

## РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РУДНОГО И ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЯКОВЛЕВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В.Л. Трушко<sup>1</sup>, А.П. Господариков<sup>1</sup>, К.В. Созонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: ksozonov@mail.ru

**Аннотация:** Рассмотрены основные этапы формирования искусственного защитного перекрытия в условиях Яковлевского железорудного месторождения. Выполнен анализ влияния порядка отработки очистных выработок защитного перекрытия на изменение напряженно-деформированного состояния рудного массива при разработке богатых железных руд слоевой системой с закладкой выработанного пространства. Выявлены закономерности формирования зон предельного равновесия рудного массива вокруг очистных выработок и определены величины смещений рудной потолочины при различных вариантах ведения горных работ. Анализ полученных результатов показал, что наиболее неблагоприятные условия проходки очистных выработок создаются при подработке рудного массива защитного перекрытия, расположенного на контакте с закладочным массивом и выработками нижележащего слоя. Разработанная численная геомеханическая модель позволила количественно оценить влияние порядка отработки на устойчивость очистных горных выработок и обосновать рекомендации по безопасному ведению горных работ.

**Ключевые слова:** железорудное месторождение, моделирование, напряженно-деформированное состояние, слоевая система разработки, смещения.

**Для цитирования:** Трушко В. Л., Господариков А. П., Созонов К. В. Расчет напряженно-деформированного состояния рудного и закладочного массивов при разработке Яковлевского железорудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 111–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-111-123.

### Calculation of stress state in ore and backfill during mining in Yakovlevskoe iron ore deposit

V.L. Trushko<sup>1</sup>, A.P. Gospodarikov<sup>1</sup>, K.V. Sozonov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: ksozonov@mail.ru

**Abstract:** The main stages of artificial protective capping formation in the conditions of Yakovlevskoe iron ore deposit are discussed. The influence exerted by stoping sequence in the protective capping on the change in stress state of high-grade iron ore body under mining with the cut-and-fill method is analyzed. The features of limiting equilibrium zone formation around stopes are revealed and the values of ore crown pillar displacement are determined for different scenarios of mining. The analysis of the obtained results shows that the most adverse mining conditions arise in under-mining of the protective capping arranged at the contact with backfill and lower-lying layer stopes.

The developed numerical geomechanical model enables quantitative evaluation of influence of mining sequence on stability of stopes and validation of recommendations on safe mining.

**Key words:** iron ore deposit, modeling, stress state, cut-and-fill method, displacements.

**For citation:** Trushko V. L., Gospodarikov A. P., Sozonov K. V. Расчет напряженно-деформированного состояния рудного и закладочного массивов при разработке Яковлевского железорудного месторождения. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;5:111-123. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-111-123.

## Введение

Месторождения высококачественных богатых железных руд (содержащих до 69% Fe) расположены в основном в районе Курской магнитной аномалии и составляют 12,4% запасов железорудного сырья в России. Месторождения имеют глубокое залегание, характеризуются сложными горно- и гидрогеологическими условиями и недостаточной изученностью геомеханических процессов при разработке низкопрочных неустойчивых железных руд.

Уникальным является Яковлевское месторождение богатых железных руд, разработка которого ведется под защитным перекрытием слоевой системой разработки. Проведение очистных выработок в рыхлых рудах приводит к вывалообразованию и обрушению руды с боков и кровли выработок, не позволяя обеспечить необходимый уровень безопасности ведения горных работ.

Для разработки рекомендаций по повышению устойчивости очистных горных выработок исследовано напряженно-деформированное состояние (НДС) массива при строительстве защитного перекрытия и отработке нижележащих слоев Яковлевского железорудного месторождения, которое учитывало начальное напряженное состояние рудного массива и его изменения во времени при ведении горных работ, физико-механические свойства рудного и закладочного массивов и характер их контактного взаимодействия [1–3].

## Методика исследований

Задача решена с применением численного моделирования методом конечных элементов (МКЭ). Для построения геомеханической модели использовано программное обеспечение Simulia Abaqus [4]. Реальный массив рассматривался в виде изотропной весомой конечной

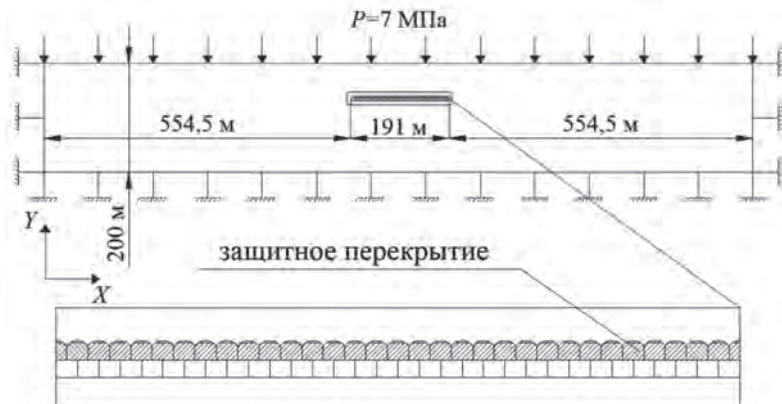


Рис. 1. Принципиальная схема моделируемого участка

Fig. 1. Schematic diagram of simulated plot

**Физико-механические свойства руды и закладочного массива**  
**Physical and mechanical properties of ore and backfill**

