

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ (ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ)

DOI: 10.26730/1999-4125-2019-3-61-67

УДК 622.271.45

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УКРУЧЕНИЯ ОТКОСОВ БОРТОВ И ВСКРЫШНЫХ УСТУПОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ

A FEASIBILITY STUDY OF THE WRAP-AROUND SLOPE THE WALLS AND BENCHES OF OVERBURDEN DURING MINING WORKS

Лобанов Евгений Александрович,

заместитель генерального директора по горному производству, e-mail: lea@kanexgroup.ru

Lobanov Evgeny A., Deputy General Director for mining,

Еременко Андрей Андреевич,

заместитель директора по научной работе, e-mail: eremenko@ngs.ru

Eremenko Andrey A., Deputy Director for Science

¹ Группа компаний "КАНЕКС", 123022, Москва, ул. 2-я Звенигородская, 13, стр. 37

¹ The group of companies "KANEKS", str. 37, 13 2-ya Zvenigorodskaya street, Moscow, 123022, Russian Federation

² Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, Новосибирск, Красный проспект, 54

² Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk, 630091, Russian Federation

Аннотация:

При отработке апатито-нефелинового месторождения «Олений ручей» открытым способом важным является определение устойчивости откосов бортов карьера. В связи с этим цель исследования состоит в установлении рациональных углов откоса бортов на предельном контуре при высоте уступа до 30 м. Методы исследований включают оценку горно-геологической характеристики месторождения, теоретические исследования прочностных характеристик горных пород и алгебраического сложения сил. Выполнены расчеты по определению устойчивости откосов бортов карьера с соответствующим коэффициентом запаса устойчивости. Установлено, что в данных горно-геологических условиях не допускается укрупнение откоса уступа более 60° для выветрелых и 70° – для невыветрелых пород при его высоте 30 м.

Ключевые слова: отработка, запасы, месторождение, рудные залежи, горные породы, карьер, коэффициент

Abstract:

Determining the stability of the slopes of the pit walls is important when developing the «Oleniy Ruchey» apatite-nepheline deposit in an open way. In this regard, the purpose of the study is to establish rational angles of the sides of the slope on the marginal contour with a ledge height of up to 30 m. Research methods include assessing the mining and geological characteristics of a field, theoretical studies of the strength characteristics of rocks, and algebraic composition of forces. Calculations are made to determine the stability of the slopes of the pit walls with the corresponding factor of stability. It has been established that in these geological conditions it is not allowed to twist the escarpment of the ledge more than 60° for the weathered and 70° for the non-weathered rocks at a height of 30 m.

Key words: mining, reserves, deposit, ore deposits, rocks, quarry, coefficient.

Таблица 1. Прочностные характеристики горных пород [1-3]
Table 1. The strength characteristics of rocks [1-3]

Породы	Предел прочности, МПа		Коэффициент хрупкости, ед.	Угол внутр. трения, градус		Сцепление в образце Со, МПа	Коэфф. крепости, ед.	
	сжатие	растяжению		φ ₀	φ при 0,5σ _{сж}		по Протодьяконову М.М.	По Барону Л.П
Рисчоррипы	204	7,4	28	69	41	19,9	20	9
Рисчоррип-ювиты	98	3,9	25	68	40	10,4	10	6
Ювиты	199	7,4	27	68	41	19,7	20,	9
Ювиты лейкокра- товые	110	6,0	18	64	39	13,7	11	7
Урпиты	111	4,5	25	67	40	11,3	11	6
Мончкипы	276	16,6	17	62	39	34,7	28	13

Таблица 2. Расчетные прочностные характеристики массива горных пород
Table 2. Estimated strength characteristics of the rock mass

Литотип породы	Объем- ный вес, т/м ³	Сцепле- ние в образце, т/м ²	Коэффици- ент структурно- го ослабления	Сцепление, т/м ²			Угол внутреннего трения, градус с учетом коэффициента запаса устойчивости		
				с учетом коэффициента запаса устойчивости			с учетом коэффициента запаса устойчивости		
				1,0	1,3	1,5	1,0	1,3	1,5
Коренные породы									
Рисчоррипы	2,76	2028	0,0163/0,042	33,0/85,1	25,3/65,4	22,0/56,7	41	33,7	30,0
Рисчоррип-ювиты	2,70	1061		17,3/44,5	13,3/34,2	11,53/29,6	40	32,8	29,2
Ювиты	2,70	2008		32,7/84,3	25,1/64,8	21,8/56,2	41	33,7	30,0
Урпиты	2,66	1151		18,7/48,3	14,3/37,1	12,4/32,2	40	32,8	29,2
Прочностные характеристики по поверхностям ослабления									
				10	7,6	6,6	25	19,7	17,2

