающимся угледобывающим предприятием. Развитие осуществляется в сложных горно-геологических, гидрологических, геомеханических и природно-климатических условиях с преимущественно вахтовым методом организации работы персонала. Условия месторождения изучаются гидрогеологической службой. Геомеханическая служба пополняет список опасных зон, которые находятся под постоянным контролем. В основе развития – рациональное использование природного и технического потенциала, человеческого капитала предприятия. Приобретается дорогостоящее оборудование и формируется соответствующая организация его эксплуатации, обеспечивающая производительность, безопасность, эффективность и экологичность работ. Для оперативного управления осваиваются цифровые методы учета результатов производственной деятельности и состояния месторождения по ключевым опасным факторам.

Ключевые слова: угольный разрез, оптимизация горных работ, опасные зоны, оползневые явления, водоотведение, гидрология, параметры, подвижки, буровзрывные работы.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.059

Cherskikh Oleg I.Candidate of Technical Sciences,
Director of LLC «Solntsevsky Coal Mine»,
Russia, Sakhalin,
694910 Shaktersk, 16A Lenina Str.
e-mail: cherskikh@eastmining.ru**DEVELOPMENT OF A COAL MINE
IN DIFFICULT OPERATING CONDITIONS***Abstract:*

Solntsevskiy coalmine is a dynamically developing coal mining enterprise. Here development is carried out in complicated mining-geological, hydrological, geomechanical and climatic conditions with predominantly shift method of organizing the work of personnel. The conditions of the deposit are being studied by the hydrogeological service. The Geomechanical Service replenishes the list of hazardous areas that are under constant control. The development base is the rational use of the natural and technical potential as well of the human capital of the enterprise. Expensive equipment is being purchased and an appropriate organization of its operation is being formed, ensuring productivity, safety, efficiency and environmental friendliness of work. For operational management, digital methods of accounting for the results of production activities and the condition of the field for key hazardous factors are being mastered.

Key words: coal mine, optimization of mining operations, hazardous areas, landslide phenomena, drainage, hydrology, parameters, movements, drilling and blasting.

Введение

Солнцевское буру угольное месторождение расположено на западном побережье центральной части острова Сахалин, в угледорожном районе на западных и северо-восточных отрогах угледорожного и приморского хребтов. Месторождение характеризуется низкогорным холмистым рельефом с отметкой 300 – 330 м. Непосредственно на его территории протекают мелководные реки Тарасовка, Желтая, Полтавка, Федора, Майская, которые имеют типичный горный характер. Водосборная площадь по разрезу в 2022 г. составляла около 9,6 млн м², в 2023 расширяется до 20,9 млн м². Район сейсмоактивный. Согласно схеме тектонического районирования Сахалинской области месторождение находится в 9-балльной зоне по шкале МТК-64; зимний период – лавиноопасный. Вскрышные породы склонны к оползневым явлениям. Также к *факторам, осложняющим деятельность*, относятся:

- 1) неблагоприятные природно-климатические условия;
- 2) преимущественно (70 %) вахтовый метод работы персонала.

Позитивные факторы деятельности:

1. Высокое качество угля. Значительные лицензионные запасы.
2. Близость морского порта (около 30 км).

3. Нацеленность компании на развитие производства и его культуры.
4. Хорошая техническая оснащенность.
5. Развивающаяся инфраструктура г. Углегорска и пгт Шахтерска.
6. Удобное авиасообщение с материком – аэропорт г. Южно-Сахалинск.

Месторождение включает 21 добывной пласт, залегание близко к пологому. Динамика объемов производства представлена на рис. 1. За 2022 г. перевезено свыше 130 млн м³ горной массы, добыто 11,3 млн т угля.

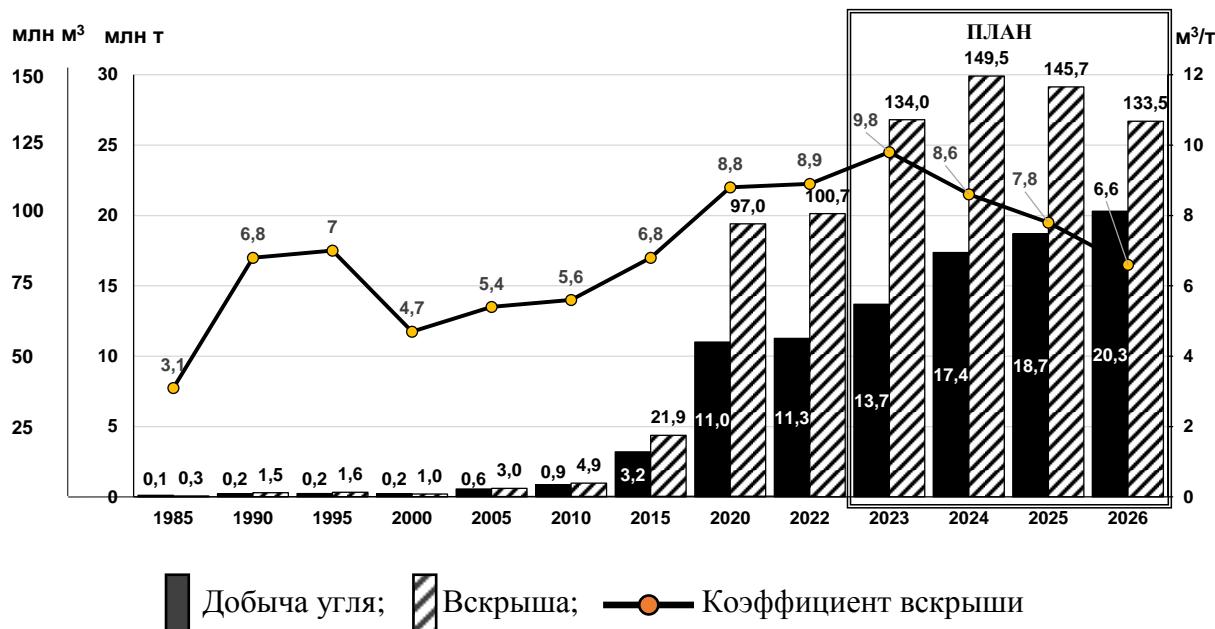


Рис. 1. Динамика объемов производства Солнцевского угольного разреза

Для обеспечения безопасной и эффективной добычи, снижения риска оползневых явлений, повышения качества гидрогеологического и геомеханического обеспечения на предприятии создано управление по контролю состояния массива. Оно включает в себя гидрогеологические и геомеханические отделы, службу водоотведения, состоящую из участка руслоотведения, участка дренажа и водоотлива, участка малой горной техники.

В период с 2020 по 2023 г. на Солнцевском буровоугольном месторождении был проведен комплекс мероприятий по изучению гидрогеологических параметров массива разреза и отвалов:

1. **Выполнено** уточнение структурных особенностей массива и физико-механических свойств пород, гидрогеологических параметров, влияющих на устойчивость; подготовлена геофильтрационная модель месторождения.
2. **Выполнена** программа пилотного водопонижения в прибортовом массиве комбинированным бурением горизонтальных и вертикальных скважин, оборудованных датчиками.
3. По полученным данным **откалибрована** гидрогеологическая геофильтрационная модель месторождения, используемая для планирования горных работ.
4. **Организовано** водоотведение поверхностного стока от контура горных выработок и отвалов постоянными и отстроенными временными руслоотводами (рис. 2).
5. **Организованы** гидрологические посты на естественных и искусственных водотоках месторождения и прилегающих территориях, с ведением режимных наблюдений (см. рис. 2).
6. **Наложен** учет поверхностного водоотлива из горных выработок в увязке с утилизацией таких вод в локальных очистных сооружениях разреза.
7. **Увеличена** пропускная способность очистных сооружений до 375 м³/ч.

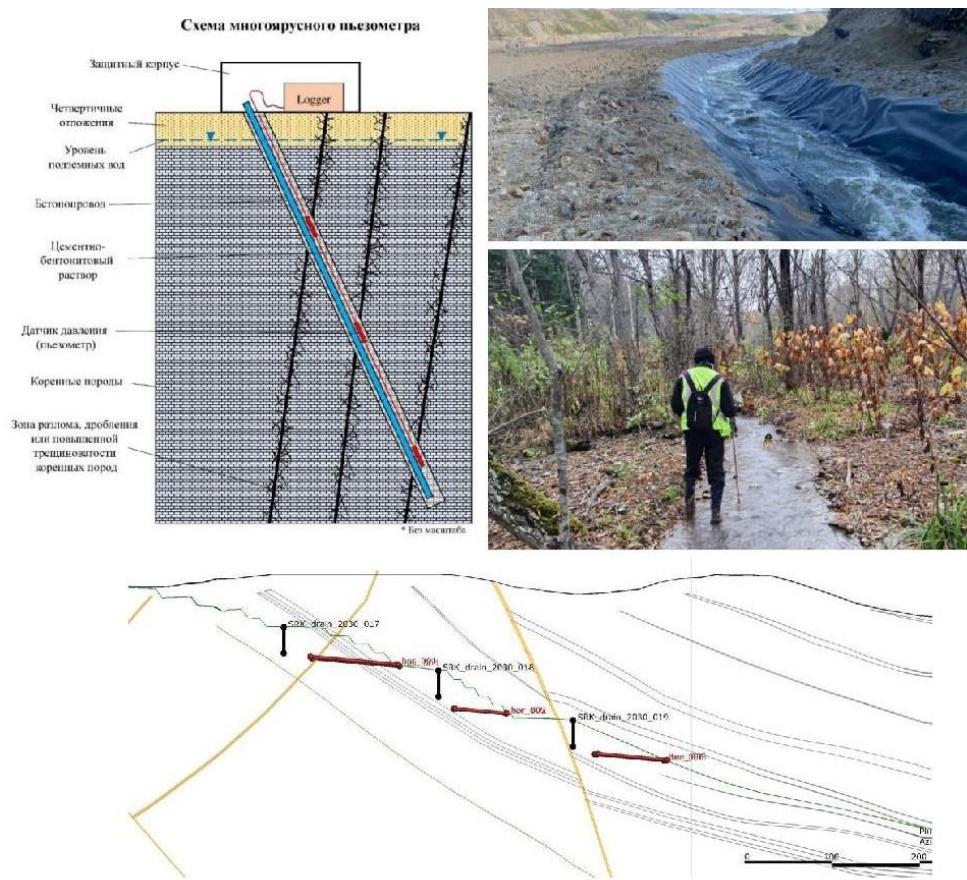


Рис. 2. Схема водоотведения и расположения гидрогеологических постов

В настоящее время гидрогеологической службой разреза **выполняется весь комплекс работ** по изучению месторождения с применением современных технологий как камеральных, так и полевых.

На горных выработках имеются опасные зоны (табл. 1, рис. 3). Основные причины их возникновения – слабые контакты в обводненных породах. Эти зоны выявляются и фиксируются. Список опасных зон пополняется геомеханической службой и находится под особым контролем.

Таблица 1
Перечень опасных зон

№ОЗ	Ведение горных работ	Скорости на август 2022, мм/час	Причины деформаций
1	не ведутся	Периодические замеры	Оползень отвала Западный Бис
4	ведутся	5-10	Контакт пород, высокая обводненность
6	ведутся	15-20	Тектоническое нарушение № 12
25	ведутся	В стабильном состоянии	Оползень врем. отвала
33	ведутся	4-5	Контакт пород, высокая обводненность
35	завершаются	2-4	Тектоническое нарушение № 5 и №10

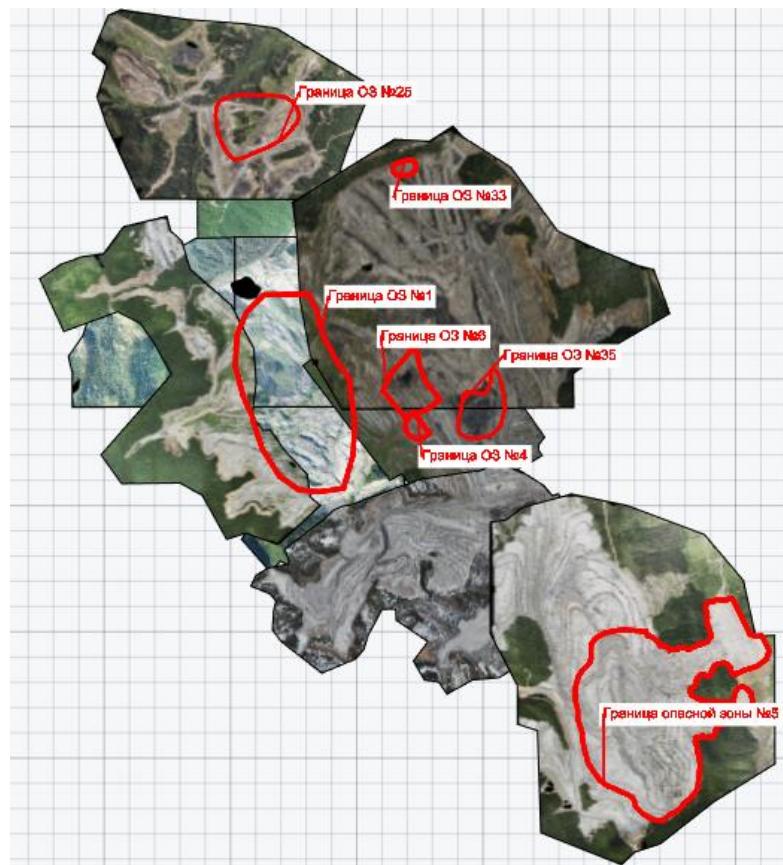


Рис. 3. Схема разреза с указанием опасных зон

Наблюдение за состоянием бортов производится с помощью интерферометрических георадаров IBIS FM и IBIS ArcSAR. Георадары постоянно сканируют состояние горных выработок (рис. 4, 5) и производят оповещение о необходимости вывода людей и техники из опасных зон в случаях увеличения скорости перемещений сверх допустимого уровня.

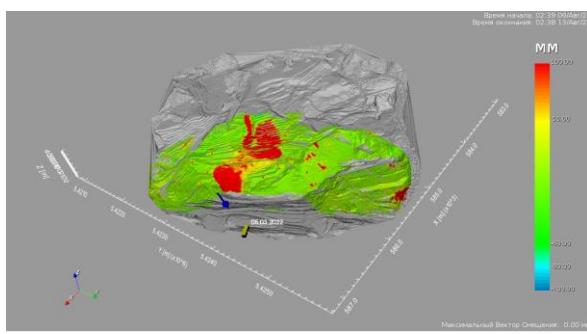


Рис. 4. Карта смещений
(западный борт, август 2022 г.)

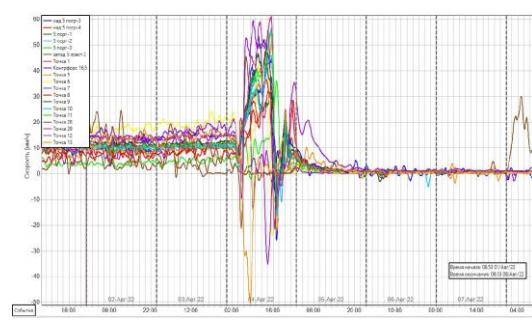


Рис. 5. Оползень в 35 опасной зоне
(04.08.2022 г.)

Определены параметры допустимых и критических подвижек массива: при скорости смещений до 20 мм/час можно продолжать работу в режиме готовности к выводу, при скорости смещений 25 мм/час и более необходимо выводить технику и людей из опасных зон; при скорости 60 мм/час происходит обрушение.

Налажена система оповещения персонала при фиксации критических подвижек (электронная почта и чат Telegram-канала, информация поступает в горнотехнический центр диспетчеру и лицам горного надзора предприятия).



Применение радаров позволило выполнить с приемлемым риском горные работы в опасных зонах № 35 и 33 (участок Хоторской). Под контролем георадаров в этих зонах было добыто около 150 тыс. т угля.

В настоящее время совместно со специалистами КузГТУ разрабатывается программа мониторинга состояния массива для управления деформациями.

Предприятие имеет современный парк горно-транспортного оборудования (табл. 2):

– экскаваторы преимущественно гидравлические, японского производства. Вместимость ковша от 2 до 24 м³. Приобретены два экскаватора китайского производства с вместимостью ковша 22 м³;

– карьерные автосамосвалы представлены БелАЗами – 75306 (220 т) и 75131 (130 т), а также Komatsu HD785 (90 т);

– тракторно-бульдозерная техника преимущественно японского производства.

Импортное горно-транспортное оборудование обслуживается в основном сервисными компаниями, автосамосвалы БелАЗ – собственными силами в Технопарке разреза.

Таблица 2

Используемое горно-транспортное оборудование

№	Тип техники	Количество				
		Итого	СУР	Подрядчики		
				ГТК-ДВ	Акваприм	ССДВ
	Итого	297	226	37	10	24
1	Экскаватор	43	34	4	3	2
1.1	Ек: > 20 м ³	13	10	3		
1.2	Ек: 15 м ³	2	1	1		
1.3	Ек: 12 м ³	9	9			
1.4	Ек: 7 м ³	7	7			
1.5	Ек: 4 м ³	5	3			2
1.6	Ек: < 2 м ³	7	4		3	
2	Самосвал	175	136	26	7	6
2.1	г/п 220 т	85	64	21		
2.2	г/п 130 т	39	34	5		
2.3	г/п 90 т	32	32			
2.4	г/п < 90 т	19	6		7	6
3	Бульдозер	48	41	6	0	1
3.1	Гусенич. 70 т	26	23	3		
3.2	Гусенич. 50 т	1	1			
3.3	Гусенич. 40 т	13	9	3		1
3.4	Гусенич. 20 т	3	3			
3.5	Колесн. 48 т	5	5			
4	Погрузчик	24	9	0	0	15
4.1	Ек: 10 м ³	1				1
4.2	Ек: 7 м ³	23	9			14
5	Грейдер	7	6	1	0	0
5.1	73 т	1	1			
5.2	26 т	6	5	1		

СУР – Солнцевский угольный разрез; ГТК-ДВ – горно-транспортная компания – Дальний Восток; ССДВ – Стройсервис Дальний Восток; Ек – вместимость ковша; г/п – грузоподъемность.

Для создания условий, позволяющих технике работать с высокой производительностью [1, 2, 3], выполнена оптимизация горных работ: перенарезаны горизонты, благодаря чему исключены обратные заезды и сокращено расстояние транспортирования; увеличена ширина заходок (рис. 6) и освоена работа на два подъезда всем парком экскаваторов.

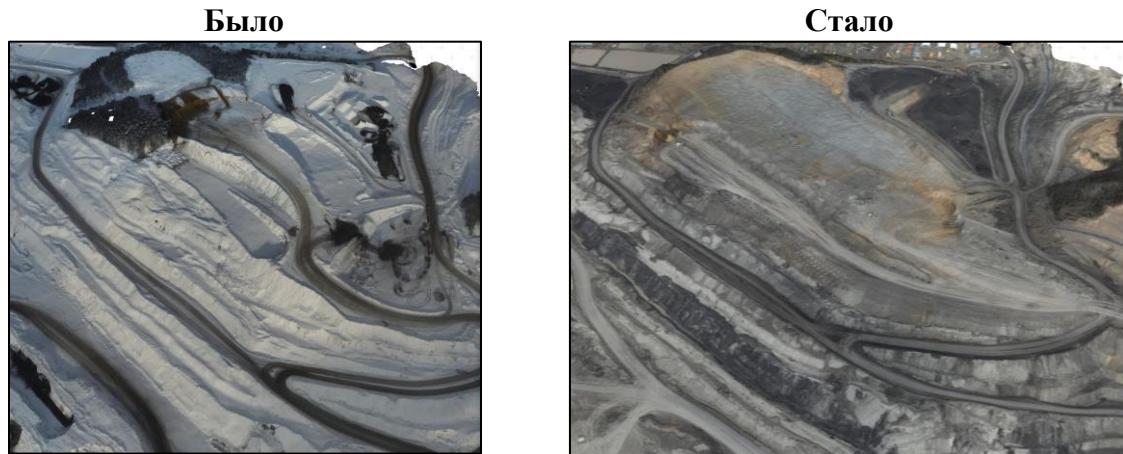


Рис. 6. Изменения ведения горных работ

Оптимизированы буровзрывные работы:

- увеличен диаметр взрываемых скважин со 145 мм (сетка бурения 5×5 м) до 216 мм (сетка бурения 8×8 м) → увеличен выход взорванной горной массы с $23 \text{ м}^3/\text{п.м.}$ до $51 \text{ м}^3/\text{п.м.}$ → снижено количество погонных метров бурения на взрываемом блоке;
- сокращено количество дней буровзрывных работ в месяц с 18 до 10;
- используется рассредоточенная конструкция скважинных зарядов, отсюда снижение удельного расхода взрывчатых веществ до 15 %;
- применяются скважины наклонного бурения первого ряда параллельно откосу уступа, что положительно сказывается на процессе экскавации взорванного блока;
- увеличен объем единовременного взрывания – не менее 1000 тыс. м^3 (суммарно для нескольких экскаваторов по вскрышным уступам) [4, 5, 6].

Достигнутые результаты по оптимизации и улучшению организации горных работ представлены на рис. 7.



Рис. 7. Изменения в организации работы оборудования



Перечисленные основные преобразования в горных работах сопровождаются развитием цифровизации производства, повышением культуры производства, налаживанием сотрудничества персонала, организацией ресурсосбережения, формированием системы управления рисками и осуществляются для достижения *стратегической цели*: формирования к 2025 г. современного конкурентоспособного угледобывающего комплекса с объемом производства 20 млн т [7 – 10].

Важным направлением при достижении цели деятельности является экологическое обеспечение, сохранение экологического баланса. Ведется модернизация и строительство новых локальных очистных сооружений МТЭР-100 по очистке карьерных вод с увеличением пропускной способности от 75 до 500 м³/час. Для очистки сточных вод отвалов разреза, ливневых и талых вод установлены локальные модули производительностью 180 м³/час. Для защиты водных объектов от загрязнения водой с горных выработок выполнено строительство систем руслоотводов и канав с обязательной гидроизоляцией гидромембраной. В июне планируется выпустить в реку 400 т молоди горбуши. Также запланированы работы по компенсации нарушенных земель – лесовосстановлению земель площадью более 100 га.

Заключение

Развитие Солнцевского угольного разреза, осуществляющееся в сложных условиях деятельности, базируется на рациональном использовании природного и технического потенциала предприятия, его человеческого капитала. Формирование культуры производства, в основе которой сотрудничество персонала, организация ресурсосбережения в производственной и экологической деятельности, повышение качества всех процессов, является основным направлением развития.

Список литературы

1. Ясючена С.В., 2012. О повышении операционной эффективности открытых горных работ в компании ОАО «СУЭК». *Горная промышленность*, №6, С. 23 – 27.
2. Кулецкий В.Н., Каинов А.И., Мироненко С.Ю., Рыбинский А.Б., 2012. Опыт совершенствования производства в ОАО «Разрез Тугнуйский». *Уголь*, №3, С. 67 – 69.
3. Кулецкий В.Н., Попов Д.В., 2012. Создание организационно-технологических условий для высокопроизводительной работы экскаваторов Вискус 495 HD. *Уголь*, № 12, С. 4 – 9.
4. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В., Добровольский А.И., Галимьянов А.А., 2014. Совершенствование взрывных работ на разрезе «Буреинский-2» ОАО «Ургалуголь». *Уголь*, № 1, С. 11–14.
5. Черских О.И., Галимьянов А.А., Гевало К.В., 2022. Совершенствование буро-взрывных работ на Солнцевском угольном разрезе. *Уголь*, №7 (1156), С. 45 – 52.
6. Черских О.И., Галимьянов А.А., Корнеева С.И., Мишнев В.И., 2023. Уточненная формула для определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы при взрывании скважинных зарядов. *Уголь*, №5 (1167), С. 50 – 54.
7. Восточная горнорудная компания наращивает объемы добычи и отгрузки угля. *Уголь*, 2020, № 3, С. 30 – 31.
8. Черских О.И., Минаков В.С., Назарян С.А., 2023. Повышение операционной эффективности деятельности угольного разреза посредством цифровизации процессов. *Уголь*, № 3, С. 79 – 84.
9. Черских О.И., Минаков В.С., Галкин А.В., 2022. Освоение системы управления рисками персоналом Солнцевского угольного разреза. *Уголь*, № 10, С. 40 – 44.
10. Черских О.И., Минаков В.С., Галкин А.В., Муштонина Е.А., 2023. Методика оценки культуры безопасности производства и труда на горнодобывающем предприятии. *Вестник ВостНИИ*, № 1, С. 63 – 72.



References

1. Yasyuchenya S.V., 2012. O povyshenii operatsionnoi effektivnosti otkrytykh gornykh rabot v kompanii OAO "SUEK" [On improving the operational efficiency of open-pit mining operations in the company of OAO "SUEK"] . Gornaya promyshlennost', №6, P. 23 - 27.
2. Kuletskii V.N., Kainov A.I., Mironenko S.Yu., Rybinskii A.B., 2012. Opyt sovershenstvovaniya proizvodstva v OAO "Razrez Tugnuiskii". [Experience in improving production in OAO "Razrez Tugnuysky"]. Ugol', №3, P. 67 – 69.
3. Kuletskii V.N., Popov D.V., 2012. Sozdanie organizatsionno-tehnologicheskikh uslovii dlya vysokoproizvoditel'noi raboty ekskavatorov Bucyrus 495 HD [Creation of organizational and technological conditions for high-performance operation of Bucyrus 495 HD excavators]. Ugol', № 12, P. 4 – 9.
4. Shevkun E.B., Leshchinskii A.V., Dobrovolskii A.I., Galim'yanov A.A., 2014. Sovershenstvovanie vzryvnykh rabot na razreze "Bureinskii-2" OAO "Urgalugol" [Improvement of blasting operations at the Bureinsky-2 section of OAO "Urgalugol"]. Ugol', № 1, P. 11 - 14.
5. Cherskikh O.I., Galim'yanov A.A., Gevalo K.V., 2022. Sovershenstvovanie burovzryvnykh rabot na Solntsevskom ugol'nom razreze [Improvement of drilling and blasting operations at the Solntsevsky coal mine]. Ugol', №7 (1156), P. 45 – 52.
6. Cherskikh O.I., Galim'yanov A.A., Korneeva S.I., Mishnev V.I., 2023. Utochennennaya formula dlya opredeleniya radiusa opasnoi zony po razletu otdel'nykh kuskov gornoi massy pri vzryvanii skvazhinnykh zaryadov [A refined formula for determining the radius of the danger zone by the spread of individual pieces of rock mass during the blasting of borehole charges]. Ugol', №5 (1167), P. 50 – 54.
7. Vostochnaya gornorudnaya kompaniya narashchivaet ob"emy dobychi i otgruzki uгля [The Eastern Mining Company is increasing the volume of production and shipment of coal]. Ugol', 2020, № 3, P. 30 – 31.
8. Cherskikh O.I., Minakov V.S., Nazaryan S.A., 2023. Povyshenie operatsionnoi effektivnosti deyatel'nosti ugol'nogo razreza posredstvom tsifrovizatsii protsessov [Improving the operational efficiency of the coalmine through the digitalization of processes]. Ugol', № 3, P. 79 – 84.
9. Cherskikh O.I., Minakov V.S., Galkin A.V., 2022. Osvoenie sistemy upravleniya riskami personalom Solntsevskogo ugol'nogo razreza [Mastering the risk management system by the personnel of the Solntsevsky coalmine]. Ugol', № 10, P. 40 – 44.
10. Cherskikh O.I., Minakov V.S., Galkin A.V., Mushtonina E.A., 2023. Metodika otsenki kul'tury bezopasnosti proizvodstva i truda na gornodobyvayushchem predpriyatiu [Methodology for assessing the safety culture of production and labor at a mining enterprise]. Vestnik VostNII, № 1, P. 63 – 72.



