

# Результаты геотехнологических и геомеханических исследований, направленных на повышение безопасности и эффективности горного производства

И.В. Соколов ✉

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация  
✉ sokolov@igduran.ru

**Резюме:** Приведены результаты фундаментальных научных исследований Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), выполненных по геотехнологической и геомеханической тематике в рамках Государственного задания, направленных на повышение безопасности и эффективности горного производства. По геотехнологической тематике за 2022–2024 гг. получены следующие важные результаты фундаментальных научных исследований. В качестве методологических основ стратегии комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых обоснованы взаимосвязи, методы их учета и параметры технологических процессов: устойчивости уступов и бортов карьеров с учетом трещиноватости массива; комбинированных систем разработки с учетом показателей извлечения и эксплуатационных затрат; автотранспортных систем карьеров; буровзрывных работ на основе экранирования действия взрывов; формирования рудопотоков и систем рудоподготовки; систем безопасности горнодобывающего производства. Реализация методологии способствует экономически эффективному, технически и технологически безопасному комплексному освоению запасов месторождений. По геомеханической тематике получены следующие значимые результаты фундаментальных научных исследований. На основании экспериментально-аналитических исследований параметров современных геодинамических движений на разных масштабных уровнях выполнено районирование территорий РФ по риску техноприродных катастроф. Результаты не только развивают теорию и методологию горной науки, но являются основой для создания и внедрения собственной техники и технологий в реальный сектор экономики.

**Ключевые слова:** фундаментальные исследования, геотехнология, геомеханика, эффективность горного производства, безопасность горного производства

**Благодарности:** Исследования выполнены в рамках Гос. задания №075-00410-25-00. Г.р. №1022040200004-9-1.5.1. Тема 1 (2025-2027). Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России (FUWE-2025-0001) и №075-00410-25-00. Г. р. №1022040300093-0-1.5.1. Тема 3 (2025-2027). Выявление закономерностей развития геодинамических процессов в условиях техногенного преобразования недр и разработка мер по повышению безопасности горного производства (FUWE-2025-0003).

**Для цитирования:** Соколов И.В. Результаты геотехнологических и геомеханических исследований, направленных на повышение безопасности и эффективности горного производства. *Горная промышленность*. 2025;(4S):127–133. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4S-127-133>

## Results of geotechnological and geomechanical studies aimed at improving the safety and efficiency of mining operations

I.V. Sokolov ✉

Institute of Mining Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation  
✉ sokolov@igduran.ru

**Abstract:** The article presents the results of fundamental scientific research by the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, carried out on geotechnological and geomechanical topics within the framework of the State Assignment, aimed at improving the safety and efficiency of mining operations. Important results of fundamental scientific research were obtained on geotechnological topics for 2022–2024. The following relationships, methods for their accounting as well as parameters of technological processes were justified as a methodological basis for the strategy of comprehensive exploitation of solid mineral deposits: stability of benches and open-pit sides with account of the rock mass fracturing; combined mining systems with respect of the mining rates and operating costs; in-pit motor transport systems; drilling and blasting operations based on blast shielding; formation of ore flows and ore preparation systems; mining safety systems. Implementation of the methodology contributes to cost-effective, technically and technologically safe integrated development of deposit reserves. The following significant results of fundamental scientific research were obtained on geomechanical topics in 2022–2024.

Territories of the Russian Federation were zoned according to the risk of man-made natural disasters based on experimental and analytical studies of parameters of contemporary geodynamic movements at different scale levels. The results not only further develop the theory and methodology of mining science, but also serve as a basis for creation and implementation of our own equipment and technologies in the real economy.

**Keywords:** investment project, social and economic development, multidimensional analysis, Russian Far East, mining industry, gross regional product, selection of investment decisions

**Acknowledgments:** The research was carried out within the framework of State assignment No. 075-00410-25-00. State registration No. 1022040200004-9-1.5.1. Topic 1 (2025–2027). Methodology for substantiating the prospects for technological development of comprehensive exploitation of mineral resources of solid minerals of Russia (FUWE-2025-0001) and No. 075-00410-25-00. State registration No. 1022040300093-0-1.5.1. Topic 3 (2025–2027). Identification of patterns of development of geodynamic processes in the context of technogenic transformation of the subsoil and development of measures to improve the safety of mining operations (FUWE-2025-0003).

