

УДК 622:658

**Соколов Игорь Владимирович**

доктор технических наук,  
директор Института горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [sokolov@igduran.ru](mailto:sokolov@igduran.ru)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ИГД УРО РАН, НАПРАВЛЕННЫХ  
НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ  
И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА***Аннотация:*

Статья посвящена результатам фундаментальных научных исследований Института горного дела Уральского отделения РАН, выполняемых в рамках государственного задания в области Наук о Земле на основе принципов системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности – с целью обеспечения экономической эффективности, промышленной и экологической безопасности освоения недр.

Система требований (ограничений), налагаемых со стороны государства, рынка и собственников горнодобывающих предприятий при разработке месторождений твердых полезных ископаемых определена. Сложность состоит в том, что недропользователю необходимо решить задачу одновременного обеспечения промышленной безопасности, близкой к абсолютной, и наилучшей экономической эффективности. Методом решения этих двух противоречивых задач с разнонаправленными критериями может выступить оптимизация их параметров на основе обоснования некоего глобального критерия принятия компромиссного решения.

По каждому из направлений исследований – «Геотехнология», «Геоинформатика», «Геомеханика» – представлены результаты, представляющие собой комплекс социально-экономических, технико-технологических и организационно-управленческих решений.

*Ключевые слова:* горное производство, эффективность, безопасность, геотехнология, геоинформатика, геомеханика.

DOI:

**Sokolov Igor V.**

Doctor of Engineering Sciences,  
Director of the Institute of Mining,  
Ural Branch of RAS  
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [sokolov@igduran.ru](mailto:sokolov@igduran.ru)

**THE RESULTS OF RESEARCH  
CONDUCTED BY THE IGD UB RAS  
AIMED AT ENSURING SAFETY  
AND EFFECTIVENESS  
OF MINING PRODUCTION***Abstract:*

The article describes the results of fundamental scientific research of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, carried out within the framework of the state assignment in the field of Earth Sciences based on the principles of consistency, complexity, interdisciplinarity, and innovation orientation – in order to ensure economic efficiency, industrial and environmental safety of subsoil development.

The system of requirements (restrictions) imposed by the state, the market and the owners of mining enterprises in the development of solid mineral deposits is defined in this paper. The difficulty lies in the fact that the subsoil user needs to solve the problem of simultaneously ensuring industrial safety, close to absolute, and the best economic efficiency. The method of solving these two contradictory problems with multidirectional criteria can be the optimization of their parameters based on the justification of a certain global criterion for making a compromise decision.

For each of the research areas – "Geotechnology", "Geoinformatics", "Geomechanics" – the results are shown, representing a complex of social-and-economic, technical, technological, organizational and managerial decisions.

*Key words:* mining, efficiency, safety, geotechnology, geoinformatics, geomechanics.

**Введение**

В соответствии с государственным заданием, ИГД УрО РАН выполняет фундаментальные научные исследования (ФНИ) в области Наук о Земле, базирующиеся на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности — с целью обеспечения экономической эффективности, промышленной и экологической безопасности освоения недр Земли. ФНИ предполагает работу по трем направлениям на 2022 – 2024 гг.:

Тема 1. Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005). Научный руководитель член-корреспондент РАН В.Л. Яковлев.

Тема 2. Разработка геоинформационных технологий оценки защищенности горнопромышленных территорий и прогноза развития негативных процессов в недропользовании (FUWE-2022-0002). Научный руководитель д.т.н. С.В. Корнилков.

Тема 3. Исследование параметров геодинамической активности, обусловленных современными движениями земной коры, для районирования территорий Российской Федерации по риску техно-природных катастроф на объектах недропользования (FUWE-2022-0003). Научный руководитель к.т.н. В.В. Мельник.

Все три темы направлены на обоснование методов и технологий, в том числе достижения производственной безопасности, понимаемой в самом широком смысле. Основанием является положение части 2, статьи 3 Федерального закона N116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»: «Требования промышленной безопасности должны соответствовать нормам в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, санитарно-эпидемиологического благополучия населения, охраны окружающей среды, экологической безопасности, пожарной безопасности, охраны труда, строительства, а также обязательным требованиям, установленным в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании» [1].

Таким образом, система ограничений, налагаемых со стороны государства, при разработке месторождений твердых полезных ископаемых (ТПИ) определена и понятна. Всего, по данным Государственной думы, количество требований к ведению экономической деятельности со стороны государства и надзорных органов составляет 350 000. В результате «регуляторной гильотины» 200 000 отменено, осталось «всего» 150 000 необходимых для выполнения требований.

Другим обязательным требованием к горному производству является достижение высоких технико-экономических показателей и наибольшей экономической эффективности (по акад. М.И. Агошкову), что при капиталистическом способе производства является его главной целью.

Методом решения этих двух достаточно противоречивых задач с разнонаправленными критериями может выступать оптимизация их параметров на основе обоснования некоего глобального критерия принятия компромиссного решения. Если удастся решить данную систему задач, состоящую в одновременном обеспечении и близкой к абсолютной промышленной безопасности, и наилучшей экономической эффективности горного предприятия, то результатом станет высокая степень его производственной безопасности.

Поскольку практически невозможно достичь абсолютной промышленной безопасности, то *принципом* при создании и внедрении новой техники и технологий в реальный сектор экономики может стать принцип «*более безопасного производства*» (по аналогии с принципом «*более чистого производства*»). Он выражает идею, что геотехнология (система разработки, метод, способ, устройство), создаваемая на любой стадии инновационного процесса для будущего, должна быть, по крайней мере, безопаснее применяемой в настоящее время, в пределах — еще и более эффективной.

