

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО ДЕЙСТВУЮЩИМ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

А. В. Зубков¹, С. В. Сентябов¹, Р. В. Криницын¹, К. В. Селин¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Горное дело – сфера человеческой деятельности, связанная с извлечением полезных ископаемых из недр в условиях знакопеременного изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород, приводящего к внезапным разрушениям горных конструкций и землетрясениям. Результаты длительного геодеформационного мониторинга природных напряжений на рудниках Урала, проводимого лабораторией геодинамики и горного давления ИГД УрО РАН в течении последних 20 лет и анализ данных измерений за 55 лет в основных горнодобывающих регионах мира, дали основание предложить новую, более современную структуру поля естественных напряжений с привязкой их изменения во времени. Объектом исследования в данной статье является напряженное состояние массива горных пород на объектах недропользования в основных горнодобывающих странах мира. Прогноз места и времени аварийного проявления горного давления в настоящее время является одной из самых актуальных задач. Ежегодный рост объемов применения профилактических мер при практически неизменном количестве динамических появлений горного давления и возрастании относительного количества горных ударов свидетельствует о низкой эффективности традиционных мер предупреждения горных ударов. Такое состояние проблем обуславливает необходимость разработки новых способов прогноза и предупреждения удароопасности. Анализ опыта ведения горных работ показал, что тектонические нарушения, как правило, являются концентраторами напряжений, вносящими значительную неоднородность в поле напряжений участка массива, что зачастую приводит к возникновению аварийных ситуаций при приближении выработок и очистных работ к дизъюнктивам.

Ключевые слова: физико-механические свойства, массив горных пород, напряженное состояние, тектонические напряжения, долгосрочный геодеформационный мониторинг, бетон, геологические циклы, закономерности формирования напряжений по рудникам России.

Благодарность: Исследования выполнены по государственному заданию №075-00581-19-00 по теме № 0405-2019-0007.

Для цитирования: Зубков А. В., Сентябов С. В., Криницын Р. В., Селин К. В. Районирование территории по действующим первоначальным напряжениям на месторождениях полезных ископаемых // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–2. – С. 80–92. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_80.

Territorial zoning of mineral deposits by initial stresses

A. V. Zubkov¹, S. V. Sentyabov¹, R. V. Krinitzyn¹, K. V. Selin¹

¹ Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: Mining is a sphere of human activity associated with extraction of minerals from the subsoil under conditions of alternating stresses and strains which can induce sudden failure of mine structures as well as earthquakes. The results of the long-term geodeformation monitoring of natural stresses in mines in the Urals, carried out by the Laboratory of Geodynamics and Rock Pressure at the Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences over the past 20 years, and the analysis of measurement data collected for 55 years in the major mining regions of the world have afforded ground for suggesting a new structure of the natural stress field with regard to temporal variations. The test subject of this research is the stress state of rock mass at subsoil use sites in the main mining countries of the world. Prediction of the place and time of a hazardous event caused by overlying rock mass pressure is currently one of the most critical tasks. The annual expansion of the precaution activity scope at almost unchanged number of geodynamic phenomena and the increase in the relative number of rock bursts indicates the low effectiveness of traditional measures to prevent rock bursts. This situation necessitates development of new methods for forecasting and preventing rock burst hazard. The analysis of mining experience shows that tectonic faults are the stress raisers which bring significant heterogeneity in the stress field in rock mass, which often leads to emergencies when extraction approaches disjunctives.

Key words: physical and mechanical properties, rock mass, stress state, tectonic stresses, long-term geodeformation monitoring, concrete, geological cycles, stress generation patterns per mines in Russia.

Acknowledgements: The study is implemented under State Contract No. 075-00581-19-00, Topic No. 0405-2019-0007.

For citation: Zubkov A. V., Sentyabov S. V., Krinitzyn R. V., Selin K. V. Territorial zoning of mineral deposits by initial stresses. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):80–92. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_80.

Введение

Оценка устойчивости горных конструкций и высоконапорных плотин ГЭС должна базироваться на знании природного поля напряжений на территории объекта (напряженно-деформированного состояния массива пород), его перераспределения в элементах конструкций и сравнении с прочностными и деформационными характеристиками материала конструкции (горной породы, бетона и т. п.).

К настоящему времени как в РФ, так и за рубежом, накоплена огромная

база данных о величине природных напряжений в массивах горных пород как функции гравитационных и тектонических напряжений, являющихся CONST в исследованной точке горного массива, участка земной коры. В то же время геологи считают, что Земле присущи циклические изменения размеров и вызываемая этим явлением деформация земной коры (массива горных пород). Геологические циклы деформации Земли имеют периодичность от часов до миллиардов лет [1].

Обоснование методик выявления периодов и амплитуд пульсации напряжений в геологических циклах

Результаты длительного геодеформационного мониторинга природных напряжений на рудниках Урала, проводимого лабораторией геодинамики и горного давления ИГД УрО РАН в течении последних 20 лет, и анализ данных измерений за 55 лет в основных горнодобывающих регионах мира дали основание предложить новую, более современную структуру поля естественных напряжений с привязкой их изменения во времени [2].

