

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вялов, В.И. Рений в диктионемовых сланцах прибалтийского бассейна / В.И. Вялов, А.С. Балахонина, А.И. Ларичев, А.Х. Богомолов // Вестн. Моск. Ун-та. — Сер. 4. Геология. — 2013. — № 2. — С. 63–68.
2. Ключарев, Д.С. Рудное будущее горючих сланцев / Д.С. Ключарев, Соесоо Алвар // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 1. — С. 57–62.
3. Кременецкий, А.А. Содержание рения и других редких металлов в газах вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Курильские острова) / А.А. Кременецкий, И.В. Чаплыгин // ДАН. — 2010. — Т. 430. — № 3. — С. 365–370.
4. Кременецкий, А.А. Стратегические редкие и рассеянные элементы в месторождениях цветных, черных и благородных металлов / А.А. Кременецкий, Д.С. Ключарев // В сборнике материалов Всероссийской конференции: Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования. ИГЕМ РАН 25–27 ноября 2015 г. — М.: ИГЕМ, 2015.
5. Левченко, Е.Н. Особенности учета запасов редких металлов / Е.Н. Левченко, Л.З. Быховский, И.Г. Спиридонов, Д.С. Ключарев // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 1. — С. 45–51.
6. Поплавко, Е.М. Особенности металлоносности горючих сланцев и некоторые предположения об их генезисе / Е.М. Поплавко, В.В. Иванов, В.С. Орехов // Геохимия. — 1978. — № 9. — С. 1411–1418.
7. Середин, В.В. Новый потенциально промышленный тип иттриевоземельной минерализации в Юго-Западном Приморье / В.В. Середин, А.А. Кременецкий, Г.Н. Трач, С.В. Коваленко, Е.Ф. Семенов // Разведка и охрана недр. — 2006. — № 9/10. — С. 37–42.
8. Чаплыгин, И.В. Рудная минерализация высокотемпературных фумарол вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Курильские острова): Автореферат дисс. к. геол.-мин. наук / И.В. Чаплыгин. — М.: ИГЕМ РАН, 2009.
9. Communication from the commission to the European Parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU COM/2017/0490 final.
10. Critical metals handbook Edited by Gus Gunn British Geological Survey 2014 by John Wiley & Sons, Ltd.
11. Fortier, S.M. Draft critical mineral list — Summary of methodology and background information / S.M. Fortier, N.T. Nassar, G.W. Lederer, Jamie Brainard, Joseph Gambogi and E.A. McCullough. — U.S. Geological Survey technical input document in response to Secretarial Order No. 3359: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1021, 15 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20181021>.
12. Strategic and critical nonfuel minerals: problems and policy alternatives. The Congress of the United States Congressional Budget Office, August 1983.
13. Assessment of critical minerals: updated application of screening methodology. A Report by the Subcommittee on Critical and Strategic Mineral Supply Chains Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability National Science and Technology Council., 2018.

© Левченко Е.Н., Ключарев Д.С., 2020

Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru  
Ключарев Дмитрий Сергеевич // sacsaul@gmail.com

УДК 622.631:624.121

Мальский К.С., Боровков Ю.А., Верчеба А.А.,  
Гурина К.М. (МГРИ-РГГРУ)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЗОНЫ РАЗУПРОЧНЕНИЯ ПОРОД С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА КОНТУРА КАРЬЕРА

В статье рассматриваются вопросы по влиянию карьерной выемки рудной залежи на напряженно-деформированное состояние (НДС) и разупрочнение прибортовой

массива горных пород карьера для определения величины зоны разупрочнения пород, учитывающей рельеф контура карьера. Многие специалисты считают, что основными факторами, влияющими на показатели извлечения в прибортовой зоне, являются напряженно-деформированное состояние подрабатываемого подземными работами массива горных пород, их прочностные и деформационные характеристики. Анализ существующих методов определения устойчивых параметров камер показал, что они не учитывают такой фактор как контур поверхности откоса борта карьера, определяющий величину мощности зоны разупрочнения прибортового массива пород и этот факт приводит к увеличению потерь и разубоживанию отбитой руды. Рассмотрена задача о влиянии профиля карьера на величину зоны разупрочнения из-за разгрузки массива горных пород, расположенного в борту и под дном карьера. Приведена схема расчета величины зоны разупрочнения пород в борту и под дном карьера. **Ключевые слова:** карьер, прибортовой массив, горные породы, зоны разупрочнения, борт карьера, угол наклона борта, напряженно-деформированное состояние.