#### *Важнейшие научные результаты*

##### Направление «Геотехнология»

Предложены методы учета переходных процессов — нового направления в развитии комплексного освоения георесурсов глубокозалегающих сложноструктурных месторождений при проектировании новых и планировании добычи и рудоподготовки

минерального сырья на действующих горных предприятиях с учетом нарастания геологической, технологической и технико-экономической информации, внедрении разработанных инновационных решений с целью изменения параметров и показателей функционирования основных технологических процессов горнотехнических систем (ГТС) предприятия в динамике развития горных работ с целью обеспечения эффективности и безопасности горного производства (рис. 1) [2, 3].



Рис. 1. Наиболее значимые вопросы, решаемые при проектировании глубокозалегающих месторождений (а), и постановка проблем развития действующих горных предприятий (б), требующие исследования переходных процессов

Обоснованы методы учета и оценки эффективности переходного процесса при комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений, включающие метод комплексного анализа условий и факторов, вызывающих начало переходного процесса и подлежащих учету при его реализации, основанный на их систематизации по типу среды и сферам влияния и установлении границ критического изменения; метод структурно-функционального анализа ГТС освоения переходной зоны на основе определения системы параметров и показателей подсистем вскрытия и очистной выемки, позволяющий прогнозировать ее состояние при изменении постоянных и специфических факторов; методику расчета технико-экономических показателей комбинированной геотехнологии, учитывающую специфические горнотехнические факторы; инновационные варианты комбинированной геотехнологии, обеспечивающие непрерывность добычи руды и стабилизацию доходов горного предприятия в переходный период, с установленными областями их эффективного применения в зависимости от высоты переходной зоны и производственной мощности шахты (рис. 2) [4].

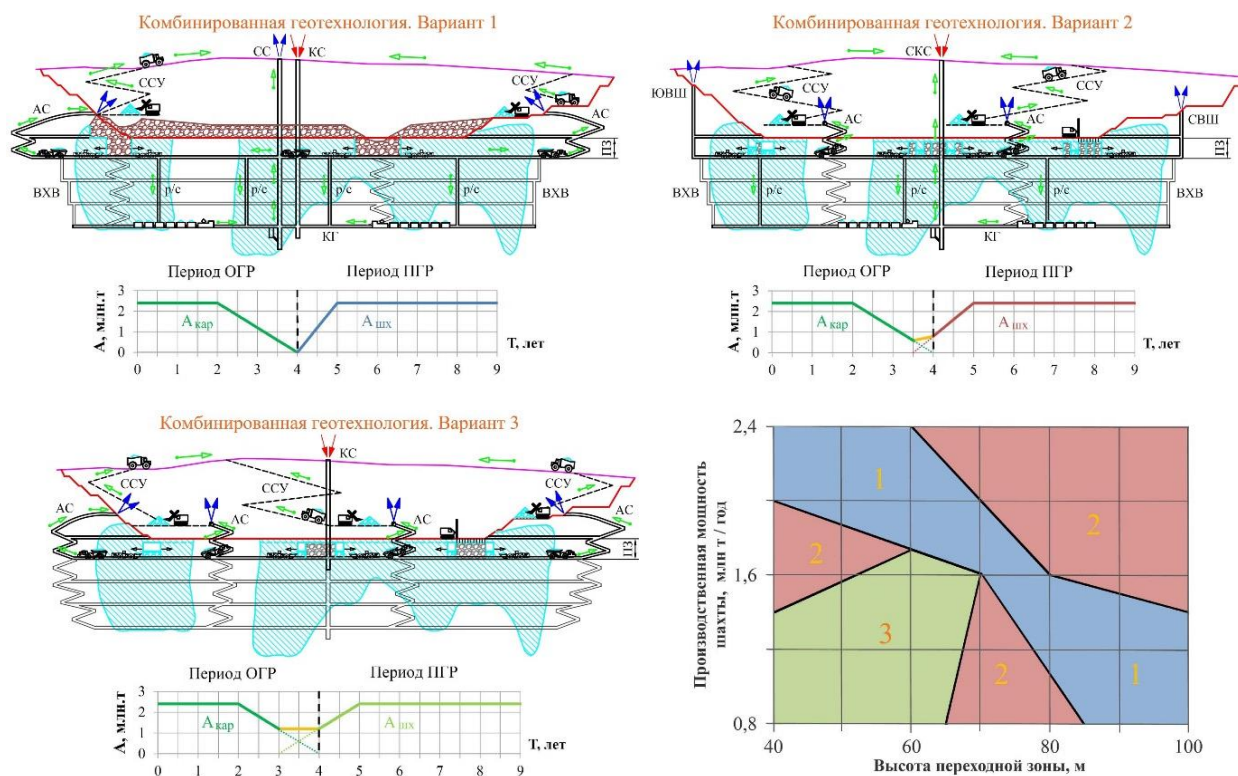


Рис. 2. Комбинированные геотехнологии и области их эффективного применения с учетом изменения производственной мощности горного предприятия в переходный период

Разработаны методы управления качеством минерального сырья сложноструктурных месторождений на основе алгоритмов оценки качественных характеристик для районирования в карьерном пространстве технологических типов руд; создания блочных моделей месторождений, учитывающих закономерности изменения качественных характеристик запасов полезного ископаемого в динамике развития горных работ, для геометризации в карьерном пространстве руд различного качества; методики выбора технологических схем рудоподготовки в рабочей зоне карьеров и формирования грузопотоков в режиме селективной разработки типов руд; планирования горных работ на основе разработанных методов управления качеством минерального сырья сложноструктурных месторождений (рис. 3) [5].