**For citation:** Sokolov I.V. Results of geotechnological and geomechanical studies aimed at improving the safety and efficiency of mining operations. *Russian Mining Industry*. 2025;(4S):127–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4S-127-133>

## Введение

В 2025–2027 гг. фундаментальные научные исследования (ФНИ) в рамках выполнения Государственного задания ИГД УрО РАН традиционно проводятся по геотехнологической и геомеханической тематикам, а именно «Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России» и «Выявление закономерностей развития геодинамических процессов в условиях техногенного преобразования недр и разработка мер по повышению безопасности горного производства».

Научным заделом и методологической основой, способствующими успешному выполнению поставленных задач, являются результаты, полученные в предшествующий период 2022–2024 гг.

По геотехнологической тематике за 2022–2024 гг. получены следующие важные результаты ФНИ. В качестве методологических основ стратегии комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых (ТПИ) обоснованы взаимосвязи, методы их учета и параметры технологических процессов: устойчивости уступов и бортов карьеров с учетом трещиноватости массива; комбинированных систем разработки с учетом показателей извлечения и эксплуатационных затрат; автотранспортных систем карьеров; буровзрывных работ на основе экранирования действия взрывов; формирования рудопотоков и систем рудоподготовки; систем безопасности горнодобывающего производства. Реализация методологии способствует экономически эффективному, технически и технологически безопасному комплексному освоению запасов месторождений ТПИ [1].

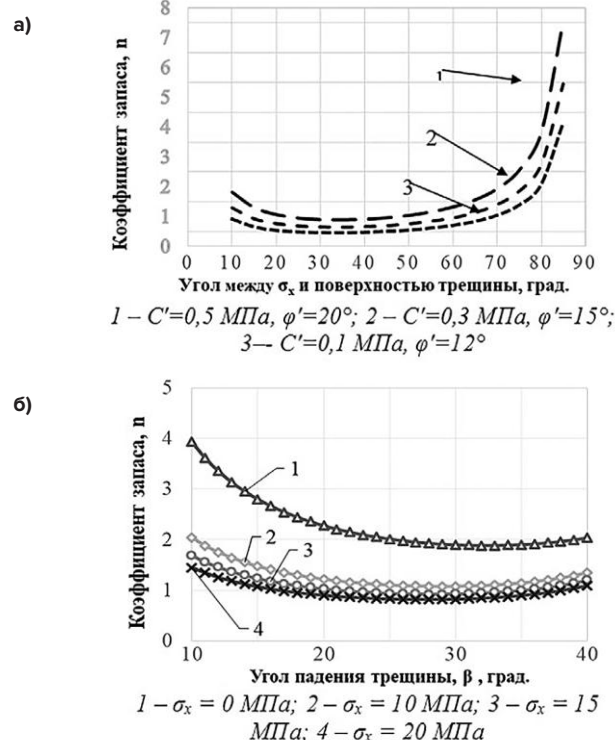
По геомеханической тематике за 2022–2024 гг. получены следующие значимые результаты ФНИ. На основании экспериментально-аналитических исследований параметров современных геодинамических движений на разных масштабных уровнях выполнено районирование территорий РФ по риску техноприродных катастроф [2].

## Материалы и методы

ФНИ, выполняемые ИГД УрО РАН с целью получения новых знаний в области наук о Земле, базируются на выдвинутых чл.-корр. РАН В.Л. Яковлевым методологических принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности для обеспечения экономической эффективности и промышленной безопасности горных работ [3].

## Результаты и их обсуждение

Разработаны методические основы формирования уступов и участков бортов на предельном контуре карьеров в гравитационно-тектоническом поле напряжений в динамике развития горнотехнических систем, включающие методику изучения влияния тектонических напряжений на устойчивость уступов и участков бортов и компьютерные программы для расчетного обоснования условий возникновения тектонических подвижек прибортового массива по протяженной трещине и предельных параметров уступа ( $h$  и  $\alpha$ ) или группы уступов в зависимости от прочностных свойств ( $C'$  и  $\varphi'$ ) протяженной трещины, угла ее падения  $\beta$  и величины максимального главного напряжения  $\sigma_x$  (рис. 1) [4].