Malskiy K.S., Borovkov Yu.A., Vercheba A.A., Gurina K.M.  
(MGRI-RGGRU)

### DETERMINING THE SIZE OF THE BREEDING DEFENSE ZONE TAKING INTO ACCOUNT THE RELIEF OF THE CAREER CONTOUR

The article describes the impact of quarrying ore deposits on the stress-strain state and softening of the pit rock mass to determine the size of the zone of softening of rocks taking into account the relief contour of the carrier. Many experts believe that the main factors affecting the extraction rates in the instrument zone are the stress-strain state of the rock mass being mined by underground work, their strength and deformation characteristics. The analysis of existing methods for determining the stable parameters of the chambers showed that they do not take into account such a factor as the contour of the surface of the slope of the side of the quarry, determining the amount of power in the softening zone of the instrument rock mass and this fact leads to an increase in losses and dilution of the broken ore. The article describes the problem of the influence of the open pit profile on the size of the softening zone due to the unloading of the rock mass located on board and under the bottom of the pit. The scheme of calculating the size of the zone of softening of rocks in the board and under the bottom of the quarry is given. **Keywords:** career, instrument array, rocks, breeding zones, side of the career, bevel angle, stress-strain state.

При разработке месторождения извлечение руды из недр вызывает нарушение природного равновесия массива, которое выражается в сдвигении и горном давлении [2]. Эти геомеханические процессы осложняют добычу полезных ископаемых, создавая угрозу для безопасности горных работ, приводя к значительным потерям руды, вызывая разрушение конструктивных элементов систем разработки, а также повреждения

объектов на земной поверхности. На основании вышесказанного одной из основных проблем разработки месторождений полезных ископаемых является управление сдвижением и горным давлением. Особенно актуальна проблема управления состоянием массива на предприятиях, ведущих комбинированную разработку месторождений, где восполнение выбывающих мощностей при истощении сырьевой базы обеспечивается вовлечением в отработку ранее списанных в потери запасов руды, расположенных в прибортовом и подкарьерном массивах горных пород [1, 3, 13].

Переход массива в новые условия выемки запасов полезного ископаемого приводит к резкой интенсификации геомеханических процессов. Комплекс возникающих при этом задач представляет собой крупную научную проблему управления сдвижением и горным давлением при комбинированной разработке рудных залежей [6, 9, 14]. Изучение и решение данной проблемы позволит прогнозировать геомеханические последствия извлечения прибортовых и подкарьерных запасов руды, определить рациональные методы управления переходными процессами и стратегию развития фронта подземных горных работ. Одним из основных принципов решения проблемы является согласование планов развития комбинированной разработки с объективными закономерностями протекания геомеханических процессов в массиве таким образом, чтобы энергия горного давления не препятствовала, а наоборот способствовала переходу массива в новые условия поддержания устойчивости борта карьера.

Обоснование зоны влияния открытых горных работ на прилегающий массив является основной задачей в решении поставленной задачи. Эта зона приводит к снижению прочности около карьерного массива и проходит по границам опасного сейсмического воздействия карьерных взрывов, изменяя при этом природное поле напряжений [4, 12, 15].

Техногенное возмущение системы «карьер — массив», вносимое карьером в природное поле напряжений, заключается в разгрузке радиальных (нормальных к контуру бортов) и перераспределению окружающих (действующих вдоль контура бортов карьера) напряжений. Напряженно-деформируемое состояние (НДС) массива вокруг карьера в вертикальном сечении [8, 10], установленное с помощью оптического моделирования, характеризуется следующими закономерностями. Вблизи поверхности откоса максимальные, главные напряжения — ему параллельны, а под дном карьера — горизонтальны. Минимальные, главные напряжения на поверхности откоса разгружены. В вертикальном разрезе наблюдается разгрузка радиальных напряжений в прибортовом массиве, а их концентрация — под дном карьера.