**ГЕОТЕХНИКА ДЛЯ ОТКРЫТОЙ, ПОДЗЕМНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ
ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**



УДК 622.684:330.34

Глебов Андрей Валерьевич

доктор технических наук,
заместитель директора по научным вопросам,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: glebov@igduran.ru

К ВОПРОСУ ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННЫХ САМОСВАЛОВ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ*

Аннотация:

На сегодняшний момент времени горно-металлургическая отрасль экономики России по-прежнему остается экспортно-ориентированной. Показано, что одним из стратегических направлений комплексного развития горного, металлургического и машиностроительного производства в современных условиях является поиск путей реструктуризации и модернизации с целью импортозамещения, внедрения принципиально новых отечественных технологий и техники. Между предприятиями машиностроения и горно-металлургического комплекса по поставкам горного, металлургического, прокатного, кузнечнопрессового, транспортного, энергетического, станочного оборудования, а также запасных частей к ним имеется значительный потенциал восстановления и развития кооперационных связей.

В результате исследований установлено, что одним из путей обеспечения технологического суверенитета горного производства является ускорение производства полноприводных самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой, в том числе в беспилотном исполнении, на территории России и их применение при добывче твердых полезных ископаемых с использованием открытой и комбинированной геотехнологии.

На отдельных примерах показано, что развитие открытых горных работ должно основываться на научно-техническом потенциале с использованием инновационной техники и современных ресурсо- и энергосберегающих технологий. Для этого необходимо вменить в обязанность добывающим организациям, использующим меры государственной поддержки, обязательное финансирование предпроектных НИР, НИОКР, технологических регламентов, программного обеспечения по разработке, выбору и обоснованию прогрессивных технологий, основанных на применении отечественного оборудования. На государственном уровне разработать программу замещения импортного (западного и американского) производства горного оборудования отечественным в краткосрочном, среднесрочном и долгосрочном периодах с учетом возможностей и перспектив развития машиностроительной промышленности.

Ключевые слова: технологический суверенитет, импортозамещение, шарнирно-сочлененный самосвал, машиностроение, горнодобывающее предприятие.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.068

Glebov Andrey V.

Doctor of Engineering Sciences,
Deputy Director on Scientific Issues,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: glebov@igduran.ru .

ON THE ISSUE OF IMPORT INDEPENDENCE ON THE EXAMPLE OF THE PRODUCTION OF ARTICULATED DUMP TRUCKS FOR THE DEVELOPMENT OF SOLID MINERAL DEPOSITS

Abstract:

Now, the mining and metallurgical industry of the Russia remains export-oriented. The paper shows that one of the strategic directions of the integrated development of mining, metallurgical and machine-building production in modern conditions is the search for ways of restructuring and modernization for the purposes of import substitution and of implementation of fundamentally new domestic technology and equipment. There is a significant potential for reestablishing and development of cooperative relations between the enterprises of mechanical engineering and the mining and metallurgical complex for the supply of mining, metallurgical, rolling-mill, forging-press, transporting, energetic and machine equipment, as well as spare parts for them.

Because of the research, we established that one of the ways to ensure the technological sovereignty of mining is to accelerate the production of four-wheel drive dump trucks with articulated frame, including of ones in unmanned design, on the territory of Russia and to use them during the extraction of solid minerals using open-pit method.

Several examples given here illustrate that the development of open-pit mining should base on scientific and technical potential using innovative technology and modern resource- and energy-saving technologies. To do this, it is necessary to allocate the producing assets with the state support to take measures for mandatory financing of pre-project research, R&D, technological regulations and software for the development, selection and justification of advanced technologies based on the use of domestic equipment. At the state level, it is necessary to develop a program to replace imported (Western- and American-made) mining equipment with domestic equipment in the short, medium and long term, taking into account the opportunities and prospects for the development of the machine-building industry.

Key words: technological sovereignty, import substitution, articulated dump truck, mechanical engineering, mining enterprise.

* Статья подготовлена в рамках государственного задания №075-00412-22 ПР. Тема 1 (2022-2024). Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1.



Введение

В период санкционной политики необходимо тесное сотрудничество науки, производства и органов исполнительной власти в части совместной разработки стратегических направлений комплексного развития горного, металлургического и машиностроительного производства в современных условиях, поиска путей реструктуризации и модернизации с целью импортозамещения, внедрения принципиально новых отечественных технологий и техники. Об этом и о том, что горно-металлургический и машиностроительный комплексы Российской Федерации были и остаются важнейшими составляющими экономики, определяющими технологичность, конкурентоспособность страны, а в совокупности с оборонно-промышленным комплексом и национальную безопасность автор и его коллеги писали неоднократно [1, 2].

В период с 2009 по 2016 г. в Уральском федеральном округе (УрФО) всего 28 – 35 % металла подвергались первичной переработке, остальная продукция была вывезена в виде сырья. Сегодня ситуация меняется, но по-прежнему, экспортируя сырье и продукцию низких технологических переделов, предприятия активно импортируют высокотехнологичную продукцию с высокой добавленной стоимостью. По УрФО в первом полугодии 2014 г. импортировались машины, оборудование и транспортные средства, их доля от общего объема импорта составила 65,5 %. Экспорт машин, оборудования и транспортных средств за этот же период составил всего 5,2 % от общего объема, а экспорт минеральных продуктов составил 65,5 %, металлов и изделий из них – 21,8 %. В первом полугодии 2021 г. также в основном экспортировались «Минеральные продукты» (57 %), «Металлы и изделия из них» (29 %).

По словам начальника таможенного управления Алексея Фролова, в 2022 г. 60 % экспорта из УрФО составили металл и изделия из него, при этом 50 % импорта составили станки, оборудование и механизмы¹. По данным Федеральной таможенной службы России, в общей структуре товаров, экспортаемых Российской Федерацией в 2021 г., доля экспорт минеральных продуктов составила 56,2 %, металлов и изделий из них – 6,8 %, машин, оборудования и транспортных средств – всего 6,6 %. При этом импортировалось в Российскую Федерацию минеральных продуктов 1,9 %, металлов и изделий из них – 7,3 %, машин, оборудования и транспортных средств – 49,3 %².

Таким образом, горно-металлургическая отрасль экономики России по-прежнему остается экспортно-ориентированной. Предприятия горно-металлургического комплекса являются одними из крупнейших потребителей продукции машиностроения, в первую очередь тяжелого, энергетического и транспортного. Остается значительный потенциал восстановления и развития кооперационных связей между предприятиями машиностроения и горно-металлургического комплекса по поставкам горного, металлургического, прокатного, кузнецнопрессового, транспортного, энергетического, станочного оборудования, а также запасных частей [2].

Главной целью неоднократно объявленной Правительством России политики импортозамещения является повышение эффективности экономики, налаживание собственных производств в различных отраслях. Летом 2022 г. на Петербургском международном экономическом форуме Президент Российской Федерации Владимир Путин еще раз в качестве целей российского импортозамещения назвал создание собственных конкурентных технологий, товаров и сервисов³. «Но я хотел бы подчеркнуть, что импортозамещение – это не панацея, не кардинальное решение. Если мы будем лишь повторять других, пытаться заменить пусть и самыми качественными копиями иностранные товары, то будем находиться в позиции постоянно догоняющих. А надо быть на шаг впереди, создавать собственные конкурентные технологии, товары и сервисы, которые способны стать новыми мировыми стандартами», – сказал В.В. Путин⁴. На форуме была обозначена и системная проблема российского импортозамещения, которая состоит в

¹ <https://rg.ru/2023/02/01/reg-urfo/pandemiia-bila-bolnee.html>

² https://rossstat.gov.ru/statistics/vneshnyaya_torgovlyा

³ <https://www.kommersant.ru/doc/5421339>

⁴ <https://tass.ru/ekonomika/14954319>



том, что достоверных данных о потребностях российской экономики у исполнительных органов власти нет, а для эффективной замены импорта потребуется инвентаризация оборудования и составление балансов по отдельным видам продукции.

Все вышесказанное относится и к горнодобывающим предприятиям, которые столкнулись с большим количеством проблем в сложившейся геополитической ситуации.

Особое внимание вопросу импортозамещения уделяют горнорудники России. На прошедшем в ноябре 2022 г. VI Национальном горнорудном форуме совместно с Торгово-промышленной палатой РФ при активном участии Академии горных наук, Государственной Думы Федерального Собрания РФ, Министерства энергетики РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства по развитию Дальнего Востока и Арктики РФ, Федерального агентства по недропользованию проведено совещание по вопросу «Консолидация горнодобывающих отраслей», в рамках которого в числе прочих были приняты рекомендации в адрес Правительства Российской Федерации обратить внимание на необходимость⁵:

– актуализации перечня продукции, востребованной предприятиями минерально-промышленного комплекса, для организации в рамках программы импортозамещения государственной поддержки производителей, в том числе:

– расширения программ адресной поддержки и льготного кредитования, запуска специальных грантовых программ по «доращиванию» производителей запчастей, обогатительного оборудования, комплектующих и сырьевых компонентов для горнодобывающей отрасли;

– актуализации перечня оборудования и запасных частей (обогатительного, дробильно-размольного, бурового и проходческого оборудования, погрузочной шахтной техники, конвейерного оборудования) совместно с добывающими и производственными компаниями с целью оперативной актуализации ввозных таможенных пошлин на данное горное оборудование;

– субсидирования предприятиям приобретения отечественного горного оборудования с уровнем локализации производства российскими предприятиями не менее 75 %;

– рассмотрения возможности создания Министерства горной промышленности (горного дела), отвечающего за широкий спектр направлений, включая геологоразведку, реализацию добытых полезных ископаемых

и т.д.

Научная общественность и горнорудники Урала в дополнение к этому считают негативным тот факт, что в число приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации включены только проблемы добычи и переработки углеводородов. Все виды оборудования, в том числе для возобновляемой энергетики, производятся из добываемых основных и попутных химических элементов твердых полезных ископаемых, входящих в группу стратегических видов минерального сырья, в связи с чем их добыча и переработка также должны быть включены в число приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации⁶.

Целью данного исследования является демонстрация необходимости активизации мер по реализации процесса импортозамещения в РФ, а также использование научно-технического потенциала в связке с производством.

Исследование

В целом ситуация ясна, теперь рассмотрим вопрос импортонезависимости России [3] на примере полноприводных самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой (ШСС).

Под импортозамещением далее будем понимать следующие виды [4]:

– прямое импортозамещение, когда иностранные товары заменяются аналогичными отечественными;

– технологическое, или функциональное импортозамещение, при котором вместо

⁵ https://gorprom.org/wp-content/uploads/2023/01/Рекомендации-Горпромэкспо_09.01.23.pdf

⁶ Из письма ИГД УрО РАН в адрес Минобрнауки России.

иностранных товаров на рынке появляются отечественные аналоги, сделанные из других материалов или по другой технологии;

– стратегическое импортозамещение, связанное с ввозом иностранных компонентов и сырья и производством в стране товаров вместо ввоза готовой продукции, то есть с локализацией сборки и переносом зависимости от импорта на более низкие технологические уровни. О. Березинская и А. Ведев [5, с. 114] считают такое импортозамещение оптимальным путем для России в тех отраслях, где технологический уровень отечественных предприятий пока уступает западным аналогам [4]. На мой взгляд, к этим предприятиям относится большинство заводов тяжелого машиностроения.

В начале 2000-х об импортозамещении ШСС на карьерах России говорить не приходилось. С учетом опыта использования ШСС на зарубежных глубинных и нагорных карьерах [6, 7], а также применения их российскими нефте- и газодобывающими компаниями при освоении месторождений в сложных природно-климатических условиях и условиях бездорожья горнодобывающие компании стали приобретать самосвалы высокой проходимости зарубежных производителей. К тому времени самосвалы данного класса производили крупные концерны Volvo, Caterpillar, Bell, Liebherr, Komatsu, Mitsubishi, Tegex и многие другие фирмы (табл. 1).

Одним из первых примеров использования ШСС на карьерах железнорудной промышленности стал комбинат «Магнезит», на котором были применены самосвалы Bell B40D, Bell B50D и Volvo A40F.

Технологию доработки глубоких карьеров с применением крутонаклонных съездов одним из первых в мире предложил институт «Якутипроалмаз» АК «АЛРОСА». Проектные решения были приняты для доработки карьера «Удачный» в 2008 г. [8]. После проведенных совместно с ИГД УрО РАН исследовательских работ было принято решение о применении в качестве транспортного средства самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой. Были разработаны варианты технологии проходки крутых съездов на карьерах АК «АЛРОСА» с использованием имеющегося горнотранспортного оборудования [8, 9], а также временные рекомендации по безопасной эксплуатации ШСС на крутых уклонах, на горных работах, согласованные с управлением Государственного горного и металлургического надзора [10].

Реализация проектных решений началась с отстройки крутонаклонного съезда на карьере «Удачный» с 2010 по 2012 г. и приобретения в конце 2011 г. самосвала CAT-740B [11].

В соответствии с данными [11], за время испытаний на трассе с продольным уклоном от 10 до 23,7 % была подтверждена техническая и технологическая возможность эксплуатации ШСС в тяжелых горнотехнических и природно-климатических условиях доработки кимберлитовых трубок.

В результате проведенных исследований установлены максимальные уклоны при транспортировании горной массы на подъем; максимальная скорость движения в порожнем и грузовом направлении на уклоне до 24 %; рациональные безопасные параметры автомобильных съездов (ширина проезжей части, ширина транспортной бермы, уширение проезжей части, высота удерживающего породного вала и др.). Обоснованы технологии строительства и обустройства транспортных съездов. Разработаны меры по предотвращению аварийных ситуаций при движении самосвалов на крутых уклонах, работе в забое, во время погрузочно-разгрузочных и буксировочных работ с учетом погодных условий [12].

Спрос на самосвалы данного класса в России рос, но в полном объеме удовлетворялся импортом. В это же время производством ШСС начали заниматься в Беларуси и России. Российские машиностроители стали использовать технологическое и стратегическое импортозамещение путем применения импортных комплектующих в собственных разработках ШСС и локализации сборки на территории России (табл. 2). В качестве примера локализации можно привести производство подземного шарнирно-сочлененного самосвала марки BELL на НЕФАЗе, дочернем предприятии КАМАЗа в Башкирии, в сотрудничестве с Южно-Африканской компанией BELL.

Таблица 1

Техническая характеристика некоторых моделей самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой

Показатель	Ед. изм.	Volvo (Швеция)		Bell (ЮАР)		Caterpillar (США)	Liebherr (Швейцария)	XCMG (Китайская Народная Республика)		
		A35D	A40D	B40D	B50D	740B	TA 230	XDA30	XDA40	XDA45
Колесная формула	-	6×6	6×6	6×4	6×6	6×6	6×6	6×6	6×6	6×6
Грузоподъемность	т	32,5	37,0	36,0	45,0	38,0	30,0	30,0	39,0	41,0
Двигатель	-	Volvo D12C ADE2	Volvo D12C ADE2	Mercedes Benz OM501LA	Mercedes Benz OM502LA	Cat® C15 ACER	Liebherr D936LA6	Cummins QSM11	MTU OM502	MTU OM471
Мощность	кВт	289	313	315	380	361	270	280	350	390
Вместимость кузова: геометрическая с «шапкой»	м ³ м ³	15,2 20	16,9 22,5	16,9 22,5	21,4 28,2	17,8 23,1	14,6 19	14,0 18,1	18,5 24,0	20,5 26,0
Габаритные размеры: ширина	м	3,208	3,432	3,264	3,900	4,163	2,960	3,200	3,370	3,950
длина	м	11,178	11,287	10,527	10,749	11,698	10,225	10,100	10,900	11,070
высота	м	3,681	3,746	3,792	4,290	4,039	3,395	3,700	3,793	3,846
Радиус поворота	м	8,720	8,863	9,132	9,401	9,090	8,385			
Угол поворота кабины	град	45	45	42	42	45	45	45	45	42
Угол подъема кузова	град	70	70	70	70		70	70	70	70
Емкость топливного бака	л	480	480	485	640	560	400	н.д.	н.д.	н.д.
Масса без груза	т	28,3	31,3	27,986	36,153	36,628	23,3	26,7	34,0	34,0
Преодолеваемый уклон, %								45	45	45

Таблица 2

Техническая характеристика самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой российского и белорусского производства

Показатель	Ед. изм.	Россия					БЕЛАЗ-ХОЛДИНГ (Беларусь)			
		С-33 «Концепт»	709Т6-3С «Балтиец»	К-708.2 «Кировец»	КАМАЗ-6561 «Геркулес»	ТОНАР-7507 (Т-35)	МОАЗ-75041	МОАЗ-7506	БелАЗ-75281	БелАЗ-75035
Колесная формула	-	6×6	6×6	4×4	6×6	6×4	6×6	6×6	6×6	6×6
Грузоподъемность	т	33,5	18	25	40	35	27,0	36,0	36,0	50,0
Двигатель	-	Cummins QSX15- C336	ЯМЗ-238 НД3-1	Cummins QSB6.7 260	КАМАЗ 910.10-500	Cum- mins QS Z13	ЯМЗ- 6585-03	Cummins QSM-11- C350	Cummins QSX 15- C450	Cummins MTU S60 QSX 15- C600
Мощность	кВт	336	220	194	367	335	309	261	336	410
Преодолеваемый уклон	град	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	20	20	36	24
Вместимость кузова:										
геометрическая	м ³	16	н.д.	12	24,5	20	13	17	16,3	23
с «шапкой»	м ³	20,5	н.д.	14		26	16,5	22,4	22	28
Радиус поворота	м	9	7	н.д.	8,9	н.д.	9,0	11,0	9,4	10,0
Масса без груза	т	29,1	13,4	16,5	31,0	н.д.	н.д.	36,0	42,38	40,0



Производство ШСС начал осваивать и Китай. Так, у фирмы XCMG в линейке карьерных автосамосвалов появилось три модели полноприводных шарнирно-сочлененных самосвала грузоподъемностью от 30 до 60 т (см. табл. 1). Китайские производители активно осваивают российский рынок. Это видно по интенсивному распространению карьерных самосвалов грузоподъемностью 20 – 40 т на карьерах по добыче строительных материалов (щебень, мрамор, глина, песок и др.). На данный момент времени автору не известно об опыте применения ШСС китайского производства на отечественных карьерах, но если сегодня не активизировать усилия по производству собственной техники, то уже в ближайшее время горнопромышленники вновь попадут в зависимость от импорта, только не европейского, как это было последние 20 лет, а китайского.

Результаты

Что касается собственного производства с использованием узлов и агрегатов зарубежного производства, то следует отметить попытку создания в 2013 г. самосвала С-33 («Концепт») грузоподъемностью 33,5 т на Чебоксарском заводе ОАО «Промтрактор» концерна «Тракторные заводы». По словам исполнительного директора⁷, планировалось ежегодно выпускать до 200 единиц, однако производство самосвалов так и не начато. Модель С-33 была собрана на базе 15-литрового дизельного двигателя Cummins QSX15 мощностью 457 л.с., оснащена автоматической гидромеханической коробкой передач производства компании ZF, эта же компания поставила ведущие мосты, оборудованные механизмами блокировки дифференциалов. Узлы гидравлики трансмиссии выпущены фирмой PMC Polartecnik. Гидроцилиндры рулевого управления двустороннего действия изготовлены компанией Eaton. Широкопрофильные крупногабаритные шины низкого давления производства фирмы Mitas.

ЗАО «Завод спецмашин» разработало трехосный самосвал на шарнирно-сочлененной раме 709Т6-3С «Балтиец» грузоподъемностью 25 т [13]. В 2014 г. Петербургский тракторный завод представил общественности двухосный полноприводный самосвал К-708.2 грузоподъемностью 20 т. Доработанный образец К-708.2 имеет грузоподъемность 25 т. Эти машины также не нашли потребителя среди предприятий горнодобывающего сектора экономики.

Несмотря на столь медленные темпы развития данного сегмента машиностроения, за последние пять лет произошли существенные сдвиги в части импортозамещения ШСС, предназначенных для горных работ. Продвижению к прямому импортозамещению способствовало непосредственное участие государства.

В рамках Постановления Правительства Российской Федерации от 12.12.2019 № 1649 Минпромторг РФ субсидировал затраты на НИОКР в размере 60 млн рублей машиностроительному заводу «Тонар» в подмосковном Орехово-Зуево. В результате весной 2021 г. был представлен новый полноприводный шарнирно-сочлененный самосвал Тонар-7507.

Данная модель может оснащаться как импортным двигателем Cummins QSZ13 мощностью 335 кВт, так и отечественным двигателем ярославского производства ЯМЗ-6585-03 мощностью 309 кВт. Предприятие смогло импортозаместить и изготовить собственные ведущие валы, тормоза маслопогруженные, полуоси, раздаточную коробку и раму, кузов и кабину, механизм сочленения, переднюю платформу и многое другое. Большинство комплектующих планируется изготавливать на российских предприятиях. В целом это отечественный самосвал, способный составить конкуренцию импортным аналогам.

На настоящий момент времени в открытой печати нет информации о результатах испытаний этой машины, и опытная эксплуатация этого самосвала в условиях открытых горных работ только предстоит, но надежда уже есть.

⁷ <https://tplants.com/news/230/>



Прорывным решением в области отечественного машиностроения стала разработка МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках проекта Министерства науки и высшего образования России «Создание семейства электромеханических беспилотных автомобилей-самосвалов большой грузоподъемности в интересах добывающих отраслей промышленности РФ» нового гибридного дизель-электрического самосвала КАМАЗ-6561, образец которого был впервые представлен на международной выставке Comtrans 2021 (г. Москва)⁸.

«Геркулес», так назвали самосвал разработчики, предназначен для добычи полезных ископаемых по безлюдной технологии, а это то, о чем говорят ученые и в чем нуждаются горняки на протяжении последних 20-ти лет. Самосвал может как эксплуатироваться в режиме дистанционного управления, так и управляться водителем из кабины.

Автомобиль выполнен по схеме «последовательный гибрид», т.е. представляет собой автономный электромобиль, не требующий подзарядки от внешней сети. Рекуперация энергии происходит при спуске в карьер, а при подъеме на поверхность с грузом – накопленная энергия способствует преодолению уклона автодороги. По данным производителя такое решение позволяет снизить количество потребляемого топлива на 15 % в сравнении с дизельным аналогом.

По словам главного конструктора инновационных автомобилей Научно-технического центра «КАМАЗа» Сергея Назаренко, после планировалось передать «Геркулес» Уральской горно-металлургической компании (УГМК) для опытной эксплуатации на территории одного из предприятий Башкортостана⁸. Серийное производство КАМАЗ-6561 намечено на 2024 г.

Самосвал «Геркулес» разработан и собран из оригинальных комплектующих российского производства, что вселяет надежду на импортонезависимость при эксплуатации на горнодобывающих предприятиях.

Исследованиями ИГД УрО РАН установлено, что самосвалы с шарнирно-сочлененной рамой позволяют улучшить экономические показатели открытой разработки и являются перспективным транспортом при отработке глубоких и нагорных карьеров. ИГД УрО РАН проведены исследования по обоснованию области и условий эффективной эксплуатации ШСС при разработке глубокозалегающих месторождений твердых полезных ископаемых.

Ускоренное применение новой техники (такой как ШСС) и технологий освоения месторождений твердых полезных ископаемых может стать одним из шагов к обеспечению технологического суверенитета горного производства России.

Заключение

1. Показаны возможности формирования технологического суверенитета горнодобывающего производства, основанного на имеющемся научно-техническом потенциале с использованием современных энергосберегающих технологий, на примере производства шарнирно-сочлененных самосвалов для освоения месторождений твердых полезных ископаемых.

2. На отдельных примерах показано, что импортозамещение горнотранспортной техники на открытых горных работах должно основываться на научно-техническом потенциале с использованием инновационной техники и современных ресурсо- и энергосберегающих технологий. Максимальное и ускоренное использование имеющихся производственных мощностей на основе их существенной модернизации и перепрофилирования с учетом обновления и расширения номенклатуры выпускаемой продукции, а также кооперационных связей науки и производства позволит сориентировать предприятия на расширение использования своих ресурсов и ускорить процесс обеспечения импортонезависимости.

⁸ https://kamaz.ru/press/releases/samosval_gerkules_na_comtrans_2021/



3. Для обеспечения импортозамещения в первую очередь необходимо:
- предусмотреть для научно-исследовательских и проектных организаций льготное налогообложение (снижение ставки налога на прибыль, освобождение от уплаты НДС) по работам, выполненным для горнодобывающих предприятий (НИОКР, НИР, технологические регламенты, проекты) при условии, что в этих работах регламентируется для данного предприятия использование передовых отечественных технологий, машин, оборудования и программного обеспечения;
 - вменить в обязанность добывающим организациям, использующим меры государственной поддержки, обязательное финансирование предпроектных НИР, НИОКР, технологических регламентов, программного обеспечения по разработке, выбору и обоснованию прогрессивных технологий, основанных на применении отечественного оборудования, в объемах не менее 25 % от стоимости проектных работ;
 - разработать программу замещения импортного горного оборудования отечественным в краткосрочном, среднесрочном и долгосрочном периодах с учетом возможностей и перспектив развития машиностроительной промышленности;
 - институтам, ведущим исследования в области горного дела, разработать нормативно-методическую и регламентирующую документацию для проектирования разработки и освоения различных типов месторождений полезных ископаемых с учетом мирового и передового отечественного уровня развития технологий добычи и горной техники.

Список литературы

1. Глебов А.В., 2015. К вопросу импортозамещения горно-транспортной техники. *Научно-техническое обеспечение горного производства*. Алматы, С. 211 – 218. (Труды ИГД им. Д. А. Кунаева, Т. 87).
2. Корнилков С.В., Глебов А.В., Бухмастов А.В., 2016. Об импортозамещении и технико-технологическом развитии горнодобывающих предприятий горно-металлургического комплекса Уральского федерального округа. *Горное оборудование и электромеханика*, № 2(120), С. 31 – 39.
3. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. N 328 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности" (с изменениями и дополнениями). URL: <https://base.garant.ru/70643464/?ysclid=lluo97agp1517889129> (дата обращения 15.08.2023)
4. Козлова М.А., 2014. Теоретические аспекты политики импортозамещения. *Экономика и менеджмент: от теории к практике. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции*. Ростов-на-Дону, 193 с.
5. Березинская О.Б., Ведев А.Л., 2015. Производственная зависимость российской промышленности от импорта и механизм стратегического импортозамещения. *Вопросы экономики*, № 1, С. 103 –115. DOI 10.32609/0042-8736-2015-1-103-115.
6. Глебов А.В., 2018. Технологические особенности освоения месторождений твердых полезных ископаемых с использованием шарнирно-сочлененных самосвалов. *Наука и техника*, Т. 17, № 3, С. 238 – 245. DOI 10.21122/2227-1031-2018-17-3-238-245.
7. Glebov A.V., 2021. Safe Operation of All-Wheel Drive Articulated Dump Trucks on Large Slopes in Deep Open-Pit Mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science, ISTC Earth Science 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года*. Vol. 666. IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, P. 022014. DOI 10.1088/1755-1315/666/2/022014.
8. Акишев А.Н., Бабаскин С.Л., Кожемякин А.А., Никитин Р.В., 2013. Развитие технологии проходки и формирования на карьере транспортных съездов крутого уклона. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, №12, С. 58 – 64.
9. Пат. 2376471 Российская Федерация, МПК E21C41/26 (2006.01). Способ про-

ведения крутой траншеи. Берсенев В.А., Глебов А.В., Кармаев Г.Д.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (РУ). - № 2008117529/03; заявл. 30.04.2008; опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35, 7 с.

10. Временные рекомендации по безопасной эксплуатации шарнирно-сочлененных самосвалов на крутых уклонах, на горных работах АК «АЛРОСА» (ЗАО). Согласовано начальником управления Государственного горного и металлургического надзора № 13-02-ИД-01145-2008. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2008, 11 с.

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

12. Глебов А.В., Зырянов И.В., 2022. Вклад Института горного дела УрО РАН в современные технологии для алмазной промышленности. *Горная промышленность*, № S1, С. 26 – 33. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-26-33.