**Рис. 1**  
Коэффициент запаса устойчивости массива при различных прочностных свойствах поверхностей ослабления массива (а) и графики устойчивости уступа высотой 15 м с углом откоса 60° при  $C' = 10 \text{ т/м}^2$  и  $\varphi' = 10^\circ$  (б)

**Fig. 1**  
Safety factor of the rock mass for different strength properties of the rock mass weakening surfaces (a) and the stability graphs of a 15 m high bench with the slope angle of 60° for  $C' = 10 \text{ t/m}^2$  and  $\varphi' = 10^\circ$  (b)

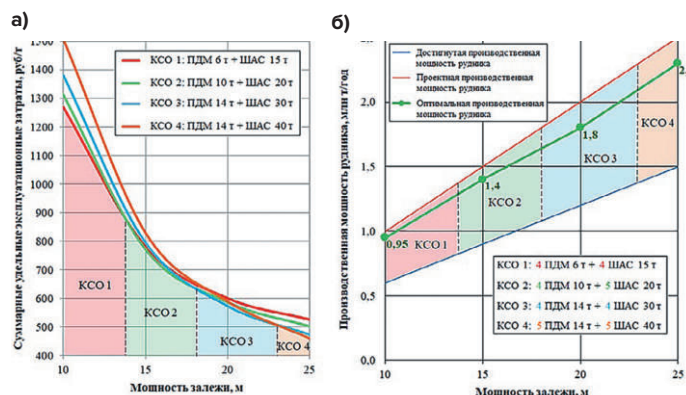


Рис. 2  
Зависимости суммарных  
удельных эксплуатационных  
затрат (а) и производственной  
мощности рудника (б)  
от мощности залежи  
и состава КСО

Fig. 2  
Dependences of the total  
specific operating costs (a)  
and mine production  
capacity (б) on the thickness  
of the ore body and the  
composition of the mobile  
equipment fleet

Разработана методология обоснования геотехнологической стратегии освоения пологих средней мощности (10–25 м) месторождений бедных комплексных руд, включающая: методику оценки эффективности и определения оптимальных параметров комбинированной системы разработки (КСР) в зависимости от мощности залежи, ширины камеры и МКЦ; методику определения оптимальной производственной мощности подземного рудника в зависимости от мощности залежи, грузоподъемности и со-

става комплекса самоходного оборудования (КСО). Экономический эффект достигается за счет снижения потерь и разубоживания в 2–2,5 раза и увеличения производственной мощности рудника в 1,6 раза (рис. 2) [5; 6].

На основе усовершенствованных методик формирования геологических баз данных и выделения в горном массиве сортовых видов рудного сырья обоснованы методы технологической адаптации процессов рудоподготовки к изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям карьеров. Разработана методика автоматизированного перспективного и текущего планирования открытых горных работ в режиме управления качеством при комплексном извлечении минеральных ресурсов в динамике развития горнотехнических систем (рис. 3) [7].