При разгрузке (снятии) вертикальных напряжений происходит

упругое восстановление массива, выражающееся в поднятии земной поверхности вблизи верхней бровки, бортов и дна карьера. Процесс упругого восстановления объема массива вокруг карьеров в природных условиях наблюдался Сашуриным А.Д. на земной поверхности и Марковым Г.А. в подземных выработках под дном карьера.

Приближенная схема сдвижения земной поверхности при открытой разработке рудных залежей сводится к следующему (рис. 1). Оработка карьера радиусом  $R$  по верхнему контуру на глубину  $H$  с углом наклона борта  $\alpha$  вызывает поднятие окружающей земной поверхности вследствие упругого восстановления объема горных пород при ведении вскрышных работ и добычи, и горизонтальное сдвижение бортов к центру карьера из-за разгрузки горизонтальных напряжений [7, 5, 11].

Эпюра вертикальных поднятий земной поверхности определяется по формуле Н.И. Безухова для перемещений контура упругого полупространства под нагрузкой, распределенной по площади круга радиусом  $R$ . Давление пород, отработанных при выемке вскрыши, действует на граничной плоскости с обратным знаком. Его эпюра имеет параболическую форму с максимумом  $\gamma H$  в центре карьера. Вертикальные сдвиги вблизи борта карьера можно рассчитать по формуле:

$$\eta_r = \frac{\pi}{2E} \cdot (1-\nu^2) \cdot \gamma H \cdot \left( R - \frac{r^2}{2R} \right), \quad (1)$$

Они имеют максимум  $\eta_0$  у верхнего контура карьера. Горизонтальное смещение борта по поверхности  $\xi_0$  за счет разгрузки тектонических напряжений может быть определено из выражения, предложенного В.Г. Зотеевым:

$$\xi_0 = \frac{\lambda \cdot \gamma H \cdot (1-\nu^2)}{E} \cdot (R - 0,5H \cdot \text{ctg} \alpha), \quad (2).$$

При совместной разработке месторождений открытым и подземным способами происходит наложение сдвижений борта карьера и толщи пород над подземными горными работами с образованием знакопеременных деформаций.

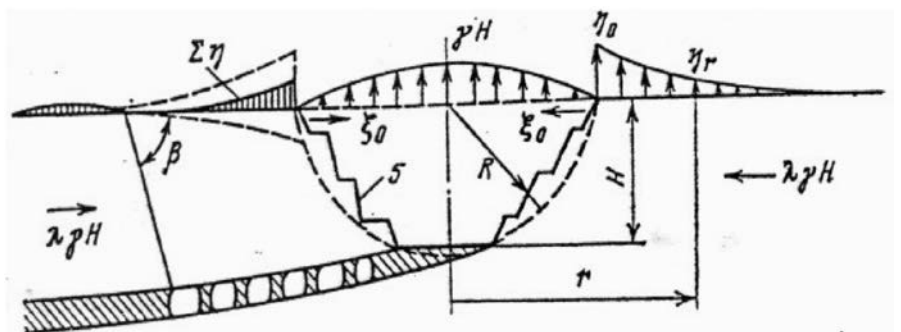


Рис. 1. Схема распределения напряжений и деформаций упругой разгрузки массива вокруг карьера

Смещения от открытых работ накладываются на мульду сдвижения от подземных горных работ по принципу суперпозиции. Естественно, что при этом борт карьера и толща над подземными горными работами должны быть устойчивыми.

Анализ существующих методов определения устойчивых параметров камер и целиков показал, что они не учитывают такой фактор, как рельеф поверхности откоса борта карьера, определяющий величину мощности зоны разупрочнения прибортового массива пород, что приводит к увеличению потерь и разубоживанию отбитой руды.

При разработке золоторудного месторождения Мурунтау (Узбекистан) открытым способом возникла проблема обоснования организации горных работ по выемке прибортовых запасов руды Восточного борта при переходе на открыто-подземный способ обработки рудной залежи. Это позволит вовлечь в добычу за контуром карьера балансовые запасы золота для открыто-подземной добычи около 36,3 % от запасов в контурах карьера IV–V очереди. Поэтому организация горных работ при выемке прибортовых запасов карьера этажно-камерной системой с закладкой при открыто-подземном способе обработки золоторудных месторождений (на примере месторождения Мурунтау, Узбекистан) является перспективной.