Примечание: 1) в числителе приведены значения коэффициента структурного ослабления и свойства пород зоны интенсивной трещиноватости; в знаменателе – ниже зоны интенсивной трещиноватости;

2) корректировка исходных данных и недостающие данные по физико-механическим свойствам приняты на основании [1] исследован-
ний;

3) значения объемного веса и угла внутреннего трения пород зоны интенсивной трещиноватости и пород, залегаемых ниже этой зоны, ввиду отсутствия данных для зоны интенсивной трещиноватости, приняты одинаковыми.

Таблица 3. Сводная таблица расчета коэффициента запаса устойчивости бортов (нормативный коэффициент запаса устойчивости $\eta = 1,3$)

Table 3. Summary table for the calculation of the stability factor of the stability of the sides (standard safety factor $\eta = 1.3$)

Ориентация борта	Высота борта, м	Угол наклона борта, градус	Поверхность скольжения	Коэффициент запаса устойчивости	Коэффициент запаса устойчивости с учетом сейсмичности района	Коэффициент запаса устойчивости с учетом уровня грунтовых вод	Коэффициент запаса устойчивости с учетом сейсмичности района и уровня грунтовых вод
СЗ	328	41	S1	>1,5	>1,5	1,48	1,41
	282	50	S2	>1,5	1,49	1,39	1,33
	165	53	S3	>1,5	>1,5	1,37	1,30
	43	75	S4	1,31	1,27	-	-
ЮВ	283	37	S1	>1,5	>1,5	>1,5	>1,5
	207	42	S2	>1,5	>1,5	>1,5	>1,5
	58	65	S3	1,38	1,33	-	-
СЗ	323	44	S1	>1,5	>1,5	1,45	1,38
	301	49	S2	1,51	1,44	1,37	1,31
	60	78	S3	1,26	1,22	-	-
ЮВ	110	43	S1	>1,5	>1,5	-	-
	87	38	S2	>1,5	>1,5	>1,5	>1,5
	199	36	S3	>1,5	>1,5	>1,5	>1,5
	57	59	S4	>1,5	1,46	-	-

Примечание:

- 1) расчеты устойчивости бортов правомерны при условии отсутствия поверхностей ослабления в прибортовых массивах, при наличии поверхностей ослабления с падением в выработку откосы необходимо заоткашивать по этим поверхностям;
- 2) выделены значения коэффициента запаса устойчивости меньше нормативного значения ($\eta = 1,3$).

На устойчивость бортов, формируемых при отработке запасов апатит-нефелинового месторождения «Олений ручей», в основном влияет структурно-тектоническое строение прибортовых массивов. Для данного месторождения характерно наличие Главного разлома – самого крупного тектонического элемента массива пород месторождения «Олений ручей». Согласно результатам дешифрования космических снимков, его положение экстраполировано, как продолжение Главного разлома Ньюкпахкского месторождения: на верхних горизонтах – в лежачем боку рудной залежи, а на глубоких горизонтах – в пределах рудных тел нижнего яруса месторождения.

Главный разлом представляет собой интенсивно тектонизированную зону, залегающую субгоризонтально по отношению к рудной залежи (секущую ее под острым углом), осложненную многочисленными ветвящимися опережающими нарушениями и сопровождающуюся интенсивным окислением с участием метеорных вод и катаклазом [1-3].

Угол падения Главного разлома составляет

ориентировочно 40-45°. Поэтому формирование борта в лежачем боку рудной залежи необходимо производить с учетом Главного разлома под углом не круче 40-45° в зависимости от угла его падения, которые в процессе эксплуатации должны уточняться на всей длине простирания лежачего борта карьера.

Простирание месторождения составляет 3,2 км в северо-восточном направлении. Общее направление падения элементов внутренней структуры продуктивной зоны и ее внешних контактов – к центру массива.

Прочностные характеристики горных пород апатит-нефелинового месторождения «Олений ручей» приведены в табл. 1 [1]. Для проведения расчетов устойчивости откосов с учетом данных табл. 1 составлена табл. 2, в которой приведены характеристики пород как зоны выветривания, так и ниже ее.