Разработан комплекс методик, обеспечивающий обоснование параметров инновационных решений в развитии транспортных систем карьеров (рис. 4):

1) Аппаратно-методический комплекс для мониторинговых экспериментальных замеров параметров работы карьерной транспортной техники в «естественных условиях» функционирования, позволяющих верифицировать имитационные модели.

2) Параметры технологии разработки глубокозалегающих месторождений, обеспечивающей увеличение глубины открытой добычи и, соответственно, полноту освоения месторождений, заключающейся в поэтапной трансформации схемы вскрытия с переходом на крутонаклонные автомобильные съезды и законтурные тоннели по мере углубки карьера.

3) Методика поддержки принятия решений при формировании транспортной системы карьера с учетом переходных процессов на всем их жизненном цикле во взаимосвязи со схемой вскрытия, параметрами системы разработки, способами управления качеством минерального сырья, обеспечивающих технико-экономические преимущества и достижение максимальной эффективной глубины карьера (см. рис. 4) [6].



Рис. 3. Схема взаимосвязи процессов моделирования качества сырья с геотехнологиями управления рудопотоками и результаты прогноза качества ПИ методами геофизического изучения сложноструктурного массива

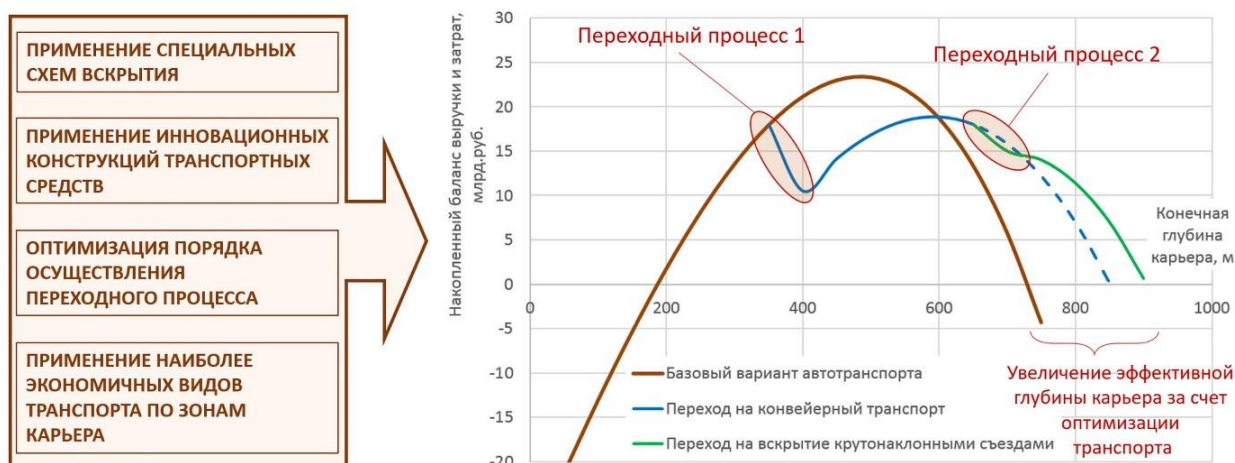
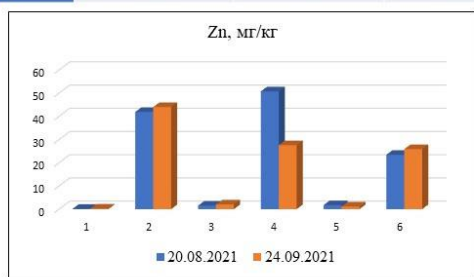


Рис. 4. Алгоритм поддержки принятия решения при формировании транспортной системы карьера

Экспериментально исследованы механизмы накопления, миграции тяжелых металлов (ТМ) в границах наземных и водных экосистем (рис. 5). Установлено, что процессы техногенной трансформации экосистем при освоении недр в аспекте влияния на окружающую среду, предшествующие переходу экосистемы в равновесное состояние, затягиваются до начала проведения мероприятий по экологической реабилитации. Полученные данные свидетельствуют о значительной роли производственных отходов (иммобилизаторов), способствующих уменьшению подвижных форм ТМ, снижая риск аккумуляции ТМ растениями и необходимости формирования каскада биологических прудков с выстраиванием цепочки биологической и биохимической составляющей, чувствительной к каждому химическому элементу в целях разработки приемов для доочистки сточных вод [7].

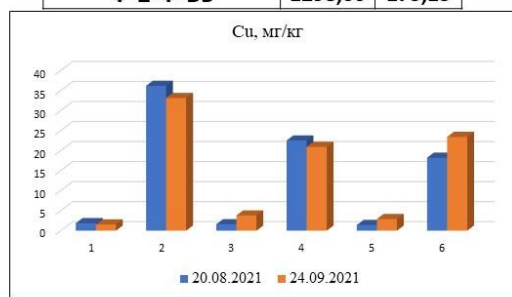
Шифр грядки	Урожайность, гр	Шифр грядки	Урожайность, гр
1а	120	1б	310
2а	170	2б	180
3а	120	3б	136
4а	205	4б	190
5а	350	5б	370
6а	470	6б	435



Динамика содержания подвижной формы цинка в исследуемом субстрате

1 – грунт/шлак 50/50; 2 – грунт/шлак 90:10; 3 – грунт/шлак+навоз 50/50; 4- грунт/шлак+навоз 90/10; 5 – грунт/шлак+навоз 50/50; 6 - грунт/шлак+навоз 90/10

Наименование	мг/кг	
	Cu	Zn
<b>Валовая</b>		
<b>Ф-2-Ф-В</b>	<b>1844,60</b>	<b>203,00</b>
<b>Подвижные формы</b>		
<b>Ф-2-Ф-Вв</b>	<b>1298,00</b>	<b>175,13</b>