Материал	Модуль деформации $E$ , МПа	Коэффициент Пуассона $\mu$	Удельный вес $\rho$ , МН/м <sup>3</sup>	Сцепление $C$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град
Рыхлая железнослудково-мартитовая руда	1300	0,26	0,034	0,4	28
Плотная железнослудково-мартитовая руда	2230	0,24	0,036	4,3	38
Закладочный материал	6000	0,26	0,019	2,84	28

области с физико-механическими свойствами железнослудково-мартитовой руды. Выбор геометрических размеров моделируемого участка сделан с учетом исключения влияния граничных условий на распределение напряжений и деформаций вокруг выработок (рис. 1) [5]. В плоской модели учтен предохранительный рудный целик мощностью 65 м, оставленный над выработками верхнего слоя.

Граничные условия модели запрещали смещения в направлении по нормали относительно каждой грани, верхняя грань модели не закреплялась.

Согласно ранее выполненным исследованиям [6, 7] начальное напряженно-деформированное состояние массива железных руд Яковлевского месторождения задавалось вертикальными напряжениями величиной  $\sigma_y = 7$  МПа.

Частота дискретизации выбрана с учетом исключения влияния размера конечного элемента на точность результатов моделирования. В результате минимальный размер конечного элемента составил 0,3 м.

При разработке железных руд Яковлевского месторождения наблюдаются упругопластические деформационные процессы вокруг очистных выработок, с формированием нелинейно деформированных зон [8–10].

Для изучения НДС использована упругопластическая модель деформирования пород Кулона-Мора. Применение

данной модели позволяет получать результаты оценки НДС рудного и закладочного массивов, которые согласуются с данными натурных испытаний [11, 12]:

$$\tau_c = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $\tau$  — наибольшее касательное напряжение на площадке сдвига;  $C$  — сцепление горных пород;  $\varphi$  — угол внутреннего трения;  $\sigma_n$  — нормальные напряжения на площадке сдвига.

В модели массив представлен нелинейно-деформируемой изотропной средой. Прочностные и деформационные свойства рудного и закладочного массивов получены на основании результатов лабораторных и натурных исследований, выполненных ВИОГЕМ и Горным университетом (таблица) [13].

Решение задачи осуществляется в три этапа:

Первый этап. Рассчитывалось начальное поле напряжений в ненарушенном массиве, учитывающее гравитационные силы [14]. Дополнительно на верхнюю грань модели прикладывали вертикальную нагрузку  $P = 7$  МПа.

Второй этап. Проходка и закладка твердеющей смесью параллельных очистных выработок первого слоя (защитного перекрытия).

Третий этап. Проведение и закладка выработок первого слоя под защитным перекрытием.

Численное моделирование выполнено в двух вариантах формирования защитного перекрытия.

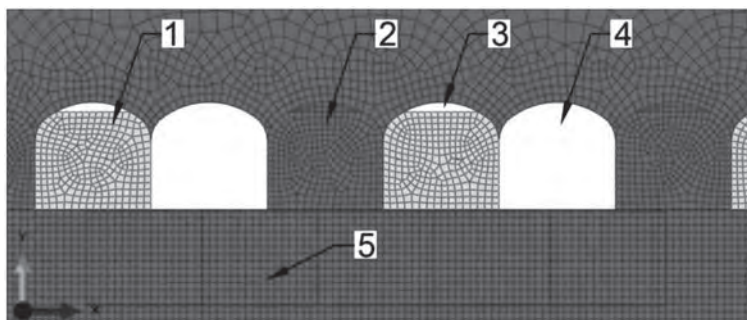


Рис. 2. Фрагмент модели (3 шаг расчета): 1 —очистная выработка первой очереди, заложена; 2 — очистная выработка третьей очереди; 3 — недозаклад 0,4 м; 4 — очистная выработка второй очереди; 5 — очистная выработка первого слоя

Fig. 2. Fragment of the model (3 step): 1 — first order filled stope; 2 — third order stope; 3 — cavity 0,4 m; 4 — second order stope; 5 — stope in first slice

### 1 вариант

Проходка очистных выработок защитного перекрытия, предусматривает оставление целика шириной двукратного пролета выработки [15]. В кровле очистных заходов оставлен недозаклад величиной 0,40 м [16].

На рис. 2 представлен фрагмент сетки конечных элементов и очередность проведения выработок.

Последовательность ведения горных работ в процессе формирования монолитного защитного перекрытия учитывала проходку выработок первой очереди с оставлением разделительного целика и последующую закладку выработок первой очереди. После осуществлялась проходка выработок второй очереди

вприсечку к закладочному массиву и закладка выработанного пространства. На следующем шаге производили проходку очистных выработок третьей очереди и с последующей закладкой.

### 2 вариант

Проведение и закладка выработок нижележащего слоя производилась аналогичным образом с учетом фактического состояния горных работ при формировании защитного перекрытия. Рудные целики в защитном перекрытии обрабатываются после завершения горных работ в первом слое (рис. 3).

