

УДК 622.272(571.51) © И.В. Зеньков<sup>1,4</sup>, Д.В. Редькин<sup>1</sup>, А.В. Бажин<sup>1</sup>,  
А.С. Конде<sup>2</sup>, Ю.П. Юронен<sup>3</sup>, В.Н. Вокин<sup>4</sup>, Е.В. Кирюшина<sup>4</sup>,  
Ю.П. Пташник<sup>4</sup>, А.А. Латынцев<sup>4</sup>, 2026

UDC 622.272(571.51) © I.V. Zenkov<sup>1,4</sup>, D.V. Redkin<sup>1</sup>, A.V. Bazhin<sup>1</sup>,  
A.S. Conde<sup>2</sup>, Yu.P. Yuronen<sup>3</sup>, V.N. Vokin<sup>4</sup>,  
E.V. Kiryushina<sup>4</sup>, Yu.P. Ptashnik<sup>4</sup>, A.A. Latyntsev<sup>4</sup>, 2026

<sup>1</sup> Сибирский научно-исследовательский институт горного  
и маркшейдерского дела, 660012, г. Красноярск, Россия

<sup>1</sup> Siberian Research Institute of Mining and Surveying,  
Krasnoyarsk, 660012, Russian Federation

<sup>2</sup> Компания RUSSKY ALUMINY LIMITED, Представительство  
в Гвинейской Республике, BP 6506, Конакри, Гвинейская Республика

<sup>2</sup> RUSSKY ALUMINY LIMITED, Conakry, Representative Office  
in the Republic of Guinea, BP 6506, Republic of Guinea

<sup>3</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий  
им. академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,  
Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

<sup>4</sup> Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия  
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

<sup>4</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation  
✉ e-mail: zenkoviv@mail.ru

# Обоснование режима открытых горных работ на мульдообразных двухпластовых угольных месторождениях в сложных геомеханических условиях на территории Красноярского края

## Justification of open-pit mining mode in synclinal two-seam coal deposits under complex geomechanical conditions in the Krasnoyarsk Territory

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-4-97-100>

*В Красноярском крае открытым способом разрабатываются мульдообразные угольные месторождения, в строении которых находятся преимущественно два пласта с неглубоким залеганием. На всех месторождениях угля выявлены изменения мощности угольных пластов, отрицательно сказывающиеся на условиях безопасного производства открытых горных работ, что приводит к необходимости исследования режима открытых горных работ с учетом изменения горно-геологического строения разрабатываемого массива горных пород. Это позволяет производить обоснование режима открытых горных работ с учетом величины опережающей выемки вскрышных пород на верхних уступах в карьере.*

**Ключевые слова:** мульдообразные угольные месторождения, открытые горные работы, раздутая угольных пластов, режим горных работ, коэффициент вскрыши, устойчивость борта карьера, деформация борта карьера, опережающая выемка вскрышных пород, коэффициент запаса устойчивости.

**Для цитирования:** Обоснование режима открытых горных работ на мульдообразных двухпластовых угольных месторождениях в сложных геомеханических условиях на территории Красноярского края / И.В. Зеньков, Д.В. Редькин, А.В. Бажин и др. // Уголь. 2026;(4):97-100. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-4-97-100.

### Abstract

*The synclinal coal deposits that are developed in the Krasnoyarsk Territory using the open-pit mining methods are mainly composed of two shallow seams. Variations in*

### ЗЕНЬКОВ И.В.

*Доктор техн. наук, профессор,  
заместитель директора  
по научной работе, Сибирский  
научно-исследовательский институт  
горного и маркшейдерского дела,  
профессор, Сибирский  
федеральный университет,  
660041, г. Красноярск, Россия,  
e-mail: zenkoviv@mail.ru*

### РЕДЬКИН Д.В.

*Горный инженер,  
Сибирский научно-исследовательский  
институт горного  
и маркшейдерского дела,  
660012, г. Красноярск, Россия*