Динамика содержания подвижной формы меди в исследуемом субстрате

1 – грунт/шлак 50/50; 2 – грунт/шлак 90:10; 3 – грунт/шлак+навоз 50/50; 4- грунт/шлак+навоз 90/10; 5 – грунт/шлак+навоз 50/50; 6 - грунт/шлак+навоз 90/10;

Рис. 5. Динамика содержания подвижных форм тяжелых металлов в субстрате

Установлено, что при осуществлении переходных процессов в ходе освоения сложноструктурных месторождений именно управление производственным риском позволяет исключить или смягчить конфликт между задачами обеспечения эффективности и безопасности производства. Доказано, что управление производственным риском целесообразно осуществлять на основе контроля опасной производственной ситуации (ОПС). Обоснована закономерность существования ОПС: потенциальная возможность их возникновения обусловлена наличием объективных предпосылок (природные, горно-геологические, горнотехнические, технико-технологические условия), а иницирующим фактором зарождения опасной производственной ситуации является решение работников как реакция на изменение комбинации социально-экономических, горно-геологических, горнотехнических условий функционирования. Установлены основные признаки и характеристики опасных производственных ситуаций: частота и причины возникновения; выявляемость; тяжесть последствий (рис. 6) [8].

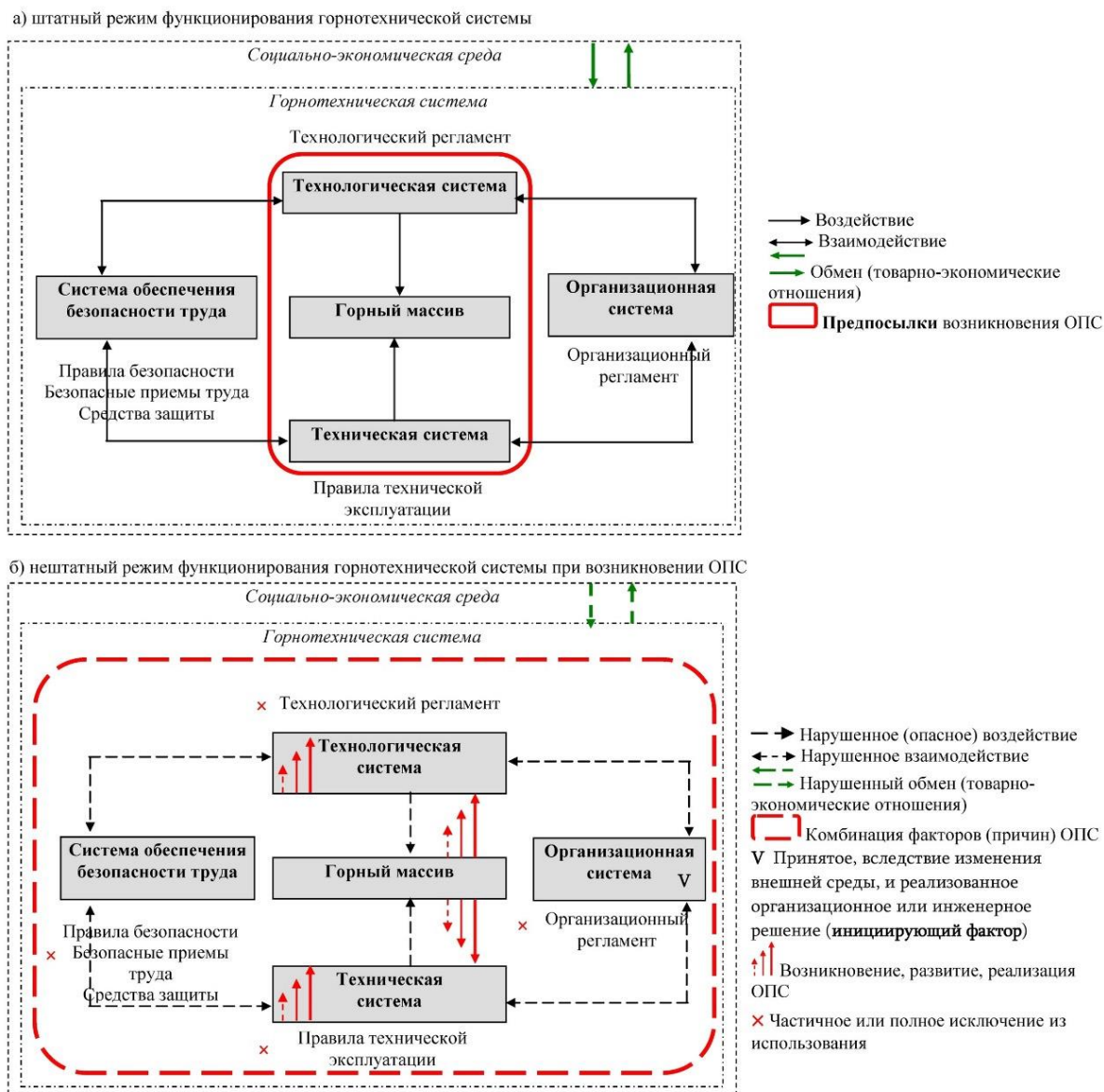


Рис. 6. Принципиальная схема зарождения, развития и реализации опасной производственной ситуации как логическая основа классификационных признаков

### Направление «Геомеханика»

Разработана технология снижения риска и уменьшения тяжести последствий техно-природных катастроф в сфере недропользования, основанная на решении задач геодинамической и геомеханической диагностики массива горных пород на четырех масштабных уровнях и предусматривающая (рис. 7):

1. Создание баз данных скоростей современных геодинамических движений на территории Российской Федерации (1 и 2 уровни).
2. Деформационное районирование зон влияния горных работ по критериям безопасности недропользования (2 и 3 уровни).
3. Структурно-геодинамическое районирование горного массива на основе применения геофизических методов исследований (2, 3 и 4 уровни).
4. Снижение негативного воздействия современных геодинамических движений на конструктивные элементы подземных сооружений и риска динамического проявления горного давления по критерию концентрации напряжений (3 и 4 уровни) [9].