13. Карьерный самосвал 709ТШ «Балтиец». 2013 г. URL: <http://www.zavodsm.ru/svarochnie-agregati/i/karerniy-samosval-709tsh-baltiets/>. (дата обращения 15.08.2023

References

1. Glebov A.V., 2015. K voprosu importozameshcheniya gorno-transportnoi tekhniki. Nauchno-tehnicheskoe obespechenie gornogo proizvodstva [On the issue of import substitution of mining and transport equipment]. Almaty, P. 211 – 218. (Trudy IGD im. D. A. Kunaeva, Vol. 87).
2. Kornilkov S.V., Glebov A.V., Bakhmastov A.V., 2016. Ob importozameshchenii i tekhniko-tehnologicheskem razvitiu gornodobyyayushchikh predpriyatiy gorno-metallurgicheskogo kompleksa Ural'skogo federal'nogo okruga . [About import substitution and technical and technological development of mining enterprises of the mining and metallurgical complex of the Ural Federal District]. Gornoe oborudovanie i elektromekhanika, № 2(120), P. 31 – 39.
3. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 15 aprelya 2014 g. N 328 "Ob utverzhdenii gosudarstvennoi programmy Rossiiskoi Federatsii "Razvitiye promyshlennosti i povyshenie ee konkurentospособности" (s izmeneniyami i dopolneniyami) [Decree of the Government of the Russian Federation No. 328 of April 15, 2014 "On Approval of the State Program of the Russian Federation "Development of industry and improvement of its competitiveness" (with amendments and additions)]. URL: <https://base.garant.ru/70643464/?ysclid=lluo97agp1517889129> (data obrashcheniya 15.08.2023)
4. Kozlova M.A., 2014. Teoreticheskie aspekty politiki importozameshcheniya [Theoretical aspects of import substitution policy]. Ekonomika i menedzhment: ot teorii k praktike. Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Rostov-na-Donu, 193 p.
5. Berezinskaya O.B., Vedev A.L., 2015. Proizvodstvennaya zavisimost' rossiiskoi promyshlennosti ot importa i mekhanizm strategicheskogo importozameshcheniya [About production dependence of Russian industry on imports and the mechanism of strategic import substitution]. Voprosy ekonomiki, № 1, S. 103 –115. DOI 10.32609/0042-8736-2015-1-103-115.
6. Glebov A.V., 2018. Tekhnologicheskie osobennosti osvoeniya mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh s ispol'zovaniem sharnirno-sochlenennykh samosvalov [Technological features of the development of deposits of solid minerals using articulated dump trucks]. Nauka i tekhnika, Vol. 17, № 3, P. 238 – 245. DOI 10.21122/2227-1031-2018-17-3-238-245.
7. Glebov A.V., 2021. Safe Operation of All-Wheel Drive Articulated Dump Trucks on Large Slopes in Deep Open-Pit Mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science, ISTC Earth Science 2020, Vladivostok, 06–09 oktyabrya 2020 goda*. Vol. 666. IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, P. 022014. DOI 10.1088/1755-1315/666/2/022014.



8. Akishev A.N., Babaskin S.L., Kozhemyakin A.A., Nikitin R.V., 2013. Razvitiye tekhnologii prokhodki i formirovaniya na kar'ere transportnykh s"ezdov krutogo uklona [Development of the technology of sinking and formation of steep grade transport exits at the quarry]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', №12, P. 58 – 64.
9. Pat. 2376471 Rossiiskaya Federatsiya, MPK E21C41/26 (2006.01). Sposob provedeniya krutoi transhei [Pat. 2376471 Russian Federation, MPC E21C41/26 (2006.01), Method of conducting a steep trench]. Bersenev V.A., Glebov A.V., Karmaev G.D.; zayavitel' i patentoodbladatel' Institut gornogo dela Ural'skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk (RU). - № 2008117529/03; zayavl. 30.04.2008; opubl. 20.12.2009, Byul. № 35, 7 p.
10. Vremennye rekomendatsii po bezopasnoi ekspluatatsii sharnirno-sochlenennykh samosvalov na krutykh uklonakh, na gornykh rabotakh AK "ALROSA" (ZAO) [Temporary recommendations for the safe operation of articulated dump trucks on steep slopes, during mining operations of JSC ALROSA (CJSC)]. Soglasovano nachal'nikom upravleniya Gosudarstvennogo gornogo i metallurgicheskogo nadzora № 13-02-ID-01145-2008. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2008, 11 p.
11. Zyryanov I.V., Tsymbalova A.I., 2013. Ispytaniya CAT-740B na krutonaklonnykh s"ezdakh kar'era "Udachnyi" AK "ALROSA" [Tests of the CAT-740B on steep-slope exits of the Udachny quarry of ALROSA]. Gornoe oborudovanie i elektromekhanika, № 9, P. 22 – 25.
12. Glebov A.V., Zyryanov I.V., 2022. Vklad Instituta gornogo dela UrO RAN v sovremennye tekhnologii dlya almaznoi promyshlennosti. [Contribution of the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences to modern technologies for the diamond industry]. Gornaya promyshlennost', № S1, P. 26 - 33. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-26-33.
13. Kar'ernyi samosval 709TSh "Baltiets". 2013 g. [Dump truck 709TSH "Baltiets". 2013] URL: <http://www.zavodsm.ru/svarochnie-agregati/i/karerniy-samosval-709tsh-baltiets/>. (data obrashcheniya 15.08.2023)

УДК 622:004

Андреева Людмила Ивановна
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
Челябинский филиал Института горного дела
УрО РАН,
г. Челябинск, ул. Энтузиастов, д. 30
e-mail: tehnorem74@list.ru

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВАМИ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГОРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация:

Определены основные задачи информационного обеспечения ремонтной службы горнодобывающего предприятия. От разработки функционально надежной информационной системы зависит эффективность ремонтного производства и горнодобывающего предприятия в целом. Повышение требований собственников горнодобывающих предприятий к эффективности производства и усиление контроля показателей служб предприятия обусловили разработку комплексных решений по управлению активами и оптимизации ресурсов производства, в частности, в ремонтной службе предприятия. Выполнен анализ подходов к решению задач информационного обеспечения системы ТОиР на основе принципов комплектности и системности. Предложено комплексное решение для ключевых процессов управления активами в системе ТОиР. Выделены основные функции информационного обеспечения с учетом ресурсных ограничений и расширением мобильных сценариев.

Ключевые слова: информационная система, учет и анализ информации, рабочие программы, функция управления.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.079

Andreeva Lyudmila I.
Doctor of Engineering Sciences,
Senior Researcher,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
454020 Chelyabinsk,
30 Enthusiastov Str.
e-mail: tehnorem74@list.ru .

COMPLEX SOLUTIONS FOR ASSET MANAGEMENT IN THE SYSTEM OF MAINTENANCE AND REPAIR OF MINING EQUIPMENT

Abstract:

The article deals with determining the main tasks of information support for the repair service of a mining enterprise. The efficiency of repair production and of the mining enterprise as a whole depends on the development of a functionally reliable information system.

The increased requirements of the owners of mining enterprises for production efficiency and the strengthening of control over the indicators of the enterprise's services led to the development of integrated solutions for asset management and optimization of production resources, in particular, in the repair service of the enterprise.

The analysis of approaches to solving the problems of information support of the maintenance and repair system based on the principles of completeness and consistency was carried out.

A comprehensive solution for key asset management processes in the maintenance and repair system is proposed. The main functions of information support are identified, taking into account resource limitations and the expansion of mobile scenarios.

Key words: information system, accounting and analysis of information, work programs, management function.

Введение

В деятельности крупных угледобывающих предприятий (УДП), представляющих собой большое количество повседневно связанных и взаимодействующих подразделений, формирование и передача информации являются непременным и первостепенным фактором нормального функционирования УДП. При этом особое значение приобретает обеспечение оперативности и достоверности сведений, необходимых для анализа.

Для многих УДП информационная система (ИС) решает задачи организации технологического процесса и носит производственный характер. Это касается прежде всего процессов обеспечения подразделений продукцией, поступающей из специализированных подразделений по внутрифирменным каналам. Здесь ИС играет важную роль в предоставлении сведений для принятия управленческих решений и является одним из факторов, обеспечивающих снижение издержек производства и повышение его эффективности.



Важное значение имеет информация о возникновении отклонений в ходе производства от плановых показателей, требующих принятия оперативных решений.

Результаты исследования

Служба главного механика является подразделением, деятельность которого складывается из полного комплекса задач управления, включая в себя оперативное и перспективное планирование, учет и отчетность, анализ и принятие оперативных решений.

Как известно, основная функция управления системой ТОиР – организация ремонтно-технического обслуживания всего парка оборудования. Для этого требуется решить задачи, которые на данном этапе могут быть подразделены на пять укрупненных групп:

- работы по плановому регламентированному техническому обслуживанию и ремонту оборудования, предусматривающие разработку годовых графиков ремонта, регулировок оборудования, замены быстроизнашивающихся деталей, с выдачей месячных графиков по цехам и сменных заданий исполнителям;
- расчеты стоимостных и трудовых затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования (годовых смет, численности рабочей силы и т.д.);
- расчеты материальных ресурсов, необходимых для выполнения планов технического обслуживания и ремонта оборудования (расчеты в потребности в запасных частях, материалах, комплектующих изделиях, составление заявок на материалы и детали специализированного изготовления);
- получение оперативной информации о выполнении работ по плановым и неплановым ремонтам, техническому обслуживанию, о фактических трудозатратах, численности рабочей силы, затратах материалов и запасных частей, получение оперативной информации о соответствии складских остатков запасных частей и материалов нормативным;
- расчет технико-экономических показателей работы ремонтной службы предприятия, получение оперативной и периодической отчетности о простоях и отказах техники, анализ выполненных работ и разработка рекомендаций по сокращению затрат на ТО и ремонт оборудования.

Поступающая информация и особенно ее автоматизированная обработка – важные факторы повышения эффективности ремонтной службы и всего производства. Основную роль в использовании информации играют способы ее регистрации, обработки, накопления и передачи; систематизированное хранение и выдача информации в требуемой форме; производство новой числовой, графической и иной информации. В связи с цифровизацией предприятий угольной отрасли появилась необходимость в разработке и внедрении ряда комплексных программ для различных уровней управления и исполнения по организации и технологической подготовке производства, планированию и контролю.

Концепция цифровизации предприятий не нова: эта идея начала обсуждаться еще в 1970-х – тогда речь шла о создании расчетных моделей для анализа производственных процессов, различных сценариев разработки месторождений и размещения промышленных объектов. Упор делался на макроэкономические параметры, в частности, широко использовались модели оптимизации цепочек поставки, логистики, снабжения предприятий ресурсами, создания объектов инфраструктуры.

Следующий большой шаг – представление в цифровом виде самого предприятия и процессов внутри него – сделал в 1996 г. Николас Негропонте, который на тот момент возглавлял компанию MIT Media Lab. Его книга *Being Digital* рассматривает возможность заменить битами все составляющие промышленности: оценивать потреб-



ность в ресурсах, эффективность производства, влияние на окружающую среду и экономический эффект для разных стейкхолдеров.

Полноценная цифровизация промышленности на тот момент выглядела как многообещающая теория, но сегодня компаниям доступны технические решения, позволяющие реализовать эти подходы на практике [1, 2].

Цифровизация целесообразна прежде всего в силу своей экономической целесообразности. Крупнейшие горнодобывающие компании, включая Anglo American, Glencore, BHP Billiton, Rio Tinto, Норникель, Полюс и другие внедряют цифровые решения для усиления своих конкурентных позиций.

Исследование IDC дает представление о размерах расходов крупнейших мировых компаний на эти цели: расходы на технологии и услуги, позволяющие цифровизировать бизнес-процессы, продукты и организации, по прогнозам, достигнут к 2022 г. \$2 трлн — при этом уже в 2019 г. на это было потрачено \$1,25 млрд. Компании ставят перед собой практические цели: цифровые технологии помогают ускорить производственные процессы, повысить качество продукции и услуг, повысить надежность и интеграцию цепочки поставок, увеличить эффективность в области охраны труда, промышленной безопасности, охраны окружающей среды, облегчить обмен знаниями и, в конечном счете, влияют на показатели выручки и прибыли [1].

Консультанты EY прямо говорят о выгодах и целях перехода на цифровую модель ведения бизнеса: их отчет называется «Встать на цифровую волну — значит избавиться от конкурентов!». Компания BCG составляет «индекс скорости цифровизации» (*digital acceleration index*) для разных отраслей, и для горной добычи он составляет от 30 до 40 %. Отрасль в целом пока лишь в начале пути, опередить лидеров и добиться ценных и других конкурентных преимуществ вполне реально.

Одна из причин некоторого отставания — дефицит кадров. Большинство инженерных кадров в горной отрасли имеют более традиционное, консервативное образование. Возможности для изменения ситуации — и переподготовка, и обучение. Новый уровень освоения специальности, включающий знания профессиональных компьютерных программ, уже доступен студентам СибГИУ, где в апреле заработал компьютерный класс компании Майкромайн. Студенты этого вуза, а также САФУ, НИТУ МИСиС, РГГРУ, КузГТУ и других, где работают классы Майкромайн, знакомятся с целым спектром инструментов для геостатистического анализа, изучают возможности для моделирования месторождений и их последующего экономического анализа, а также всех работ, начиная от построения паспортов забоя и заканчивая полноценной оптимизацией горных работ, включающей вопросы технологической и технической подготовки производства [1].

Предложенные решения

Необходимость цифровизации процессов на горнодобывающих предприятиях продиктована внешней средой: добывающим компаниям необходимо быть эффективнее и технологичнее в вопросах информационного обеспечения, чем раньше.

Сегодня в горной отрасли формируется несколько глобальных трендов, которые могут определить направление ее развития:

- Изменение спроса на ископаемые в связи с санкциями и развитием технологий, в том числе экологичных разработок — сформирован большой спрос на высококачественный никель, редкоземельные металлы.
- Изменение в технологиях разработки — появилась мощная техника, управляемая дистанционно.
- Изменение бизнес-моделей, введение в разработку небольших месторождений, разработка «хвостов», отвалов и отработок прежних месторождений.

- Работа с большими данными, системами аналитики – решения в области машинного обучения, делающие возможным предиктивный анализ, оцифровку и оперативное изменение технологии разработки ископаемого.

- Новые возможности оптимизации затрат, в том числе за счет планирования и других решений в области потребления ресурсов, работы с поставщиками и подрядчиками [3, 4].

Значительная часть расходов на горнодобывающих предприятиях связана с эксплуатацией и ремонтным обслуживанием горной техники, задействованной во всей производственной цепочке. Управление производственными активами – это постоянная систематическая работа, основной задачей которой является оптимизация затрат на эксплуатацию горной техники и снижение риска ее отказов.

Частично эта задача была решена в компании АЛРОСА посредством разработки институтом НИИОГР – Автоматизированного рабочего места механика (АРМ-механика) для Удачнинского ГОКа [1, 5, 6].

С целью ускорения подготовки и обеспечения качества технического обслуживания и ремонта разработанный программно-технологический комплекс полностью ориентирован на нужды ремонтной службы предприятия, менее дорогостоящий, чем зарубежные аналоги. Программно-технологический комплекс содержит элементы сервиса, позволяющие комфортно работать в нем, полностью подключаться в существующую на предприятии компьютерную сеть (или работает автономно), обеспечивает необходимой информацией все уровни управления процессом ремонта горного оборудования, имеет короткий срок адаптации в условиях производства (рис. 1).

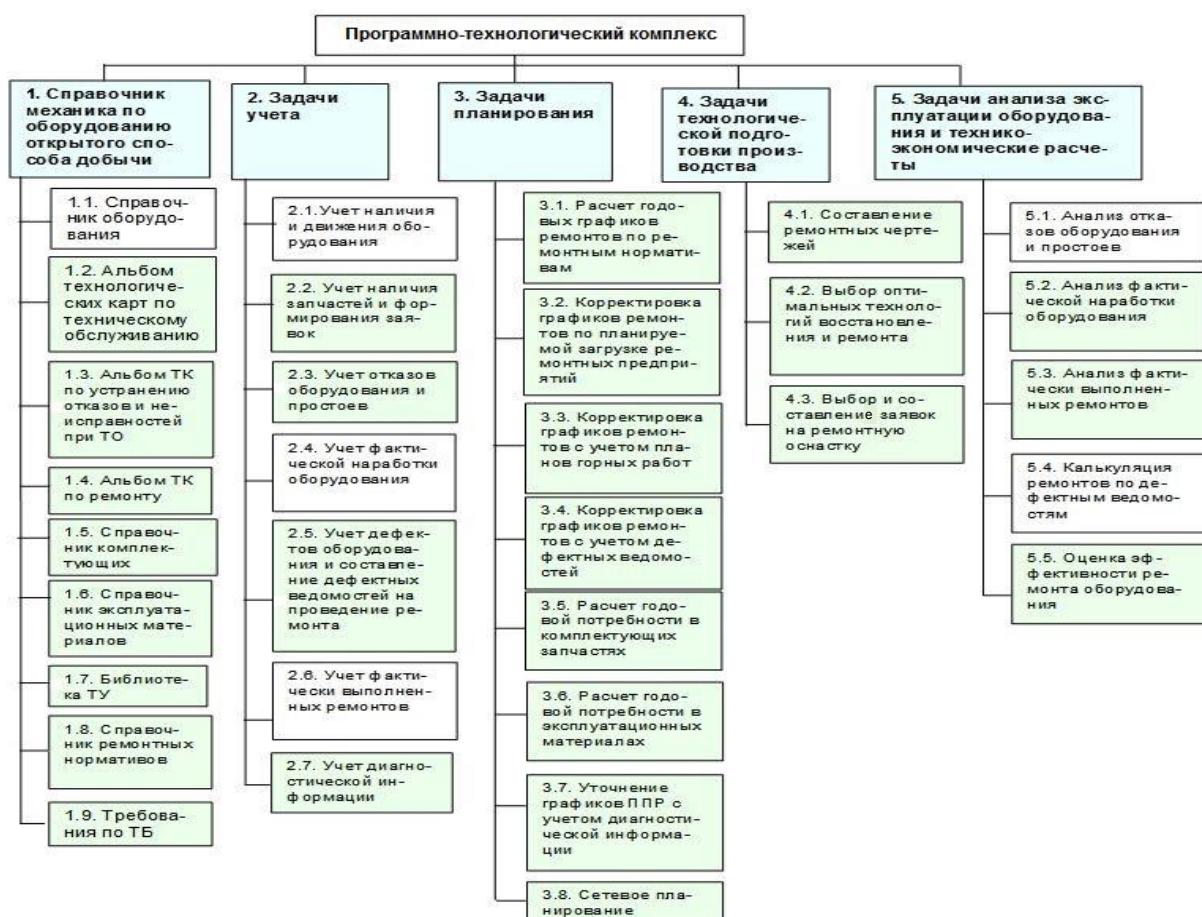


Рис. 1. Задачи, решаемые в системе ТОиР



Задачи планирования в программно-технологическом комплексе призваны обеспечить оптимальные сроки проведения планово-предупредительных ремонтов основного оборудования с учетом межремонтных ресурсов оборудования, особенностей основного производства, наличия запасных частей и материалов, обеспечения рабочей силой, наличия вспомогательных средств и инструментов, финансового обеспечения ремонтов. В свою очередь, графики ремонтов служат основой составления планового снабжения материалами и запасными частями, обеспечения ремонтом персоналом [7, 8].

Задачи контроля, учета и анализа нацелены на получение и обработку информации, необходимой для решения задач планирования, а также для эффективного решения персоналом ремонтной службы задач, не подлежащих автоматизации.

Основными задачами анализа являются:

- анализ состава эксплуатируемого оборудования, его технических и эксплуатационных характеристик, параметров надежности, причин и времени простоев;
- анализ объемов ППР оборудования, трудозатрат и времени выполнения ремонтных работ;
- анализ расхода запасных частей и материалов;
- анализ системы технического обслуживания и ремонтов в целом; организация ремонтной службы.

К задачам контроля можно отнести следующее:

- контроль графиков поставок оборудования в ремонт и выдачи отремонтированного оборудования;
- контроль выполнения графиков ППР;
- контроль качества технического обслуживания и ремонта оборудования;
- контроль выполнения производственных программ ремонтных предприятий.

В задачи учета проведения текущих ремонтов оборудования входит:

- разработка нарядов-графиков исполнения ремонтов;
- корректировка принудительных программ ремонтов, норм расхода запасных частей, материалов и трудозатрат, выдача наряд-заданий.

Разработанный программно-технологический комплекс представляет ряд взаимоувязанных между собой программ, позволяющих решать организационно-технические и технологические вопросы подготовки и обслуживания горной техники.

Все рабочие программы объединены в комплекс по ремонту определенного вида оборудования, например, экскаватора. Он может быть использован при проведении любых видов плановых ремонтов, при устранении неисправностей или отказов техники.

Предварительно описываются и регистрируются все объекты, нуждающиеся в ТО, и их текущее состояние. Применяется иерархическое описание объектов обслуживания (меньший объект вкладывается в больший). Модуль описания оборудования позволяет включить весь парк машин вплоть до отдельной детали [9].

В зависимости от структуры управления, принятой в компании, разрезе и системе ТОиР (централизованной или децентрализованной) и т.д. количество потребных уровней информации и их наполнение может быть разным. Поэтому для конкретной угольной компании, разреза, ремонтного завода как перечень лиц, участвующих в ремонте, так и потребность в информации должна каждый раз уточняться.

Структура информационного обеспечения процессов ремонта и технического обслуживания горной техники в угольной компании «Кузбассразрезуголь» представлена на рис. 2.

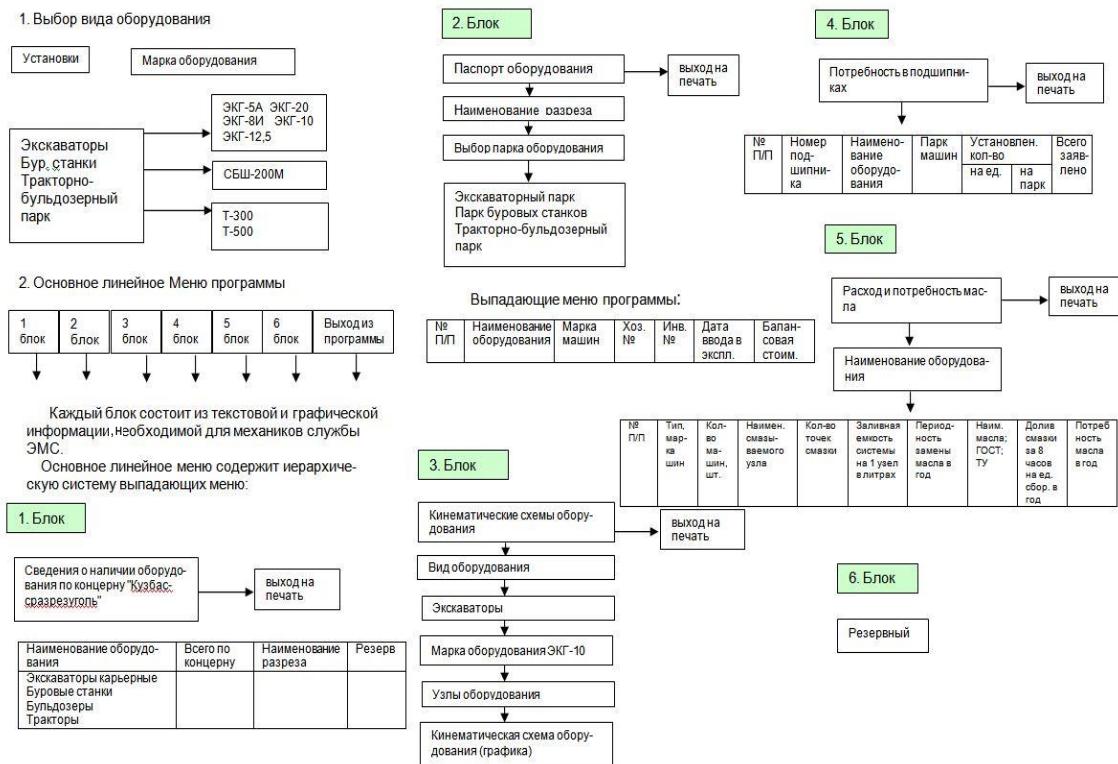


Рис. 2. Структура информационного обеспечения процессов ремонта и технического обслуживания ГТО (на примере АО «Кузбассразрезуголь»)

Все блоки программы обеспечивают следующий режим работы: производят необходимые расчеты, позволяют вводить и корректировать на всех этапах информацию базы данных, редактировать текстовую и графическую информацию. Для реализации всех режимов программа снабжена разветвленной системой меню. Корректируемые величины выводятся на экран в виде таблиц, снабженных средствами быстрого поиска, просмотра и редактирования необходимой информации. Таблицы сопровождаются строками подсказок, объясняющими порядок работы с программой.

Основным принципом, определяющим структуру системы, является независимость управления по горизонтальным и вертикальным уровням иерархии и информационная замкнутость [10, 11, 12].

При большом количестве работ и активов, как правило, достаточно трудно составить оптимальный план с учетом ограничений по персоналу, ремонтным местам и материально-техническим ресурсам: входные данные могут быть разбросаны по разным системам, необходимо держать в голове множество ограничений, а также существуют большие трудозатраты в компоновке ремонтных планов вручную.

Программа, разработанная совместно с нашими партнерами из ООО «Контрл Ту Гоу» («Клевер Групп» г. Москва) в большей части решает такие задачи. Фрагмент программы представлен на рис. 3.

Программа включает «рабочие места», специалистов, работающих в каждом «окне» линейного меню.

При этом обеспечивается:

- принцип однократного ввода информации в банк данных и, как следствие, отсутствие дублирования функций пользователей, упорядочение документооборота;
- легкость контроля данных, персонификация действий пользователя;
- контроль регламентов выполнения операций;
- оперативное получение достоверной информации о текущей деятельности службы;

- контроль взаимных обязательств;
- контроль управления материальными, трудовыми и техническими ресурсами [13].

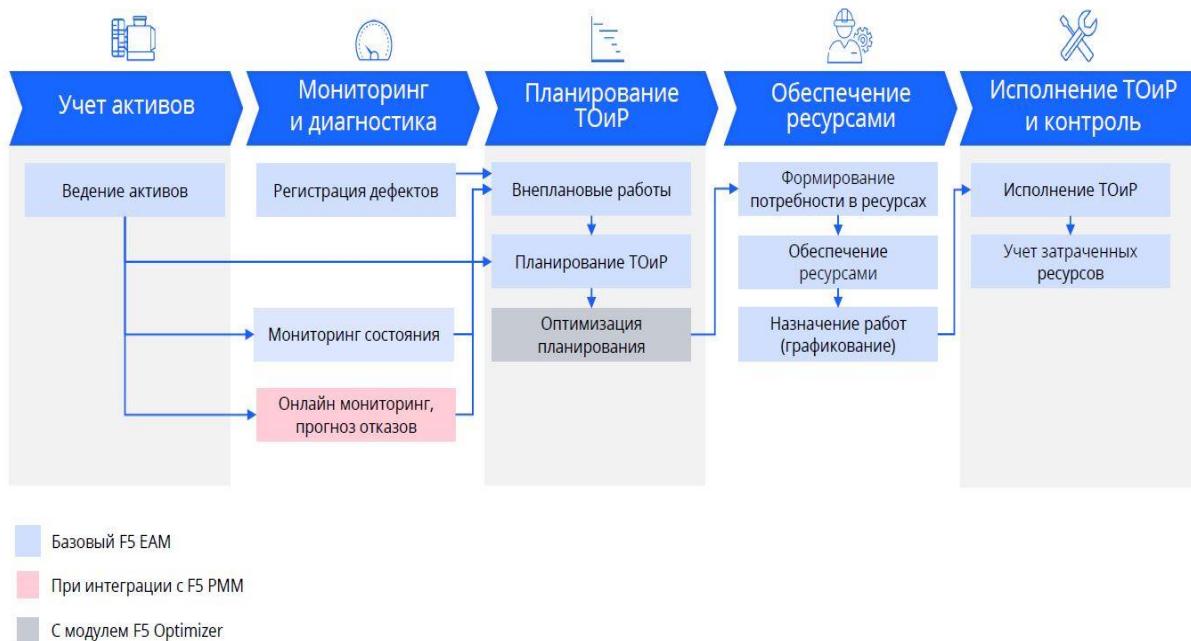


Рис. 3. Комплексное решение для ключевых процессов управления активами в системе ТОиР

Преимущества такой информационной системы в том, что она опирается на результаты проведенных производственно-технических аудитов горнодобывающих предприятий, основой которых является методологический подход к решению проблем, возникающих при эксплуатации и ремонтном обслуживании горной техники и оборудования [14, 15].