### Анализ результатов

Результаты расчетов и формирования зон предельного равновесия по пер-

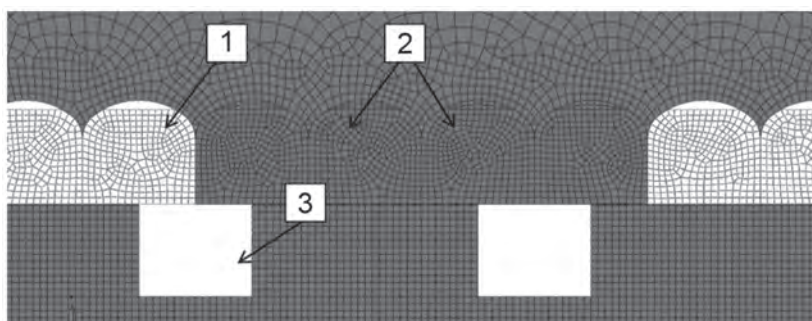


Рис. 3. Фрагмент модели: 1 —заложенная очистная выработка защитного перекрытия; 2 — рудный целик (4 пролета выработки); 3 — очистная выработка первого слоя

Fig. 3. Fragment of the model: 1 — backfilled stope of protective cover slice; 2 — ore pillar (four-time width of stope span); 3 — first order stope

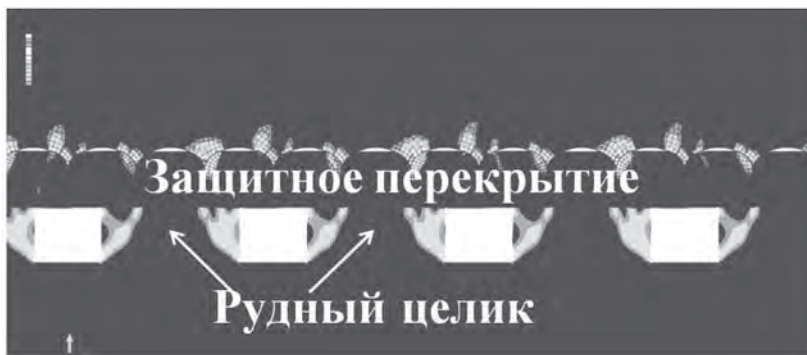


Рис. 4. Формирование зон предельного равновесия на этапе проходки выработок первой очереди 1 слоя.

Fig. 4. Development of limit state zones at the stage of first order slope construction (first slice)

вому варианту приведены на рис. 4 и 5, а концентрации напряжений в рудном массиве представлены на рис. 6. Как видно, интенсивный рост зон предельного равновесия наблюдается в боках выработок. При проведении выработок первой очереди 1 слоя они имеют очертание призм сползания (рис. 4). При последующем проведении присечных выработок и уменьшении ширины разделительного рудного целика отмечается смыкание зон предельного равновесия (рис. 5), свидетельствующее о потере несущей способности рудного целика [17].

Результаты расчетов и формирования зон предельного равновесия по второму варианту представлены на рис. 7, 8. На рис. 7 показаны размеры и форма

областей предельного равновесия массива рыхлой руды после проведения выработок первой очереди 1 слоя. В боках выработок прослеживаются ярко выраженные зоны предельного равновесия в виде призм сползания. Пластические деформации в слое защитного перекрытия приурочены к зонам контакта рудозакладочный массив [18].

Факт наличия данных зон и их значительные размеры говорят о возможности проявления горного давления в виде отслоений и сползания руды внутрь выработок (см. рис. 7).

На рис. 8 приведен характер распределения зон предельного равновесия после проведения и закладки выработок 1 слоя.



Рис. 5. Формирование зон предельного равновесия после проведения вприсечку выработок второй очереди 1 слоя

Fig. 5. Development of limit state zones at the stage of second order slope construction (first slice)