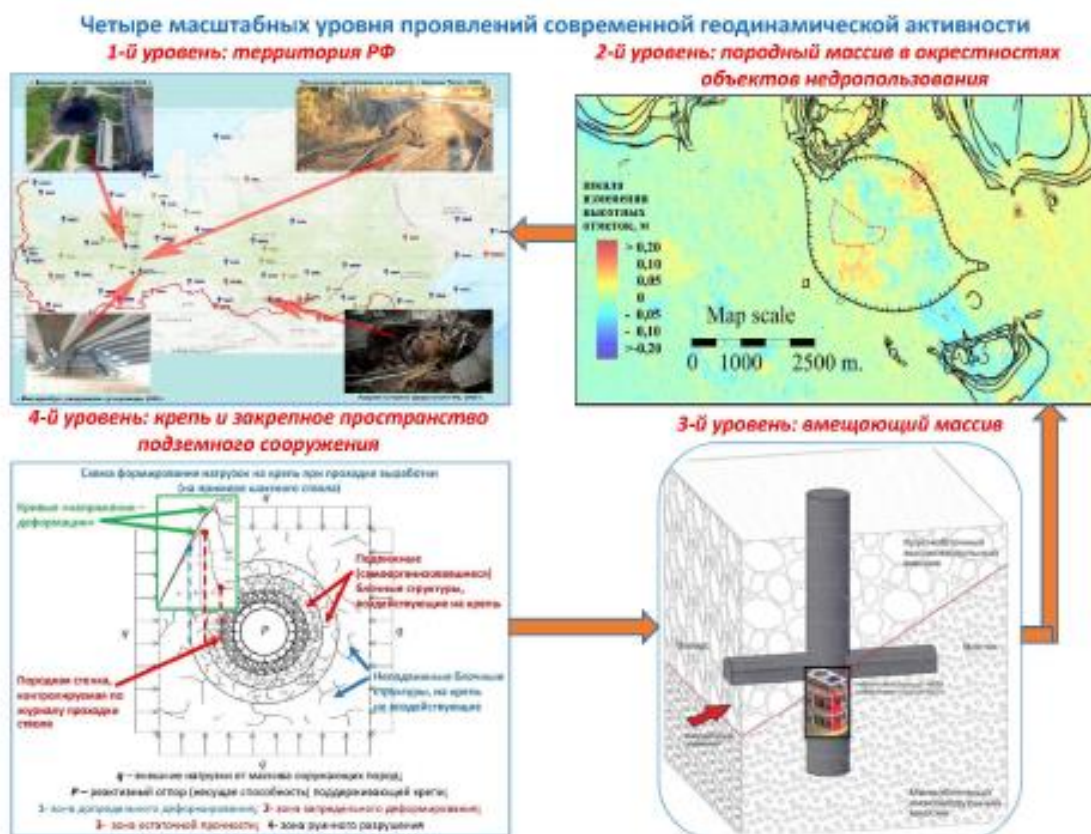


Рис. 7. Масштабные уровни проявления современной геодинамической активности

Разработана технология районирования зоны обрушения дневной поверхности от подземной разработки месторождений по безопасности ведения открытых горных работ, которая состоит из трех этапов (рис. 8): прогноз параметров деформаций на основе эмпирических данных, систематизированных в геоинформационной модели; дистанционное зондирование зон опасных деформаций и геодинамический мониторинг прилегающих территорий методами спутниковой геодезии; определение безопасности зоны обрушения по оседанию поверхности и модулю скорости горизонтальных деформаций массива горных пород [10].

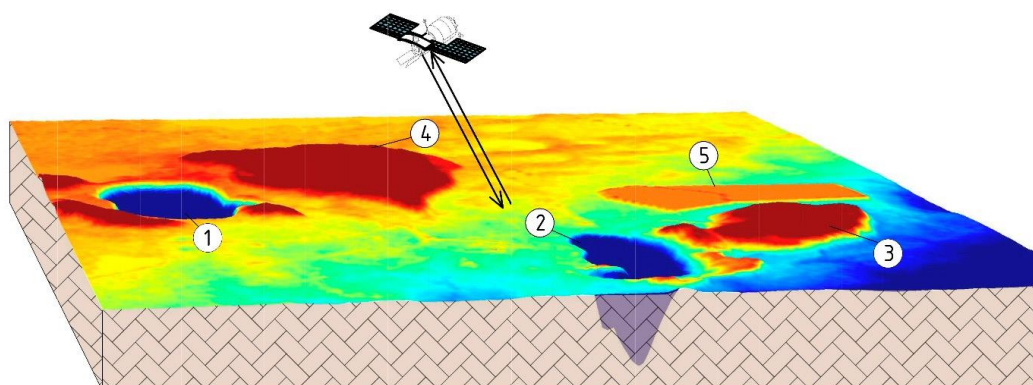


Рис. 8. Цифровая модель рельефа в районе разработки месторождения открытыми и подземными горными работами по данным дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов:  
 1 – карьер глубиной 450 м; 2 – карьер глубиной 500 м; 3 – отвал вскрышных пород; 4 – отвал скальных пород; 5 – хвостохранилище



Обоснованы технологии предотвращения негативного воздействия современных геодинамических движений на конструктивные элементы подземных сооружений (элементы крепи), которые регламентируются взаимными связями между тремя иерархическими масштабными уровнями проявлений современной геодинамической активности (рис. 9) [11].