Исследование показали, что в массиве горных пород наряду с литостатическими (гравитационными) и постоянными тектоническими напряжениями необходимо выделять астрофизические напряжения, обусловленные циклическими расширением и сжатием Земли под влиянием космических факторов. С использованием результатов замеров в доступном 11-летнемnanoцикле солнечной активности, закономерностей изменения напряжений в различных рудниках и регионах мира, закономерностей формирования напряжений при разработке крутопадающих месторождений в горнокапитальных и подготовительно-нарезных выработках выполнен прогноз нагрузок при увеличении напряжений в случае предстоящего возможного совпадения циклов солнечной активности различной длительности. Высказано предостережение о затруднении ведения подземных горных работ на глубинах более 1000 м [3] в связи с выходом из строя капитальных горных выработок, что может поставить под угрозу существование предприятия с точки зрения технико-экономического обоснования проекта в целом [4–6]. Актуальность работы обуславливается тем, что природные

напряжения в массиве горных пород имеют важное значение при выборе мест заложения капитальных горных выработок и очередности развития очистных работ [7–8].

Методика определения изменения НДС массива горных пород во времени

Техногенеральные катастрофы, обусловленные ведением подземных горных работ, наиболее часто происходят при превышении напряженного состояния массива горных пород, его прочностных характеристик на сжатие или растяжение.

1. Аварийные ситуации возникают, когда напряженное состояние массива горных пород σ_{MGP} превысит прочность этого массива на сжатие.

2. Техногенная катастрофа произойдет в случае, если техногенные напряжения σ_{tx} превысят прочность этого массива на сжатие в 2,5÷6,0 раз [1].

Следовательно, в горной конструкции напряжения по сравнению с нетронутым массивом увеличиваются, прочность уменьшается и опасность возрастает.

3. Напряженное состояние массива представляем в соответствии с законом [2]:

$$\begin{aligned}\sigma_Z^\Pi &= \gamma H + \sigma_{Zm} + \sigma_{Z_{AF}}; \\ \sigma_X^\Pi &= \gamma H + \sigma_{Xm} + \sigma_{X_{AF}}; \\ \sigma_Y^\Pi &= \gamma H + \sigma_{Ym} + \sigma_{Y_{AF}},\end{aligned}\quad (1)$$

где σ_{Zm} , σ_{Xm} , σ_{Ym} – составляющие тектонических напряжений, остающихся неизменными длительное время (десятки лет), МПа;

$\sigma_{Z_{AF}}$; X_{AF} ; $Y_{AF} = \sum_{t=K21}^{K12} \sigma_{i(t)}$ – суммарный вклад в напряженное состояние массива горных пород переменных физических процессов различных классов (астрофизических явлений) со средней продолжительностью:

K21 – 160 мин, K20 – 1 день, K19 – 14 дней, K18 – 3 мес., K17 – 1 год, K16 – 3,5 года, K15 – 11 лет, K14 – 90 лет, K13 – 200 лет и т. д., МПа.

Так как обозначенные напряжения σ_i^P являются величинами переменными, то «районировать» месторождение (не территорию) необходимо не в плане (по карте), а по глубине и времени, подобно прогнозированию удароопасности на рудниках и шахтах.

Практически на всех рудниках в какой-то период времени были измерены напряжения, т. е. указан год и значение σ_i^P (табл.).

Гравитационную составляющую γH находим расчётным путем при принимаемых значениях удельного веса пород (γ) и глубины (H).

Природные тектонические напряжения формируются за очень длительный промежуток времени, и измеренная