К решению задачи об изменении НДС массива горных пород от рельефа (профиля) контура карьера в процессе выемки горной массы можно подойти с позиций теории упругости в рамках плоской задачи с использованием уравнений равновесия, совместности деформаций и граничных условий. Для этого рассмотрим задачу о влиянии профиля карьера на величину зоны разупрочнения из-за разгрузки массива горных пород, расположенного под дном карьера. При доработке восточного борта карьера до угла погашения 45° необходимо было установить величину зоны разупрочнения пород вследствие постепенного увеличения ширины дна карьера (рис. 2).

Для установления величины высоты зоны разупрочнения пород ( $h_{xp}$ ) воспользуемся уравнениями, предложенными В.Г. Зотеевым, но в измененном виде и с обозначениями, согласно рис. 2:

$$h_{xp} = -H_k + \sqrt{H_k^2 + \left[ \frac{H_k \cdot (L_n + L_{kx})}{2 \cdot C \cdot \operatorname{tg} \varphi'} \right]^2} \quad (3),$$

где  $H_k$  — глубина карьера, м;  $L_n$ ,  $L_{kx}$  — соответственно ширина карьера по поверхности и дну карьера ( $x$  — текущая координата), м;  $C$  — отношение горизонтальной и вертикальной компонент напряжений;  $\varphi'$  — угол внутреннего трения пологой системы тре-

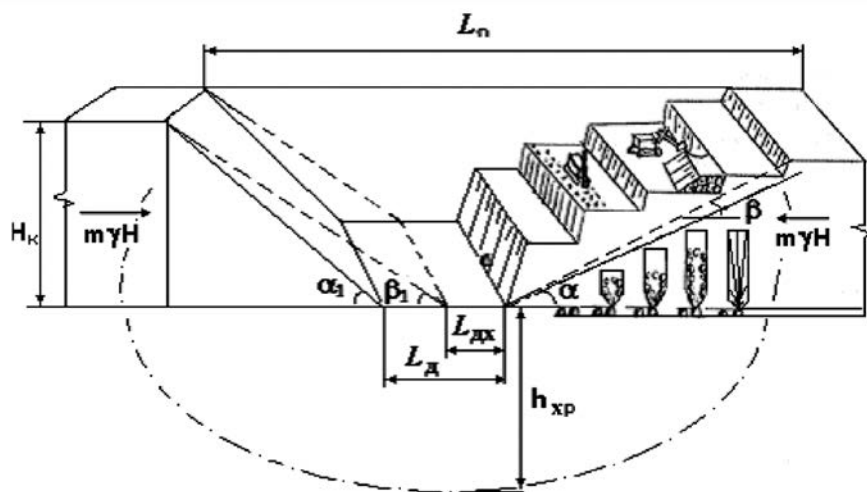


Рис. 2. Схема расчета величины зоны разупрочнения пород (контур карьера, подлежащий доработке — пунктирная линия; предельный контур карьера — сплошная линия; зона разупрочнения пород — линия точка тире)

щин, град. В случае распределения напряжений согласно гипотезы Гейма-Динника [2], т.е. отношение горизонтальной составляющей природного поля напряжений есть коэффициент бокового распора, который может быть больше единицы, если месторождения разрабатывают в местности, где горизонтальные напряжения превышают вертикальные за счет действия тектонических сил или при  $C = m$  формулу (3) можно записать в виде:

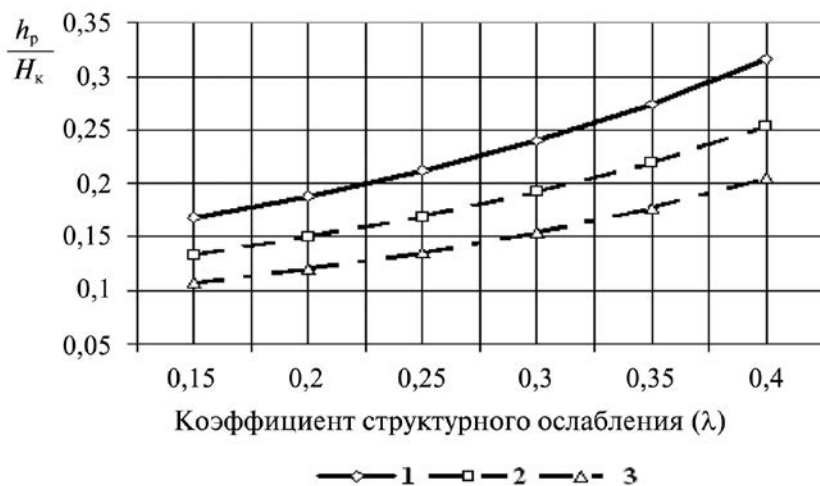
$$h_{xp} = -H_k + \sqrt{H_k^2 + \left[ \frac{H_k \cdot (L_n + L_{kx})}{2 \cdot m \cdot \operatorname{tg} \varphi'} \right]^2} \quad (4).$$