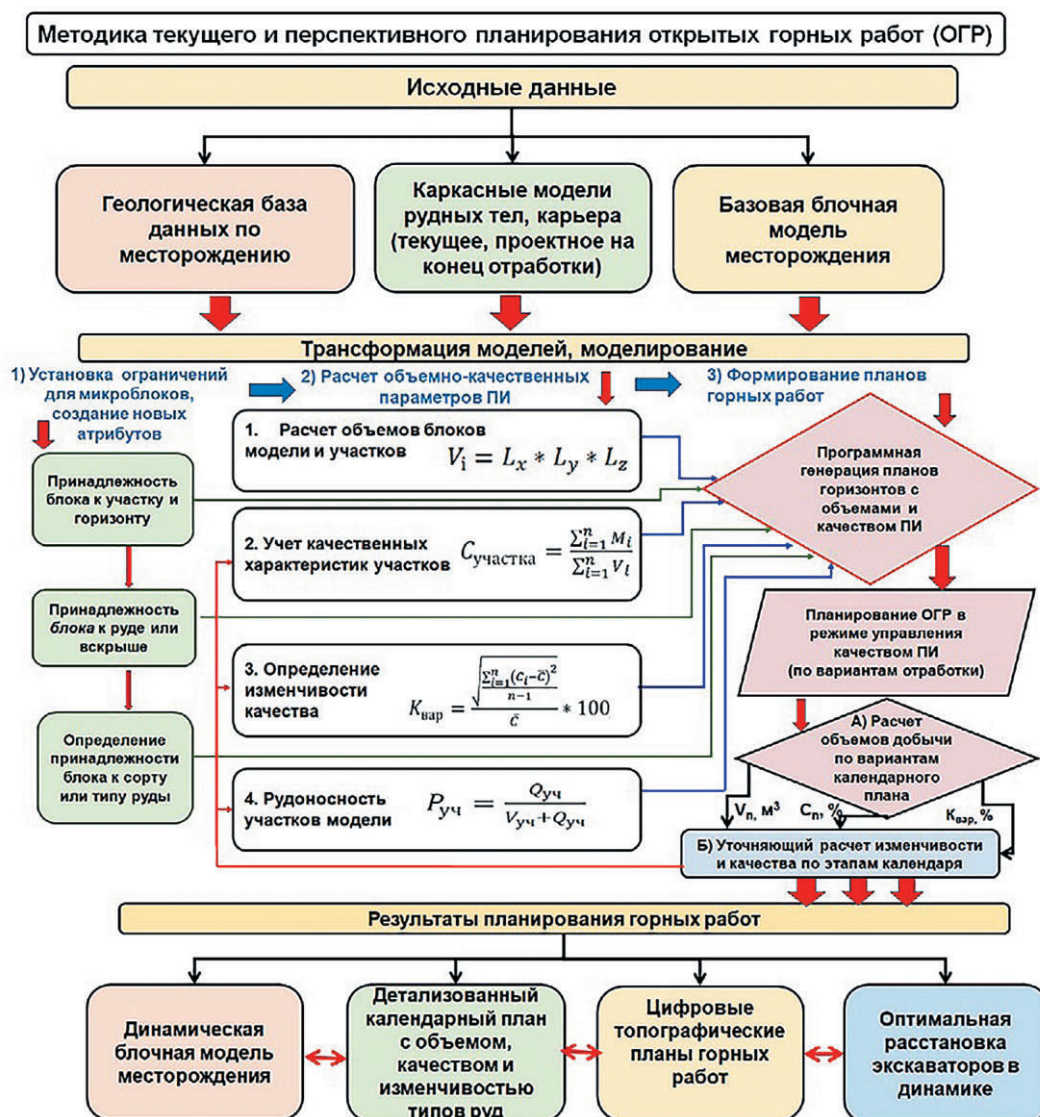


Рис. 3  
Алгоритм текущего и перспективного планирования горных работ

Fig. 3  
An algorithm for routine and long-term planning of mining operations



# Имитационное компьютерное моделирование транспортной системы карьера



**Рис. 4**  
Оптимизации транспортной системы  
глубокого карьера на примере  
циклично-поточной технологии

**Fig. 4**  
Optimization of the transport system of a  
deep open-pit mine using the example of  
the in-pit crushing and conveyor (IPCC)  
system

Разработана комплексная методика адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям при разработке сложно-структурных месторождений ТПИ, отличающаяся уточнением свойств массива горных пород и разрушающей нагрузки в динамике развития ГТС. Методика основана на учете: неоднородности массива по трещиноватости и по данным шарошечного бурения; взаимосвязи скорости детонации эмульсионных ВВ с плотностью и диаметром заряда ВВ; повышения скорости детонации основного заряда ВВ при увеличении активной массы промежуточного детонатора, в т.ч. в зависимости от количества введенных микросфер в состав эмульсии; изменения уровня сейсмозрывного воздействия на охраняемые борта карьера, здания и сооружения [8].

Разработана методика оптимизации транспортной системы глубокого карьера на примере циклично-поточной технологии, характеризующаяся следующими ключевыми особенностями: учетом динамики переходных процессов во времени на всем жизненном цикле карьера; оценкой результатов оптимизации на основе баланса затрат и прибыли с учетом нормированной рентабельности инвестиций в разработку месторождения, а критерием является наиболее полное освоение запасов месторождения; применением основанного на взаимной адаптации и имитационном моделировании алгоритма оптимизации параметров комплекса циклично-поточной технологии (ЦПТ) в динамике развития горнотехнической системы (рис. 4) [9].