В результате проведенных расчетов установлено, что коэффициент структурного ослабления (λ_0), для выветрелых скальных пород по данному

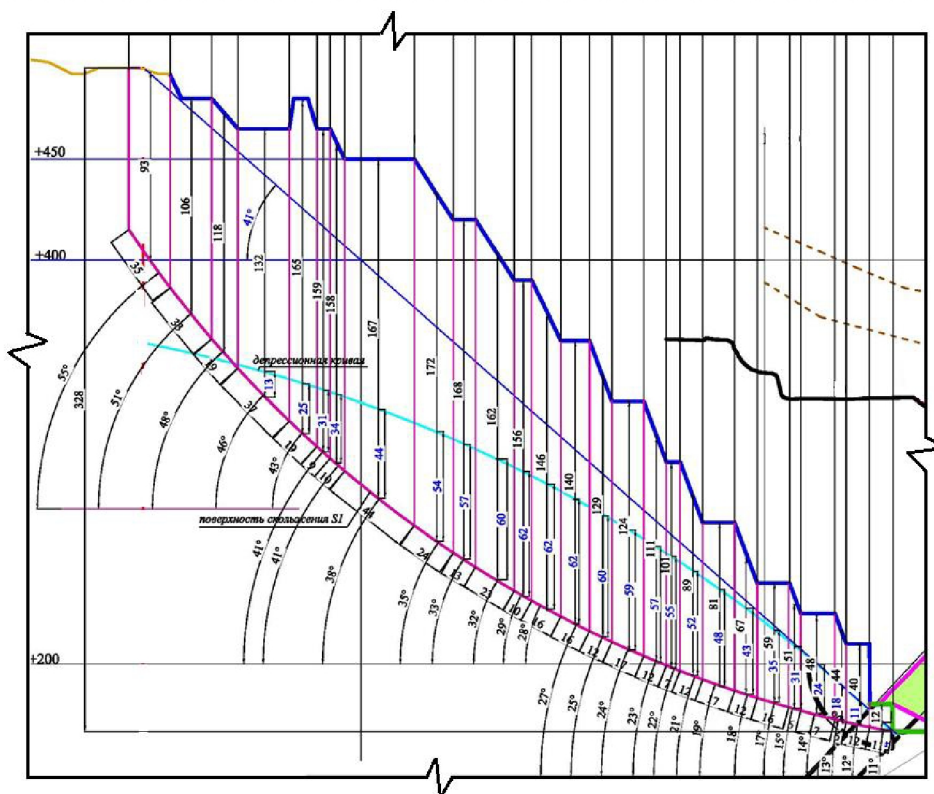


Рис. 1. Схема расчета устойчивости северо-западного борта по линии (поверхность скольжения SI); $+200 \div +450$ м – горизонты; $11-55^\circ$ – углы; $11-165$ – расстояние, м
Fig 1. Scheme for calculating the stability of the North-West side along the line (sliding surface SI); $+200 \div +450$ m-horizons; $11-55^\circ$ – angles; $11-165$ – distance between

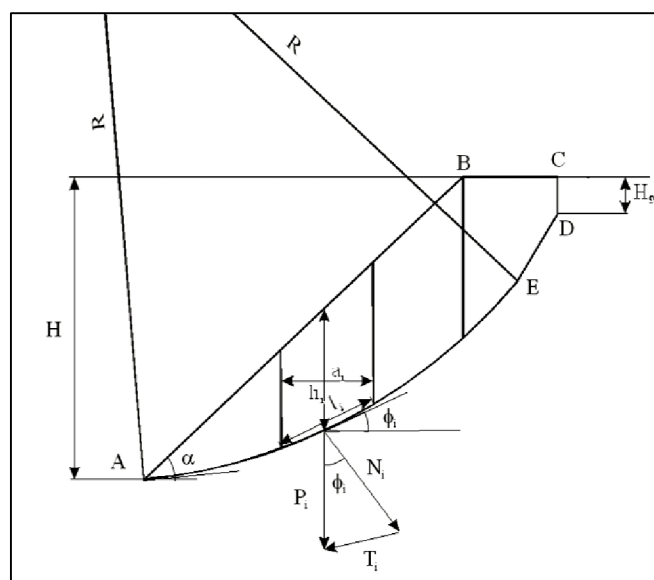


Рис. 2. Схема к расчету откоса методом алгебраического сложения сил по наиболее напряженной поверхности
Fig 2. The scheme to the calculation of slope by the method of algebraic addition of forces on the most stressed surface

месторождению составляет - 0,0163, для невыветрелых скальных пород – 0,0420 [1, 4-8].