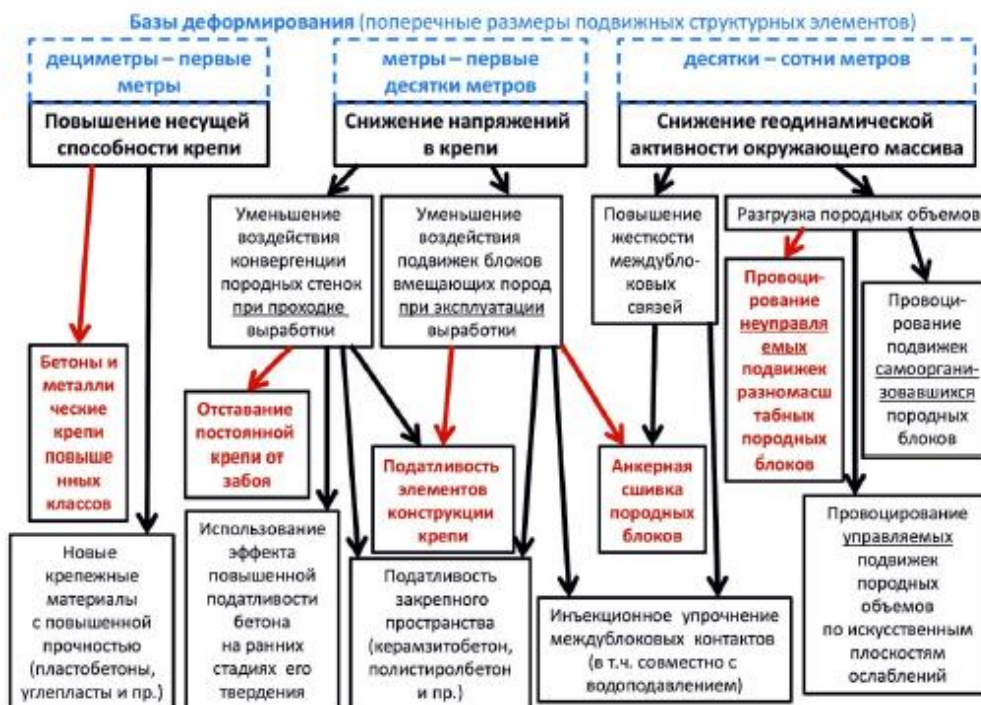


Рис. 9. Взаимные связи между основными технологиями предотвращения негативного влияния современных геодинамических движений на крепь подземных сооружений и масштабами деформирования элементов системы «крепь – массив горных пород»

### Направление «Геоинформатика»

Установлено, что непременным условием, порождающим возмущения в процессах горного производства, является перемещение горных работ в пространстве и времени, обуславливающее периодическое изменение производственной, экологической и внутриэкономической ситуации. Системным свойством переходных процессов горнодобывающего производства является наличие взаимодействующих между собой природно-технологических подсистем, поэтому важным следствием является необходимость динамического контроля ряда индикаторов, т.е. осуществление их комплексного геоинформационного мониторинга. Выделены риски, определяющие комплексную безопасность горных работ: природные, технологические, организационные, а также условия, сопровождающие возобновление опасных ситуаций: циклическая повторяемость работ или действий, отсутствие планового резерва, организационно-экономические факторы (рис. 10) [12].

На примере Левихинского медноколчеданного месторождения разработана методика численного моделирования состояния гидросферы. На основании выполненных высокоточных полевых измерений параметров, определяющих окислительно-восстановительные условия поверхностных и подземных вод, а также расчета форм миграции загрязняющих компонентов, раскрыт механизм формирования химического состава кислых шахтных вод, их трансформации после выхода на поверхность и последующей нейтрализации, создана структура объектной ГИС оценки и прогноза изменения гидрохимической и гидрологической обстановки (рис. 11) [13].