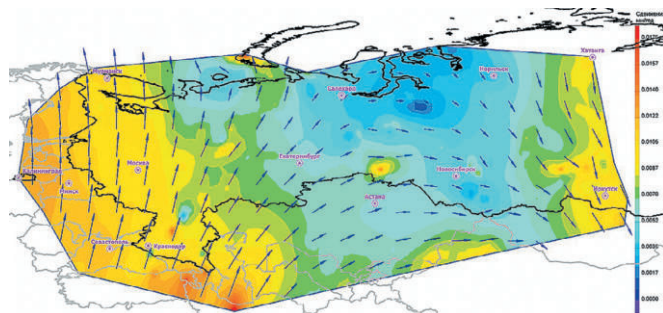
Разработаны методы управления производственным риском на горнодобывающем предприятии на основе контроля и прогноза опасной производственной ситуации (ОПС), базирующиеся на методологическом принципе дуальности риска – выгода от деятельности обременена возникновением ущерба – и позволяющие планомерно повышать безопасность труда при обеспечении требуемого уровня

эффективности производства: идентификации ОПС; производственного планирования с учетом её устранения; координации деятельности предприятия по устранению ОПС [10].

Сформирована и зарегистрирована база данных скоростей современных геодинамических движений территории РФ, на основе которой созданы карты районирования по уровню деформационных процессов на земной поверхности, предназначенные для получения информации о неравномерностях распределения скоростей горизонтальных движений и деформационных полей, выявления зон концентрации главных и сдвиговых деформаций. Можно использовать при выборе места расположения объектов промышленной инфраструктуры с целью обеспечения их долговременной устойчивости и безопасной эксплуатации (рис. 5) [11].

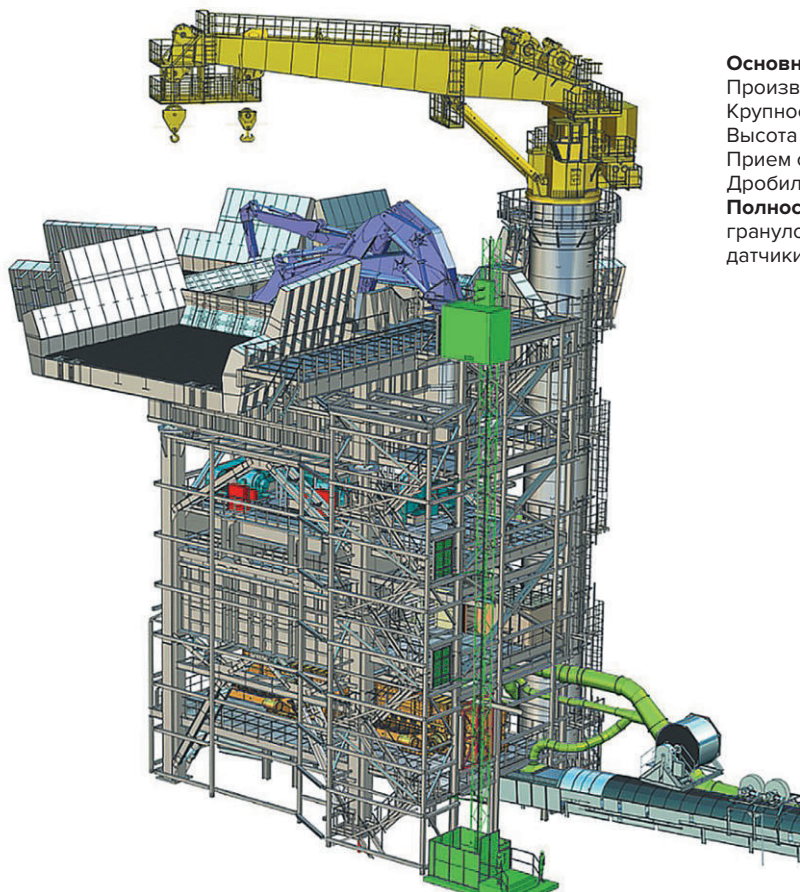
На основе анализа результатов многолетнего мониторинга деформаций земной поверхности на модельном Сарановском месторождении хромитов установлены кинематические критерии оценки геодинамической активности: интенсивности и периодичности скоростей вертикальных смещений земной поверхности. По выявленным с помощью вейвлет-анализа скоростям территория месторождения разделена на пять участков, характеризующихся типовыми спектрограммами. Интенсивность скоростей вертикальных смещений оценивается на основе критерия их среднеквадратического отклонения (СКО). Риск внезапного проявления геодинамической активности в виде повреждений зданий и сооружений становится высоким при СКО > 10 мм/год [12].