**БАЖИН А.В.**

Горный инженер, Сибирский научно-исследовательский институт горного и маркшейдерского дела, 660012, г. Красноярск, Россия

**КОНДЕ А.С.**

Горный инженер компании RUSSKY ALUMINY LIMITED, Представительство в Гвинейской Республике, BP 6506, г. Конакри, Гвинейская Республика

**ЮРОНЕН Ю.П.**

Канд. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия

**ВОКИН В.Н.**

Канд. техн. наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия

**КИРЮШИНА Е.В.**

Канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия

**ПТАШНИК Ю.П.**

Канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия

**ЛАТЫНЦЕВ А.А.**

Канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, Россия

*the thickness of the coal seams have been identified at all the coal deposits, which negatively affect the safety of open-pit mining operations. This requires a study of the open-pit mining mode with due consideration of variations in the mining and geological structure of the rock mass to be developed. This makes it possible to justify the open-pit mining mode with due account of the amount of advance overburden stripping on the upper open-pit benches.*

**Keywords**

*Synclinal coal deposits, surface mining operations, seam swilley, mode of mining operations, stripping ratio, pit wall stability, pit wall deformation, advanced stripping of overburden, safety factor.*

**For citation**

Zenkov I.V., Redkin D.V., Bazhin A.V., Conde A.S., Yuronen Yu.P., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Ptashnik Yu.P., Latyntsev A.A. Justification of open-pit mining mode in synclinal two-seam coal deposits under complex geomechanical conditions in the Krasnoyarsk Territory. *Ugol'*. 2026;(4):97-100. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-4-97-100.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы, несмотря на призывы к переходу на возобновляемые источники энергии, основной тенденцией в мировом недропользовании является сохранение объемов добычи угля. В Красноярском крае в открытой разработке находятся мульдообразные двухпластовые месторождения без использования буровзрывного способа рыхления горных пород перед экскавацией. Такие месторождения разрабатывают открытым способом в ходе разноски одного борта карьера. Особенностью горно-геологического строения таких месторождений является наличие раздутых угольных пластов, в границах которых их мощность может увеличиваться в два раза. В процессе производства горных работ при подходе рабочего борта карьера к этим раздутым значительно снижается коэффициент запаса устойчивости борта карьера. Вследствие этого необходимо производить корректировку объемов вскрышных работ, отражающихся на текущем коэффициенте вскрыши. Как правило, в горном деле игнорирование уровня коэффициента запаса устойчивости рабочего борта карьера приводит на практике к деформациям рабочего борта карьера с вытекающими негативными последствиями для людей и техники. В мировом недропользовании имеется множество случаев уничтожения горных и транспортных машин и гибели производственного персонала, что является следствием деформации рабочих бортов карьеров. В горном деле исследованиям режима открытых горных работ с учетом устойчивости горных выработок уделяется большое внимание, о чем свидетельствуют результаты работ по геомеханике, представленных в краткой подборке тематических научных трудов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

### **СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ И СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ В КАРЬЕРАХ ПО ДОБЫЧЕ УГЛЯ НА ДВУХПЛАСТОВЫХ МУЛЬДООБРАЗНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

В последнее десятилетие в Красноярском крае наблюдается рост объемов добычи угля открытым способом на мульдообразных месторождениях с двумя-тремя угольными пластами. В линейке буругольных месторождений находятся месторождения, в строении которых мощность угольных пластов увеличивается в 1,5-2 раза. Глубина залегания пластов в замковой части – 60-70 м. При изучении геологического строения месторождений угля были выявлены многочисленные изменения мощности угольных пластов с максимальным двукратным увеличением этого показателя [9]. На всех месторождениях угля в карьерах в движении находится один борт, и на место отработанных угольных пластов отсыпают вскрышные породы. На перевалке части вскрышных пород в выработанное пространство установлены драглайны ЭШ-10/70, ЭШ-15/90. На вскрышных работах экскаваторно-автомобильные комплексы состоят из ЭКГ-5 и ЭКГ-8 и автосамосвалов грузоподъемностью