Суть такого подхода основана на комплексном методе исследования практической деятельности горнодобывающего предприятия, в частности, ремонтной службы, аналитических расчетов, применения авторских методик для выявления ведущих ограничений (узких звеньев) в производстве.

Заключение

Анализ функционирования предприятий горнодобывающей отрасли позволяет сделать следующие выводы.

1. Разнообразие программ, одновременно используемых в технических службах горнодобывающих предприятий, не позволяет быстро и эффективно решать возникающие проблемы, поскольку входные данные могут быть разбросаны по разным информационным системам предприятия.

В результате возможны «конфликты» по ресурсам, увеличение простоев активов в ожидании ТОиР, сосредоточение различных работ в одном промежутке времени.

2. Предлагаемые на рынке информационных услуг программные продукты не всегда содержат необходимое количество потребных уровней (блоков) информации для оперативного решения задач, возникающих в процессе эксплуатации горной техники.

3. Несмотря на достаточно медленные темпы развития информационных систем для горнодобывающей отрасли, предприятия приходят к пониманию необходимости комплексных решений по управлению активами с оптимизацией планирования процессов в ремонтном производстве. Достаточно оригинальным решением в этом плане стала разработка «Интеллектуальной системы управления производственными активами» на

горнодобывающим предприятии, которая позволяет при ее освоении добиться значительных результатов:

- сократить время подготовки к ремонту и снизить затраты труда в 5 – 10 раз;
- сократить время и повысить качество ремонтов;
- обеспечить необходимой информацией все уровни управления и исполнения при проведении всех видов ремонтов и технического обслуживания;
- снизить издержки в результате сокращения аварийных остановок за счет улучшения технического обслуживания и ремонта;
- сократить время на обработку и анализ оперативной информации;
- увеличить прозрачность и управляемость ключевыми процессами.

Список литературы

1. Курцев Б.В. *Цифровизация горнодобывающей промышленности: от руды к данным*. URL: <https://www.comnews.ru/digital-economy/content/214508/2021-05-17/2021-w20/cifrovizaciya-gornodobyyvayushey-promyshlennosti-rudy-k-dannym>. (дата обращения 20.07.2023)
2. Андреева Л.И., 2004. *Методология формирования технического сервиса горнотранспортного оборудования на угледобывающем предприятии*: дис. ... докт. техн. наук. Екатеринбург, 297 с.
3. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Агагена А., 2022. Внедрение элементов цифровизации в технологию ТОиР карьерных экскаваторов по фактическому состоянию. *Материалы XX межд. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», 07 – 08 апреля 2022 г., г. Екатеринбург*, С. 328 – 331.
4. Герике Б.Л., Клишин В.И., Кузин Е.Г., 2017. Распознавание технического состояния редукторов горнотранспортного оборудования. *Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов*, № 3, С. 184 – 192.
5. Банди Б., 1989. *Основы линейного программирования*: Пер. с анг. Москва: Радио и связь, 176 с.
6. Тетерин Е.А., Тетерин А.В., 2021. Исследование архитектуры информационно-аналитической системы при геодезических и маркшейдерских съемках. *Современные прикладные исследования: материалы 5 нац. науч.-практ. конф., 17 – 19 марта 2021 г., г. Шахты*. В 2-х т. Новочеркасск, ЮРГПУ (НПИ), Т 2., С. 290 – 296.
7. *Цифровые технологии в российских компаниях. Результаты исследования*. Январь 2019 г. КПМГ, 2019, С. 13. URL: <https://ict.moscow/research/cifrovye-tehnologii-v-rossiyskih-kompaniyah/?ysclid=llugn9f69k523396768> (дата обращения 20.07.2023)
8. Бочкарев А.М., 2019. Актуализация совершенствования систем информационного обеспечения промышленного предприятия. *Креативная экономика*, Т. 13, № 6, С. 120 – 1214. doi: 10.18334/ce.13.6.40754.
9. Харасова А.С., 2014. Контроллинг как информационная система поддержки принятия управленческих решений в предпринимательстве. *Российское предпринимательство*, Т. 15, № 21, С. 17 – 23. URL: <https://creativeeconomy.ru/lib/8686>. (дата обращения 22.06.2023)
10. Мотовилов И.В., Глезман Л.В. 2012. Информационное обеспечение механизма управления промышленным комплексом муниципального образования. *Российское предпринимательство*, Т. 13, № 4, С. 169 – 174. URL: <https://creativeeconomy.ru/lib/7323>. (дата обращения 19.04.2023)
11. Зайцев Д.А., 2015. Анализ и развитие классификаций в области инноваций и информационного обеспечения. *Креативная экономика*, Т. 9, № 6, С. 771 – 782. doi: 10.18334/ce.9.6.321.

12. Романов С.В., 2013. Роль университетов в формировании системы информационного обеспечения инновационной деятельности предприятий. *Креативная экономика*, Т. 7, № 4, С. 62 – 66. URL: <https://creativeconomy.ru/lib/4938>. (дата обращения 13.05.2023)
13. Мездриков Ю.В., 2008. Значение и задачи учетно-аналитического обеспечения управления материально-производственными запасами. *Российское предпринимательство*, Т. 9, № 8, С. 68 – 70. URL: <https://creativeconomy.ru/lib/3127>. (дата обращения 27.06.2023)
14. Бушуева Л.И., 2008. Теоретико-методологические подходы к изучению информационного обеспечения управлеченческих решений. *Российское предпринимательство*, Т. 9, № 1, С. 92 – 97. URL: <https://creativeconomy.ru/lib/2796>. (дата обращения 3.06.2023)
15. Батова М.М., Баранова И.В., Чжао К. 2020. Финансовые инновации как инструмент эффективной деятельности высокотехнологичного предприятия. *Финансово-экономическое и информационное обеспечение инновационного развития региона: материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Ялта, 18–20 марта 2020 года*, отв. ред. А.В. Олифиров. Ялта: ООО «Издательство Типография «Ариал», С. 44 – 47.

References

1. Kurtsev B.V. Tsifrovizatsiya gornodobyvayushchei promyshlennosti: ot rudy k dannym [Digitalization of the mining industry: from ore to data]. URL: <https://www.comnews.ru/digital-economy/content/214508/2021-05-17/2021-w20/cifrovizatsiya-gornodobyvayushchey-promyshlennosti-rudy-k-dannym>. (data obrashcheniya 20.07.2023)
2. Andreeva L.I., 2004. Metodologiya formirovaniya tekhnicheskogo servisa gornotransportnogo oborudovaniya na ugledobyvayushchem predpriyatiyu [Methodology for the formation of a technical service for mining and transport equipment at a coal mining enterprise]: dis. ... dokt. tekhn. nauk. Ekaterinburg, 297 p.
3. Shibanov D.A., Ivanov S.L., Agagena A., 2022. Vnedrenie elementov tsifrovizatsii v tekhnologiyu TOiR kar'ernykh ekskavatorov po fakticheskому sostoyaniyu [Implementation of digitalization elements in the technology of maintenance and repair of mining excavators according to the actual state]. Materialy XX mezhd. nauch.-tekhn. konf. "Chteniya pamyati V.R. Kubacheva", 07 – 08 aprelya 2022 g., g. Ekaterinburg, P. 328 – 331.
4. Gerike B.L., Klishin V.I., Kuzin E.G., 2017. Raspoznavanie tekhnicheskogo sostoyaniya reduktorov gornotransportnogo oborudovaniya [Recognition of the technical condition of gearboxes of mining and transport equipment]. Naukoemkie tekhnologii raz-rabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov, № 3, P. 184 – 192.
5. Bandi B., 1989. Osnovy lineinogo programmirovaniya [Fundamentals of linear programming]: Per. s ang. Moscow: Radio i svyaz', 176 p.
6. Teterin E.A., Teterin A.V., 2021. Issledovanie arkhitektury informatsionno-analiticheskoi sistemy pri geodezicheskikh i marksheiderskikh s"emkakh [Study of the architecture of an information-analytical system in geodetic and mine surveying]. Sovremennye prikladnye issledovaniya: materialy 5 nats. nauch.-prakt. konf., 17 – 19 marta 2021 g., g. Shakhty. V 2-kh t. Novocherkassk, YuRGPU (NPI), Vol. 2., P. 290 – 296.
7. Tsifrovye tekhnologii v rossiiskikh kompaniyakh [Digital technologies in Russian companies]. Rezul'taty issledovaniya. Yanvar' 2019 g. KPMG, 2019, S. 13. URL: <https://ict.moscow/research/cifrovye-tehnologii-v-rossiyskih-kompaniyah/?ysclid=llugn9f69k523396768> (data obrashcheniya 20.07.2023)
8. Bochkarev A.M., 2019. Aktualizatsiya sovershenstvovaniya sistem informatsionnogo obespecheniya promyshlennogo predpriyatiya [Actualization of the improvement of



information support systems for an industrial enterprise]. *Kreativnaya ekonomika*, Vol. 13, № 6, P. 120 – 1214. doi: 10.18334/ce.13.6.40754.

9. Kharasova A.S., 2014. Kontrolling kak informatsionnaya sistema podderzhki prinyatiya upravlencheskikh reshenii v predprinimatel'stve [Controlling as an Information System for Supporting Management Decision-Making in Entrepreneurship]. Rossiiskoe predprinimatel'stvo, Vol. 15, № 21, P. 17 – 23. URL: <https://creativeeconomy.ru/lib/8686>. (data obrashcheniya 22.06.2023)

10. Motovilov I.V., Glezman L.V. 2012. Informatsionnoe obespechenie mekhanizma upravleniya promyshlennym kompleksom munitsipal'nogo obrazovaniya [Information support of the management mechanism of the industrial complex of a municipal formation]. Rossiiskoe predprinimatel'stvo, T. 13, № 4, S. 169 –174. URL: <https://creativeeconomy.ru/lib/7323>. (data obrashcheniya 19.04.2023)

11. Zaitsev D.A., 2015. Analiz i razvitiye klassifikatsii v oblasti innovatsii i informatsionnogo obespecheniya [Analysis and development of classifications in the field of innovation and information support]. *Kreativnaya ekonomika*, Vol. 9, № 6, P. 771 – 782. doi: 10.18334/ce.9.6.321.

12. Romanov S.V., 2013. Rol' universitetov v formirovaniyi sistemy informatsionnogo obespecheniya innovatsionnoi deyatel'nosti predpriyatiya [The role of universities in shaping the system of information support for innovative activities of enterprises]. *Kreativnaya ekonomika*, Vol. 7, № 4, P. 62 – 66. URL: <https://creativeeconomy.ru/lib/4938>. (data obrashcheniya 13.05.2023)

13. Mezdrikov Yu.V., 2008. Znachenie i zadachi uchetno-analiticheskogo obespecheniya upravleniya material'no-proizvodstvennymi zapasami [Significance and tasks of accounting and analytical support for inventory management]. Rossiiskoe predprinimatel'stvo, Vol. 9, № 8, P. 68 – 70. URL: <https://creativeeconomy.ru/lib/3127>. (data obrashcheniya 27.06.2023)

14. Bushueva L.I., 2008. Teoretiko-metodologicheskie podkhody k izucheniyu informatsionnogo obespecheniya upravlencheskikh reshenii [Theoretical and methodological approaches to the study of information support for management decisions]. Rossiiskoe predprinimatel'stvo, Vol. 9, № 1, P. 92 – 97. URL: <https://creativeeconomy.ru/lib/2796>. (data obrashcheniya 3.06.2023)

15. Batova M.M., Baranova I.V., Chzhao K. 2020. Finansovye innovatsii kak instrument effektivnoi deyatel'nosti vysokotekhnologichnogo predpriyatiya [Financial innovations as a tool for the effective operation of a high-tech enterprise]. Finansovo-ekonomicheskoe i informatsionnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya regiona: materialy III Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, Yalta, 18–20 marta 2020 goda, otv. red. A.V. Olifirov. Yalta: OOO "Izdatel'stvo Tipografiya 'Arial'", P. 44 – 47.



ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ



УДК 556.5:551.3

Оролбаева Лидия Эргешевна

доктор геолого-минералогических наук,
профессор,
Кыргызский горно-металлургический институт
им. У. Асаналиева,
пр. Чуй 215, Бишкек,
Кыргызская Республика, 720001
e-mail: orolbaeval@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОГИДРОСИНЭРГЕТИКИ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРО-АЛАЯ

Аннотация:

Сложная орография территории Тянь-Шаня, геодинамически неустойчивая среда определяют формирование таких природных процессов, как оползни, землетрясения, селевые потоки, наводнения и паводки. Отвалы и хвостохранилища предприятий горнодобывающей промышленности, размещенные в руслах и поймах селен- и оползнеопасных рек существенно усложняют проявление опасных природных процессов и ухудшают экологическую ситуацию. Это определяет необходимость изучения факторов и условий формирования этих процессов, выявления закономерностей их проявления и взаимосвязи, а также изучения природы спусковых механизмов, приводящих к возникновению синергетических эффектов. В статье рассмотрены природные условия и факторы формирования опасных природных процессов и явлений Тянь-Шаня и Памиро-Алая, дана характеристика природных и техногенных факторов. Проанализированы и типизированы геориски с синергетическим эффектом, проявляющиеся с наибольшей частотой в бассейнах горных рек. Описано формирование селей с проявлением синергетического эффекта и формированием каскада опасных процессов. Описаны геогидросинергетические эффекты при формировании опасных природных процессов и явлений Тянь-Шаня и Памиро-Алая. В качестве примеров формирования опасных процессов рассматриваются Ош-Красуйский Оазис, бассейны рек Ала-Арча и Майлуу-Суу с типичными для большинства бассейнов горных рек природными условиями, активностью опасных природных процессов, а бассейн р. Майлуу-Суу и наложением техногенных факторов – наличием радиоактивных отвалов и хвостохранилищ. Для бассейна р. Ала-Арча рассмотрено проявление синергетического эффекта и формирование каскада опасных процессов при различных спусковых событиях. Для обоснования прогноза проявления синергетических эффектов при формировании георисков в бассейнах горных рек необходимо оценить существующую взаимосвязь между опасными природными и техногенными процессами, опреде-

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.090

Orolbaeva Lidia E.

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Professor,
Kyrgyz Mining and Metallurgical Institute
n.a. U. Asanaliev,
Kyrgyz Republik, 720001 Bishkek,
215 Chui Av.
e-mail: orolbaeval@mail.ru

ECOLOGICAL ASPECTS OF GEOHYDROSYNERGETICS OF TIEN SHAN AND PAMIR-ALAY

Abstract:

The complex orography of the Tien-Shan territory and geo-dynamically unstable environment determine the formation of such natural processes as landslides, earthquakes, mudflows and floods. Mine dumps and tailings of enterprises placed in the river floodplains susceptible to landslides and mudflows contribute to ecological vulnerability of the territories. These issues require revealing the factors of occurrence and conditions of the formation of these processes, to identify the patterns of their manifestation and interrelation, as well as studying the nature of trigger mechanisms resulting in the development of synergetic effects.

The article considers natural conditions and factors of formation of dangerous natural processes and phenomena of the Tien Shan and Pamir-Alay, characterizes natural and technogenic factors. It analyzes and typifies geological risks with a synergetic effect, which are manifested with the greatest frequency in the basins of mountain rivers. We describe the formation of mudflows with the manifestation of a synergetic effect and the formation of a cascade of dangerous processes. We describe geohydrosynergetic effects in the formation of dangerous natural processes and phenomena of the Tien Shan and Pamir-Alai. As examples of the formation of hazardous processes, there are considered: the Osh-Krasuy Oasis, the basins of the Ala-Archa and Mailuu-Suu rivers with natural conditions typical for most mountain river basins, the activity of hazardous natural processes, and the Mailuu-Suu river basin with the imposition of technological factors – the presence of radioactive waste and tailings dumps. For the basin of the Ala-Archa river, the manifestation of the synergetic effect and the formation of a cascade of dangerous processes under various triggering events are considered. To substantiate the forecast of the manifestation of synergetic effects in the formation of geological risks in mountain river basins, it is necessary to assess the existing relationship between dangerous natural and man-made processes, to determine the likely triggering mechanisms, their nature and the probability of triggering in space and time. The fundamentals and methodology of geohydrosynergetics as the scientific direc-



лиль вероятные пусковые механизмы, их природу и вероятность срабатывания в пространстве и времени. Рассмотрены основы и методология геогидросинергетики научного направления, ориентированного на изучение проявления синергетических эффектов, связанных с изменением подземных и поверхностных вод. Приведена карта геогидросинергетического районирования территории Кыргызстана.

Ключевые слова: потоки подземных вод, синергетика, геогидросинергетика опасных процессов и явлений, геогидросинергетическое районирование.

tion focused on the study of the manifestation of synergistic effects associated with the change of groundwater and surface waters are considered. The map of geohydrosynergetic zoning of the territory of Kyrgyzstan is given.

Key words: groundwater flow, synergetic, geohydrosynergetic of hazardous natural processes, geohydrosynergetic zoning.

Введение

В горных странах все компоненты этой весьма сложной геосистемы находятся в теснейшей взаимосвязи, обуславливающей как взаимное развитие, так и деградацию. Любые изменения, происходящие в геологической среде и экосистемах горных стран, имеющие природный или антропогенный характер, влекут за собой изменения геосистемы в целом и наоборот. В свою очередь техногенные изменения горных экосистем влекут за собой изменения микроклиматов, количества выпадающих осадков и, соответственно, вызывают изменения поверхностного и подземного стока.

Типичными горными странами являются Тянь-Шань и Памиро-Алай. В их гидрологических бассейнах выделяются артезианские бассейны межгорных и внутригорных впадин и гидрогеологические массивы [1, 2].

В пределах межгорных бассейнов полностью заканчиваются все гидродинамические процессы, составляя единый цикл: формирование, накопление, движение и разгрузку подземных вод. Однако сам гидродинамический процесс здесь очень сложный. В последние десятилетия, с возрастанием техногенной нагрузки и проявлением негативных георисков водного характера все большую актуальность приобретают исследования гидродинамических процессов в горных странах, их природные и техногенные связи. Понимание синергетического характера гидродинамики горных стран позволит прогнозировать и принимать предупредительные меры от негативных последствий.

Теория, материалы и методы исследования

Результаты исследований трансформации гидросферы Тянь-Шаня и Памиро-Алай показывают, что они определяются комплексом взаимосвязанных природных и техногенных факторов (табл. 1).

Таблица 1

Факторы, влияющие на трансформацию гидрогеосферы

Естественные факторы	Техногенные факторы
Физико-географические	Разработка месторождений и формирование отходов горнорудного производства
Изменение климата	Водохранилища, ирригация
Геолого-структурные	Регулирование речного стока
Эндогенные и экзогенные процессы	Отбор подземных вод
Физико-химические процессы	Прессинг горных экосистем
Биохимические процессы	

На трансформацию гидросферы в большей степени влияют подземная и открытая добыча полезных ископаемых, отбор подземных вод для питьевого и промышленного водоснабжения, водохранилища и ирригация [3 – 5].

Трансформациям гидросферы способствуют изменения горных ледниковых и лесных экосистем. Вызванная совокупными воздействиями природных и техногенных факторов, она приводит к существенному росту георисков.

При трансформации гидросферы формируются геориски водного характера, и зачастую с серьезными экологическими последствиями. Все они имеют некоторые общие закономерности в их проявлении:

- определенную пространственную приуроченность;
- повторяемость опасных природных процессов;
- синергизм процессов.

Пространственная приуроченность опасных природных процессов определяется геоморфологическими, геолого-гидрогеологическими особенностями конкретной территории, историей ее геологического развития, климатическими, гидрологическими условиями и их изменениями, техногенным воздействием.

Повторяемость опасных природных процессов связана, как правило, с сезонностью и определенными временными интервалами их проявления.

Синергизм опасных процессов проявляется в их взаимосвязи и усилении негативных воздействий, когда одно экстремальное явление активизирует другое, а возможно, и целый ряд каскадных процессов, оказывая тем самым мультипликативный негативный эффект [6 – 10].

Геориски водного характера имеют разные по времени их проявлений скорости протекания: мгновенные и кратковременные (землетрясения, обвалы, оползни, лавины, сели, паводки) и медленные (подтопления, засоления, солифлюкция, современные движения).

Внезапные опасные природные процессы непродолжительного действия проявляются в высокогорье и среднегорье, приурочены к гидрогеологическим массивам и связаны с поверхностными водами (высокогорными прорываопасными озерами, реками и временными водотоками), режим которых зависит от климатических факторов, температуры, количества и видов осадков, состояния экосистем.

Опасные процессы и явления развиваются длительно и проявляются постепенно, как правило, на наиболее освоенных и густонаселенных равнинных территориях.

Результаты исследования и их обсуждение

В силу особенностей сложного горного рельефа на территории Тянь-Шаня и Памиро-Алая высока вероятность формирования цепных многоступенчатых, синергетических процессов.

Здесь наиболее часты сели различного генезиса и оползни пояса зарождения снегово-дождевых селей, образующихся от интенсивного снеготаяния и дождей.

В зоне распространения опасных процессов могут быть химически или радиационно-опасные хвостохранилища и отходы предприятий горнодобывающей промышленности, что может способствовать возникновению региональной экологической катастрофы, с трансграничным загрязнением (рис. 1).

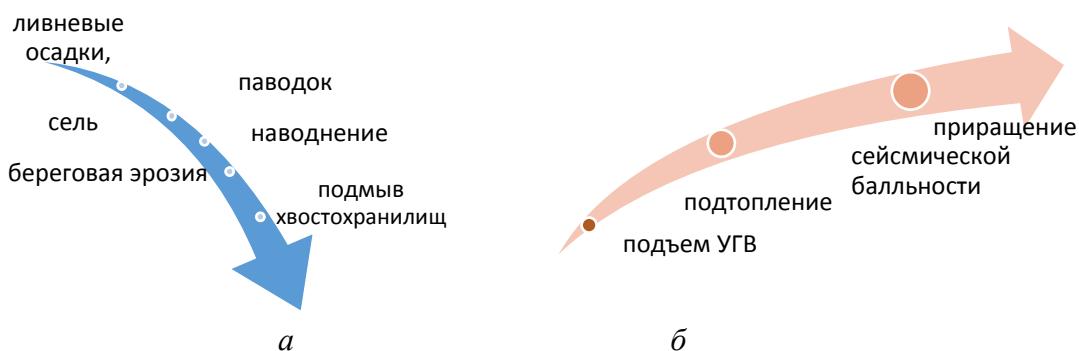


Рис. 1. Опасные процессы и явления с синергетическим эффектом



На рис. 1а видно, что синергетичность, ее интенсивность и мощность возрастают с повышением области формирования селе-паводковых процессов.

Как показывает анализ, в пределах гидрогеологических массивов, в связи с изменением поверхностных вод происходит формирование каскадных опасных процессов и явлений, имеющих синергетический характер. При этом в пределах высотных интервалов от 2000 до 4000 м и выше формируются многоступенчатые опасные процессы.

В пределах высотных интервалов от 2000 до 1200 м формируются двух- трехступенчатые процессы, включающие оползни, сели, береговую эрозию.

Опасные процессы и явления, развивающиеся длительно и проявляющиеся постепенно, формируются в предгорье и на равнинных территориях, низкогорных (в пределах высот от 800 м и ниже) и среднегорных впадин (ниже 1800 м). Они связаны преимущественно с техногенными трансформациями структуры потоков подземных вод межгорных бассейнов. В результате техногенного воздействия, качественно и количественно изменяются питание и разгрузка подземных вод, их взаимосвязь с поверхностными водами, создаются условия затрудненного оттока и подпора за счет водоупорных экранов, снижается отбор подземных вод, увеличивается забор речных вод. Длительные опасные процессы имеют также многоступенчатый характер (рис. 1б).

Основными типами потоков, структуры которых претерпевают существенные трансформации в пределах Тянь-Шаня и Памиро-Алая являются потоки подземных вод речных долин, потоки предгорного типа (предгорных шлейфов, подгорных шлейфов и подгорных равнин), междуречные (водораздельные) потоки.

Потоки в речных долинах в большей степени трансформируются от техногенного воздействия на речные экосистемы и поверхностный сток, тогда как потоки предгорного типа и междуречий – подземный. Подъем уровня грунтовых вод территорий распространения потоков в речных долинах и водораздельных потоков, связанный с техногенными факторами, вызывает заболачивание и засоление сельскохозяйственных угодий и подтопление населенных пунктов. На подтопленных территориях происходит изменение прочностных свойств грунтов, их деформация, что способствует осадкам, просадкам, разрушению зданий и коммуникаций, возникает эффект приращения сейсмической балльности и повышается сейсмическая опасность.

Подтопление, связанное с подъемом уровня грунтовых вод, является одним из самых распространенных георисков на равнинных, наиболее пригодных и благоприятных для проживания и развития земледелия территориях Тянь-Шаня и Памиро-Алая. Развитию подтопления, засоления и просадок благоприятствуют геолого-структурные, литологические особенности территорий, водохранилища, сеть ирригационных каналов с низким КПД, инженерные сооружения, изменившие движение потока подземных вод, к естественной дрене, вызвавшие подпор [9].

Изменения структуры потоков подземных вод, повышение их уровня и изменения баланса возникают на равнинных орошаемых территориях, где в результате структурных изменений в сельском хозяйстве прекращено использование подземных вод для орошения и не функционируют коллекторно-дренажные сети. Поэтому подъем уровня подземных вод происходит постоянно, увеличивая площадь заболоченных и засоленных территорий и их сейсмичность. Особенно это касается территорий, приуроченных к водохранилищам.

Выполняя важную роль в тектонических и сейсмических процессах, подземные воды являются фактором, ухудшающим сейсмические условия территории, они оказывают влияние на скорости распространения продольных и поперечных упругих волн и сейсмическую жесткость горных пород и грунтов.

Исследованиями ученых различных стран выяснены следующие моменты:

- наполнение водохранилищ усиливает общую сейсмичность района;
- возбужденные землетрясения проявляются в условиях определенного геологического строения территории;



- существует корреляционная связь между изменениями уровня и сейсмичностью, что характерно не только для крупных, но и небольших водохранилищ [11].

Процессами подтопления охвачены наиболее пригодные и благоприятные для проживания и развития земледелия равнинные и предгорные территории межгорных бассейнов.

Примером площадного подтопления территорий может служить прибрежная зона Кировского водохранилища и подтопление Ош-Карасуйского оазиса, северной окраины г. Токмок, территории с. Сакалды в Ноокенском районе [9, 12]. Здесь процессы подтопления существенно активизировались в последнее время, и связаны они с некоторыми факторами. В числе этих факторов планировка территории при сельскохозяйственном освоении, уничтожение естественных дрен, естественной пойменной растительности и дальнейшее возделывание влагоемких с/культур с использованием бороздкового способа полива, ликвидированные для увеличения посевых площадей и приусадебных участков дрены, что привело к существенному подъему уровня грунтовых вод, подтоплению, увеличению сейсмической балльности.

Просадки на территории Тянь-Шаня и Памиро-Алая распространены в межгорных впадинах, предгорных равнинах, отмечаются в водораздельных областях древних и современных ледниково-мерзлотных ландшафтов. Проявления этих процессов приурочены к зонам распространения лесовых формаций, представленных разновозрастными толщами грунтов от суглинков до супесей. Развитию просадочных процессов в зонах распространения лесовых грунтов, под воздействием поверхностных и подземных вод способствует подъем грунтовых вод, как правило, эти процессы проявляются и на подтопленных территориях (г. Ош, Бишкек и др.).

Таким образом, при трансформации наземной и подземной гидросферы в пределах как гидрогеологических массивов, так и территории артезианских бассейнов высока вероятность формирования цепных многоступенчатых, так называемых синергетических процессов, когда одно опасное природное или техногенное явление, связанное с изменением состояния подземных или поверхностных вод, вызывает целую цепочку других. Совместное, синергетическое их действие приводит к существенному возрастанию опасности природных и техногенных процессов, имеющих негативные экологические последствия. В связи с этим перспективна интеграция идей синергетики в гидрогеологию и инженерную геологию в самом широком плане и выделение геогидросинергетики в качестве научного направления, ориентированного на изучение формирования опасных природных и техногенных процессов, связанных с изменением подземных и поверхностных вод [2, 9].