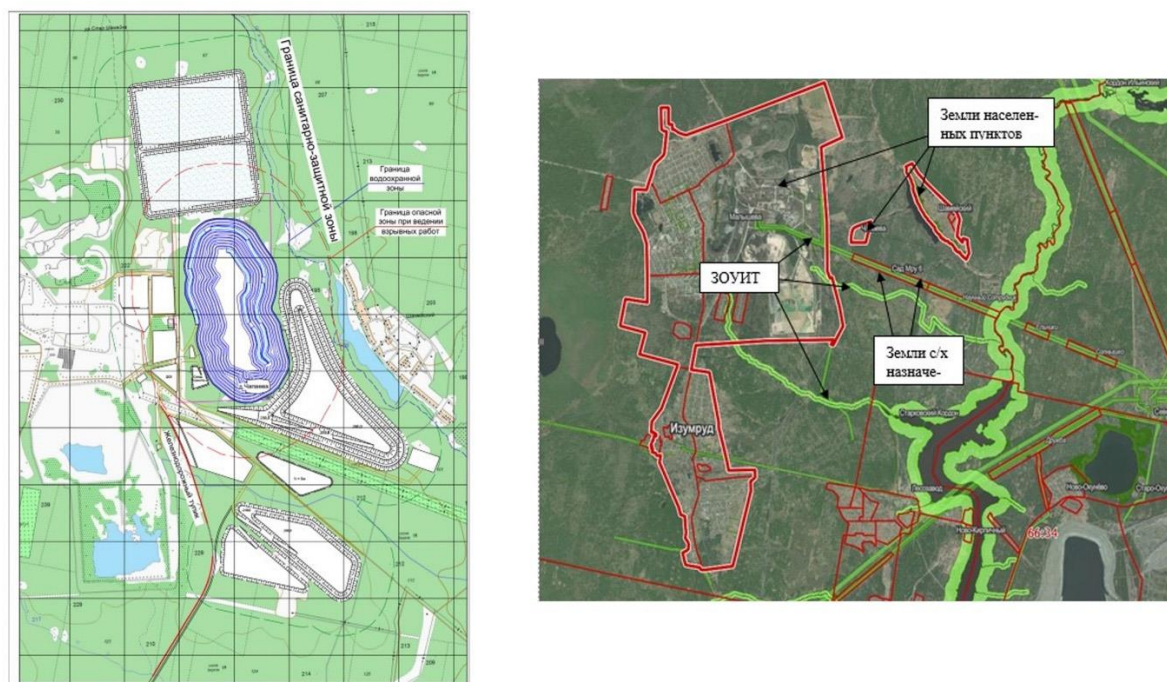
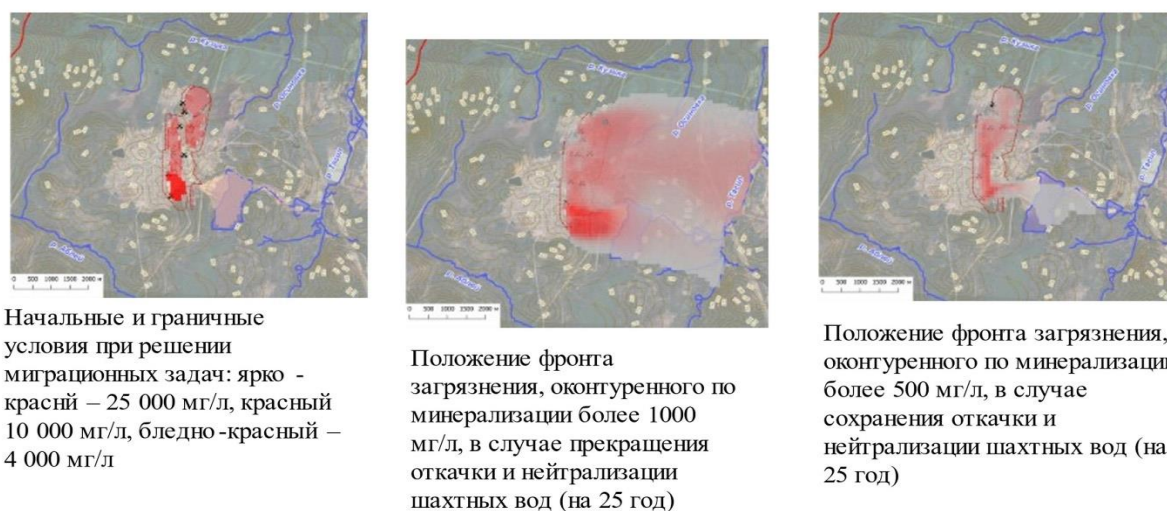


Рис. 10. Системный динамический комплексный геоинформационный мониторинг природно-технологических систем – инструмент контроля технических и экологических рисков



Начальные и граничные условия при решении миграционных задач: ярко - красный – 25 000 мг/л, красный 10 000 мг/л, бледно - красный – 4 000 мг/л

Положение фронта загрязнения, околугуренного по минерализации более 1000 мг/л, в случае прекращения откачки и нейтрализации шахтных вод (на 25 год)

Положение фронта загрязнения, околугуренного по минерализации более 500 мг/л, в случае сохранения откачки и нейтрализации шахтных вод (на 25 год)

Рис. 11. Результаты прогнозного миграционного моделирования: при существующей системе очистки фронт загрязнения локализуется в пределах зон обрушения

### Заключение

Таким образом, полученные научные результаты – концепции, подходы, технологии, способы, методы и методики учета и оценки, управления качеством, моделирования, планирования, мониторинга, принятия решений, управления риском – не только развивают теорию и методологию горных наук, но при внедрении вносят существенный вклад в обеспечение производственной безопасности горного производства. Только совместная работа научных организаций и промышленных предприятий при целеполагании и поддержке государства позволит решить важную для России проблему создания и внедрения собственных инновационных эффективных и безопасных техники и технологий в ее базовый горно-металлургический комплекс.