до 55 т. Добычные работы выполняют с использованием ЭКГ-5 и автосамосвалов грузоподъемностью до 55 т. Такая комплектация горных работ горнотранспортным оборудованием характерна для карьеров на Переясловском и Ирбейском месторождениях. На Большесырском, Канском, Абанском и Орловском месторождениях на выемке вскрышных пород и на добыче угля работают гидравлические экскаваторы типа «обратная лопата» с ковшем вместимостью 2 куб. м, а на Абанском – экскаваторы Э-2503 в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью 30 т. На Большесырском месторождении на перевалке вскрышных пород в выработанное пространство используют драглайны ЭШ-10/70. Вместе с тем тенденция роста объемов добычи угля в крае не соответствует резолюциям ООН о необходимости улучшения климата на нашей планете [10].

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА УЧАСТКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С РАЗДУТИЯМИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Особенностью строения разрабатываемых мульдообразных угольных месторождений является наличие в их толще так называемых раздутий угольных пластов, в границах которых мощность угольного пласта может увеличиваться в два раза. Относительно направления развития горных работ кровля угольного пласта на участке его раздутия между точками  $F$  и  $L$  имеет подъем в направлении от кровли верхнего угольного пласта к земной поверхности, а после достижения максимальной мощности пространственное расположение кровли пласта в недрах изменяется на противоположное на отрезке между точками  $L$  и  $Q$  (см. рисунок).

На рисунке линиями красного цвета показаны конфигурации рабочего борта карьера на разных этапах отработки месторождения в случае подхода горных работ к раздутию верхнего угольного пласта. Важнейший показатель работы любого карьера – текущий коэффициент вскрыши, имеющий два аспекта технологического и экономического характера, будет существенно различаться при открытой разработке мульдообразных месторождений угля в секторах изменения мощности угольного пласта.

При перемещении борта карьера между точками  $E$  и  $G$  в секторе  $AB$  объем выемки вскрышных пород, находящихся

над верхним пластом, будет ежегодно увеличиваться, что будет постоянно приводить к увеличению текущего коэффициента вскрыши по линейной зависимости с положительными коэффициентами в уравнении при его аналитическом определении.

По мере развития горных работ борт карьера неизбежно подойдет к началу раздутия верхнего угольного пласта в точке  $F$ . Подход открытых горных работ к контакту угольного пласта с вскрышными породами в виде наклонной плоскости в сторону земной поверхности, как правило, приводит к возникновению оползневых процессов. Для снижения вероятности деформации борта карьера на практике производят опережающую выемку вскрышных пород. Этот объем вскрышных работ выполняют на верхнем вскрышном уступе, а в некоторых случаях – на группе верхних вскрышных уступов для разгрузки рабочего борта карьера и повышения его устойчивости. К этому моменту для поддержания необходимого уровня коэффициента запаса устойчивости борт карьера должен быть разгружен за счет отработки верхней части вскрышных пород в контурах фигуры  $HMNP$ . Временной период отработки этой части вскрыши должен совпадать с периодом отработки всего объема вскрышных пород над кровлей верхнего угольного пласта между смежными положениями рабочего борта карьера в точках  $G$  и  $F$ . На этапе перемещения рабочего борта карьера на отрезке между точками  $F$  и  $L$  необходимо продолжать работы по опережающей выемке вскрышных пород в верхней части борта. Последовательность опережающей выемки вскрышных пород (см. рисунок) показана цифрами от 1 до 3. При дальнейшем перемещении рабочего борта, начиная с точки  $L$ , опережающая выемка верхней части вскрышных пород в карьере не потребуется.