Показатели прочностных свойств пород с учетом структурного ослабления в массиве

представлены в табл. 2.

При расчетах устойчивости откосов бортов карьера, значение которого составляет для откоса борта открытой горной выработки на предельном

Таблица 4. Результаты расчета устойчивых углов откоса бортов на предельном контуре (нормативный коэффициент запаса устойчивости $\eta = 1,3$)

Table 4. The results of the calculation of the stable angles of the sides of the slope on the marginal contour (standard safety factor $\eta = 1.3$)

Высота борта Н, м	50	100	150	200	250	300	350
Угол наклона борта α , град	54	50	50	49	49	48	45

Примечание: параметры бортов правомерны при отсутствии в прибортовом массиве поверхностей ослабления. При наличии поверхностей ослабления с падением в выработку откосы необходимо заоткашивать строго по этим поверхностям.

контуре $\eta = 1,3$, а для откосов уступа $\eta = 1,5$.

В соответствии с этим при расчетах устойчивости используются расчетные характеристики, определяемые по формулам, приведенным в [4]:

$$C_p = C_m / \eta, \quad \varphi_p = \arctg(\operatorname{tg} \varphi_m / \eta),$$

где C_p – расчетное значение сцепления пород в массиве с учетом нормативного коэффициента устойчивости, т/м²; C_m – сцепление пород в массиве (табл. 2), т/м²; η – нормативный коэффициент устойчивости; φ_p – расчетный угол внутреннего трения, градус; φ_m – угол внутреннего трения в массиве (табл. 2), градус.

Ниже приводится характеристика состояния горного массива при разных значениях величин η (коэффициент запаса устойчивости):

$\eta > 1,5 \div 2,0$ – горный массив не подвержен деформациям,

$\eta \geq 1,3 \div 1,5$ – в прибортовых массивах могут отмечаться преимущественно упругие деформации, относительные горизонтальные не более 1×10^{-3} ,

$\eta = 1,2 \div 1,3$ – относительные горизонтальные деформации могут достигать $(2 \div 5) \times 10^{-3}$,

$\eta = 1,1 \div 1,2$ – появляются заколы, горизонтальные деформации достигают 30×10^{-3} , а общие величины смещений до $1,5 \div 2,0$ м,

$\eta = 1,0 \div 1,1$ – прибортовой массив находится в состоянии предельного равновесия,

$\eta < 1,0$ – состояние прибортового массива оценивается как неустойчивое.

Результаты поверочных расчетов запаса устойчивости бортов приведены в табл. 3.

На рис. 1 представлена схема расчета устойчивости рабочих бортов и уступов.

Основным условием обеспечения устойчивости рабочих бортов и уступов, в том числе и находящихся в стадии постановки их в предельное положение, является соблюдение превышения удерживающих сил над сдвигающими, действующими по наиболее напряженной поверхности в прибортовом массиве [9-11].

При окончательных расчетах устойчивости откосов бортов карьера согласно действующим нормативным документам в исходные прочностные характеристики массива горных пород должен вводиться соответствующий коэффициент запаса устойчивости, значение которого составляет для

откоса борта открытой горной выработки на предельном контуре $\eta = 1,3$.

При расчетах параметров устойчивости откосов бортов использованы расчетные прочностные свойства пород прибортовых массивов (табл. 2) [12-17].

Расчеты параметров бортов и уступов в условиях отсутствия неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления были выполнены методом алгебраического сложения сил по схеме [4, 18].

Схема к расчету откоса методом алгебраического сложения сил по наиболее напряженной поверхности приведена на рис. 2. Поверхность скольжения принята как плавная и криволинейная, близкая по форме к кругло-цилиндрической.

Результаты расчета устойчивых углов откоса бортов на предельном контуре приведены в табл. 4.