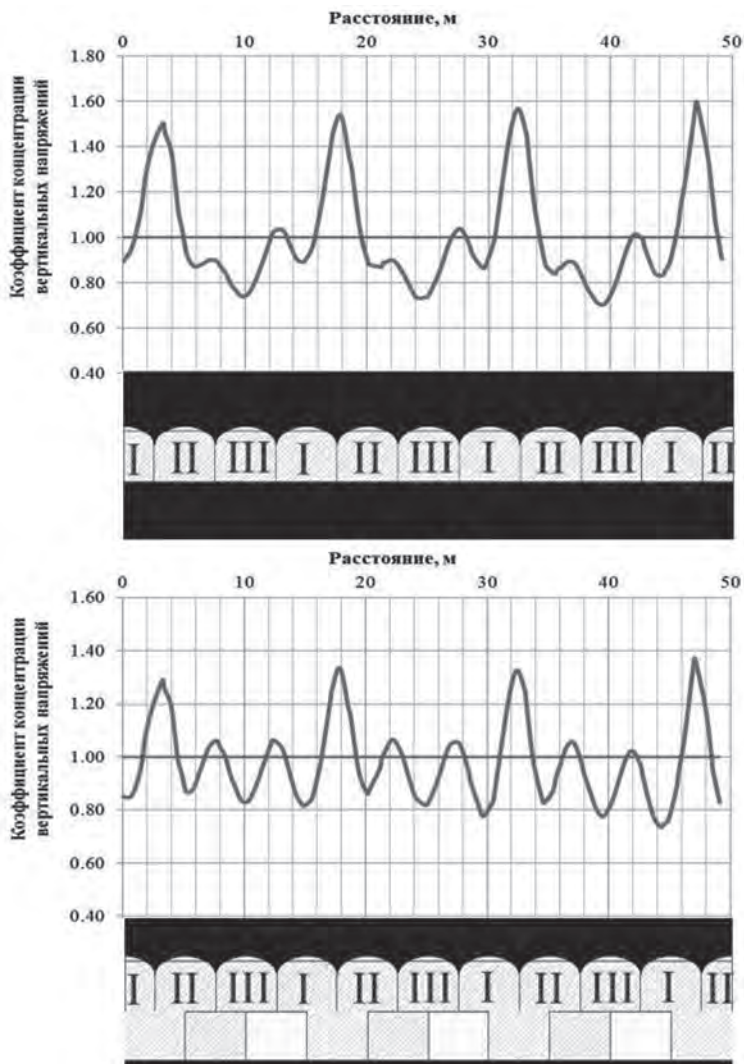


Рис. 6. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в рудном массиве на различных этапах проведения выработок защитного перекрытия и первого слоя (расстояние 2,5 м от кровли выработок защитного перекрытия, вариант 1)

Fig. 6. Concentration coefficient of vertical stresses in solid ore at the different stages of stope development of protective cover and first slice

Наибольшая концентрация напряжений наблюдается в рудном массиве, прилегающем к бокам заложённых выработок защитного перекрытия. Интенсивность разрушения напрямую зависит от величины пролета рудного целика между заложёнными выработками. При размере целика равном одной ширине выработки в область пластических деформаций

попадает, практически, все проектное сечение выработки. С увеличением ширины рудного целика размеры зон пластических деформаций уменьшаются.

Для сравнительного анализа рассмотренных вариантов строительства защитного перекрытия и отработки 1 слоя, были определены деформации рудного массива на удалении 9 м от кровли вы-



Рис. 7. Зоны предельного равновесия массива рыхлой руды после проведения выработок первой очереди 1 слоя.

Fig. 7. Limit equilibrium zones of loose ore massif after first order stope development of first slice



Рис. 8. Зоны предельного равновесия массива рыхлой руды после проведения выработок 1 слоя

Fig. 8. Limit equilibrium zones of loose ore massif after stope development of first slice

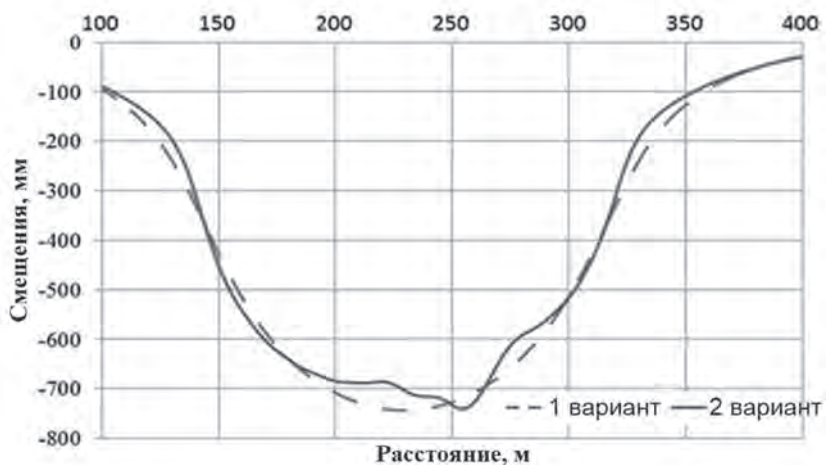


Рис. 9. График распределения вертикальных смещений рудной потолочины (на удалении 9 м от кровли выработок защитного перекрытия)

Fig. 9. Graph of vertical displacement distribution of the ore ceiling (at a distance of 9 m from the roof of protective cover slice)

работок защитного перекрытия (уровень закладки контрольных глубинных реперов).

На рис. 9 представлены вертикальные смещения рудной потолочины по линии, перпендикулярной осям очистных выработок. Для обоих вариантов максимальные величины смещений наблюдаются в центре моделируемого участка и составляют около 750 мм.

Для качественной оценки рассматриваемых вариантов представлены вертикальные смещения в относительном виде (рис. 10).

За базовый показатель смещений приняты смещения, полученные по I варианту, на рис. 10 они являются единичными. Смещения, полученные по II варианту, показаны сплошной линией. Как видно, при строительстве выработок по II варианту, величина смещений на отдельных участках существенно ниже, разница доходит до 15–20%. Увеличение смещений не так значительно, примерно 5–7%.

На рис. 11–12 представлены графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений при втором варианте проведения выработок защит-

ного перекрытия. Коэффициент концентрации определялся как отношение естественных вертикальных напряжений до начала ведения горных работ к напряжениям, вызванным проведением выработок.