Отметим, что в секторе  $FL$  плоскость кровли верхнего угольного пласта расположена в толще горных пород таким образом, что угол, образованный линией откоса борта карьера и линией плоскости кровли пласта, значительно меньше аналогичного показателя в секторах  $EG$  и  $GF$ , что приводит к значительному снижению уровня коэффициента запаса устойчивости рабочего борта карьера. Это положение было принято за основу в ходе моделирования режима горных работ на угленасыщенных участках с раздутиями угольных пластов.

В нашем исследовании опережающая выемка вскрышных пород на верхнем уступе начинается в контурах фигуры с точками  $HMNP$ . При этом в моделировании принимались следующие диапазоны изменяемых показателей: углы залегания верхнего пласта  $2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ$  и  $6^\circ$ ; мощность верхнего угольного пласта  $m_1 = 5; 10$  и  $15$  м; максимальная мощность раздутия верхнего угольного пласта  $M = 10; 20$  и  $30$  м; горизонтальная проекция изменения мощности пласта на отрезке  $CD$  принята  $50; 75; 100; 125$ ; и  $150$  м. Для более наглядного по-

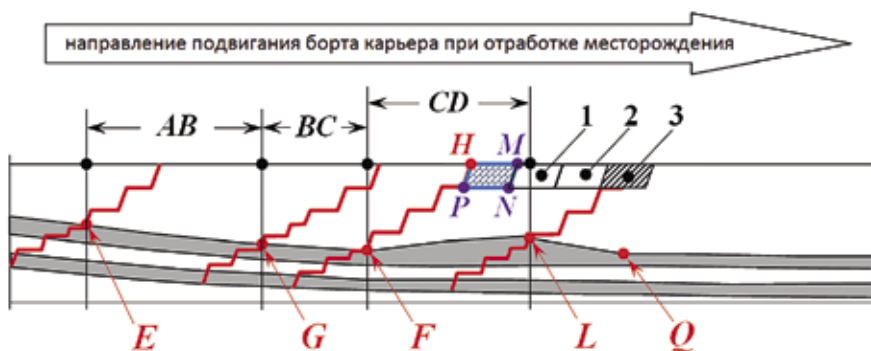


Схема геологического строения мульдообразного двухпластового угольного месторождения с выделением технологических секторов при его разработке на участке изменения мощности верхнего угольного пласта

A schematic representation of the geological structure of a synclinal two-seam coal deposit with identification of technological sectors during its development in the area where the thickness of the upper coal seam varies

нимания режима открытых горных работ при отработке месторождения в секторе раздутья верхнего угольного пласта были получены 225 зависимостей изменения текущего коэффициента вскрыши с учетом более интенсивной экскавации вскрышных пород на верхнем уступе (фигура *HMNP*). Рост текущего коэффициента вскрыши на отрезке *[GF]* будет компенсирован в дальнейшем при движении рабочего борта на отрезке *[FL]* за счет сокращения объемов вскрышных работ, выполненных с опережением на отрезке *[GF]*, и увеличением мощности угольного пласта. В ходе математического моделирования установлено, что изменение коэффициента вскрыши при работе карьера в секторе увеличения мощности верхнего угольного пласта (раздутья) на отрезках *[GF]* и *[FL]* определяется полиномами до четвертой степени.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В обосновании режима открытых горных работ при разработке мульдообразных угольных месторождений необходимо учитывать наличие изменения мощности угольных пластов, обуславливающих значительное снижение уровней геомеханических характеристик разрабатываемого массива горных пород, что в свою очередь снижает безопасность условия производства горных работ. Повышение коэффициента запаса устойчивости рабочего борта карьера в секторе его продвижения от начала до конца раздутья угольного пласта достигается опережающей выемкой определенного объема верхней части массива вскрышных пород. Объем опережающей выемки верхней части вскрышных пород в карьере находится в прямой зависимости от соотношения мощности угольного пласта и его мощности в секторе его раздутья, размера раздутья угольного пласта вкrest простираения фронта открытых горных работ и размера горизонтальной проекции линии, на которой происходит раздутье мощности угольного пласта.