Геогидросинергетика изучает интегрированные связи трансформации наземной и подземной гидросферы горных геосистем и георисков.

Основы предлагаемого автором перспективного нового научного направления геогидросинергетики представлены следующими методологиями комплексных исследований и методами:

- региональной оценкой формирования геогидросинергетических процессов;
- изучением формирования естественного и нарушенного режима подземных и поверхностных вод в зонах формирования гидрогеосинергетических процессов;
- методикой прогнозной оценки геогидросинергетических процессов, включающей методы моделирования;
- мониторингом подземных вод и синергетических процессов.

Автором впервые составлена карта геогидросинергетического зонирования Кыргызского Тянь-Шаня и Памиро-Алая георисками водного характера (рис. 2).

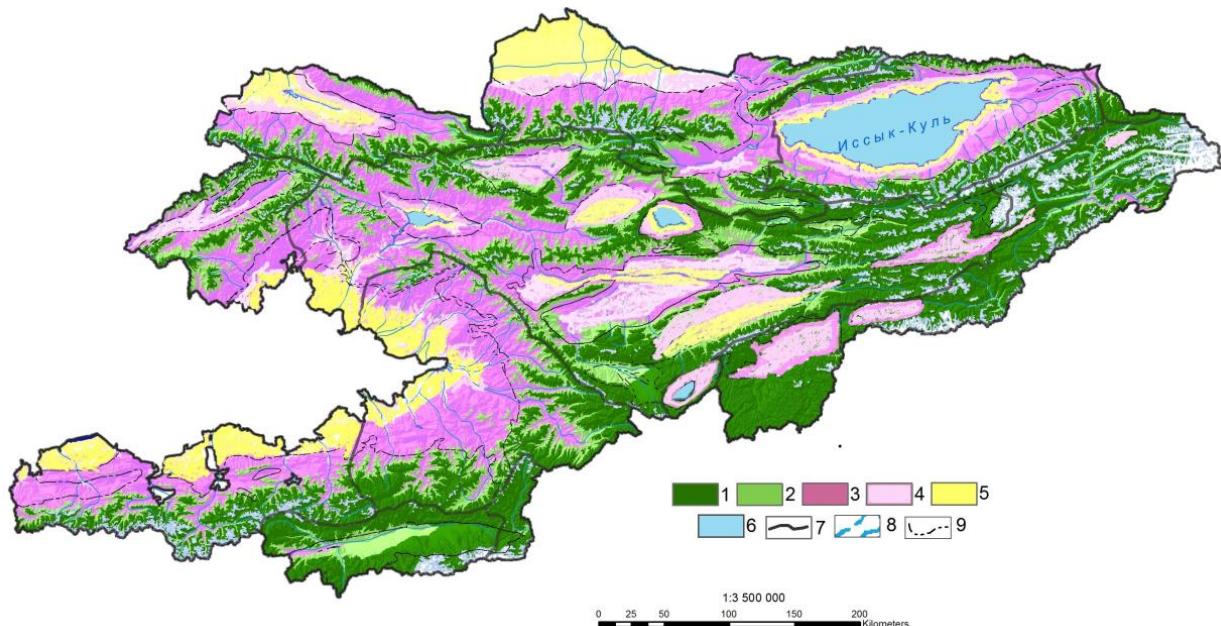


Рис. 2. Карта геогидросинергетического районирования территории Кыргызской Республики (Оролбаева Л.Э. 2017)

Опасные процессы и явления внезапного действия: 1 – зона формирования экстремальных пусковых явлений геогидросинергетических процессов в пределах нивального пояса; 2 – зона формирования многоступенчатых процессов в гидрогеологических массивах, связанных с поверхностными водами и деградацией экосистем; 3 – зона формирования 2-3 ступенчатых процессов в гидрогеологических массивах, связанных с поверхностными и подземными водами, деградацией экосистем. *Опасные процессы и явления, развивающиеся длительно и проявляющиеся постепенно:* 4 – зона формирования 2-3 ступенчатых процессов, связанных с изменением поверхностных вод, потоков подземных вод предгорного типа и деградацией экосистем; 5 – зона формирования 2 ступенчатых процессов, связанных с изменением потоков подземных вод водораздельного типа и речных долин; 6 – озера, водохранилища; 7 – реки

Заключение

Под действием природных и техногенных процессов на территории Тянь-Шаня и Памиро-Алая происходит трансформация геофильтрации. Подъем уровня грунтовых вод, который обусловил увеличение площадей подтопления и заболачивание территорий, как результат изменения состояния наземной и подземной гидросферы, сыграет отрицательную, усугубляющую роль для населенных территорий, находящихся в зоне высокого стояния грунтовых вод, во время землетрясения, отвечающего высокой балльности. Последствия будут худшими, чем это было бы при большей глубине залегания подземных вод.

Для обоснования предупредительных мер негативных экологических последствий, связанных с изменением подземных и поверхностных вод, снижения уязвимости населения, разработки рекомендаций для устойчивого землепользования, необходим комплексный подход с учетом представлений геогидросинергетики.

Список литературы

1. Оролбаева Л.Э., 2013. *Геогидрология горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая)*. Бишкек: «Текник», 185 с.
2. Оролбаева Л.Э., 2018. Техногенные трансформации гидрогеосферы Кыргызской Республики. *Известия УГГУ, Екатеринбург*, № 4, С. 67 – 71.



3. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Бишкек: МЧС КР, 2015, 718 с.
4. Торгоев И.А., Алешин Ю.Г., 2009. Экология горнопромышленного комплекса Кыргызстана. Бишкек: Илим, 193 с.
5. Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О., 2017. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. Москва: Мир науки. URL: <http://izd-mn.com/PDF/21MNNPM17.pdf> (дата обращения 12.06.2023)
6. Оролбаева Л.Э., Мелешко А.А., 2016. Синергетические эффекты при формировании георисков в бассейнах горных рек Тянь-Шаня. *Известия УГГУ*, Екатеринбург, Выпуск 3(43), С. 20 – 24.
7. Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю., 2001. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований. Москва: ГЕОС, 312 с.
8. Хачай О.А., 2015. Решение проблем геодинамики с позиции геосинергетики. *Вестник КРСУ*, Том 15, № 3, С. 150 – 154.
9. Назришоев Х.А., 2006. Синергетические эффекты наводнения и сели на Западном Памире и стратегия безопасного строительства. *Тез. докл. Междунар. семинар. «Сели и наводнения: Стратегия безопасного строительства и сокращения риска стихийных бедствий» в рамках проекта UN/ISDR «Продвижение Стратегии Безопасного Строительства. Образовательная Сеть для Центральной Азии»*, Алматы, С. 63 – 68.
10. Оролбаева Л.Э., 2017. Геогидросинергетические эффекты при формировании опасных природных процессов. *Электронный журнал ВАК КР Научные исследования в Кыргызской Республике*, № 2, С. 4 – 11.
11. Летников Ф.А., 1992. Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 231 с.
12. Рященко Т., Ташлыкова Т., 2015. Возбужденная сейсмичность при создании водохранилищ: анализ первых фактов и возможных причин. *Инженерная защита*, Вып. № 11, С. 37 – 48.
13. Дудашвили А.С., Усупаев Ш.Э., 2014. Инженерно-геоморфический метод картирования георисков от подтопления на примере территории Ош-Карасуйского оазиса. *Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Рazzакова*, № 33., С. 425 – 428.

References

1. Orolbaeva L.E., 2013. Geogidrologiya gornykh stran (na primere Tyan'-Shanya i Pamiro-Alaya) [Geohydrology of mountainous countries (on the example of the Tien Shan and Pamir-Alai)]. Bishkek: "Teknik", 185 p.
2. Orolbaeva L.E., 2018. Tekhnogennye transformatsii gidrogeofsferы Kyrgyz-skoи Respubliki. [Technogenic transformations of the hydrogeosphere of the Kyrgyz Republic]. Izvestiya UGGU, Ekaterinburg, № 4, P. 67 – 71.
3. Monitoring, prognozirovaniye opasnykh protsessov i yavlenii na territorii Kyrgyzskoi Respubliki [Monitoring and forecasting of hazardous processes and phenomena on the territory of the Kyrgyz Republic]. Bishkek: MChS KR, 2015, 718 p.
4. Torgoev I.A., Aleshin Yu.G., 2009. Ekologiya gornopromyshlennogo kompleksa Kyrgyzstana [Ecology of the mining complex of Kyrgyzstan]. Bishkek: Ilim, 193 p.
5. Zlobina V.L., Medovar Yu.A., Yushmanov I.O., 2017. Transformatsiya sostava i svoistv podzemnykh vod pri izmenenii okrughayushchey sredy [Transformation of the composition and properties of groundwater during environment changes]. Moscow: Mir nauki. URL: <http://izd-mn.com/PDF/21MNNPM17.pdf> (data obrashcheniya 12.06.2023)
6. Orolbaeva L.E., Meleshko A.A., 2016. Sinergeticheskie effekty pri formirovaniii georiskov v basseinakh gornykh rek Tyan'-Shanya [Synergetic effects in the formation of geological risks in the basins of mountain rivers of the Tien Shan]. Izvestiya UGGU, Ekaterinburg, Vypusk 3(43), P. 20 – 24.



-
7. Goryainov P.M., Ivanyuk G.Yu., 2001. Samoorganizatsiya mineral'nykh sistem. Sinergeticheskie printsipy geologicheskikh issledovanii [Self-organization of mineral systems]. Moscow: GEOS, 312 p.
 8. Khachai O.A., 2015. Reshenie problem geodinamiki s pozitsii geosinergetiki [Solving geodynamic problems from the perspective of geosynergetics]. Vestnik KRSU, Vol. 15, № 3, P. 150 – 154.
 9. Nazrishoev Kh.A., 2006. Sinergeticheskie effekty navodneniya i seli na Zapadnom Pamire i strategiya bezopasnogo stroitel'stva [Synergetic effects of flooding and mudslides in the Western Pamirs and the strategy of safe construction]. Tez. dokl. Mezhdunar. seminar. "Seli i navodneniya: Strategiya bezopasnogo stroitel'stva i sokrashcheniya riska stikhiiykh bedstvii' v ramkakh proekta UN/ISDR "Prodvizhenie Strategii Bezopasnogo Stroitel'stva. Obrazovatel'naya Set' dlya Tsentral'noi Azii", Almaty, P. 63 – 68.
 10. Orolbaeva L.E., 2017. Geogidrosinergeticheskie effekty pri formirovaniyu opasnykh prirodnykh protsessov [Geohydrosynergetic effects in the formation of hazardous natural processes]. Elektronnyi zhurnal VAK KR Nauchnye issledovaniya v Kyrgyzskoi Respublike, № 2, P. 4 – 11.
 11. Letnikov F.A., 1992. Sinergetika geologicheskikh system [Synergetics of geological systems]. Novosibirsk: Nauka. Sibirskoe otdelenie, 231 p.
 12. Ryashchenko T., Tashlykova T., 2015. Vozbuzhdennaya seismichnost' pri sozdaniyu vodokhranilishch: analiz pervykh faktov i vozmozhnykh prichin [Excited seismicity in the creation of reservoirs: analysis of the first facts and possible causes]. Inzhenernaya zashchita, Vyp. № 11, P. 37 – 48.
 13. Dudashvili A.S., Usupaev Sh.E., 2014. Inzhenerno-geonomiceskii metod kartirovaniya georiskov ot podtopleniya na primere territorii Osh-Karasuiskogo oazisa [Engineering and geonomic method of mapping geological risks of flooding on the example of the territory of the Osh-Karasu Oasis]. Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova, № 33., P. 425 – 428.



УДК 622.2:504.064

Рыльникова Марина Владимировна
профессор, доктор технических наук,
главный научный сотрудник, ИПКОН РАН,
111020, г. Москва, Крюковский тупик, д. 4
e-mail: rylnikova@mail.ru

Швабенланд Елена Егоровна
кандидат технических наук,
заведующий сектором анализа проектов
на разработку месторождений цветных, редких,
благородных металлов
Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС),
119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 31
e-mail: e.schabenland@mail.ru

Олейник Дмитрий Николаевич
советник руководителя, Роснедра,
первый заместитель председателя ЦКР-ТПИ
Роснедр,
125993, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 4/6

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИИ

Аннотация:

Применяемые технологии освоения месторождений твердых полезных ископаемых позволяют использовать лишь небольшую (5 – 25 %) часть извлекаемой из недр ценной минеральной массы, а оставшаяся часть формирует отходы горнодобывающего комплекса, которые по мере накопления в техногенных образованиях и хранения преимущественно на земной поверхности становятся одним из мощных факторов антропогенных изменений окружающей среды, занимая огромные территории.

Из общего количества ежегодно образующихся в России промышленных отходов в количестве порядка 7 млрд т (данные различных источников варьируют) на долю горно-металлургического комплекса приходится более 90 %.

Вместе с тем практически все накопленные отходы горнодобывающего и металлургического производства несут в себе значительную ресурсную ценность. Так, среднее содержание ценных компонентов в ранее сформированных хранилищах отходов переработки руд (хвостохранилищах) в ряде случаев выше их промышленного содержания в рудах, вовлекаемых в освоение в настоящее время. Например, на Южном Урале в старогодных хвостохранилищах золотодобывающей среднее содержание золота в рудах составляет 0,5 – 0,8 г/т, тогда как в регионе добывают руды с содержанием благородного металла 0,35 г/т и ниже. Однако актуальность вовлечения техногенных образований в эксплуатацию связана не столько с отработкой запасов благородных металлов, сколько с их экологической опасностью. При этом мировая практика свидетельствует о реальной возможности получения качественной продукции из минеральных отходов прошлых лет с последующей утилизацией оставшейся части, имеющей более низкий класс опасности.

В настоящее время в России впервые создается нормативно-правовая база для вовлечения в промышленное использование отходов добычи (вскрышные и вмещающие породы, некондиционные полезные ископаемые) и переработки минерального сырья.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.098

Rylnikova Marina V.
Professor, Doctor of Engineering Sciences,
Chief Researcher, IPKON of RAS,
111020 Moscow, 4 Kryukov End
e-mail: rylnikova@mail.ru

Shvabenland Elena E.
Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Head of Section,
N.M. Fedorovsky Institute (FSBI VIMS),
119017 Moscow,
31 Staromonetny Lane
e-mail: e.schabenland@mail.ru

Oleinik Dmitry N.
Advisor to the Head, Rosnedra,
First Deputy Chairman of the Central Committee
for Solid Minerals,
125993 Moscow, 4-6 B. Gruzinskaya Str.

SYSTEM DEVELOPMENT IN HANDLING AND MANAGEMENT OF SUBSOIL WASTE IN RUSSIA

Abstract:

Existing technologies for the development of solid mineral deposits make it possible to use only a small part (5 – 25%) of the valuable mineral mass extracted from the bowels of the earth, and the remaining part forms waste from the mining complex, which, as it accumulates in technogenic formations and is stored, mainly on the earth's surface, becomes one of powerful factors of anthropogenic changes in the environment, occupying vast territories.

Of the total amount of industrial waste generated annually in Russia in the amount of about 7 billion tons (data from various sources vary), the mining and metallurgical complex accounts for more than 90%.

At the same time, almost all accumulated waste from mining and metallurgical production carries a significant resource value. Thus, the average content of valuable components in previously formed ore processing waste storage facilities (tailing dumps) is in some cases higher than their industrial content in ores currently involved in development. For example, in the South Urals, in the old tailings of gold mining, the average gold content in ores is about 0.5-0.8 g/t, while ores with a precious metal content of 0.35 g/t and lower are mined in the region.

However, the relevance of involving technogenic formations into operation is associated not so much with the development of precious metal reserves, but with their environmental hazard. At the same time, world practice testifies to the real possibility of obtaining high-quality products from mineral waste of past years with the subsequent disposal of the remaining part, which has a lower hazard class.

At present, for the first time in Russia, a regulatory and legal framework has been created for the industrial use of technogenic mining waste (overburden and host rocks, substandard minerals) and enrichment.

To ensure an integrated approach to the rational use and protection of subsoil, it is necessary at the stage of a feasibility study and calculation of reserves to make decisions aimed not only at the effective development of a natural

Для обеспечения комплексного подхода к рациональному использованию и охране недр необходимо на этапе разработки технико-экономического обоснования и подсчета запасов определять принятые решения, направленные не только на решение вопросов эффективной разработки природного месторождения, но и на вовлечение в экологически сбалансированное использование всех отходов добычи и переработки техногенного сырья.

Ключевые слова: природное месторождение, разработка месторождения, рациональное использование, охрана недр, экологически сбалансированные технологии, отработка запасов, технико-экономическое обоснование, подсчет запасов, техногенное образование, отходы, добыча, переработка.

deposit, but also at an environmentally balanced use of industrial waste from mining and enrichment.

Key words: natural deposit, deposit development, rational use and protection of subsoil, environmentally balanced mining technologies, reserves development, feasibility study, reserves calculation, technogenic formation, tailings, mining, processing.

Введение

Существующие технологии освоения месторождений твердых полезных ископаемых позволяют использовать лишь небольшую (5 – 25 %) часть извлекаемой из недр ценной минеральной массы, а оставшаяся часть формирует отходы горнoprомышленного комплекса (рис. 1), которые по мере накопления в техногенных образованиях и хранения преимущественно на земной поверхности становятся одним из мощных факторов антропогенных изменений окружающей среды, занимая огромные территории [1].



Рис. 1. Классификация техногенных минеральных образований (ВИМС)

Из общего количества ежегодно образующихся в России промышленных отходов в количестве порядка 7 млрд т (данные различных источников варьируют) на долю горно-металлургического комплекса приходится более 90 % (табл. 1).

Причем за период 2010 – 2020 гг. наблюдалась устойчивая динамика увеличения объема отходов производства по виду экономической деятельности «добыча полезных ископаемых» – с 3334,6 млн т в год до 6367,0 млн т, то есть почти в 2 раза – на 91 %. При сохранении такой динамики территория большинства горнoprомышленных регионов России в краткосрочной перспективе превратится в одну большую зону негативных экологических воздействий.



Таблица 1

**Динамика структуры формирования отходов в Российской Федерации в тыс. т
(по данным государственного доклада
«О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», 2021 г.) [2]**

Вид деятельности	2016	2017	2018	2019	2020
сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	49242,3	41499,2	42773,7	47664,2	45150,5
добыча полезных ископаемых	4723843,8	5786189	6850485,4	7257022,1	6367335,7
в том числе:					
добыча угля	3377939,9	3874534,2	4816499,8	5199628,2	3911299,0
добыча сырой нефти и природного газа	7750,7	8836,7	8917,2	7068,4	8127,1
добыча металлических руд	957557,3	1522341,6	1643674,5	1635476,4	2070925,8
добыча прочих полезных ископаемых	376242,8	376197,9	377504,7	407468,3	373976,4
предоставление услуг в области добычи полезных ископаемых	4353,1	4278,6	3889,2	7380,8	3007,4
обрабатывающие производства	549325,3	274816,8	243767,6	296442,7	240432,5
обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	20509,3	20548,4	20105,1	20185,2	17468,0
водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	7181,3	9937,6	10606,0	10688,6	8388,2
строительство	21100,0	н/д	36000,0	42000,6	31551,8
прочие виды экономической деятельности	70111,5	87652,4	62316,2	76873,9	245390,3
Всего*	5441313,5	6220643,4	7266054,0	7750877,3	6955717,0

Изложение рассматриваемых вопросов

По данным ВИМС, отходы недропользования учитываются в различных системах, создававшихся под различные цели, что делает несовершенной государственную систему обращения с отходами. Отсутствует единый информационный массив, который содержал бы в себе все характеристики накопленных и формируемых в настоящее время техногенных объектов, содержащих отходы недропользования.

Ни один из существующих массивов информации не удовлетворяет критериям полноты, объективности и актуальности и не позволяет решать следующие задачи:

- достоверной оценки объемов и качества ценных компонентов в отходах недропользования;
- оценки ресурсного потенциала накопленного и формирующегося техногенного сырья, в том числе для нужд лицензирования;
- переоценки отходов горнорудного комплекса как потенциальных источников полезных ископаемых для расширения минерально-сырьевой базы, в том числе с позиции возможности применения лучших доступных технологий;
- обоснования стимулирующих мер по вовлечению техногенного сырья в эксплуатацию;

– определение нормативов оценки, постановки на баланс, списания, расчета потерь и разубоживания техногенного сырья при эксплуатации техногенных образований.

Выполненный анализ показал, что Государственным балансом учтена лишь небольшая часть различных полезных ископаемых в отходах недропользования, признанных промышленно значимыми. Преобладают золотосодержащие техногенные объекты – свыше 100, оловянных – 18, железных – 17, мусковитовых – 10, медных – 7, вольфрамовых – 6. От 1 до 4 техногенных объектов учтены по платиноидам, алмазам, молибдену, хрому, свинцу, цинку, цирконию, бокситам, фосфатам [3]. Вместе с тем известно, что ресурсный потенциал отходов недропользования значителен – до 1 тыс. т золота, 0,5 млн т олова, 8 млн т меди, 9 млн т цинка, огромное количество железа и других металлов.

В России в период до 2035 г. по утвержденным проектам планируется освоить отходы недропользования в масштабах 55 т золота, 61 т серебра, 119 т платиноидов, 98 тыс. т меди, 9,3 т олова, 15,4 т WO_3 , 349 тыс. т цинка, 100 т ZrO_2 , 4 млн т железных руд, 0,3 млн т P_2O_5 , 11,4 млн т цементного сырья, 47 млн куб. м строительного камня, 377 тыс. т флогопита, 1895 тыс. т полевошпатового сырья. Как правило, речь идет о переработке россыпных месторождений либо сырья, относящегося к легкообогатимому.

Вместе с тем практически все накопленные отходы горнодобывающего и металлургического производства несут в себе значительную ресурсную ценность. Так, среднее содержание ценных компонентов в ранее сформированных хранилищах отходов переработки руд (хвостохранилищах) в ряде случаев выше их промышленного содержания в рудах, вовлекаемых в освоение в настоящее время. Например, на Южном Урале в старогодных хвостохранилищах золотодобычи среднее содержание золота в рудах составляет 0,5 – 0,8 г/т, тогда как в регионе добывают руды с приведенным содержанием благородного металла 0,35 г/т и ниже [1]. Наряду с указанными «базовыми» цennыми компонентами техногенные отходы содержат комплекс попутных элементов, в том числе платину, селен, теллур, германий, весь спектр редких и рассеянных элементов.

Несмотря на это, разработка техногенных объектов и переработка техногенного минерального сырья сопряжены с рядом технических и технологических трудностей. Техногенные образования в ходе многолетнего хранения претерпевают значительные изменения – в толще таких объектов крайне неравномерно распределены обогащенные цennыми компонентами или токсичными элементами участки, присутствует сочетание различных минеральных форм, накоплены скрытые обводненные зоны, имеются сброшенные металлические детали, бетонные конструкции, автопокрышки и иные предметы, поверхность техногенных объектов зачастую задернована кустарниками и деревьями, отсутствует необходимая для освоения запасов транспортная и энергетическая инфраструктура.

Техногенное минеральное сырье в результате длительного хранения на воздухе при различной температуре претерпевает существенные изменения и имеет различное качество и вещественный состав, не выдержаный по глубине и площади техногенных образований. Это зачастую требует дифференцированных подходов к переработке сырья, извлеченного из различных участков [4, 5]. Более того, каждый техногенный объект является уникальным и требует колоссальных затрат на изобретение технологий безопасной выемки техногенного сырья и его переработки.

Исключение здесь представляет только вторичная перевалка эфельных отвалов золотодобычи, т.к. на них возможно применение известных технологий. В нашей стране до настоящего времени нет технологий глубокой переработки отходов обогащения полиметаллических руд, являющихся наиболее опасными по содержанию токсичных металлов и формирующих кислотный дренаж.

При этом мировая практика свидетельствует о реальной возможности получения качественной продукции из накопленных отходов прошлых лет с последующей утилизацией оставшейся части, имеющей, как правило, более низкий класс опасности. Напри-

мер, в Казахстане в Корпорации Казахмыс создана уникальная технология глубокой переработки отходов добычи и обогащения комплексных медносодержащих руд с извлечением меди, золота, серебра, редких и рассеянных элементов (всего 21 элемент) [6]. В настоящее время построен завод производительностью 3 млн т в год [6], работа которого на бедном и техногенном минеральном сырье обеспечит продление жизни Жезказганского горнорудного региона на 50 лет в условиях истощения балансовых запасов одноименного месторождения. Для этого на государственном уровне была обеспечена поддержка в виде субсидирования льготного налогообложения и возврата инвестиций в НИР, которые проводились более 10 лет на широкой комплексной научно-методической и практической основе.

В отечественных условиях создание своевременного правового и научно-методического задела в виде подобных технологий обеспечит рациональную интенсивность эксплуатации природных запасов богатых руд за счет использования техногенного минерального сырья. Стратегическое значение такого подхода к сохранению ресурсов земных недр переоценить невозможно, так как обеспечение будущих поколений минеральным сырьем высокого качества на как можно более длительный период и экологизация горного производства и горнорудных территорий являются важной государственной задачей.

Таким образом, факторами, обусловливающими необходимость эффективного использования техногенной сырьевой базы, являются:

- масштаб накопления техногенных минеральных объектов;
- высокое, сопоставимое с перспективными природными месторождениями содержание ценных компонентов;
- мощнейшее негативное воздействие на окружающую среду горнорудных регионов и планеты в целом;
- постоянная потеря исходного качества при хранении техногенного сырья;
- законодательные требования по улучшению среды обитания человека;
- неизбежное ужесточение финансовых механизмов регулирования обращения отходов.

Впервые в отечественной практике и весьма своевременно требуется на законодательном уровне закрепить меры по стимулированию организации производства продукции горнодобывающей отрасли, исключающие образование отходов и предполагающие использование промежуточных продуктов в полном цикле комплексного освоения месторождений со стимулированием горнодобывающих предприятий к добыче и переработке техногенных отходов [7]. Также необходимо создание системы геолого-технологического доизучения и вовлечения в промышленное использование огромных объемов ранее накопленных отходов горнодобывающего и металлургического производства. При этом необходимо обосновать условия и жестко контролировать соблюдение экологических норм и требований к рекультивации нарушенных территорий.

Другой стороной совершенствования системы лицензирования недропользования является обеспечение равных условий для крупных горнодобывающих холдингов, имеющих в настоящее время явно преимущественное положение на получение лицензии на разработку месторождений по сравнению с малыми горнодобывающими предприятиями. Актуальность привлечения последних в сферу недропользования для вовлечения отходов горнорудного комплекса в эксплуатацию дополнительна обусловлена наличием на территории Российской Федерации огромного количества складируемого в хранилищах техногенного сырья – отходов горнодобывающего производства.

Актуальность постановки проблемы на государственном уровне связана с тем, что в России эффективное социально-экономическое развитие ряда регионов находится под угрозой в связи с истощением действующей минерально-сырьевой базы, а также загрязнением горнорудных территорий воздействием накопленных отходов. В



этой связи переход на вовлечение в эксплуатацию сырья техногенных образований является безальтернативным условием устойчивого развития горнорудных районов и моногородов Кавказа, Кольского полуострова, Сибири, Дальневосточного региона, Урала и других. Нарушение этого условия влечет изменение природно-техногенного баланса, сложившегося в горнорудных регионах, и приводит к возникновению аварийных ситуаций с крупными экологическими последствиями. Ярким примером является экологическая катастрофа, сложившаяся при разработке Сибайского месторождения медно-колчеданных руд [8].

Это определяет необходимость своевременного изучения техногенных образований, создания безотходных (или малоотходных) способов извлечения и переработки отходов недропользования, предусматривающих

- разработку принципиально новых технологических схем и методов, исключающих выбросы металлов, тяжелых и токсичных элементов в окружающую среду;
- создание замкнутых технологических схем с многократным использованием техногенного сырья, технологических вод и газов;
- создание инновационной системы переработки отходов недропользования, которые рассматриваются как вторичные материальные ресурсы с организацией крупных региональных территориально-промышленных комплексов с замкнутой структурой потоков сырья для глубокой переработки.