Максимальные величины коэффициента концентрации изначально характерны для участков массива над рудными целиками, впоследствии, к местам сопряжения боков выработок. Принципиального отличия в численных значениях, рассматриваемых вариантов, не наблюдается, коэффициент концентрации напряжений составляет 1,4–1,6.

### Заключение

Исследование результатов численного моделирования отработки в различном порядке очистных заходок позволяет сделать следующие выводы. В процессе отработки очистных выработок первого слоя и формирования монолитного защитного перекрытия отмечено формирование зон предельного равновесия в бочках выработок 1 очереди первого слоя, имеющих очертание призм сползания. При последующем проведении вырабо-

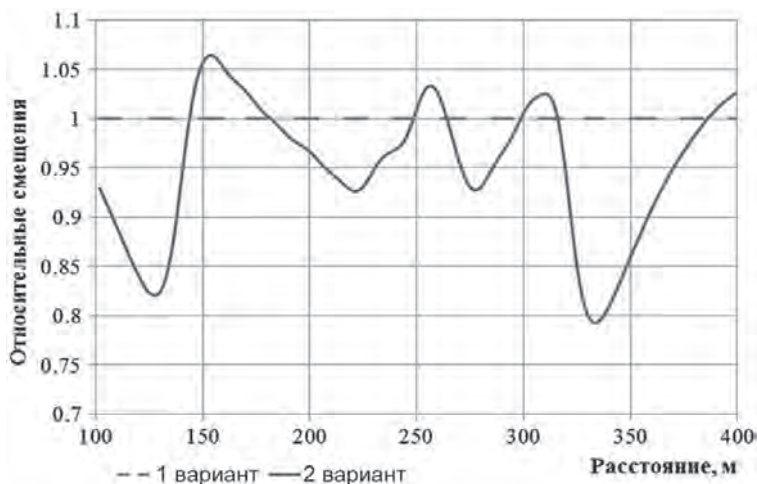


Рис. 10. Относительные вертикальные смещения рудной потолочины (на удалении 9 м от кровли выработок защитного перекрытия)

Fig. 10. Relative vertical displacements of the ore ceiling (at a distance of 9 m from the roof of protective cover slice)



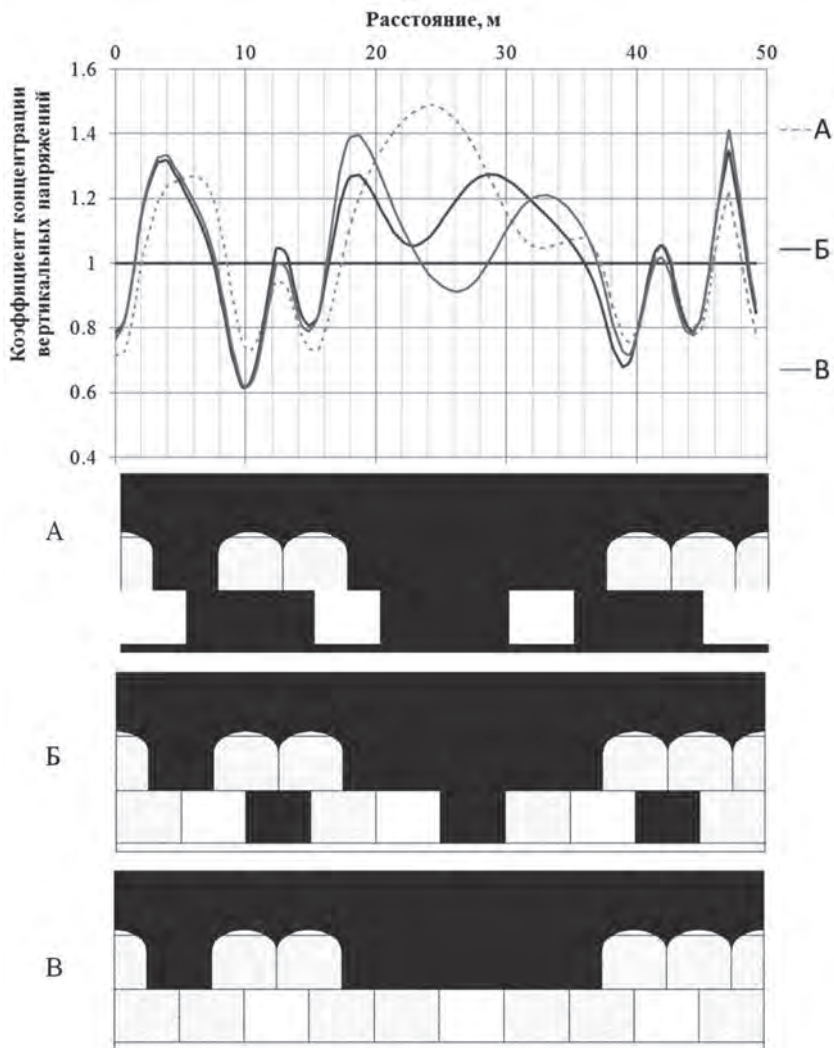


Рис. 11. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в рудном массиве на различных этапах проведения выработок первого слоя (расстояние 2,5 м от кровли выработок защитного перекрытия). А-В — стадии ведения горных работ

Fig. 11. Concentration coefficient of vertical stresses in solid ore at the different stages of stope development of first slice (2.5 m distance from the protective cover slice). A-B — stages of mining

ток 2 очереди и уменьшении ширины разделительного рудного целика отмечено смыкание зон предельного равновесия, что может привести к потере несущей способности рудного целика.