## Список литературы

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон от 21.07.1997 N116-ФЗ (с изменениями на 11 июня 2021 года) (редакция, действующая с 1 июля 2021 года). URL: <http://enis.gosnadzor.ru/activitu/control/116%D1%84%D0%B7.pdf> (дата обращения 02.03.24).
2. Яковлев В.Л., 2019. *Исследование переходных процессов — новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов.* Екатеринбург: УрО РАН, 284 с.
3. Яковлев В.Л., 2021. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, №5-1. С. 6-18. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_6.
4. Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., 2021. Развитие методологии оценки эффективности переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5-1, С. 77-87. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_77.
5. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., 2021. Применение геоинформационных технологий блочного моделирования для совершенствования методов оценки качественных показателей полезных ископаемых. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 1, С. 63-73. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-1-63-73.
6. Журавлев А.Г., Глебов И.А., Семенкин А.В., Чендырев М.А., 2021. Перспективные технологии транспортирования для глубоких карьеров. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*, № 5, С. 518-528. DOI: 10.32339/0135-5910-2021-5-518-528
7. Собенин А.В., Антонинова Н.Ю., Усманов А.И., Шепель К.В., 2021. Оценка влияния вещественного состава ложа биологических предков на очистку сточных вод предприятий горнометаллургического комплекса. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5-2, С. 273-282. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_273.
8. Кравчук, И. Л., Неволина Е. М., 2021. Практические аспекты формирования классификации и атласа опасных производственных ситуаций. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 27-39.
9. Балек А.Е., Харисов Т.Ф., 2021. Выявление геодинамически активных блоковых структур в массивах горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5-2, С. 30-41. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_30.
10. Kharisova O., Kharisov T., 2021. Searching for possible precursors of mining-induced ground collapse using long-term geodetic monitoring data. *Engineering Geology*, Vol. 289, P. 106173.
11. Харисов Т.Ф., Балек А.Е., 2021. Оценка геодинамической активности иерархически блочного породного массива. *Проблемы недропользования*, № 3 (30), С. 30-38.
12. Корнилков С.В., Кравчук И.Л., 2021. О мониторинге опасных производственных ситуаций на угледобывающем предприятии. *Промышленность и безопасность*, №8 (166), С. 46-49.
13. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., 2021. Оценка факторов формирования гидросферы природно-технических систем (на примере верховьев бассейна реки Тагил, Свердловская область). *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5-2, С. 257-272. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_257.

## References

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон от 21.07.1997 N116-FZ (с изменениями на 11 июня 2021 года) (редакция, действующая с 1 июля 2021 года) [On industrial safety of hazardous production facilities: Federal Law No. 116-FZ of 07/21/1997 (as amended on June 11, 2021) (version effective from July 1, 2021)]. URL: <http://enis.gosnadzor.ru/aktivn-ty/control/116fz.pdf> (дата обращения 02.03.24).
2. Yakovlev V.L., 2019. Issledovanie perekhodnykh protsessov — novoe napravlenie v razvitiy metodologii kompleksnogo osvoeniya georesursov [Study of transients as a new direction in the development of the methodology of integrated development of georesources]. Ekaterinburg: UrO RAN, 284 p.
3. Yakovlev V.L., 2021. Metodologicheskie osnovy strategii innovatsionnogo razvitiya gornotekhnicheskikh sistem pri osvoenii glubokozalegayushchikh mestorozhdenii [Methodological foundations of the strategy of innovative development of mining engineering systems in the development of deep-lying deposit]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', №5-1. P. 6-18. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_6.
4. Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., 2021. Razvitie metodologii otsenki effektivnosti perekhodnykh protsessov pri kombinirovannoi razrabotke rudnykh mestorozhdenii [Development of methodology for assessing the effectiveness of transients in the combined development of ore deposits]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5-1, P. 77-87. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_77.
5. Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S., 2021. Primenenie geoinformatsionnykh tekhnologii blochnogo modelirovaniya dlya sovershenstvovaniya metodov otsenki kachestvennykh pokazatelei poleznykh iskopaemykh [Application of geoinformational technologies of block modeling for improving methods of evaluating qualitative indicators of minerals]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal, № 1, P. 63-73. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-1-63-73.
6. Zhuravlev A.G., Glebov I.A., Semenkin A.V., Chendyrev M.A., 2021. Perspektivnye tekhnologii transportirovaniya dlya glubokikh kar'erov [Promising transportation technologies for deep pits]. Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnikeskoi i ekonomicheskoi informatsii, № 5, P. 518-528. DOI: 10.32339/0135-5910-2021-5-518-528
7. Sobenin A.V., Antoninova N.Yu., Usmanov A.I., Shepel' K.V., 2021. Otsenka vliyaniya veshchestvennogo sostava lozha biologicheskikh predkov na ochestku stochnykh vod predpriyatii gornometallurgicheskogo kompleksa [Assessment of the influence of the material composition of the bed of biological ancestors on wastewater treatment of mining and metallurgical complex enterprises]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5-2, P. 273-282. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_273.
8. Kravchuk, I. L., Nevolina E. M., 2021. Prakticheskie aspekty formirovaniya klassifikatsii i atlasa opasnykh proizvodstvennykh situatsii [Practical aspects of forming a classification and atlas of hazardous production situations]. Problemy nedropol'zovaniya, № 2, P. 27-39.
9. Balek A.E., Kharisov T.F., 2021. Vyyavlenie geodinamicheskii aktivnykh blokovykh struktur v massivakh gornyykh porod [Identification of geodynamically active block structures in rock massifs]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5-2, P. 30-41. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_30.
10. Kharisova O., Kharisov T., 2021. Searching for possible precursors of mining-induced ground collapse using long-term geodetic monitoring data. Engineering Geology, Vol. 289, P. 106173.
11. Kharisov T.F., Balek A.E., 2021. Otsenka geodinamicheskoi aktivnosti ierarkhicheskii blochnogo porodnogo massiva [Assessment of geodynamic activity of a hierarchically blocky rock massif]. Problemy nedropol'zovaniya, № 3 (30), P. 30-38.

12. Kornilov S.V., Kravchuk I.L., 2021. O monitoringe opasnykh proizvodstvennykh situatsii na ugledobyvayushchem predpriyatii [On monitoring of hazardous production situations at a coal mining enterprise]. Promyshlennost' i bezopasnost', № 8 (166), P. 46-49.

13. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A., 2021. Otsenka faktorov formirovaniya gidrosfery prirodno-tekhnicheskikh sistem (na primere verkhov'ev basseina reki Tagil, Sverdlovskaya oblast') [Assessment of the factors of formation of the hydrosphere of natural and technical systems (on the example of the upper reaches of the basin of the Tagil River, Sverdlovsk region)]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5-2, P. 257-272. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_257.