### Список литературы • References

1. Геомеханические проблемы отработки нижних горизонтов месторождения Южное (Приморский край) / М.А. Ломов, А.В. Сидляр, А.В. Константинов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 12-2. С. 87-99. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_122\_0\_87. Lomov M.A., Sidlyar A.V., Konstantinov A.V., Grunin A.P. Geomechanical challenges of mining the lower levels of the Yuzhnoye deposit (Primorsky Krai). *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2023; (12-2):87-99. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_122\_0\_87.
2. Protosenya A.G., Belyakov N.A., Bouslova M.A. Modelling of the stress-strain state of block rock mass of ore deposits during development by caving mining systems. *Journal of Mining Institute*. 2023;(262): 619-627.
3. Анализ обрушения бортов на железорудном карьере Уэнса в Северо-Восточном Алжире методом конечных элементов: причины и выводы для контроля устойчивости / Ф. Бельгелиль, М. Фредж, А. Саадун и др. // Записки Горного института. 2024. Т. 268. С. 576-587. Belguetiel F., Fredj M., Saadoun A., Boukarm R. Finite element analysis of slope failure in Ouenza open-pit iron mine, NE Algeria: causes and lessons for stability control. *Zapiski Gornogo instituta*. 2024;(268): 576-587. (In Russ.).

4. Мустафин М.Г., Валькова Е.О. Маркшейдерско-геомеханическое обоснование методики наблюдений за деформациями бортов карьеров // Уголь. 2024;(7):55-61. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-55-61. Mustafin M.G., Valkova E.O. Surveying and geomechanical justification for the methods of quarry sides deformations observation. *Ugol'*. 2024;(7):55-61. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-7-55-61.
5. Liren Ban, Zhigang Tao, Weisheng Du, Yuhang Hou. A consecutive joint shear strength model considering the 3D roughness of real contact joint surface. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2023;33(5):617-624.
6. Chang F., Li H., Don S., Yin H. Pre-, Co-, and Post-Failure Deformation Analysis of the Catastrophic Xinjing Open-Pit Coal Mine Landslide, China, from Optical and Radar Remote Sensing Observations. *Remote Sens*. 2025;(17):19. <https://doi.org/10.3390/rs17010019>.
7. Akram Deimiati, Jonathan D. Aubertin, Yannic Ethier. On the calibration of a shear stress criterion for rock joints to represent the full stress-strain profile. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024;16(2):379-392. DOI: 10.1016/j.jrmge.2023.07.019.
8. Jianhua Yan, Xiansen Xing, Zhihai Li et al. Development of a DFN-based probabilistic block theory approach for bench face angle design in open pit mining. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2024;16(8):3047-3062. DOI: 10.1016/j.jrmge.2024.02.028.
9. Угольная база России. Том III. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 488 с.
10. <https://www.un.org/ru/climatechange/climate-ambition-summit>.

### Authors Information

**Zenkov I.V.** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, e-mail: zenkoviv@mail.ru

**Redkin D.V.** – Mining Engineer, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660012, Russian Federation

**Bazhin A.V.** – Mining Engineer, Siberian Research Institute of Mining and Surveying, Krasnoyarsk, 660012, Russian Federation

**Conde A.S.** – Mining engineer, RUSSKY ALUMINY LIMITED, Representative Office in the Republic of Guinea, Conakry, BP 6506, Republic of Guinea

**Yuronen Yu.P.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

**Vokin V.N.** – PhD (Engineering), Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Kiryushina E.V.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Ptashnik Yu.P.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

**Latyntsev A.A.** – PhD (Engineering), Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 26.02.2026

Поступила после рецензирования: 16.03.2026

Принята к публикации: 30.03.2026

### Paper info

Received February 26, 2026

Reviewed March 16, 2026

Accepted March 30, 2026