При отработке очистных выработок первого слоя с частично сформированным защитным перекрытием (заложены

только фактически пройденные выработки) установлены форма и размеры области предельного равновесия массива рыхлых железных руд после проведения выработок 1 очереди первого слоя. В боках выработок прослеживаются ярко выраженные зоны предельного равновесия в виде призм сползания. Пласти-

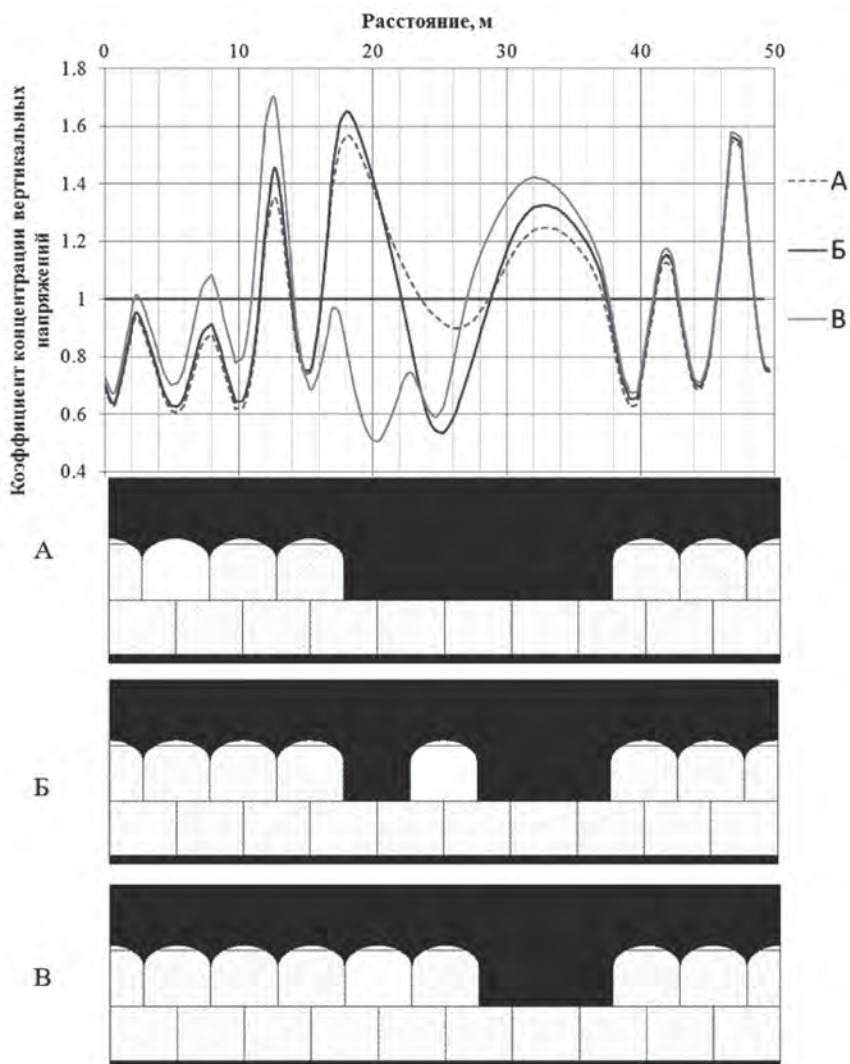


Рис. 12. Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в рудном массиве на различных этапах проведения выработок защитного перекрытия (расстояние 2,5 м от кровли выработок защитного перекрытия). А-В – стадии ведения горных работ

Fig. 12. Concentration coefficient of vertical stresses in solid ore at the different stages of stope development of protective cover slice (2.5 m distance from the protective cover slice). A-B – stages of mining

ческие деформации в слое защитного перекрытия приурочены к зонам контакта руда-закладочный массив.

Максимальные величины смещений наблюдаются в центре обрабатываемого участка и составляют до 750 мм на удалении 9 м от кровли выработок защитного перекрытия. При порядке проходки выработок по второму варианту