Выразим значения параметров, входящих в фигурную скобку, через рельеф (профиль) контура карьера, определяемый углами наклона бортов карьера  $\beta_1 = \beta$  и стремящихся к углу погашения борта карьера  $\alpha$ . Тогда после несложных преобразований получим формулу, устанавливающую взаимосвязь между шириной зоны разупрочнения пород, параметрами карьера и профилем его контура ( $\beta$  — текущая координата, град.):

$$h_{xp} = H_k \cdot \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{L_d}{m \cdot H_k \cdot \operatorname{tg} \varphi'} + \frac{2 \cdot \operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta}{m \cdot \operatorname{tg} \varphi'} \right)^2} - 1 \right] \quad (5).$$

Анализ формулы показывает, что с увеличением угла наклона борта карьера до величины проектного угла погашения зона влияния карьера на нижележащий массив горных пород будет увеличиваться плавно, по закону 1/2-степени. При достижении угла наклона борта карьера  $\beta$  своего предельного значения, т.е. угла погашения  $\alpha$ , глубина зоны разупрочнения будет максимальной. В общем виде, когда угол наклона одного борта карьера не равен углу наклона противоположного борта (из-за опережения горных работ на одном борту по сравнению с противоположным),





**Рис. 3.** Графики изменения относительной мощности зоны разуплотнения прибортового массива горных пород карьера ( $h_p/H_k$ ) от коэффициента структурного ослабления пород ( $\lambda$ ) и углов наклона бортов карьера ( $\alpha$ ): 1 —  $\alpha=40^\circ$ ; 2 —  $\alpha=45^\circ$ ; 3 —  $\alpha=50^\circ$

т.е. вертикальное сечение карьера представляет собой неравнобокую трапецию  $\beta \neq \beta_1$ , что характерно для реальных условий, уравнение (5) при  $h_{xp} = h_p$  можно записать в виде:

$$h_p = k \cdot H_k = H_k \cdot \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{L_\partial}{m \cdot H_k \cdot \text{tg}\phi'} + \frac{4 \cdot \text{ctg}\alpha - \text{ctg}\beta - \text{ctg}\beta_1}{2 \cdot m \cdot \text{tg}\phi'} \right)^2} - 1 \right] \quad (6),$$

где  $k$  — коэффициент влияния контура карьера на массив горных пород, расположенный в бортах и под дном карьера.

Из формулы (6) видно, что при равенстве углов наклона бортов карьера  $\beta = \beta_1$ , получаем формулу (5).

В случае, когда борта карьера имеют одинаковые углы наклона в предельном состоянии, т.е.  $\alpha = \beta$  и с учетом коэффициента структурного ослабления пород, слагающих борта карьера ( $\lambda$ ) и характеризующей трещиноватость этих пород от воздействия взрывных нагрузок при массовых взрывах, производимых на карьере, а также то, что коэффициент бокового давления можно выразить через коэффициент поперечных деформаций ( $\nu$ ) для упругопластических пород, формула (5) примет следующий вид:

$$h_p = H_k \cdot \left[ \sqrt{1 + \left[ \frac{\nu \cdot (L_\partial + H_k \cdot \text{ctg}\alpha)}{(1-\nu) \cdot (1-\lambda) \cdot H_k \cdot \text{tg}\phi'} \right]^2} - 1 \right] \quad (7).$$

На основании формулы (7) были построены графики изменения относительной мощности зоны разуплотнения массива горных пород, расположенной в бортах карьера, от углов наклона бортов карьера и коэффициента структурного ослабления прибортовых пород (рис. 2). Графики построены для условий