Для этого необходимо создание эффективных государственных механизмов, обеспечивающих инвестиционную привлекательность проведения поисковых и оценочных работ, а также завершенного цикла научных исследований и опытно-конструкторских работ по созданию инновационных отечественных технологий и оборудования [9, 10].

Для рассмотрения техногенных образований как составной части минерально-сырьевой базы России необходим государственный механизм учета формирования и обращения минерально-сырьевых отходов, стимулирования разведки и разработки ранее сформированных техногенных образований, создания технологий их комплексного освоения, а также разработки мер, направленных на недопущение дальнейшего формирования и накопления отходов недропользования.

В настоящее время деятельность по переработке подобных видов отходов попадает под действие двух отраслевых норм – горного и экологического права и регулируется одновременно двумя законами (Законом РФ «О недрах» и Федеральным законом «Об отходах производства и потребления»). Сравнение этих нормативно-правовых актов приведено в табл. 2.

Анализ данных таблицы свидетельствует, что закон РФ «О недрах» относит использование отходов добычи полезных ископаемых и связанных с ней перерабатывающих производств к виду пользования недрами, что требует оформления прав пользования недрами и получения лицензии на добычу и переработку техногенного сырья с уплатой НДПИ. Закон РФ «О недрах» по сути приравнивает отходы добычи и переработки полезных ископаемых к природным месторождениям. В результате проектирования освоения техногенных образований требуется предварительная постановка их запасов на баланс и государственный учет норм, разработанных для природных месторождений, что определяет высокие затраты и сроки вовлечения в эксплуатацию техногенных объектов и сдерживает их инвестиционную привлекательность.

Ввиду низкого содержания ценных компонентов, находящихся в отходах, возникающих технологических и организационных трудностей, экономическая целесообразность создания горных перерабатывающих производств обладает значительными рисками, включая риски возникновения дополнительных прямых и косвенных убытков [11, 12].



Таблица 2

Сравнение положений нормативно-правовых актов, регулирующих обращение отходов, добычи и переработки минерального сырья

Форма и признак сравнения	Законодательство	
	горное	экологическое
	Отрасль права	
	административное	гражданское
Основной документ	закон РФ «О недрах»	ФЗ «Об отходах производства и потребления»
Понятие	отходы горнодобывающего комплекса и связанных с ним перерабатывающих производств	отходы производства и потребления
Признаки классификации	не определено	класс опасности, вид и объемы, состояние, тип
Сфера применения норм	пользование недрами	обращение с отходами
Право собственности на отходы	строго закреплено	закреплено за хозяйствующим субъектом
Возникновение прав собственности	– в процессе недропользования; – в результате приобретения лицензии на право отработки	– не приобретается; – возникает в процессе хозяйственной деятельности
Передача прав собственности другому лицу	не передается	на основе гражданских сделок
Условия приобретения прав собственности другим лицом	через процедуру лицензирования	на основе гражданских сделок
Условия отчуждения (изъятия)	истечение срока действия лицензии, либо ликвидация деятельности	решение суда
Права собственности на брошенные отходы	принадлежит государству	принадлежит владельцу земельного участка

В отношении отходов горнодобывающего комплекса законодательство о недрах вступает в противоречие с Гражданским кодексом РФ, который признает отходы движимым имуществом и наделяет правами собственности на них того, кто их образовал, что требует нормативно-правового урегулирования этого противоречия.

При этом федеральным законом №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» установлено, что право собственности на отходы определяется в соответствии с гражданским законодательством.

Заключение

Неоднозначное правовое регулирование обращения и управления отходами недропользования фактически препятствует реализации экологической политики государства, предусматривающей безопасное обращение с отходами недропользования путем их утилизации при вовлечении в повторный хозяйственный оборот, что часто усложняет реализацию, делает горные проекты экономически невыгодными и предполагает

устранение правовых коллизий на законодательном уровне.

Для обеспечения комплексного подхода к рациональному использованию и охране недр необходимо уже на этапе технико-экономического обоснования и подсчета запасов базового месторождения принятие решений, направленных не только на эффективную разработку природных минеральных ресурсов, но и на решение технологических задач экологически сбалансированного использования сырья техногенных образований и текущих отходов добычи и переработки полезных ископаемых.

В настоящее время на государственном уровне идет работа по оказанию содействия в разрешении имеющихся законодательных противоречий.

Список литературы

1. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Залевская К.Н. и др., 2019. Проблемы и перспективы вовлечения хвостов обогащения золото-мышьяковистых руд в эксплуатацию для решения экологических проблем региона. *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность*, С. 142-147. URL: <https://repository.rudn.ru/tu/records/article/record/69648/> (дата обращения 15.07.2023)
2. Джевага Н.В., Чухланцева Т.И., 2022. Промышленные отходы в горнодобывающей отрасли: современное состояние и пути решения проблем. *Наука, технологии, общество: экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий: Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции с международным участием*. Красноярск: Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Т 6, С. 210 – 216.
3. Отчет о НИР (шифр 19-11-НИР/02) по теме: «Совершенствование системы государственного регулирования отношений недропользования при осуществлении геологического изучения, разведки и добычи полезных ископаемых, содержащихся в отходах недропользования», 2020.
4. Christenson H., Pope J., Craw D., 2018. Characterisation of arsenic geochemistry in mine tailings from a mesothermal gold deposit. *11th Conference «Risk to Opportunity»*, Р. 6.
5. Mhlongo S.E., Amponsah-Dacosta F., Kadyamatimba, A., 2019. Development and application of a methodological tool for prioritization of rehabilitation of abandoned tailings dumps in the Giyani and Musina areas of South Africa. *Cogent Engineering*, Vol. 6(1).
6. Бабасов А.Г., 2020. Технико-экономическая оценка целесообразности выемки и переработки отвальных хвостов из карьера Главный на Карагайлинской ОФ ТОО «Корпорация Казахмыс». *Металлогенез древних и современных океанов*, № 1, С. 112 – 116.
7. Коробова О.С., 2020. Механизмы стимулирования реализации проектов в сфере обращения с отходами недропользования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*, № 6, С. 87 – 94.
8. Рыльникова М.В., Швабенланд Е.Е., Цупкина М.В., Джаппуев Р.К., 2021. Нормативно-правовые подходы к вовлечению в эксплуатацию техногенных минеральных образований. *Рациональное освоение недр*, № 1, С. 24 – 29.
9. Рыбак Я., Горбатюк С.М., Конгар-Сюрюн Ч.Б., Хайрутдинов А.М., Тюляева Ю.С., Макаров П.С., 2020. Утилизация техногенных отходов горно-металлургических комплексов – способ расширения минерально-сырьевой базы предприятия. *Металлург*, № 9, С. 8 – 16.
10. Иванков С.И., Троицкий А.В., Скобелев К.Д., 2021. Современные тенденции создания технологии переработки и утилизации отходов обогащения горно-обогатительной отрасли. *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*, № 2, С. 2 - 39.
11. Мочалова Л.А., Еремеева О.С. 2021. Нормативно-правовое обеспечение управления отходами недропользования и использования вторичных минеральных ресурсов в условиях развития циркулярной экономики. *Дискуссия*, № 5 (108), С. 26 – 38.
12. Чернявский А.Г., 2020. О проблеме освоения техногенных ресурсов. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, № 3 (172), С. 58 – 64.

References

1. Ryl'nikova M.V., Radchenko D.N., Zalevskaya K.N. i dr., 2019. Problemy i perspektivy vovlecheniya khvostov obogashcheniya zoloto-mysh'yakovistykh rud v ekspluatsiyu dlya resheniya ekologicheskikh problem regiona [Problems and prospects of involving tailings of gold-arsenic ore enrichment in operation to solve environmental problems of the region]. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost'*, P. 142-147. URL: <https://repository.rudn.ru/ru/records/article/ record/69648/> (data obrashcheniya 15.07.2023)
2. Dzhevaga N.V., Chukhlantseva T.I., 2022. *Promyshlennye otkhody v gornodobychayushchey otrassli: sovremennoe sostoyanie i puti resheniya problem* [Industrial waste in the mining industry: current state and ways to solve problems]. Nauka, tekhnologii, obshchestvo: ekologicheskii inzhiniring v interesakh ustoichivogo razvitiya territorii: Sbornik nauchnykh trudov III Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarod-nym uchastiem. Krasnoyarsk: Krasnoyarskii kraevoi Dom nauki i tekhniki RosSNIO, Vol 6, P. 210 – 216.
3. Otchet o NIR (shifr 19-11-NIR/02) po teme: "Sovershenstvovanie sistemy gosudarstvennogo regulirovaniya otnoshenii nedropol'zovaniya pri osushchestvlenii geologicheskogo izucheniya, razvedki i dobychi poleznykh iskopaemykh, soderzhashchikhsya v otkho-dakh nedropol'zovaniya", 2020 [Scientific research report (code 19-11- science research/02) on the topic: «Improvement of the system of state regulation of subsurface use relations in the implementation of geological study, exploration and extraction of minerals contained in subsurface use waste», 2020].
4. Christenson H., Pope J., Craw D., 2018. Characterisation of arsenic geochemistry in mine tailings from a mesothermal gold deposit. *11th Conference «Risk to Opportunity»*, P. 6.
5. Mhlongo S.E., Amponsah-Dacosta F., Kadyamatimba, A., 2019. Development and application of a methodological tool for prioritization of rehabilitation of abandoned tailings dumps in the Giyani and Musina areas of South Africa. *Cogent Engineering*, Vol. 6(1).
6. Babasov A.G., 2020. Tekhniko-ekonomiceskaya otsenka tselesoobraznosti vyemki i pererabotki otval'nykh khvostov iz kar'era Glavnyi na Karagailinskoi OF TOO "Korporatsiya Kazakhmys" [Technical and economic assessment of the feasibility of dredging and processing of dump tailings from the Glavny quarry at the Karagailinskaya OF of Kazakhmys Corporation LLP]. *Metallogeniya drevnikh i sovremennoy okeanov*, № 1, P. 112 – 116.
7. Korobova O.S., 2020. Mekhanizmy stimulirovaniya realizatsii proektorov v sfere obrashcheniya s otkhodami nedropol'zovaniya [Mechanisms for stimulating the implementation of projects in the field of waste management of subsurface use]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka*, № 6, P. 87 – 94.
8. Ryl'nikova M.V., Shvabenland E.E., Tsupkina M.V., Dzhappuev R.K., 2021. Normativno-pravovye podkhody k vovlecheniyu v ekspluatatsiyu tekhnogennykh mineral'nykh obrazovanii [Regulatory and legal approaches to the involvement in the exploitation of technogenic mineral formations]. *Ratsional'noe osvoenie nedr*, № 1, P. 24 – 29.
9. Rybak Ya., Gorbatyuk S.M., Kongar-Syuryun Ch.B., Khairutdinov A.M., Tyulyaeva Yu.S., Makarov P.S., 2020. Utilizatsiya tekhnogennykh otkhodov gorno-metallurgicheskikh kompleksov – sposob rasshireniya mineral'no-syr'evoi bazy predpriyatiya [Utilization of technogenic waste of mining and metallurgical complexes as a way to expand the mineral resource base of the enterpris]. *Metallurg*, № 9, P. 8 – 16.
10. Ivankov S.I., Troitskii A.V., Skobelev K.D., 2021. Sovremennye tenden-tsii sozdaniya tekhnologii pererabotki i utilizatsii otkhodov obogashcheniya gorno-obogatitel'noi otrassli [Modern trends in the creation of technology for processing and disposal of enrichment waste in the mining and processing industry]. *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchey sredy*, № 2, P. 2 – 39.
11. Mochalova L.A., Eremeeva O.S. 2021. Normativno-pravovoe obespechenie upravleniya otkhodami nedropol'zovaniya i ispol'zovaniya vtorichnykh mineral'nykh resursov

v usloviyakh razvitiya tsirkulyarnoi ekonomiki [Regulatory and legal support for waste management of subsurface use and use of secondary mineral resources in the conditions of development of the circular economy]. Diskussiya, № 5 (108), P. 26 – 38.

12. Chernyavskii A.G., 2020. O probleme osvoeniya tekhnogennykh resursov [On the problem of the development of technogenic resources]. Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie, № 3 (172), P. 58 – 64.



ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 622.271:622.6

Вашлаев¹ Иван Иванович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт химии и химической технологии –
Обособленное подразделение Федерального ис-
следовательского центра «Красноярский науч-
ный центр» СО РАН,
660036, Красноярский край, г. Красноярск,
ул. Академгородок, 50 стр. 24
e-mail: vash49@gmail.com

Михайлов Александр Геннадьевич

доктор технических наук,
заведующий лабораторией минерального сырья,
Институт химии и химической технологии –
Обособленное подразделение
Федерального исследовательского центра
«Красноярский научный центр» СО РАН
e-mail: alemikh@yandex.ru

Селиванов Анатолий Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
Сибирский государственный
университет науки и технологий
имени академика М.Ф. Решетнева,
660037, Красноярский край, г. Красноярск, про-
спект им. газеты Красноярский рабочий, 31
e-mail: imanselivan@gmail.com

ОБОСНОВАНИЕ ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ КЛИНОВИДНЫХ БЛОКОВ С УЧЕТОМ ОПТИМИЗАЦИИ ГРУЗОПОТОКОВ ГОРНОЙ МАССЫ

Аннотация:

Приведена методика аналитического определения оптимального распределения грузопотоков при перевозке горной массы автомобильным транспортом. В качестве параметра, по которому производится оптимизация, принятая транспортная работа – произведение объема горной массы на расстояние транспортирования. Суть метода заключается в изучении различных вариантов отработки клиновидных блоков, определения транспортной работы и оптимизации ее на основе известных математических методов. С этой целью используется регрессионный анализ и решение уравнений. В качестве альтернативного (вспомогательного) можно использовать графический метод.

Цель работы – снижение транспортных расходов на вывозку горной массы путем оптимизации грузопотоков автомобильного транспорта.

Ключевые слова: клиновидный блок, грузопоток, оптимизация, транспортная работа, веерное подвигание, фронт работ.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.109

Vashlaev Ivan I.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, Researcher,
Institute of Chemistry and Chemical Technology –
Separate Division of the Federal Research Center
"Krasnoyarsk Scientific Center",
Siberian Branch of RAS,
660036 Krasnoyarsk,
50 Akademgorodok Str., build. 24
e-mail: vash49@gmail.com

Mikhailov Alexander G.

Doctor of Engineering Sciences,
Head of the Laboratory of Mineral Raw Materials,
Institute of Chemistry and Chemical Technology –
Separate Division of the Federal Research Center
"Krasnoyarsk Scientific Center"
Siberian Branch of RAS
e-mail: alemikh@yandex.ru

Selivanov Anatoly V.

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Siberian State University of Science
and Technology named after Academician
M.F. Reshetnev
660037 Krasnoyarsk, 31 Krasnoyarsky Rabochy
e-mail: imanselivan@gmail.com.

JUSTIFICATION OF THE PROCEDURE FOR DEVELOPMENT OF WEDGE-SHAPED BLOCKS TAKING INTO ACCOUNT THE OPTIMIZATION OF ROCK CARGO FLOWS

Abstract:

The paper concerns the analytical procedure for determining the optimal distribution of cargo flows during transportation of rock mass by road. As a parameter by which optimization is carried out, transport work is taken – the intersection of the volume of rock mass and the transportation distance. The essence of the method lies in the study of various options for working out wedge-shaped blocks, determining transport work and optimizing it based on known mathematical methods. Regression analysis and equation solving are used for this purpose. As an alternative (auxiliary), one can use a graphical method. Purpose of work: reduced transportation costs for the excavation of rock mass by optimizing freight flows of road transport.

Key words: wedge-shaped block, cargo flow, optimization, transport work, radial sweep, work front.

¹ В честь юбилея замечательного человека и ученого Корнилкова С.В., с которым знаком и дружны со дня учебы в аспирантуре и до настоящего времени.



Введение

В структуре затрат на добычу полезного ископаемого затраты на автомобильный транспорт могут достигать 50 – 60 %, поэтому нужно в первую очередь снижать расходы на транспортирование. Это актуально для всех систем разработки, в том числе для систем разработки с веерным подвиганием фронта работ с учетом того, что они в меньшей степени изучены.

Веерная центральная система разработки применяется при округлой и близкой к треугольной конфигурации карьерного поля, позволяющей удобно расположить постоянный поворотный пункт [1]. Изучение параметров веерного подвигания фронта горных работ рассмотрено в работах [2 – 9]. Исследования по данной тематике носят специфический характер, данными вопросами занимались в Сибирском федеральном университете и ОАО «СУЭК-Красноярск». В зарубежной литературе не найдено аналогичных исследований. Хотя с учетом того, что затраты на транспортирование горной массы при добыче полезных ископаемых могут достигать 50 – 55 % и более, необходимо изучить с учетом специфики веерного подвигания фронта работ возможности снижения транспортных затрат.

Веерное подвигание фронта работ применяется при разработке горизонтальных и пологопадающих месторождений. Фронт работ перемещается здесь по мере отработки уступов так, что начало его находится всегда у постоянного поворотного пункта, а конец описывает при перемещении окружность радиусом, равным длине уступа.

Реализация веерного перемещения фронта горных работ (рис. 1) предполагает отработку выемочных блоков переменной ширины в форме треугольника [6] или трапеции – клиновидно-эксплуатационный блок (КЭБ), следовательно, объемы полезного ископаемого и вскрышных пород в отдельных выемочных участках будут различные. При разработке уступов экскаваторно-автомобильными комплексами имеется возможность транспортирования горной массы через оба фланга КЭБ. Поэтому целесообразно рассмотреть вопрос обоснования порядка отработки клиновидных блоков с учетом оптимизации грузопотоков пород вскрыши.

Разработка методики оптимизации транспортной работы

Впервые данный вопрос рассмотрен в работах [3, 6], однако получен не совсем корректный результат, и требуется более четкая формализация методики оптимизации.

Объектом исследования является клиновидный блок, схема которого приведена на рис. 2. В качестве параметра, по которому производится оптимизация, принята транспортная работа – произведение объема горной массы на расстояние транспортирования.

В данном исследовании рассматривается порядок разработки клиновидных блоков экскаваторно-автомобильными комплексами по двум вариантам:

- *Вариант 1* – порядок отработки блоков и транспортирование горной массы через широкую сторону КЭБ (от 30 пикета к 0);
- *Вариант 2* – порядок отработки блоков и транспортирование горной массы через узкую сторону КЭБ (от 0 пикета к 30).

Клиновидный блок разбит на участки, границы которых обозначены пикетами. Положение автодороги, которая ведет к отвалам, условно принято в середине блока (фронта горных работ). Поэтому все расчеты будем производить на расстояние транспортирования до флангов. Высота уступа принята равной 10 м.

Определяем площадь каждого участка (элементарного участка) по формуле

$$\Delta S = \operatorname{tg} \alpha \int\limits_a^b l dl, \text{ м}^2, \quad (1)$$

где α – угол клиновидного блока, град; l – длина участка, м.

Далее рассчитываются следующие параметры: расстояние транспортирования $l_{mp.i}$, м; объем каждого элементарного блока $\Delta S_i * V_i$, тыс. м³; транспортная работа по

элементарному блоку $V_i * l_{\text{тр},i}$, тыс. м³·км; интегральная транспортная работа $\sum V_i * l_{\text{тр},i}$, тыс. м³·км; интегральные объемы $\sum V_i$, тыс. м³ и средневзвешенное расстояние транспортирования $L_{\text{срвз}}$, км. Все расчетные показатели приведены в табл. 1 и 2.

$$l_{\text{тр},i} = l/2 + l \cdot (i-1), \text{ м.} \quad (2)$$

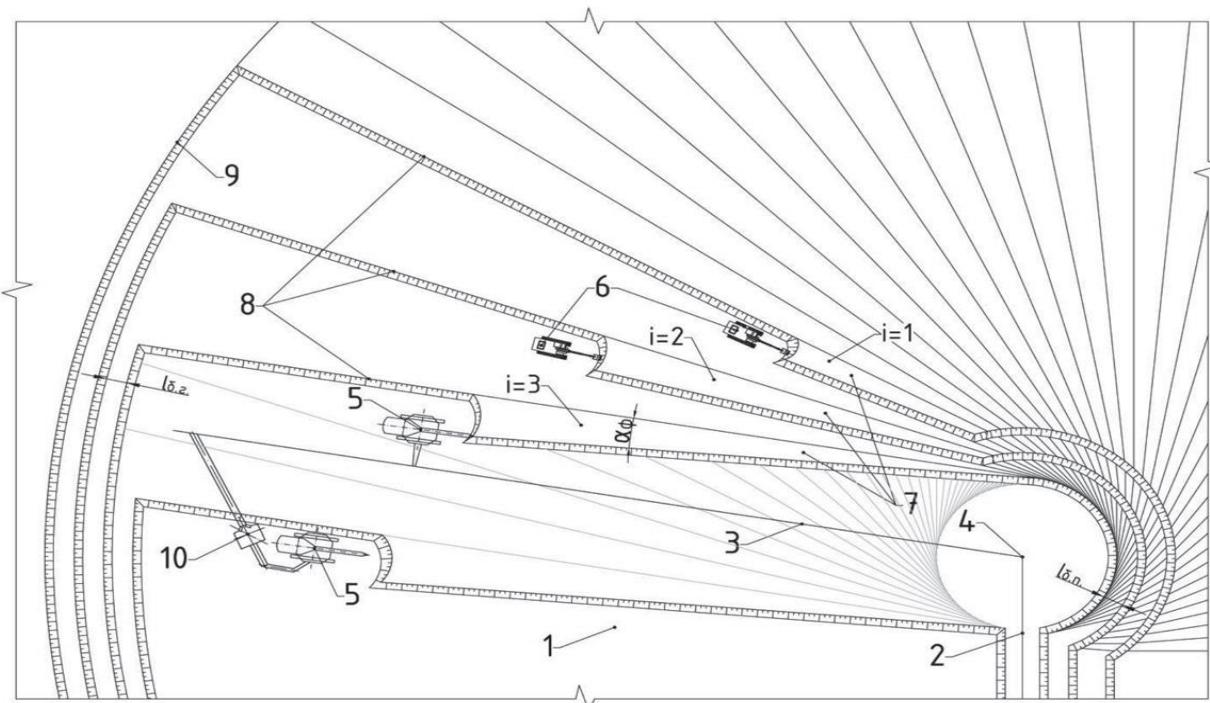


Рис. 1. Технологическая схема разработки угольных месторождений при веерной системе разработки несколькими уступами:

1 – выработанное пространство; 2 – ось магистральных транспортных коммуникаций;
 3 – ось забойных транспортных коммуникаций; 4 – стационарный поворотный пункт транспортных коммуникаций; 5 – роторный комплекс; 6 – выемочно-погрузочные комплексы циклического действия; 7 – КЭБ; 8 – линии фронта горных работ на каждом горизонте; 9 – граница карьерного поля; 10 – межуступный перегружатель;

l – расстояние бермы безопасности (транспортной) на границе карьерного поля, м;
 б. п. б. г. – расстояние бермы безопасности (транспортной) со стороны поворотного пункта, м [3]

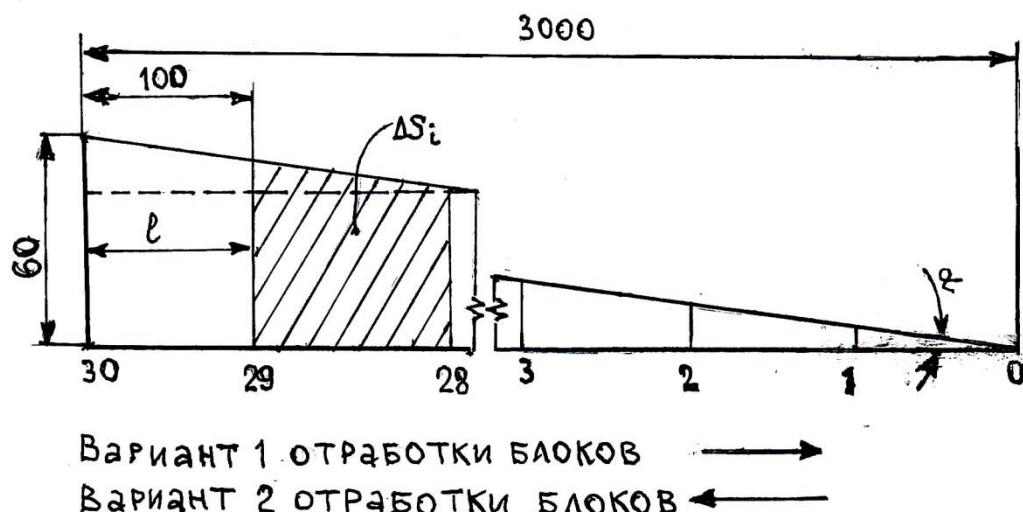


Рис. 2. Схема клиновидного блока



Таблица 1
Транспортирование через широкую сторону КЭБ (вариант 1)

№ пикета	Расстояние транспорти- рования ($l_{mp,i}$), м	Площадь элементар- ного блока (ΔS_i), тыс. м ²	Объем эле- ментарного блока (V_i), тыс. м ³	Транспортная работа по элементар- ному блоку ($V_i L_i$), тыс. м ³ ·км	Интегральная транспортная работа ($\sum V_i L_i$), тыс. м ³ ·км	Интеграль- ный объем ($\sum V_i$), тыс. м ³	Средне взвешенное расстояние транспор- тирования ($L_{срв3}$), км
30	50,0	5,90	59,0	2,95	2,95	59,00	0,0500
29	150,0	5,70	57,0	8,55	11,50	116,00	0,0991
28	250,0	5,50	55,0	13,75	25,25	171,00	0,1477
27	350,0	5,30	53,0	18,55	43,80	224,00	0,1955
26	450,0	5,10	51,0	22,95	66,75	275,00	0,2427
25	550,0	4,90	49,0	26,95	93,70	324,00	0,2892
24	650,0	4,70	47,0	30,55	124,25	371,00	0,3349
23	750,0	4,50	45,0	33,75	158,00	416,00	0,3798
22	850,0	4,30	43,0	36,55	194,55	459,00	0,4239
21	950,0	4,10	41,0	38,95	233,50	500,00	0,4670
20	1050,0	3,90	39,0	40,95	274,45	539,00	0,5092
19	1150,0	3,70	37,0	42,55	317,00	576,00	0,5503
18	1250,0	3,50	35,0	43,75	360,75	611,00	0,5904
17	1350,0	3,30	33,0	44,55	405,30	644,00	0,6293
16	1450,0	3,10	31,0	44,95	450,25	675,00	0,6670
15	1550,0	2,90	29,0	44,95	495,20	704,00	0,7034
14	1650,0	2,70	27,0	44,55	539,75	731,00	0,7384
13	1750,0	2,50	25,0	43,75	583,50	756,00	0,7718
12	1850,0	2,30	23,0	42,55	626,05	779,00	0,8037
11	1950,0	2,10	21,0	40,95	667,00	800,00	0,8338
10	2050,0	1,90	19,0	38,95	705,95	819,00	0,8620
9	2150,0	1,70	17,0	36,55	742,50	836,00	0,8882
8	2250,0	1,50	15,0	33,75	776,25	851,00	0,9122
7	2350,0	1,30	13,0	30,55	806,80	864,00	0,9338
6	2450,0	1,10	11,0	26,95	833,75	875,00	0,9529
5	2550,0	0,90	9,0	22,95	856,70	884,00	0,9691
4	2650,0	0,70	7,0	18,55	875,25	891,00	0,9823
3	2750,0	0,50	5,0	13,75	889,00	896,00	0,9922
2	2850,0	0,30	3,0	8,55	897,55	899,00	0,9984
1	2950,0	0,10	1,0	2,95	900,50	900,00	1,0006



Таблица 2

Транспортирование через узкую сторону КЭБ (вариант 2)

№ пикета	Расстояние транспортирования ($l_{mp,i}$), м	Площадь элементарного блока (ΔS_i), тыс. м ²	Объем элементарного блока (V_i), тыс. м ³	Транспортная работа по элементарному блоку ($V_i L_i$), тыс. м ³ ·км	Интегральная транспортная работа ($\sum V_i L_i$), тыс. м ³ ·км	Интегральный объем ($\sum V_i$), тыс. м ³	Средне взвешенное расстояние транспортирования (L_{cpv3}), км
1	50	0,10	1,0	0,05	0,05	1,00	0,0500
2	150	0,30	3,0	0,45	0,50	4,00	0,1250
3	250	0,50	5,0	1,25	1,75	9,00	0,1944
4	350	0,70	7,0	2,45	4,20	16,00	0,2625
5	450	0,90	9,0	4,05	8,25	25,00	0,3300
6	550	1,10	11,0	6,05	14,30	36,00	0,3972
7	650	1,30	13,0	8,45	22,75	49,00	0,4643
8	750	1,50	15,0	11,25	34,00	64,00	0,5313
9	850	1,70	17,0	14,45	48,45	81,00	0,5981
10	950	1,90	19,0	18,05	66,50	100,00	0,6650
11	1050	2,10	21,0	22,05	88,55	121,00	0,7318
12	1150	2,30	23,0	26,45	115,00	144,00	0,7986
13	1250	2,50	25,0	31,25	146,25	169,00	0,8654
14	1350	2,70	27,0	36,45	182,70	196,00	0,9321
15	1450	2,90	29,0	42,05	224,75	225,00	0,9989
16	1550	3,10	31,0	48,05	272,80	256,00	1,0656
17	1650	3,30	33,0	54,45	327,25	289,00	1,1324
18	1750	3,50	35,0	61,25	388,50	324,00	1,1991
19	1850	3,70	37,0	68,45	456,95	361,00	1,2658
20	1950	3,90	39,0	76,05	533,00	400,00	1,3325
21	2050	4,10	41,0	84,05	617,05	441,00	1,3992
22	2150	4,30	43,0	92,45	709,50	484,00	1,4659
23	2250	4,50	45,0	101,25	810,75	529,00	1,5326
24	2350	4,70	47,0	110,45	921,20	576,00	1,5993
25	2450	4,90	49,0	120,05	1041,25	625,00	1,6660
26	2550	5,10	51,0	130,05	1171,30	676,00	1,7327
27	2650	5,30	53,0	140,45	1311,75	729,00	1,7994
28	2750	5,50	55,0	151,25	1463,00	784,00	1,8661
29	2850	5,70	57,0	162,45	1625,45	841,00	1,9328
30	2950	5,90	59,0	174,05	1799,50	900,00	1,9994

По транспортной работе строятся графики нарастающих объемов в зависимости от порядка отработки блоков (направления грузопотока) (см. рис. 2) и по стандартным программам математической статистики вычисляются уравнения регрессии зависимости интегральной транспортной работы от порядка отработки блоков. Из графика (см. рис. 2) и табл. 1 и 2 видно, что при отработке КЭБ со стороны широкой части в сторону узкой

и направлении грузопотока в сторону широкой части (вариант 1) экономичнее варианта 2 (направление порядка отработки КЭБ со стороны узкой части в сторону широкой и, соответственно, направление грузопотока в сторону узкой) по транспортной работе в два раза.