увеличение смещений составляет примерно 5–7%.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости разработки мероприятий по повышению устойчивости горных выработок и выбору различных типов и параметров крепи для обеспечения безопасного ведения горных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протосеня А. Г., Синякин К. Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния рудного массива в зоне влияния очистных работ // Записки Горного института. — 2011. — Т. 189. — С. 240—243.
2. Trushko V. L., Protosenya A. G., Dashko R. E. Geomechanical and hydrogeological problems of the Yakovlevsky Deposit development // Zapiski Gornogo instituta, 2010, Vol. 185, pp. 9—18.
3. Abin Thomas C. A., Jayalakshmi S., Jerin K. Antony, Kavva S. Kumar, Sreepriya K. V. Development of Self Compacting Concrete Mix and Analysis of Compressive Strength by Replacement of Fines with Iron Ore Fines // International Journal of Civil Engineering and Technology, 2017, 8(4), pp. 1928—1937.
4. Protosenya A. G., Karasev M. A., Ockurov V. I., Introduction of the method of finite-discrete elements into the Abaqus/Explicit software complex for modeling deformation and fracture of rocks // Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 2017, no 6, Vol. 7, pp. 11—18. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.116692.
5. Gospodarikov A. P., Chi T. N., Behavior of segmental tunnel linings under the impact of earthquakes. A case study from the tunnel of Hanoi Metro system / International Journal of Geomate, 2018, no 48, Vol. 15, pp. 91—98. DOI: 10.21660/2018.48.26210.
6. Потемкин Д. А. Моделирование процессов сдвижения массива горных пород при нисходящем порядке отработки рудного тела Яковлевского месторождения // Записки Горного института. — 2007. — Т. 168. — С. 137—141.
7. Потемкин Д. А., Плащинский В. Ф. Параметры поля напряжений в рудно-кристаллическом массиве до начала ведения горных работ // Записки Горного института. — 2006. — Т. 168. — С. 123—126.
8. Trushko V. L., Protosenya A. G. Stress-Strain Behavior of the Workings during the Rich iron Ores Development under the Confined Aquifers // International Journal of Applied Engineering Research, 2016, Vol. 11, Number 23, pp. 11153—11164.
9. Tshibangu J.-P., Descamps F. The GPMs (UMons-Belgium) device for investigating the mechanical behavior of materials subjected to true triaxial compression. Geomechanics Research Series. Vol. 4. True triaxial testing of rocks. Editors: CRC Press/Balkema, Taylor&Francis Group. 2012, pp. 51—60.
10. Ian Gray, Xiaoli Xhao, Lucy Liu Anisotropic and nonlinear properties of rock including fluid under pressure / Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium, 2018, pp. 41—46.
11. Антонов Ю. Н., Синегубов В. Ю., Максимов А. Б., Синякин К. Г. Деформации рудного обнажения за крепью КМП-А3 в выработках, пройденных вприсечку к закладочному массиву / Труды 8-й Международной научно-практической конференции «Освоение минеральных ресурсов севера: проблемы и их решения». — Воркута, 2010. — С. 174—179.
12. Безухов Н. И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. — М.: Высшая школа, 1968. — 512 с.
13. Trushko Vladimir, Protosenya Anatoliy. (2015). Geomechanical Models and Prognosis of Stress-strain Behavior of Rock Ore in Development of Unique Deposits of Rich Iron Ores Under Water-bearing Formations. Biosciences, Biotechnology Research Asia. 12. 2879—2888. DOI: 10.13005/bbra/1973.
14. Рубчевский Ю. И. Моделирование геомеханических процессов при проведении горных выработок в закладочном массиве // Проблемы недропользования. — 2016. — № 2 (9). — С. 65—70. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.02.065.
15. Зубов В. П., Малютин А. С. Повышение концентрации горных работ при разработке мощных крутопадающих рудных тел слабонаклонными слоями с закладкой выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № S7. — С. 491—497.
16. Синегубов В. Ю. Напряженно-деформированное состояние разделительного целика в слабых рудах между очистными заходками верхнего слоя // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2011. — № 7. — С. 86—91.
17. Фисенко Г. Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. — М.: Недра, 1976. — 272 с.
18. Ставрогин А. Н., Протосеня А. Г. Механика деформирования и разрушения горных пород. — М.: Недра, 1992. — 224 с. **ГИАБ**