В соответствии с теоретическими представлениями о формировании поля почвенного радона эксперименталь-



**Рис. 5**  
Фрагмент карты векторного  
поля современных  
геодинамических движений  
(собственные движения,  
свободные от трендовой  
составляющей Евразийской  
литосферной плиты)  
территории России

**Fig. 5**  
A fragment of the vector field  
map of contemporary  
geodynamic movements  
(proper movements, free from the trend component of the  
Eurasian lithospheric plate)  
of the territory of the Russian  
Federation



**Рис. 6**  
Полустационарная ДПУ  
на металлоконструкциях  
«ДПУ-7200» (Михайловский  
ГОК)

**Fig. 6**  
DPU-7200 semi-portable  
crushing and screening plant  
mounted on metal structures  
(Mikhailovsky GOK)

но установлены зависимости между показателями растяжения, сжатия и геодинамической активности по данным радонометрии, позволяющие выявлять и подразделять деформации в горном массиве на: малоглубинные объекты разуплотнения; активные дизъюнктивные нарушения; зоны деформаций сжатия. Установленные закономерности могут быть использованы в сфере инженерно-геологических изысканий, в том числе при исследовании подработанных территорий [13].

Усовершенствована технология поэтапного снижения риска и уменьшения тяжести аварийных нарушений ключевых элементов подготовительно-нарезных выработок от совместного воздействия геодинамических движений и процессов подземной разработки, учитывающая комплексирование критериев риска их возникновения для трех масштабных уровней и предусматривающая последовательное применение следующих мероприятий:

- на 1-м уровне – диагностика геодинамической активности рудопородного массива, отражающей зависимость измеряемых значений деформаций массива от параметров его НДС;

- на 2-м уровне – обоснование оптимальной последовательности выемки рудной залежи с учетом протяженности зон концентрации напряжений по трассе подготовительно-нарезных выработок и длительности воздействия на крепь зон концентрации напряжений;

#### Основные параметры ДПУ:

Производительность – 6500/7200 т/ч  
Крупность дробления – 1500/300 мм  
Высота встраивания – до 32 м  
Прием самосвалов – 2–3 шт. 130–360 т  
Дробилка – ККД-1500

#### Полностью автоматизированная ДПУ:

гранулометр, машинное «зрение», детектор металла, датчики разгрузки самосвалов, датчики уровня и забутовки

– на 3-м уровне – применение усовершенствованной методики расчета несущей способности и параметров комбинированной крепи путем поэтапного учета коэффициента упрочнения вмещающего рудопородного массива для каждого компонента комбинированной крепи [14].

Показано, что механизм деформирования и обрушения пород в приконтурном массиве выработанного пространства при выемке рудных тел малой, средней мощности и мощных происходит в основном под действием растягивающих напряжений [15]. Установлены 4 зоны разрывных (растягивающих) деформаций в окрестности очистного пространства: висячем и лежащем боках рудного тела, в потолочине и на контуре выработки, пройденных вблизи выработанного пространства. Установлено, что при выемке рудных тел малой мощности предельная толщина зоны опасных деформаций составляет: в потолочине 3 м

(выемочные мощности); в бортах очистного пространства 2,5 м. При выемке рудных тел средней мощности и мощных предельная расчетная толщина зоны опасных деформаций составляет: в висячем боку 6 м, в лежащем боку 2,6 м и в потолочине 4 м.

Видно, что представленные результаты ФНИ не только развивают теорию и методологию горной науки, но являются основой для создания и внедрения импортозамещающих [16–19] отечественных техники и технологий в ее базовый горно-металлургический сектор [20].

Так, ИГД УрО РАН для ПАО «Уралмашзавод» выполнены технологические регламенты для проектирования дробильно-перегрузочных установок (ДПУ). В настоящее время одна ДПУ-7200 смонтирована на карьере Михайловского ГОКа (рис. 6), три ДПУ-6500 возводятся на Алмалыкском ГМК (Узбекистан). Внедрение ЦПТ с данными ДПУ позволяют снизить эксплуатационные затраты на транспортирование руды в 2–4 раза в сравнении с автотранспортом и импортозаместить ДПУ *ThyssenKrupp* (Германия) или *Metso* (Финляндия).