разработки карьера месторождения Мурунтау по восточному борту V очереди со следующими показателями углисто-кварцевых сланцев:  $L_\partial = 750$  м;  $H_k = 825$  м; коэффициент поперечных деформаций  $\nu = 0,25$ ,  $\phi'$  — угол внутреннего трения пологой системы трещин и с учетом склонности пород к выветриванию  $\phi' = 27^\circ$ . Из графиков видно, что с увеличением угла наклона борта карьера на  $10^\circ$  величина относительной мощности зоны влияния карьера на прибортовой массив горных пород уменьшается на 35–36 %, а с увеличением коэффициента структурного ослабления (трещиноватости) в 3 раза — увеличивается в 1,9 раза. Это связано с тем, что происходит прорастание трещин вглубь массива пород при его деформировании в сторону выработанного пространства, что уве-

личивает мощность зоны разуплотнения прибортового массива горных пород карьера.

#### Заключение

Анализ гипотез о напряженно-деформированном состоянии (НДС) массива горных пород при разработке месторождений комбинированным способом показал, что одним из основных факторов, влияющих на его изменение, является контур рельефа поверхности карьерной выемки, под действием которого образуется зона разуплотнения прибортового массива карьера.

Исследования прочностных и деформационных характеристик пород месторождения Мурунтау показали, что основной разновидностью скальных пород являются углисто-кварцевые сланцы различной степени изменчивости. Породы месторождения по пределу прочности на одноосное сжатие относятся к породам средней прочности и изменяются в пределах от 50 до 194 МПа, что составляет в среднем 122 МПа, колеблясь в основном с глубиной разработки.

Величина относительной мощности зоны разуплотнения прибортового массива горных пород карьера зависит от геометрических размеров карьера в сечении, угла наклона борта карьера, соотношения горизонтальных составляющих природного поля напряжений, угла внутреннего трения пологой системы трещин и изменяется по степенному закону от коэффициента структурного ослабления прибортовых пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акишев, А.Н. Инновационная схема вскрытия и разработки глубоких горизонтов карьера «Нюрбинский» АК «Алроса» / А.Н. Акишев, И.В. Зырянов, Ю.И. Лель, И.А. Глебов // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. — 2018. — С. 153–159.
2. Боровков, Ю.А. Управление состоянием массива пород при подземной геотехнологии: Учебное пособие / Ю.А. Боровков. — СПб.: Изд. «Лань», 2018. — 240 с.
3. Зайцева, А.А. Анализ влияния горно-геологических условий и технологических параметров на вместимость внутренних отвалов на пологих месторождениях / А.А. Зайцева, Г.Д. Зайцев // Физико-

технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2009. — №. 4. — С. 86–96.

4. Великин, С.А. Геофизические исследования при изучении инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород восточного борта карьера «Нюрбинский» (Западная Якутия) / С.А. Великин, Ю.Л. Марченко, К.И. Бажин // Вестник Камчатской региональной ассоциации «Учебно-научный центр». Серия: Науки о Земле. — 2015. — Т. 27. — №. 3. — С. 35–46.

5. Левин, Е.Л. Вероятностные модели предельного равновесия, деформации борта проектируемого карьера с динамическим прогнозированием параметров поверхностей скольжения при использовании метода спектрального сейсмопрофилирования / Е.Л. Левин, А.Л. Сердюков // Проблемы недропользования. — 2017. — №. 4 (15).

6. Норов, Ю.Д. Определение размеров выемок в зависимости от ширины трапециевидной формы грунтовой обваловки и удельного расхода траншейных зарядов выброса / Ю.Д. Норов, Ш.Р. Уринов // Горный вестник Узбекистана. — 2005. — № 22 (3). — С. 37–39.

7. Полищук, С.З. Методический подход к определению рациональной конструкции бортов карьеров / С.З. Полищук, О.В. Петровций // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве. — 2014. — №. 76. — С. 221–225.

8. Рыбин, В.В. Результаты определения параметров деструкции борта карьера комплексом геофизических методов / В.В. Рыбин, А.С. Калужный, К.Н. Константинов и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — № 4. — С. 113–117.

9. Рыльникова, М.В. Геомеханика: Учебное пособие / М.В. Рыльникова, О.В. Зотеев. — М.: Изд. Дом «Руда и металлы», 2003. — 240 с.