## REFERENCES

1. Protosenya A. G., Sinyakin K. G. Simulation of the stress-strain state of the rock ore in zone of extraction influence. *Zapiski Gornogo instituta*. 2011. Vol. 189, pp. 240–243. [In Russ].
2. Trushko V. L., Protosenya A. G., Dashko R. E. Geomechanical and hydrogeological problems of the Yakovlevsky Deposit development. *Zapiski Gornogo instituta*, 2010, Vol. 185, pp. 9–18.
3. Abin Thomas C. A., Jayalakshmi S., Jerin K. Antony, Kavya S. Kumar, Sreepriya K. V. Development of Self Compacting Concrete Mix and Analysis of Compressive Strength by Replacement of Fines with Iron Ore Fines. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 2017, 8(4), pp. 1928–1937.
4. Protosenya A. G., Karasev M. A., Ockurov V. I., Introduction of the method of finite-discrete elements into the Abaqus/Explicit software complex for modeling deformation and fracture of rocks. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, no 6, Vol. 7, pp. 11–18. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.116692.
5. Gospodarikov A. P., Chi T. N., Behavior of segmental tunnel linings under the impact of earthquakes. A case study from the tunnel of Hanoi Metro system. *International Journal of Geomate*, 2018, no 48, Vol. 15, pp. 91–98. DOI: 10.21660/2018.48.26210.
6. Potemkin D. A. Simulation of rock mass displacement processes in the descending order of mining the ore body of the Yakovlevo deposit. *Zapiski Gornogo instituta*. 2007. Vol. 168, pp. 137–141. [In Russ].
7. Potemkin D. A., Plashchinskiy V. F. Stress field parameters in the ore-crystal massif before the start of mining operations. *Zapiski Gornogo instituta*. 2006. Vol. 168, pp. 123–126. [In Russ].
8. Trushko V. L., Protosenya A. G. Stress-Strain Behavior of the Workings during the Rich iron Ores Development under the Confined Aquifers. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, Vol. 11, Number 23, pp. 11153–11164.
9. Tshibangu J.-P., Descamps F. The GPMs (UMons-Belgium) device for investigating the mechanical behavior of materials subjected to true triaxial compression. *Geomechanics Research Series*. Vol. 4. True triaxial testing of rocks. Editors: CRC Press/Balkema, Taylor&Francis Group. 2012, pp. 51–60.
10. Ian Gray, Xiaoli Xhao, Lucy Liu Anisotropic and nonlinear properties of rock including fluid under pressure. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses Proceedings of the 2018 European Rock Mechanics Symposium*, 2018, pp. 41–46.
11. Antonov Yu. N., Sinogubov V. Yu., Maksimov A. B., Sinyakin K. G. Deformations of ore outcrop behind the support of KMP-A3 in the workings, passed along to the filling mass. *Trudy 8-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Osvoenie mineral'nykh resursov severa: problemy i ikh resheniya»*. Vorkuta, 2010, pp. 174–179. [In Russ].
12. Bezukhov N. I. *Osnovy teorii uprugosti, plastichnosti i polzuchesti* [The foundations of the theory of elasticity, plasticity, and creep], Moscow, Высшая школа, 1968, 512 p.
13. Trushko Vladimir, Protosenya Anatoliy. (2015). Geomechanical Models and Prognosis of Stress-strain Behavior of Rock Ore in Development of Unique Deposits of Rich Iron Ores Under Water-bearing Formations. *Biosciences, Biotechnology Research Asia*. 12. 2879–2888. DOI: 10.13005/bbra/1973.
14. Rubchevskiy Yu. I. Geomechanical processes modeling during mining workings driving in the filling mass. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2016, no 2 (9), pp. 65–70. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.02.065. [In Russ].
15. Zubov V. P., Malyutin A. S. Increasing the concentration of mining operations in the development of powerful steeply falling ore bodies with weakly inclined layers with the bookmark of the developed space. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no S7, pp. 491–497. [In Russ].
16. Sinogubov V. Yu. Increasing the concentration of mining operations during development of large steeply dipping ore bodies by low-inclined slices with backfilling. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2011, no 7, pp. 86–91.
17. Fisenko G. L. *Predel'nye sostoyaniya gornyx porod vokrug vyrabotok* [Limit states of rocks around workings], Moscow, Nedra, 1976, 272 p.
18. Stavrogin A. N., Protosenya A. G. *Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya gornyx porod* [Mechanics of rock deformation and destruction], Moscow, Nedra, 1992, 224 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Трушко Владимир Леонидович*<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: trushko@spmi.ru,  
*Господариков Александр Петрович*<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: kafmatem@spmi.ru,  
*Созонов Кирилл Владиславович*<sup>1</sup> — аспирант, e-mail: ksozonov@mail.ru,  
<sup>1</sup> Санкт-Петербургский горный университет.  
Для контактов: Созонов К.В., e-mail: ksozonov@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*V.L. Trushko*<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: trushko@spmi.ru,  
*A.P. Gospodarikov*<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: kafmatem@spmi.ru,  
*K.V. Sozonov*<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: ksozonov@mail.ru,  
<sup>1</sup> Saint Petersburg Mining University, 199106, Saint Petersburg, Russia.  
Corresponding author: K.V. Sozonov, e-mail: ksozonov@mail.ru.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА И СТРАН АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА (2018, № 12, СВ 62, 48 с.)

Представлены результаты исследований перспективных направлений геомеханики в области повышения эффективности предупреждения катастрофических последствий разрушения горных пород и массивов при ведении горных работ на основе разработки надежных многоканальных методов обнаружения предвестников геодинамических явлений. Рассмотрены перспективы международного сотрудничества Российской Федерации в области горной промышленности со странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Предложены решения микробиологического обогащения минерального сырья для редких и рассеянных элементов. Представлены результаты исследований, направленные на разработку технологий глубокой переработки углей методом газификации с получением технологических газов для выработки электрической, тепловой энергии и химического синтеза. Кроме того, представлены результаты испытания гуминовых препаратов, полученных из бурого угля, торфа и органо-минеральных соединений.

### PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF GEORESOURCES OF THE RUSSIAN FAR EAST AND COUNTRIES OF THE ASIA-PACIFIC REGION

The results of studies of promising areas of geomechanics in the field of improving the efficiency of prevention of catastrophic consequences of destruction of rocks and massifs in the conduct of mining based on the development of reliable multi-channel methods of detection of precursors of geodynamic phenomena. The prospects of international cooperation of the Russian Federation in the field of mining with the countries of the Asia-Pacific region are considered. Solutions of microbiological enrichment of mineral raw materials for rare and scattered elements are proposed. The results of research aimed at the development of technologies of deep processing of coal by gasification to produce process gases for the production of electricity, heat and chemical synthesis. In addition, the results of testing humic preparations obtained from brown coal, peat and organo-mineral compounds are presented.