Уравнение регрессии по варианту 1 (грузопоток направлен в сторону широкой части КЭБ (левый фланг блока)) имеет следующий вид и функциональную зависимость:

$$y = 0,0667x^3 - 3,2x^2 + 6,1833x + 897,45, \text{ тыс. м}^3 \cdot \text{км}, \quad (3)$$

где y – интегральная транспортная работа, тыс. $\text{м}^3 \cdot \text{км}$; x – номер пикета.

Для варианта 2 (грузопоток направлен в сторону узкой части КЭБ) также получена зависимость с высоким коэффициентом регрессии:

$$y = 0,0667x^3 - 4E-13x^2 - 0,0167x - 5E-11, \text{ тыс. м}^3 \cdot \text{км}, \quad (4)$$

где y – интегральная транспортная работа, тыс. $\text{м}^3 \cdot \text{км}$; x – номер пикета.

Оптимальный вариант грузоперевозок будет при комбинации грузопотоков, т. е. при равенстве транспортных работ для 1-го и 2-го вариантов. Приравняв между собой уравнения (3) и (4), получим

$$y = -3,2x^2 + 6,2x + 897,45. \quad (5)$$

Решив уравнение (5), найдем значение x и далее определяем расстояние до оптимальной точки клиновидно-эксплуатационного блока, при котором транспортные работы при первом и втором варианте равны. Решению уравнения соответствует $x = 17,74$, это будет точка между 17 и 18-м пикетом, в пересчете на расстояние от нулевого пикета равно 1774 м, транспортная работа для первого и второго вариантов по формулам (3), (4) равна 371 тыс. $\text{м}^3 \cdot \text{км}$. Подтверждением правильности расчета является точка пересечения графиков (рис. 3) транспортной работы, что соответствует наилучшему варианту распределения грузопотоков. Суммарная транспортная работа при комбинации грузопотоков будет равна $371+371=742$ тыс. $\text{м}^3 \cdot \text{км}$, что лучше первого варианта на 21 % и лучше второго – на 242 %. Средневзвешенное расстояние транспортирования оптимального варианта составит 0,824 км. Минимизация транспортной работы соответствует минимизации затрат на транспортирование для принятой технологии отработки и снижению общих затрат на разработку месторождения.

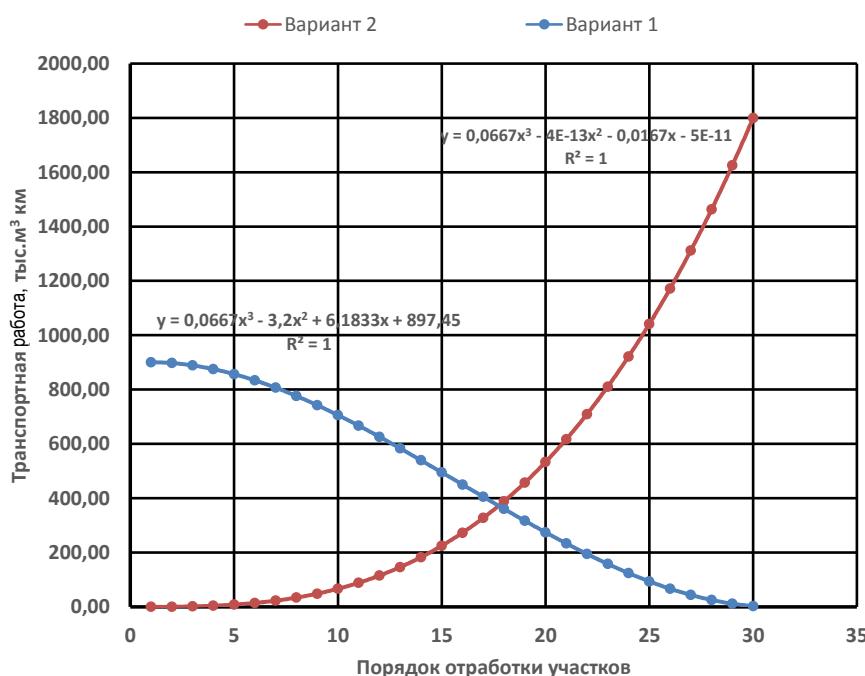


Рис. 3. Изменение нарастающих объемов транспортной работы от порядка отработки элементарных участков



Порядок отработки КЭБ следующий: если начинается отработка от нулевого пикета (вариант 2), при достижении длины фронта работ 1774 м (точка оптимальности) должны изменить направление грузопотока в противоположную сторону (через широкую сторону КЭБ). Аналогично должна вестись выемка пород со стороны 30 пикета (вариант 1), и при транспортировании пород через широкую сторону КЭБ, достигнув точки оптимальности, меняем направление грузопотока на противоположное (через узкую сторону КЭБ). Т. е. горная масса, находящаяся между 30 пикетом и точкой оптимальности, должна транспортироваться через широкую сторону КЭБ, а горная масса между нулевым пикетом и точкой оптимальности должна вывозиться через узкую сторону КЭБ.

В данной статье рассмотрена оптимизация транспортной работы для упрощенного варианта отработки: уклон клиновидно-эксплуатационного блока равен нулю, качество автодороги на горизонте одинаковое. Для дальнейшего изучения необходимо учитывать полную трассу транспортирования от места погрузки до разгрузки на отвале с учетом качества дороги, уклона и длины трассы. Учет основных параметров трассы рекомендуется производить на основе приведения ее длины к горизонтальному эквиваленту [10-11].

Выходы

- При отработке КЭБ со стороны широкой части в сторону узкой и направлении грузопотока в сторону широкой части (вариант 1) экономичнее по транспортной работе варианта 2 (направление порядка отработки КЭБ со стороны узкой части в сторону широкой и, соответственно, направлении грузопотока в сторону узкой) в два раза.
- Снижение объема транспортных работ приводит и к снижению затрат на транспортирование горной массы.
- Горная масса, находящаяся между 30 пикетом и точкой оптимальности, должна транспортироваться через широкую сторону КЭБ, а горная масса между нулевым пикетом и точкой оптимальности должна вывозиться через узкую сторону КЭБ.
- Приведенная выше методика оптимизации грузопотоков позволяет снизить объем транспортной работы относительно варианта 1 на 15 – 23 % и относительно варианта 2 – на 220 – 250 %, что позволяет получить значительный экономический эффект.
- Данная работа является теоретическим развитием технологии горных работ при веерной разработке месторождений.
- Для оценки и оптимизации грузопотоков от забоя до пунктов разгрузки нужно использовать метод приведения трассы транспортирования к горизонтальному эквиваленту.
- В статье изложены базовые принципы обоснования направления грузопотоков при отработке КЭБ, которые в реальных условиях могут быть расширены и усовершенствованы на базе геоинформационных технологий планирования горных работ.

Список литературы

1. Ржевский В.В., 1980. *Технология и комплексная механизация открытых горных работ*. Учебник, изд. 3, перераб. и доп. Москва: Недра, 631 с.
2. Шорохов В.П., Кисляков В.Е., 2012. *Веерное подвигание фронта работ при разработке мощных угольных пластов*: LAP LAMBERT Academic Publishing. Красноярск: СФУ, 77 с.
3. Катышев П.В., Кисляков В.Е., Вокин В.Н., 2016. Обоснование направления транспортирования вскрышных пород при веерной системе разработки. *Успехи современного естествознания*, № 12, ч. 1, С. 162 – 166.
4. Катышев П.В., Кисляков В.Е., 2016. Обоснование параметров фронта горных работ при отработке пологопадающих угольных месторождений веерной системой. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии*, Т. 9, № 2, С. 166 – 173.



5. Новожилов М.Г., Хохряков В.С., Пчёлкин Г.Д., Эскин В.С., 1971. *Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Ч. 2.* Москва: Недра, 552 с.
6. Катышев П.В., 2018. *Обоснование технологии выемки пологопадающих угольных месторождений при веерной системе разработки*: дис. ... канд. техн. наук, 143 с.
7. Катышев П.В., Кисляков В.Е. 2016. Обоснование параметров фронта горных работ при отработке пологопадающих угольных месторождений веерной системой. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии*, Т. 9, № 2, С. 166 – 173.
8. Кисляков В.Е., Катышев П.В., 2014. Исследование развития фронта горных работ на пологопадающих месторождениях при веерной системе разработки. *Маркидерия и недропользование*, Т. 2, С. 42 – 44.
9. Кисляков В.Е., Никитин А.В., Катышев П.В., Сенаторов Д.С., 2013. Работа экскаваторов типа ЭКГ в клиновидной заходке. *Маркидерия и недропользование*, Т. 5, С. 44 – 50.
10. Лель Ю.И., Салахиев Р.Г., Арефьев С.А., Сандригайло И.Н., 2014. Совершенствование нормирования расхода топлива карьерными автосамосвалами на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы. *Известия вузов. Горный журнал*, № 2, С. 107 – 115.
11. Ващаев И.И., Селиванов А.В., 2011. Управление погрузочно-транспортными процессами на открытых горных работах на основе интегрального показателя горнотехнических условий транспортирования. *Открытые горные работы в XXI веке: Сб. материалов Международной науч.-практ. конф. (4 – 7 октября 2011 г.)*, Красноярск, С. 250 - 256.

References

1. Rzhevskii V.V., 1980. *Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya otkrytykh gornykh rabot* [Technology and complex mechanization of open-pit mining]. Uchebnik, izd. 3, pererab. i dop. Moscow: Nedra, 631 p.
2. Shorokhov V.P., Kislyakov V.E., 2012. *Veernoe podviganie fronta rabot pri razrabotke moshchnykh ugol'nykh plastov* [Radial advance of the front of work in the development of powerful coal seams]: LAP LAMBERT Academic Publishing. Krasno-yarsk: SFU, 77 p.
3. Katyshev P.V., Kislyakov V.E., Vokin V.N., 2016. *Obosnovanie napravleniya transportirovaniya vskryshnykh porod pri veernoii sisteme razrabotki*. [Justification of the direction of transportation of overburden rocks with the radial system of development]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, № 12, ch. 1, P. 162 – 166.
4. Katyshev P.V., Kislyakov V.E., 2016. *Obosnovanie parametrov fronta gornykh rabot pri otrabotke pologopadayushchikh ugol'nykh mestorozhdenii veernoii sistemoi* [Substantiation of the parameters of the front of mining operations during the development of gently falling coal deposits by radial system]. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: tekhnika i tekhnologii, Vol. 9, № 2, P. 166 – 173.
5. Novozhilov M.G., Khokhryakov V.S., Pchelkin G.D., Eskin V.S., 1971. *Tekhnologiya otkrytoi razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Technology of open mining of mineral deposits]. Ch. 2. Moscow: Nedra, 552 s.
6. Katyshev P.V., 2018. *Obosnovanie tekhnologii vyemki pologopadayushchikh ugol'nykh mestorozhdenii pri veernoii sisteme razrabotki* [Justification of the technology of excavation of gently falling coal deposits with a radial system of development]: dis. ... kand. tekhn. nauk, 143 p.
7. Katyshev P.V., Kislyakov V.E. 2016. *Obosnovanie parametrov fronta gornykh rabot pri otrabotke pologopadayushchikh ugol'nykh mestorozhdenii veernoii sistemoi* [Substantiation of the parameters of the front of mining operations during the development of gently falling



coal deposits by the radial system]. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: tekhnika i tekhnologii, Vol. 9, № 2, P. 166 – 173.

8. Kislyakov V.E., Katyshev P.V., 2014. Issledovanie razvitiya fronta gornykh rabot na pologopadayushchikh mestorozhdeniyakh pri veernoj sisteme razrabotki [Investigation of the development of the front of mining operations on gently falling deposits with radial system of development]. Marksheideriya i nedropol'zovanie, Vol. 2, P. 42 – 44.

9. Kislyakov V.E., Nikitin A.V., Katyshev P.V., Senatorov D.S., 2013. Rabota ekskavatorov tipa EKG v klinovidnoi zakhodke [Work of excavators of the EKG type in a wedge-shaped approach]. Marksheideriya i nedropol'zovanie, Vol. 5, P. 44 – 50.

10. Lel' Yu.I., Salakhiev R.G., Aref'ev S.A., Sandrigailo I.N., 2014. Sovershnenstvovanie normirovaniya raskhoda topliva kar'ernymi avtosamosvalami na osnove gorizonta'nykh ekvivalentov vertikal'nogo peremeshcheniya gornoj massy [Improving the rationing of fuel consumption by quarry dump trucks based on horizontal equivalents of vertical movement of rock mass]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal, № 2, P. 107 – 115.

11. Vashlaev I.I., Selivanov A.V., 2011. Upravlenie pogruzochno-transportnymi protsessami na otkrytykh gornykh rabotakh na osnove integral'nogo pokazatelya gornotekhnicheskikh uslovii transportirovaniya [Management of loading and transport processes in open-pit mining operations based on an integral indicator of mining technical conditions of transportation]. Otkrytie gornye raboty v XXI veke: Sb. materialov Mezhdunarodnoi nauch.-prakt. konf. (4 – 7 oktyabrya 2011g.), Krasnoyarsk, P. 250 - 256.

УДК 550.834

Жикин Александр Андреевич

младший научный сотрудник,
Горный институт Уральского отделения РАН,
614007, г. Пермь, ул. Сибирская 78-А
e-mail: alexzhikin@gmail.com

Санфиров Игорь Александрович

доктор технических наук, профессор,
директор,
Горный институт Уральского отделения РАН
e-mail: sanf@mi-perm.ru

Фатькин Константин Борисович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Горный институт Уральского отделения РАН
e-mail: asa@mi-perm.ru

**КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЛНОВЫХ
ОБРАЗОВ ТИПОВЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
НЕОДНОРОДНОСТЕЙ СОЛЯНОЙ
ТОЛЩИ ВЕРХНЕКАМСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ И
МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ****Аннотация:**

Рассмотрены типичные структурные и структурно-литологические неоднородности соляной толщи Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (ВКМКС), влияющие на безопасность ведения горных работ. Обоснована возможность выделения неоднородностей соляных комплексов с применением сейсморазведочных технологий в рамках реализации наземных и шахтных сейсморазведочных исследований. Представлены результаты сейсмического моделирования для структур аномального строения ВКМКС, рассчитаны динамические характеристики теоретических волновых картин и выявлены закономерности их изменения. Обобщены признаки проявления конкретных неоднородностей соляной толщи в сейсмических атрибутах волнового поля.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение солей, шахтная и малоглубинная сейсморазведка, геологические неоднородности, сейсмическое моделирование, динамические параметры волнового поля.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.03.118

Zhikin Alexander A.

Junior Researcher,
Mining Institute, Ural Branch of RAS,
614007 Perm, 78-A Sibirskaya Str.
e-mail: alexzhikin@gmail.com

Sanfirov Igor A.

Doctor of Technical Sciences, Professor, Director,
Mining Institute, Ural Branch of RAS
e-mail: sanf@mi-perm.ru

Fatkin Konstantin B.

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Mining Institute, Ural Branch of RAS
e-mail: asa@mi-perm.ru

**WAVE PATTERNS CLASSIFICATION
OF TYPICAL GEOLOGICAL
HETEROGENEITIES OF THE SALT
FORMATION OF THE UPPER KAMA
POTASSIUM AND MAGNESIUM SALTS
DEPOSIT****Abstract:**

The paper considers typical structural and structural-lithological heterogeneities of the salt strata of the Upper Kama potassium and magnesium salts deposit, which affect the safety of mining operations. The study substantiates the possibility of identifying heterogeneities of salt complexes using seismic technologies in the framework of the implementation of shallow and mine seismic surveys. The results of seismic modeling for the structures of the anomalous structure of the salt deposit are presented, the dynamic characteristics of theoretical wave patterns are calculated, and the patterns of their change are revealed. We generalize here the signs of the specific inhomogeneities of the salt stratum in the seismic attributes of the wave field.

Key words: Upper Kama potassium and magnesium salt deposit, shallow and mine seismic surveys, geological heterogeneities, seismic modeling, dynamic parameters of seismic wave field

Статья посвящается известному российскому ученому в области открытой разработки месторождений, теории проектирования месторождений и геоинформационного моделирования в горном деле, доктору технических наук, профессору Корнилкову Сергею Викторовичу.

Коллектив авторов Горного института УрО РАН горячо поздравляет Сергея Викторовича с юбилеем, желает творческих успехов и крепкого здоровья!



Введение

Крупнейшее в Европе Верхнекамское месторождение калийных и магниевых солей (ВКМКС) имеет сложное геологическое строение, и на отдельных участках горного отвода необходимы детальные исследования и достоверная локализация физико-геологических неоднородностей, представляющих потенциальную угрозу целостности водозащитной толщи и сохранности рудников [1, 2, 3]. Зачастую такие неоднородности имеют незначительные размеры, неоднородное тонкослоистое строение и латеральную изменчивость физических свойств.

ВКМКС является месторождением пластового типа. Геологический разрез может быть осложнен несогласными формами залегания, для изучения которых наиболее подходят модели непараллельно-слоистых сред. Для них характерен ряд общих признаков, таких как тонкая слоистость, с залеганием пластов от субгоризонтального до сложнокладчатого, с параллельными и непараллельными границами раздела пластов; небольшая, до 500 м, глубина залегания продуктивных толщ и значительная латеральная изменчивость физических параметров.

По данным ряда исследователей [4, 5, 6, 7, 8] для ВКМКС к такого рода объектам относятся:

- 1) зоны трещиноватости;
- 2) зоны лито-фациального замещения промышленных пластов в форме галитовых «аномалий» в калийной залежи;
- 3) складчатость;
- 4) участки соляного палеокарста.

Отмеченные особенности строения и свойств обуславливают существенную неоднозначность отображения аномальных структур в волновом поле. Анализ «волновых образов» и закономерностей изменения их динамических и кинематических параметров на основе двумерных (2D) наблюдений позволяет определить тип и пределы распространения подобных неоднородностей [2, 9].

Результаты исследования

С целью уточнения характерных признаков их проявления в волновых полях выполнено математическое моделирование типичных для соляной толщи ВКМКС неоднородностей. Расчет синтетических данных выполнен со следующими параметрами: система наблюдения – симметричная расстановка, шаг между пунктами приема и пунктами возбуждения – 8 м, импульс – симметричный, максимальная частота сигнала 80 Гц, шаг дискретизации – 0,5 мс, количество активных каналов – 64.

Особую опасность при ведении очистных работ представляют собой зоны трещиноватости как водопроницаемые участки массива водозащитной толщи (ВЗТ). Кроме того, в пределах данных зон в интервале продуктивной толщи формируются благоприятные условия для возникновения газодинамических явлений (ГДЯ).

В сейсмогеологической модели зоны трещиноватости отображаются в виде областей с пониженными значениями скоростей распространения сейсмических волн относительно вмещающего массива. Для модели выбран интервал геологического разреза с соляными пластами продуктивной и надпродуктивной толщи. На основании формулы для средней скорости V_{cp} :

$$V_{cp} = \frac{(h_1+h_2)}{\left(\frac{h_1}{V_1} + \frac{h_2}{V_2}\right)},$$

где h_1 и h_2 , V_1 и V_2 – возможные мощности и скорости упрощенной двухфазной модели среды, справедливой для конкретного значения V_{cp} , и, принимая $V_{cp}=V_i$, можно рассчитать варианты причин подобного изменения интервальной скорости (V_i). Таким образом, во всех интервалах в пределах обозначенной нами зоны трещиноватости возможно понижение значений V_i на 150 – 350 м/с.

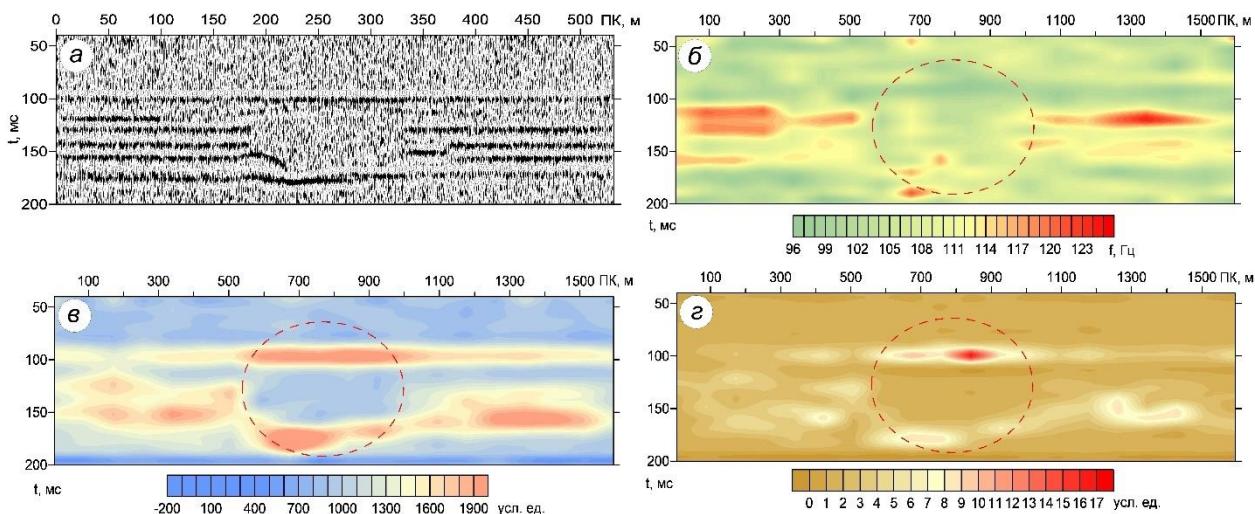


Рис. 1. Модельный суммарный временной разрез ОГТ зоны трещиноватости в соляной толще (а) и его динамические характеристики: распределение частот (б), амплитуд (в) и когерентности (г)

На теоретическом временном разрезе, полученном в результате моделирования зоны трещиноватости (рис. 1а), явно выделяется область, в которой отмечается потеря корреляции отражающих горизонтов. Такой эффект вызван отсутствием контрастных по физическим свойствам границ в заданной зоне трещиноватости.

Анализ частотной составляющей волнового поля и когерентности показал значительное снижение рассматриваемых параметров на участке расположения трещиноватых пород (рис. 1б, г). Так, отклонения среднего значения частоты для аномальной области разреза (ПК 500 – 1000) относительно смежных (нормальных) составило 18 – 25 %. Наибольшие изменения отмечаются для амплитуд. Разница между нормальным и аномальным значениями достигает порядка 75 % (рис. 1в).

Зоны замещения или галитизации сильвинитовых пластов широко распространены на территории ВКМКС. По некоторым данным они занимают суммарно 3 – 5 % площади распространения пласта КрII [8]. Безрудные «кокна» образуются в трещиноватых зонах, по которым могли мигрировать подземные воды [8], и они представляют потенциальную угрозу ведению горных работ. Аномальные галитовые образования подразделяются на открытый, экранированный и сквозной типы.

К экранированному типу относится большинство изученных зон галитизации. Для них характерно залегание одного или нескольких пластов карналлитовой зоны, сложенных пестрыми сильвинитами непосредственно над зоной галитизации (рис. 2а). Характерной особенностью данных зон является то, что пласты карналлитовых пород, относящиеся к различным горизонтам, являются экраном для проникающих снизу растворов [5], преобразующих минеральный состав пород.

Сквозной тип характеризуется галитизацией всех пластов сильвинитовой и карналлитовой зон при полноте их разреза (присутствует покровная каменная соль и маркирующий горизонт подстилающей каменной соли). Отличие внутреннего строения от остальных изученных зон галитизации заключается в том, что все пласты сильвинит-карналлитовой зоны представлены каменной солью (рис. 2б).

Отсутствие зависимости между строением соляных комплексов и размещением в них рассматриваемых аномалий отсутствует, что существенно осложняет прогнозирование участков размещения зон замещения на основе лишь геологической информации. Значительное отличие скоростей распространения упругих волн в каменной (замещающей) соли (4100 – 4200 м/с) по сравнению с карналлитом (3600 –

3800 м/с) и сильвинитом (3800 – 3900 м/с) обуславливает возможность применения малоглубинных и шахтных сейморазведочных технологий [10].

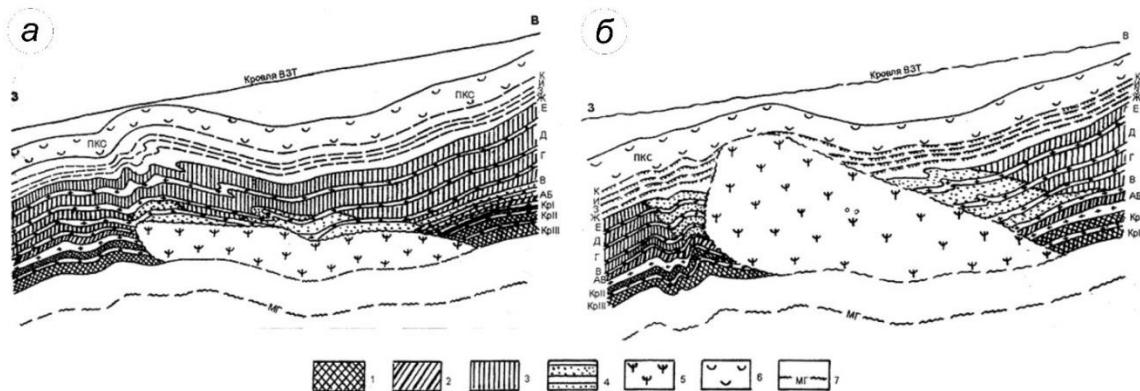


Рис. 2. Зоны замещения экранированного (а) и сквозного (б) типов (по Н.М. Джиноридзе):
1 – красный сильвинит; 2 – пласт АБ; 3 – карналлит; 4 – пестрый сильвинит;
5 – зона разубоживания (замещения); 6 – ПКС; 7 – маркирующая глина (МГ)

В зависимости от типа зоны замещения их проявление в теоретических волновых полях имеет ряд различий.