Анализируя полученные результаты расчетов значений коэффициента запаса устойчивости вскрышных уступов и сравнивая их величины с нормативным значением η , которое при сроке стояния уступов до 5 лет должно быть не менее 1,5, установлено следующее: ситуация в горном массиве всяческого борта карьера свидетельствует о том, что при условиях отсутствия осложняющих факторов устойчивость уступов на предельном контуре при их проектной высоте 30 м (сдвоенные) и высоте, рассмотренной в настоящем Регламенте – 45 м (строенные) и углах наклона этих уступов: соответственно для выветрелых пород – 60° и 55° , для невыветрелых – 70° и 65° выполняется. Однако следует отметить, что при рассмотрении предельного (наихудшего) случая с учетом сейсмичности района и обводненности массива пород формирование уступа высотой 45 м неприемлемо ни в выветрелых породах, ни в породах зоны затухающей трещиноватости из-за снижения показателя коэффициента запаса устойчивости ниже нормативного значения; укрупнение откоса уступа при его высоте 30 м в породах всяческого борта карьера до $80-90^\circ$, даже в зоне затухающей трещиноватости, ведет к резкому снижению коэффициента запаса устойчивости (до $\eta = 1,19$), обуславливая отсутствие возможности обеспечения безопасности нахождения людей и механизмов под такими уступами; состояние уступов с конструктивными параметрами (угол наклона \times высота) – $60^\circ \times 30$ м, $80^\circ \times 30$ м, $55^\circ \times 45$ м и $80^\circ \times 45$ м в выветрелых породах лежащего борта характеризуется потерей их устойчивости и, соответственно, нарушением целостности

всего борта. Последнее связано с наличием Главного разлома, являющегося первопричиной трещиноватости и сильной нарушенности массива горных пород (поверхностей ослабления). Следует отметить, что по этой причине, как показывают проверочные расчеты, произведенные по профильным линиям, не соответствуют нормативным требованиям показатели запаса устойчивости и уступов с проектными параметрами $60^{\circ} \times 30$ м в лежащем борту карьера; расположение уступов с конструктивными параметрами (угол наклона \times высота) – $70^{\circ} \times 30$ м, $80^{\circ} \times 30$ м, $65^{\circ} \times 45$ м и $80^{\circ} \times 45$ м в невыветрелых породах лежащего борта в целом аналогично ситуации в выветрелых породах (наблюдается небольшое увеличение по сравнению с зоной повышенной трещиноватости коэффициента запаса устойчивости до 5,0 %). Однако его величины также не отвечают нормативному значению запаса устойчивости; полученные значения коэффициента запаса устойчивости уступов высотой 30 и 45 м с углом наклона 80° в породах лежащего

(рабочего) борта карьера свидетельствуют о существенной потере устойчивости пород и соответственно о недостижимости требуемого уровня безопасности ведения горных работ.

Таким образом, с целью обеспечения сохранности борта, безопасности ведения горных работ и исключения опасных деформаций прибортового массива в условиях рассматриваемого карьера (месторождения), где лежащий борт является рабочим, несущим развитую транспортную систему, рассмотрение предельного (наихудшего) случая (откосы уступов в выветрелых породах), увеличение высоты уступа до 30 м и угла его наклона более 55° для выветрелых пород и 65° – для невыветрелых, являются недопустимыми. При этом в рассматриваемых горно-геологических условиях также не допускается укрупнение откоса уступа более 60° для выветрелых и 70° – для невыветрелых пород при его высоте 30 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о НИР «Определение основных параметров физико-механических свойств горных пород по разрезу структурной инженерно-геологической скважины для оценки геомеханических условий проходки главного ствола». – Апатиты, Гои КНЦ РАН, 2013.
2. Технический проект разработки месторождения апатит-нефелиновых руд открытым способом. – М., ООО «Горное Дело», 2015.
3. Отчет о НИР «Инженерно-геологические условия разработки апатито-нефелинового месторождения Олений ручей». – Апатиты, Гои КНЦ РАН, 2009.
4. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л., ВНИМИ, 1972.
5. Отчет о НИР «Выполнение геомеханических исследований для оценки проектных решений по ведению подземных горных работ и параметрам бортов, уступов и отвалов, принятых в «Регламенте на проектирование подземного рудника для добычи апатит-нефелиновой руды месторождения «Олений ручей» производительностью 6 млн тонн руды в год» и «Проекте строительства горно-обогачительного комбината на базе месторождения «Олений ручей»». – С-Пб, ОАО «ВНИМИ», 2008.
6. Отчет о НИР «Регламент на укрупнение бортов карьера месторождения апатит-нефелиновой руды «Олений ручей»». – Апатиты, Гои КНЦ РАН, 2012.
7. СНиП 11-7-81* «Строительство в сейсмических районах». – М., МСЖКХ РФ, 2014.
8. Клименко А.И., Пахомов С.И. Инженерно-геологические расчеты // Справочное пособие, М.: Недра, 1991.
9. Hoek E. and Diederichs M. S. Empirical estimation of rock mass modulus, Int. J. of Rock Mech. and Min. Sci., 2006, Vol. 43. — P. 203-2015.
10. Hoek E., Carranza-Torres C., and Corkum B. Hoek-Brown failure criterion, Proc. NARMS, 2002, Vol. 1. — C. 267-273.
11. Hoek E. Practical rock engineering — an ongoing set of notes, Available at: <https://www.rocscience.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
12. Неверов А.А. Геомеханическое оценка комбинированной геотехнологии при отработке мощной пологой рудной залежи // ФТПРПИ. – 2014. – № 1.
13. Неверов С.А., Неверов А.А. Сравнительная геомеханическая оценка вариантов выпуска руды поэтажного обрушения с ростом глубины // ФТПРПИ. — 2013. — № 2.
14. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975.

15. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987.
16. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. М.: Мир, 1981.
17. Баклашов И.В. Геомеханика (в 2-х томах) / И. В. Баклашов, Б.А. Картозия и др. // Учебник для вузов, – М.: изд-во МГТУ, 2004. – 232 с.
18. Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов / Монография. – ДонГТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.

REFERENCES

1. Research report "Determination of the basic parameters of the physicommechanical properties of rocks by the section of a structural engineering-geological well for assessing the geomechanical conditions of the main shaft penetration." – Apatity, Goi KSC RAS, 2013.
2. Technical design of the development of the apatite-nepheline ore deposit by the open method. – M., LLC Mining, 2015.
3. Report on the research and development work "Engineering and geological conditions for the development of the «Oleniy Ruchey» apatite-nepheline deposit". – Apatity, Goi KSC RAS, 2009.
4. Guidelines for the determination of the angles of inclination of the sides, slopes of ledges and dumps under construction and exploited quarries. – L., VNIMI, 1972.
5. Research report "Performing geomechanical studies to evaluate design solutions for the conduct of underground mining and the parameters of the boards, ledges and dumps adopted in the" Regulations for the design of an underground mine for the extraction of apatite-nepheline ore from the «Oleniy Ruchey» mine with a capacity of 6 million tons of ore per year "and" Project of construction of mining and processing plant on the basis of the «Oleniy Ruchey» deposit. – S-Pb, JSC "VNIMI", 2008.
6. Report on the research and development work "Regulations for the hardening of the sides of the open pit of the Opa Creek deposit of the apatit-nepheline ore". – Apatity, Goi KSC RAS, 2012.
7. SNiP 11-7-81 * "Construction in seismic areas". – M., MSZHKH RF, 2014.
8. Klimenko A.I., Pakhomov S.I. Engineering-geological calculations // Reference Guide, Moscow: Nedra, 1991.
9. Hoek E. and Diederichs M. S. Empirical estimation of rock mass modulus, Int. J. of Rock Mech.and Min. Sci., 2006, Vol. 43. – P. 203-2015.
10. Hoek E., Carranza-Torres C., and Corkum B. Hoek-Brown failure criterion, Proc. NARMS, 2002, Vol. 1. – C. 267-273.
11. Hoek E. Practical rock engineering – an ongoing set of notes, Available at: <https://www.rocksolidity.com/assets/resources/learning/hoek/Practical-Rock-Engineering-Full-Text.pdf>
12. Neverov, A.A., Geomechanical Assessment of Combined Geotechnology when Developing a Powerful Shallow Ore Deposit, FTP TI. – 2014. – № 1.
13. Neverov S.A., Neverov A.A. Comparative geomechanical assessment of options for the release of ore sublevel caving with increasing depth // FTPRPI. – 2013. – № 2.
14. Zenkevich O. Method of finite elements in engineering. – M.: Mir, 1975.
15. A.B. Fadeev. The finite element method in geomechanics. – M.: Nedra, 1987.
16. Norrie D., de Vries J. Introduction to the finite element method. M.: Mir, 1981.
17. Baklashov I.V. Geomechanics (in 2 volumes) / I.V. Baklashov, B.A. Kartosia and others // Textbook for universities, – M.: Izd-vo MGTU, 2004. – 232 p.
18. Litvinsky, G., Analytical theory of the strength of rocks and masses / Monograph. - DonSTU. – Donetsk: Nord-Press, 2008. – 207 p.

Поступило в редакцию 22.06.2019

Received 22 June 2019