#### Заключение

Сейчас важным условием выполнения как фундаментальных, так и прикладных научных исследований является учет недавно принятых нормативных актов («Стратегия научно-технологического развития Российской Федера-



ции», 2024 г.; «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года», 2024 г.; «ПЛАН мероприятий по реализации «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 года», 2025 г.). В этих стратегических документах ставятся задачи создания отечественных техники и технологий не только для геологического изучения, но и для «повышения эффективности комплексного освоения месторождений цветных, черных, редких и драгоценных металлов, нерудного сырья и отходов недропользования». В числе исполнителей значатся и Минобрнауки, и РАН.

Таким образом, вместе с нашими индустриальными партнерами мы сможем решить важнейшую для России задачу – создание инновационных средств и способов добычи и переработки ТПИ, внедрение их в реальный сектор экономики для обеспечения научно-технологического суверенитета РФ в области горного дела.

### Список литературы / References

1. Яковлев В.Л., Глебов А.В., Журавлев А.Г., Жариков С.Н., Шимкив Е.С. Методологические аспекты переходных процессов при формировании горнотехнических систем глубоких карьеров. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2024;(6):85–97. <https://doi.org/10.15372/FTPRI20240610>  
Yakovlev V.L., Glebov A.V., Zhuravlev A.G., Zharikov S.N., Shimkiv E.S. Transient processes in formation of geotechnical systems in deep open pit mines: methodical aspects. *Fiziko-Tekhnicheskiye Problemy Razrabotki Poleznykh Iskopaemykh*. 2024;(6):85–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/FTPRI20240610>
2. Федянин А.С., Зотеев О.В. Методика оценки геотехнических рисков горнодобывающих предприятий. *Горный журнал*. 2024;(1):9–14. <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.01.02>  
Fedyanin A.S., Zoteev O.V. Procedure of geotechnical risk assessment in mines. *Gornyi Zhurnal*. 2024;(1):9–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.01.02>
3. Яковлев В.Л., Корнилов С.В., Соколов И.В. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН; 2018. 360 с.
4. Яковлев А.В., Шимкив Е.С. Методические основы формирования уступов и участков бортов на предельном контуре карьеров. В кн.: *Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр*. Екатеринбург: УрО РАН; 2024. Вып. 6. С. 244–255.
5. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В. *Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та; 2021. 340 с. Режим доступа: [https://igduran.ru/files/eshop/elibrary/2021\\_sokolov.pdf](https://igduran.ru/files/eshop/elibrary/2021_sokolov.pdf) (дата обращения: 27.05.2025).
6. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Соломеин Ю.М. Обоснование рациональной конструкции днища блока при комбинированной системе разработки пологих залежей средней мощности. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2024;22(3):5–12.  
Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., Solomein Yu.M. Substantiation of a rational block bottom structure at a combined mining system of shallow deposits of medium capacity. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2024;22(3):5–12. (In Russ.)
7. Яковлев В.Л., Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Методика оценки геологических баз данных с целью районирования в карьере технологических типов и сортов руд. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;(5):12–20. [https://doi.org/10.56195/20793332\\_2024\\_5\\_12\\_20](https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_12_20)  
Yakovlev V.L., Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S. Methodology for evaluating geological databases for the purpose of zoning technological types and grades of ores in open-pits. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(5):12–20. (In Russ.) [https://doi.org/10.56195/20793332\\_2024\\_5\\_12\\_20](https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_12_20)
8. Яковлев В.Л., Жариков С.Н., Реготунов А.С., Кутуев В.А. Изыскание новых приемов к учету свойств и строения массива при дезинтеграции его буровзрывным способом в динамике разработки сложноструктурных месторождений. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2024;(4):86–96. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-4-86-96>  
Yakovlev V.L., Zharikov S.N., Regotunov A.S., Kutuev V.A. Research of new techniques for taking into account the properties and structure of the massif during its disintegration by drilling and blasting in the dynamics of the development of complex-structured deposits. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2024;(4):86–96. (In Russ.) <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2024-4-86-96>
9. Журавлев А.Г., Черепанов В.А., Глебов И.А. Методический подход к оптимизации параметров транспортной системы карьера в динамике развития горнотехнической системы. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2024;(4):232–247.  
Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A., Glebov I.A. A methodological approach to optimizing the parameters of the quarry transport system in the dynamics of the development of the mining system. *Izvestiya Tulkogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2024;(4):232–247. (In Russ.)