На временном разрезе экранированной зоны замещения и его динамических характеристиках наблюдаются незначительные амплитудные аномалии (рис. 3в), понижение видимой частоты в зоне галитизации (рис. 3б) и выпадение отражающего горизонта на участке ПК 500 – 1200 (рис. 3а). Однако вышележащие пласти карналлитовой зоны выделяются на разрезе достаточно уверенно. Изменение частоты в интервале, включающем аномальную область (ПК 400 – 1100), составило 20 – 30 % по сравнению с фоновыми значениями. Аналогичным уровнем изменчивости характеризуется и отношение сигнал/шум. Наибольшие отклонения наблюдаются для амплитуд. Разница между нормальным и аномальным значениями достигает порядка 67 %.

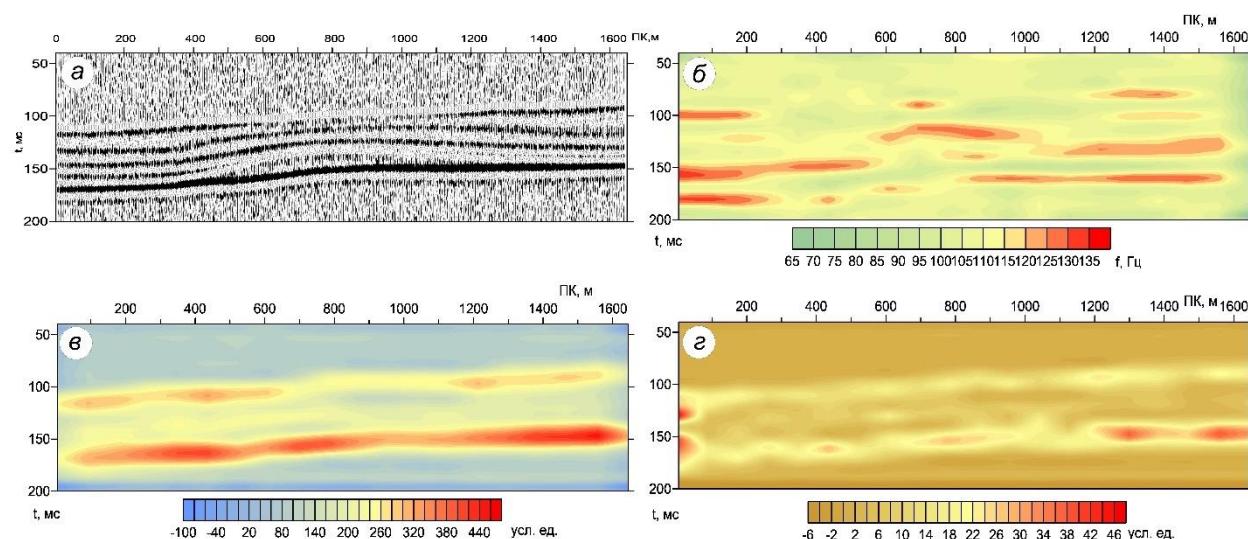


Рис. 3. Модельный суммарный временной разрез ОГТ экранированной зоны замещения (галитизации) продуктивного интервала соляной толщи (а)
и его динамические характеристики:
распределение частот (б), амплитуд (в) и когерентности (г)

Основные признаки зоны замещения сквозного типа связаны с амплитудными аномалиями. Анализ динамических параметров выявил увеличение амплитуд на краях зоны замещения (рис. 4 σ), где происходит смещение в низкочастотную область спектра колебаний (рис. 4 δ) и уменьшение в центре за счет деструктивной интерференции отраженных и дифрагированных волн. Отсутствие отражающих горизонтов в аномалеобразующей зоне объясняется тем, что здесь нет контрастных по физическим свойствам гранитов (рис. 4 α). Изменение частоты в интервале, включающем аномальную зону (ПК 500 – 1100), составило 18 – 25 % относительно фона. Когерентность (отношение сигнал/шум) в зоне аномалии так же мало отличается от нормального значения. Наибольшие отклонения вновь отмечаются для амплитуд. Разница между нормальным и аномальным значениями достигает порядка 75 %.

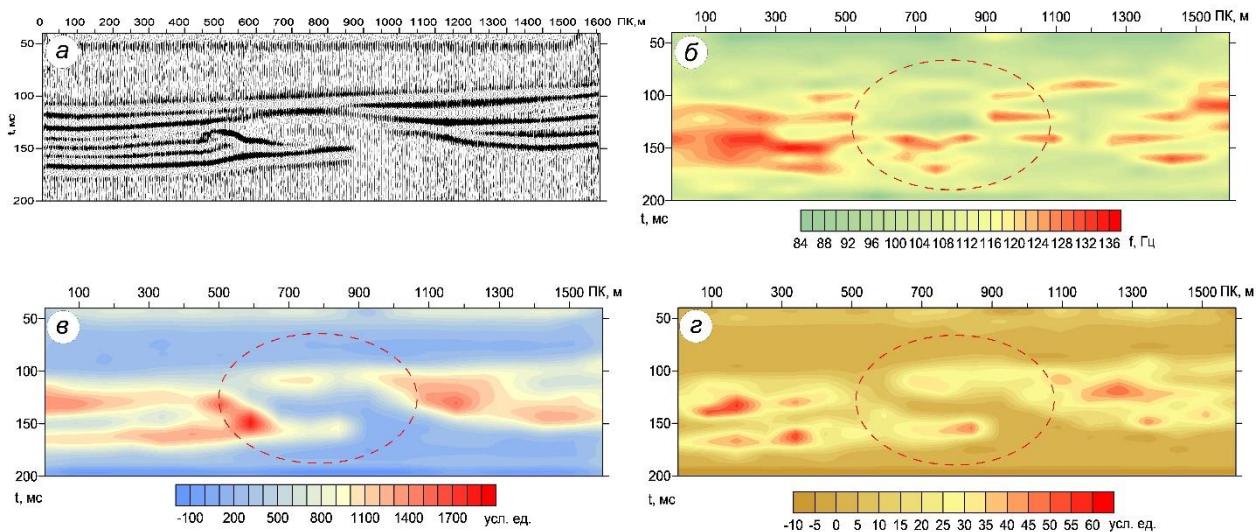


Рис. 4. Модельный суммарный временной разрез ОГТ зоны замещения (галитизации) сквозного типа продуктивного интервала соляной толщи (α) и его динамические характеристики: распределение частот (β), амплитуд (γ) и когерентности (δ)

Горные выработки калийных рудников ВКМКС располагаются внутри регионально-складчатого этажа деформаций, внутри его деформационная складчатость оказывает определенное влияние на технологию выемки калийных руд. Интенсивность дислоцированности калийных солей изменяется как в зависимости от местоположения относительно внешних тектонических форм, так и внутри их. В первом случае более сложное внутреннее тектоническое строение наблюдается в сводовых частях куполов и более простое – в мульдах. Геологическими работами установлены раздувы мощности калийносных пластов на участках куполов.

Особое место в тектоническом строении ВКМКС занимают широтные прогибы. Это крупные желобообразные образования с крутыми бортами и неровным дном. В качестве модели геологической среды, характеризующейся наличием амплитудной складчатой зоны, представлены результаты математического моделирования волнового поля для борта прогиба.

На временном разрезе (рис. 5 α) четко проявляются характерные для подобных участков аномалии волнового поля – срывы осей синфазности и амплитудные аномалии в пределах пикетов 350 – 550. Изменение частоты в аномальной зоне (ПК 350 – 550) составляет 25 – 30 % по сравнению с фоном (рис. 5 δ). Когерентность (отношение сигнал/шум) в зоне аномалии отличается от нормального значения на 63 % (рис. 5 σ). Наибольшему изменению подверглась амплитуда сигнала. Разница между нормальным и аномальным значениями достигает порядка 75 % (рис. 5 γ).

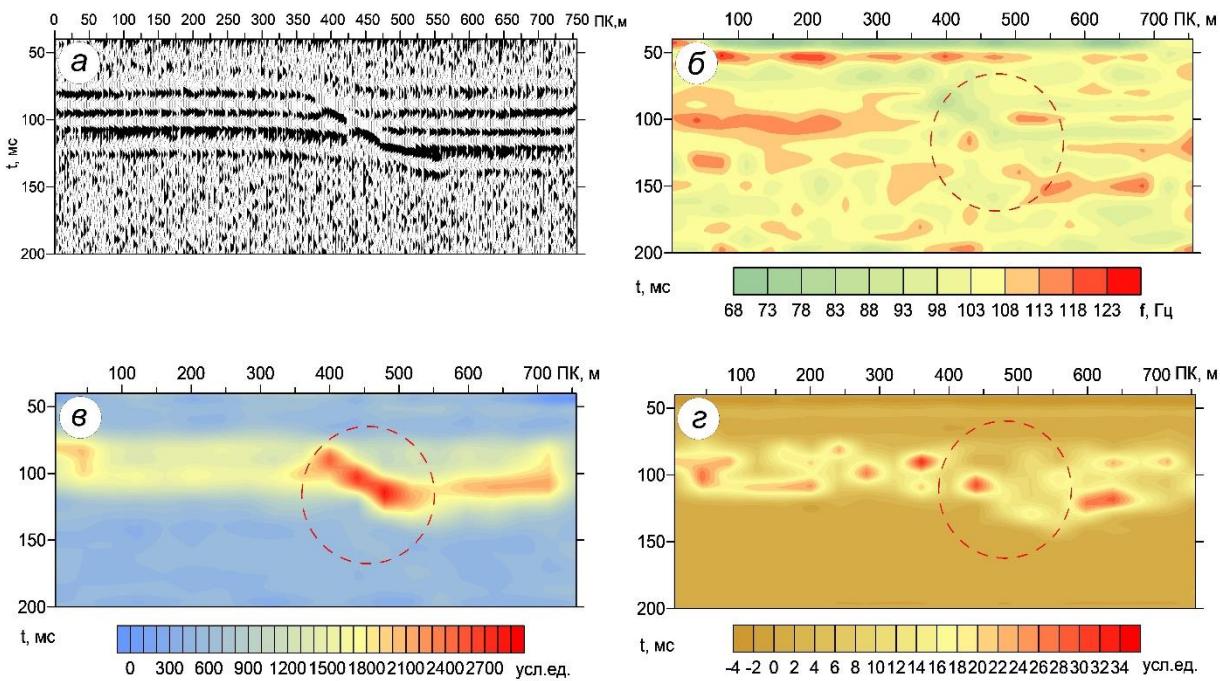


Рис. 5. Модельный суммарный временной разрез ОГТ борта прогиба в пределах продуктивного интервала соляной толщи (а) и его динамические характеристики: распределение частот (б), амплитуд (в) и когерентности (г)

Палеокарстовые процессы на территории ВКМКС достаточно широко развиты, ими затронуто 27 % площади калиеносной залежи [7]. В пределах зон их развития наблюдается выщелачивание каменной и калийной солей подземными водами и накопление на их месте нерастворимых компонентов, содержащихся в соляных породах. Последние формируют так называемые гипсово-глинистые и гипсово-ангидритные шляпы. Выщелачивание соляных пород подземными водами наиболее интенсивно протекает на участках тектонических поднятий и куполов, где практически отсутствует верхний водоносный горизонт, а также там, где местоположение поверхностных водостоков совпадает с вершинами тектонических структур. Основная угроза для сохранности рудника в пределах подобных геологических образований возникает за счет выклинивания пластов водоизащитной и продуктивной толщ.

Модель геологического разреза на участке развития палеокарста представляет собой левое крыло антиклинальной структуры с полным выщелачиванием калиеносной толщи к ее вершине (рис. 4а), продуктивные пласти выклиниваются на поверхность соляного зеркала. Сверху соляной комплекс перекрывается слоем пород вторичного литогенеза – гипсово-глинистой шляпой (ГГШ).

В пределах участка развития палеокарста породы, перекрывающие калийную залежь, характеризуются высокими скоростями распространения упругих волн продольного типа – 3500 – 5000 м/с. Нижележащие выклинивающиеся отложения представлены гипергенными соленосными пластами карналлита, сильвинита, каменной соли со скоростями прохождения продольных волн в диапазоне от 3600 до 4300 м/с. В данном случае имеет место периодическая (физически шероховатая) отражающая граница, для которой характерна сложная интерференция волн, дифрагированных от разных участков границы, что обусловлено изменением физических свойств соприкасающихся сред, приводящим к изменению коэффициентов отражения – прохождения.

Расчет теоретического волнового поля выполнен для условий шахтной сейсморазведки [11]. В сумме рассчитано два ансамбля трасс для продольных (Р) и поперечных

(S) волн, по 430 сейсмограмм общего пункта возбуждения для каждого типа, с использованием следующих параметров: система наблюдения – симметричная, шаг пунктов приема и пунктов возбуждения – 2 м, шаг дискретизации – 0,1 мс, импульс – симметричный, максимальная частота сигнала – 800 Гц, количество активных каналов – 64.

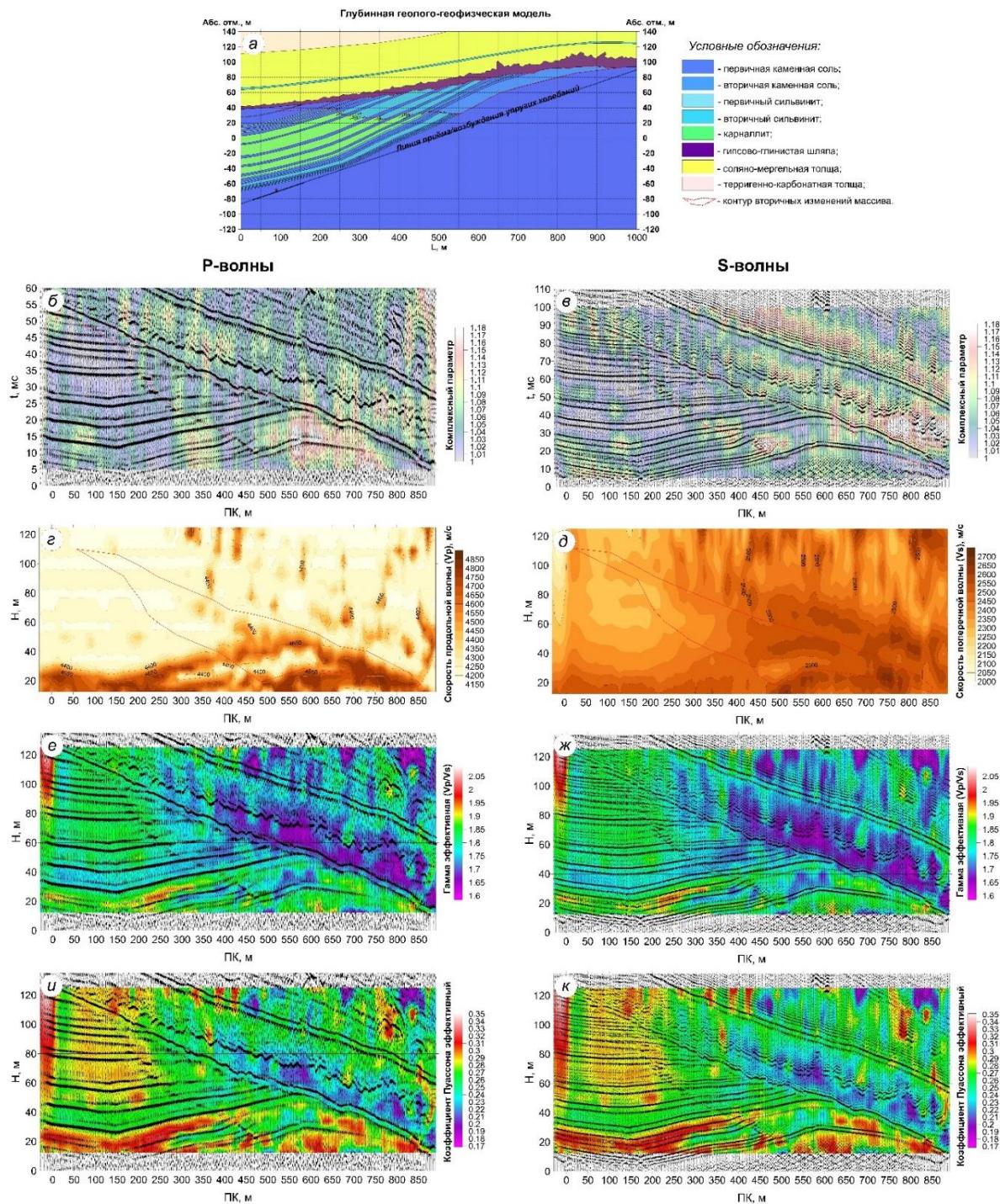


Рис. 6. Модель участка гипергенного преобразования соляных пород для различных типов упругих волн (продольных (P) и поперечных (S)):

а – глубинная геолого-геофизическая модель;

б, в – временной разрез ОГТ (цветом обозначено распределение комплексного параметра – логической суммы наиболее характерных динамических параметров разреза);

г, д – скоростная характеристика; *е, ж* – распределение эффективной Гамма (γ);

и, к – распределение эффективного коэффициента Пуассона



Анализ распределения динамических параметров и скоростной характеристики временных разрезов для Р и S волн позволил сформировать набор признаков, свидетельствующих о присутствии гипергенных солей в разрезе.

Вторично измененная каменная соль проявляется в следующих характеристиках волнового поля S-волн: 1) на контакте первичный сильвинит и гипергенная соль (ПС-ГС) наблюдается потеря корреляции по сильвиниту, дифрагированные волны, искажение положения (наклона) вышележащего отражающего горизонта; 2) увеличение частоты сигнала на контакте ПС-ГС; 3) значительное падение значения отношения сигнал/помеха (рис. 6в).

В характеристиках Р-волн на контакте ПС-ГС отмечено: 1) потеря корреляции отражающей границы от сильвинитового пласта, наличие аномалий типа «яркое пятно» в месте контакта, искажение положения вышележащего отражающего горизонта; 2) незначительное увеличение частоты сигнала; 3) снижение значений отношения сигнал/помеха (рис. 6б).

На контакте карналлита с гипергенным сильвинитом (К-ГС) формируется набор параметров моделируемой волновой картины, характерный как для S (рис. 6в), так и для Р-волн (рис. 6б): 1) снижение амплитуды сигнала; 2) увеличение частоты сигнала; 3) изменение значений отношения сигнал/помеха. Контакт К-ГС для Р-волн также проявляется наличием аномалии «яркое пятно».

Суммарное влияние вышеуказанных проявлений поведения описанных параметров волнового поля отображается в распределении комплексного параметра – цветовом представлении логической суммы наиболее контрастных динамических характеристик (амплитуда, частота, когерентность, скорость), нормированных к заданному значению.

Кроме характерных изменений динамических атрибутов волнового поля на участках формирования вторичных солей данные зоны уверенно локализуются в кинематических параметрах. Распределение эффективного параметра гамма (γ – отношение скоростей продольных волн к скоростям поперечных волн Vp/Vs) и эффективного коэффициента Пуассона ($\mu = \frac{\gamma^2 - 2}{2 \cdot (\gamma^2 - 1)}$) позволяет оценить акустические свойства модельного массива солей, содержащего вторично измененные породы (рис. 6е, ж, и, к).

Наибольшая контрастность по вышеописанным акустическим атрибутам синтезированных волновых образов наблюдается на участках примыкания «вторичная каменная соль – первичный сильвинит» и «вторичный сильвинит – карналлит».

Заключение

На основании полученных результатов следует наибольшая информативность динамических параметров для структурного типа геологических неоднородностей: складчатость, трещиноватость, сквозная зона замещения. Проявление кинематических параметров наиболее характерно для неоднородностей структурно-литологического типа: экранированная зона замещения, палеокарст. Выявленные закономерности изменений характеристик синтетических волновых полей formalizованы и представлены в табл. 1.

Подобная классификация получаемых волновых образов и их динамических характеристик позволяет унифицировать и систематизировать процесс интерпретации, повысить в целом информативность исследования, а также является основой для разработки алгоритмов автоматической локализации аномалий в регистрируемых волновых полях, свойственных конкретным объектам геофизических изысканий.

Таблица 1
Значения параметров волнового поля типовых неоднородностей ВКМКС

Вид неоднородности	Амплитуда сигнала	Частота сигнала	Когерентность сигнала (отношение сигнал/помеха)	Скоростная характеристика сигнала
Экранированная зона замещения	Снижение до 67 % от фона	Увеличение до 20 – 30 % от фона	Снижение корреляции	Увеличение значений эффективных скоростей над зоной
Сквозная зона замещения	Снижение до 75 % от фона	Увеличение до 18 – 25 % от фона	Нарушение корреляции границ до полной потери	Увеличение значений эффективных скоростей над зоной
Трещиноватости массива	Снижение до 75 % от фона	Снижение на 18 – 25 % от фона	Нарушение корреляции границ до полной потери	Понижение значений
Складчатость	Аномалия «яркое пятно», увеличение до 75 % от фона	Снижение на 25 – 30 % от фона	Нарушение корреляции границ, резкий разрыв	Характерных признаков не выявлено
Палеокарст (зона вторичных изменений массива)	Аномалия «яркое пятно» на контакте с вторичными породами	Увеличение до 30 – 60 % от фона	Нарушение корреляции границ	Характерных признаков не выявлено

Список литературы

1. Байбакова Т.В., Ярославцев А.Г., Миронов С.А., 2022. Шахтные сейсмические исследования литологических неоднородностей. *Тезисы докладов 16-й международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика–2020»*. DOI: 10.3997/2214-4609.202051061
2. Санфиров И.А., 1996. *Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ*. Екатеринбург: УрО РАН.
3. Санфиров И.А., Бабкин А.И., Ярославцев А.Г., Герасимова И.Ю., Фатькин К.Б., Глебов С.В., 2019. Карттирование локальных нарушений водозащитной толщи комплексом многоуровневых сейсморазведочных исследований различной размерности. *Тезисы докладов 15-ой научно-практической конференции и выставки «Инженерная и рудная геофизика 2019»*, 1 – 11. DOI: 10.3997/2214-4609.201901743
4. Бельтюков Г.В., 2000. *Карстовые и гипергенные процессы в эвапоритах*: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук, Пермь.
5. Джиноридзе Н.М., Мелкова Н.В., Павленский А.Н., Ковалевич В.М., Кузнецов Н.В., Плотников Ю.А., 1990. К проблеме происхождения зон замещения в пределах Верхнекамского месторождения калийных солей. *Условия образования месторождений калийных солей*. Новосибирск: Наука, С. 165 – 174.
6. Иванов А.А., 1963. О пестрых сильвинитах Верхнекамского месторождения калийных солей. *Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер.*, № 99, С. 153 – 180.
7. Копнин В.И., 1991. Строение водозащитной толщи Верхнекамского месторож-

дения и вопросы ее формирования. *Проблемы изучения водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении калийных солей: мат-лы II рег. сов-я. Березники: АО «Уралкалий», 56 – 65.*

8. Кудряшов А.И., 2013. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. Москва: Эпсилон Плюс.

9. Ярославцев А.Г., Фатькин К.Б., 2020. Шахтные сейсмоакустические исследования при контроле предохранительных целиков в калийных рудниках. *Тезисы докладов 16-й международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика–2020»*. DOI: 10.3997/2214-4609.202051043

10. Фатькин К.Б., 2008. Локализация и идентификация физико-геологических неоднородностей соляной толщи методами сейсмического амплитудного анализа (на примере ВКМКС): дис. ... канд.техн. наук. Гор. ин-т УрО РАН, Пермь.

11. Санфиров И.А., Бабкин А.И., Ярославцев А.Г., 2007. Комплексные методические решения в шахтной сейсмоакустике. *Геофизика*, № 5, С. 10 –15.

References

1. Baibakova T.V., Yaroslavtsev A.G., Mironov S.A., 2022. Shakhnye seismicheskie issledovaniya litologicheskikh neodnorodnostei [Mine seismic studies of lithological inhomogeneities]. Tezisy dokladov 16-i mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Inzhenernaya i rudnaya geofizika–2020". DOI: 10.3997/2214-4609.202051061
2. Sanfirov I.A., 1996. Rudnichnye zadachi seismorazvedki MOGT . [Mining tasks of seismic exploration of MOGT]. Ekaterinburg: UrO RAN.
3. Sanfirov I.A., Babkin A.I., Yaroslavtsev A.G., Gerasimova I.Yu., Fat'kin K.B., Glebov S.V., 2019. Kartirovanie lokal'nykh narushenii vodozashchitnoi tolshchi kompleksom mnogourovennykh seismorazvedochnykh issledovanii razlichnoi razmernosti. [Mapping of local disturbances in the protective layer by a complex of multilevel seismic surveys of various dimensions]. Tezisy dokladov 15-oi nauchno-prakticheskoi konferentsii i vystavki "Inzhenernaya i rudnaya geofizika 2019", P. 1 – 11. DOI: 10.3997/2214-4609.201901743
4. Bel'tyukov G.V., 2000. Karstovye i gipergennye protsessy v evaporitakh [Karst and hypergenic processes in evaporites]: avtoref. dis. ... d-ra geol.-min. nauk, Perm'.
5. Dzhinoridze N.M., Melkova N.V., Pavlenkii A.N., Kovalevich V.M., Kuznetsov N.V., Plotnikov Yu.A., 1990. K probleme proiskhozhdeniya zon zameshcheniya v predelakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliinykh solei [On the problem of the origin of substitution zones within the Verkhnekamskoye potash deposit]. Usloviya obrazovaniya mestorozhdenii kaliinykh solei. Novosibirsk: Nauka, P. 165 – 174.
6. Ivanov A.A., 1963. O pestykh sil'vinitakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliinykh solei [On variegated silvinites of the Verkhnekamskoye potassium salt deposit]. Tr. VSEGEI. Nov. ser., № 99, P. 153 – 180.
7. Kopnin V.I., 1991. Stroenie vodozashchitnoi tolshchi Verkhnekamskogo mestorozhdeniya i voprosy ee formirovaniya [The structure of the water-protective layer of the Verkhnekamskoye deposit and the issues of its formation]. Problemy izucheniya vodozashchitnoi tolshchi na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliinykh solei: mat-ly II reg. sov-ya. Berezniki: AO "Uralkalii", P.56 – 65.
8. Kudryashov A.I., 2013. Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei. 2-e izd., pererab [Verkhnekamskoye salt deposit. 2nd ed., reprint]. Moscow: Epsilon Plyus.
9. Yaroslavtsev A.G., Fat'kin K.B., 2020. Shakhnye seismoakusticheskie issledovaniya pri kontrole predokhranitel'nykh tselikov v kaliinykh rudnikakh [Mine seismo-acoustic studies in the control of safety targets at potassium mines]. Tezisy dokladov 16-i mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Inzhenernaya i rudnaya geofizika–2020". DOI: 10.3997/2214-4609.202051043
10. Fat'kin K.B., 2008. Lokalizatsiya i identifikatsiya fiziko-geologicheskikh neodnorodnostei solyanoi tolshchi metodami seismicheskogo amplitudnogo analiza (na



primere VKMKS): dis. ... kand.tekhn. nauk [Localization and identification of physical and geological inhomogeneities of the salt stratum by methods of seismic amplitude analysis (on the example of VKMKS): dis. ... Candidate of Technical Sciences]. Gor. in-t UrO RAN, Perm'.

11. Sanfirov I.A., Babkin A.I., Yaroslavtsev A.G., 2007. Kompleksnye metodicheskie resheniya v shakhtnoi seismoakustike [Complex methodological solutions in mine seismoacoustics]. Geofizika, № 5, P. 10 –15.