10. Трубецкой, К.Н. Устройство для измерения смещения поверхностей горных выработок / К.Н. Трубецкой, К.С. Мальский. Патент на полезную модель RUS 115007 06.12.2011.

11. Харисов, Т.Ф. Проблемы оценки устойчивости бортов карьера Киембаевского месторождения / Т.Ф. Харисов, О.Д. Харисова, Е.Ю. Ефремов и др. // Проблемы недропользования. — 2017. — №. 4 (15). — С. 33–42.

12. Ярг, Л.А. Пути оптимизации углов заложения откосов карьера с учетом анизотропии прочностных свойств и трещиноватости скального массива (на примере Стойленского железорудного месторождения КМА) / Л.А. Ярг, И.К. Фоменко, О.М. Житинская // Изв. высших учебных заведений. Геология и разведка. — 2019. — № 4. — С. 67–77.

13. Norvatov, Y.A. Prediction of water inflows into mine workings in the process of combined open-underground ore mining operations / Y.A. Norvatov, M.V. Sergutin // Journal of mining institute. — 2015. — Т. 212. — С. 89–94.

14. Romanov, V.V. Review of geophysical methods to detect mechanical damages in rock mass around excavations / V.V. Romanov, A.I. Poserenin, A.N. Dronov, K.S. Mal'skiy // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten. — 2016. — No. 1. — pp. 243–248.

15. Romanov, V.V. Selection of optimum parameters of microseismic vibration recording in underground excavations. / V.V. Romanov, K.S. Mal'skiy, A.N. Dronov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten.

© Коллектив авторов, 2020

Мальский Кирилл Сергеевич // sabbat@mail.ru

Боровков Юрий Александрович // bua\_51@mail.ru

Верчеба Александр Александрович // aa\_ver@mail.ru

Гурина Ксения Михайловна // gurina\_k@mail.ru

## УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 66.014+669 71.053

Кустов Ю.Е., Ремизова Л.И. (ФГБУ «ВИМС»)

### АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ АЛЮМИНИЕВОГО СЫРЬЯ В СИБИРИ

Рассматриваются возможности использования небокситового алюминиевого сырья в Сибирском регионе России. Приводятся данные о месторождениях бокситов, нефелиновых руд, каолинов и огнеупорных глин в Сибирском Федеральном округе. Оценивается возможность организации глиноземного производства в Сибири на основе имеющихся запасов каолинов и каолиновых огнеупорных глин. **Ключевые слова:** алюминий, глинозем, бокситы, нефелиновые руды, каолины, огнеупорные глины, месторождение, ресурсы, запасы.

Kustov Yu. E., Remizova L.I. (VIMS)

### ALTERNATIVE SOURCES OF ALUMINUM RAW MATERIAL IN SIBERIA

The possibility of using non-bauxite aluminum raw materials in Siberia are considered. Geological characteristics of deposits of bauxites, nephelines, kaolin and refractory clays in

Siberia are given. Availability of creation of alumina plant in Siberia on reserves of kaolin and refractory clays estimated.

**Keywords:** aluminum, alumina, bauxite, nepheline, kaolin, refractory clay, deposit, resources, reserves.

Алюминий — один из важнейших материалов современной индустрии, его получают электролизом глинозем-криолитовой расплава. Глинозем химическим способом (процесс Байера) вырабатывают из минерального сырья. Более 99 % металлургического глинозема в мире производят из бокситов, состоящих в основном из гидроксидов алюминия (гиббсит, бёмит, диаспор), а также оксидов и гидроксидов железа и глинистых минералов. Показателем качества бокситов является кремневый модуль — отношение содержания  $Al_2O_3$  к содержанию  $SiO_2$ . Для получения 1 т глинозема используется 2–2,8 т бокситов в зависимости от их качества.

Основными поставщиками бокситов на мировой рынок являются страны тропического и субтропического поясов: Австралия, Бразилия, Гвинея, Индия, Индонезия, Малайзия, Ямайка, а также Китай. Мировая глиноземная промышленность базируется в первую очередь на крупных приповерхностных месторождениях латеритных и полигенных бокситов с высококачественными гиббситовыми рудами с кремневым модулем в пределах 10–50. Обеспеченность мировой