10. Яковлев В.Л., Кравчук И.Л., Неволлина Е.М. Методологические принципы управления риском на горнодобывающих предприятиях в условиях неопределённости среды. *Безопасность труда в промышленности*. 2024;(10):27–36. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2024-10-27-36>  
Yakovlev V.L., Kravchuk I.L., Nevollina E.M. Methodological principles of risk management at mining enterprises under uncertainty of the environment. *Occupational Safety in Industry*. 2024;(10):27–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2024-10-27-36>
11. Панжин А.А., Панжина Н.А. *Современные геодинамические движения территории Российской Федерации*. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2024625461. Оpubл. 25.11.2024.
12. Коновалова Ю.П. Изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород под воздействием современных геодинамических движений на различных временных интервалах. *Проблемы недропользования*. 2024;(4):46–55. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2024.04.046>  
Konovalova Yu.P. The stress-strain state change of rock mass by impact of recent geodynamic movements at various time intervals. *Problems of Subsoil Use*. 2024;(4):46–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2024.04.046>
13. Зуев П.И., Далатказин Т.Ш. Использование метода триангуляции с линейной интерполяцией при геодинамическом районировании горного массива с помощью радонометрии. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2024;(4):491–499.  
Zuev P.I., Dalatkazin T.Sh. Using the triangulation method with linear interpolation in geodynamic zoning of a mountain range using radonometry. *Izvestiya Tulkogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2024;(4):491–499. (In Russ.)
14. Харисов Т.Ф., Сосновская Е.Л., Авдеев А.Н., Харисова О.Д. Комплексная методика выбора параметров крепления подготовительно-нарезных выработок. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2024;(1):376–387.  
Kharisov T.F., Sosnovskaya E.L., Avdeev A.N., Kharisova O.D. Complex methodology of selection of development drives support parameters. *Izvestiya Tulkogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2024;(1):376–387. (In Russ.)
15. Сосновская Е.Л., Авдеев А.Н. Прогноз удароопасности при разработке жил малой и средней мощности системами с закладкой на больших глубинах. *Известия Тульского государственного университета. Науки о земле*. 2024;(2):471–483.  
Sosnovskaya E.L., Avdeev A.N. Prediction of impact hazard in the development of low- and medium-power cores by systems with a bookmark at great depths. *Izvestiya Tulkogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o Zemle*. 2024;(2):471–483. (In Russ.)
16. Nehring M., Knights P.F., Kizil M.S., Hay E. A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018;28(2):205–214 <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.12.026>
17. Matsimbe J. Optimization of shovel-truck productivity in quarries. *International Journal of Research in Advent Technology*. 2020;8(10):1–9. <https://doi.org/10.32622/ijrat.810202008>
18. Mijalkovski S., Despodov Z., Mirakovski D., Adjiski V., Doneva N. Methodology for optimization of coefficient for ore recovery in sublevel caving mining method. *Underground Mining Engineering*. 2017;(30):19–27. Available at: <https://eprints.ugd.edu.mk/id/eprint/18241> (accessed: 27.05.2025).
19. Wu J. Research on sublevel open stoping recovery processes of inclined medium-thick orebody on the basis of physical simulation experiments. *PLoS ONE*. 2020;15(5):e0232640. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232640>
20. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Рожков А.А., Соломеин Ю.М. Экогеотехнология добычи бедных руд с созданием условий для попутной утилизации отходов горного производства. *Записки Горного института*. 2023;260:289–296. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.21>  
Sokolov I.V., Antipin Y.G., Rozhkov A.A., Solomein Y.M. Environmental geotechnology for low-grade ore mining with the creation of conditions for the concurrent disposal of mining waste. *Journal of Mining Institute*. 2023;260:289–296. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.21>

#### Информация об авторе

**Соколов Игорь Владимирович** – доктор технических наук, директор, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: sokolov@igduran.ru

#### Information about the author

**Igor V. Sokolov** – Dr. Sci. (Eng.), Director, Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation; e-mail: sokolov@igduran.ru

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 02.07.2025  
Поступила после рецензирования: 18.08.2025  
Принята к публикации: 25.08.2025

#### Article info

Received: 02.07.2025  
Revised: 18.08.2025  
Accepted: 25.08.2025