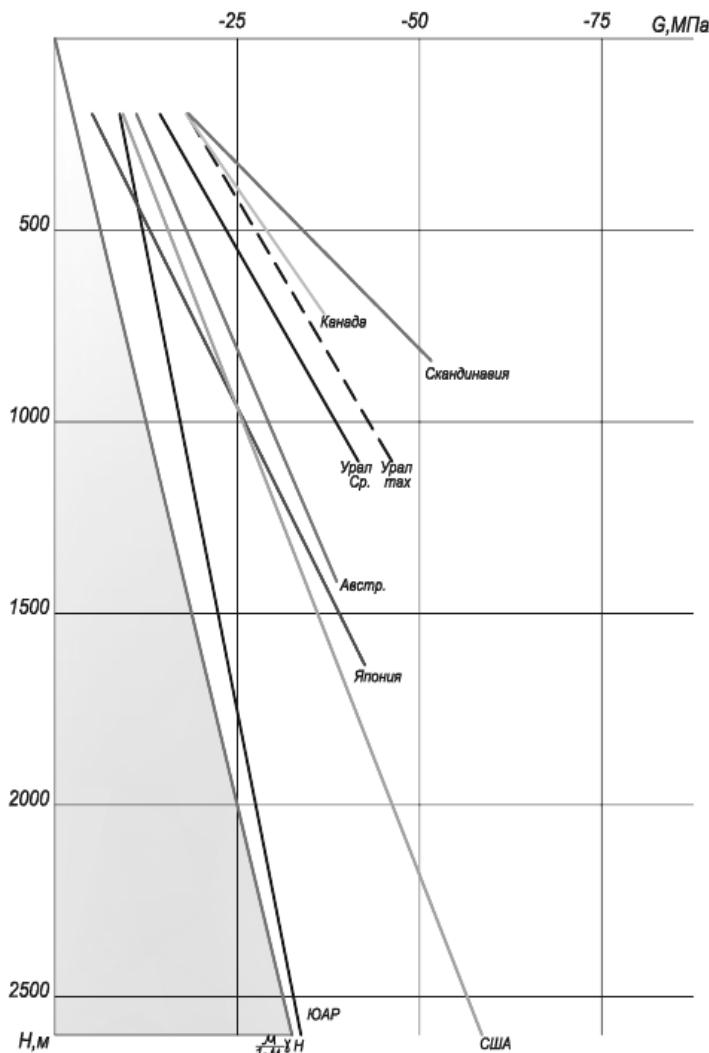


Рис. Графики изменения первоначальных напряжений с глубиной в различных странах мира
Fig. Graphs of changes in initial stresses with depth in different countries of the world

Таблица
Результаты определения первоначальных напряжений на месторождениях полезных ископаемых России и Казахстана
Results of determination of initial stresses at mineral deposits in Russia and Kazakhstan

№	Город, месторож- дение	Дата измере- ния, год	Н, м	Метод измере- ния	Азимут, град	Простирание рудного тела	Первоначальные напряжения, МПа		горизонтальные	верти- кальные
							Действия σ_x^n	σ_y^n		
1	Североуральск	1997	490	Щ	180		90**	-54,5	-33,0	-31,8
	Североуральское I	1981	800	Щ	180		90	-58,0	-38,0	-29,0
2	Краснотуринск	1968	П	ЭА	180		6**	-9,6	-1,5	-
	Северо-Песчан- ское, I	1968	300*	Ч				-10,3	-7,9±2,7	-7,0
		1968	380	Ч			123±9**	-13,0	-8,0±4,4	-11,3
		1982	430	П			90	-16,3	-12,5	-15,5
		1984	500	Щ			90	-21,1±2,1	-17,6±8,3	-
		1988	540	Щ			90	-19,0±1,5	-14,5±0,8	-15±0,6
	3	Краснотуринск Новопесчанское, I	1975	370	П	36	146**	-14,0±2,5	-6,4±2,7	-
4	Краснотуринск, I	800	Щ				137**	-52,0	-30,0	-24,0
5	Березники, V									
	БКРУ-2	400	П	0			135	-24,1	-12,9	-17,9
	БКРУ-3	400	П	0			107	-20,6	-13,2	-17,2
6	Соликамск, V	300	П	0			75	-14,5	-9,2	-11,2
7	Сараны Сарановское, I	1998	300	Щ	158		68**	-16,6±1,5	-9,6±1,2	-7,8
8	Кушва Валуевское, I	1982	125*	Ч	40		130	-5,6±2,4	-2,9±4,4	-4,7±2,2
		1983	380	Щ			145	-26,1±4,0	21,1±8,6	-22,2±3,2
9	Кушва Горноблагодат- ское I	1968	П	ЭА	188		34**	-17,9	-5,3	-
	1969	170*	Ч				188	-17,7±3,4	14,0±3,4	-
	1980	260	Щ				188	-25,1	-18,7	-11,6
	1980	600	Щ				155	-40,5	-21,3	-21,1
	1988	760	Щ				146*	-51	-17	-22,0

Продолжение таблицы

№	Город, месторождение	Дата измерения, год	Н, м	Метод измерения	Азимут, град	Первоначальные напряжения, МПа	горизонтальные		вертикальные σ_z^H
							Простирание рудного тела	Действия σ_x^H	
10	Нижний Тагил Лебяжинское	1970 1983	300 510	Ч Ш	164 144	164 166 ** 156 **	-15,5 -22,3±0,9 -12,3	-7,9 -19,3±0,9 -6,7	6,9 21,1±8,6
11	Нижний Тагил Высокогорское	1983	510	Ш		155	-41,0±13,0 -43,6±13,3	-37,0±7,0 39,4±7,3	-32,0±5,5 34,2±5,3
12	Нижний Тагил Естюнинское	1977 1980 1990	180 240 360	Ч Ш Ш	120 120 124	130 120 ** 124	-25,4±4,6 -37,0±7,0 -77,0±8,9	-24,2±0,6 -28,5±7,0 -55,0±3,4	-20,9 -34,3±4,1 57,0±2,1
		1994	420	Ш		124	-106	-84	-65
		2005	460	Ш		140	-115	-90	-73
13	Кизил, Кизильское	П					-0,035H	-0,022H	-0,26H
14	Берёзовский Берёзовское, VII	1976 1980 1980 1980 1980 1997	212 262 312 462 512 712 320	Ч Ч Ч, Ш Ч, Ш Ч, Ш Ш	180	90 90 90 90 90 112 **	-13,6 -17,0 -17,9 -22,0 -25,3 -22,0	-10,4 -11,0 -10,5 -17,0 -18,9 -18,0	-8,5 -10,5 -13,0 -19,0 -15,7 -20,0
15	Вишневогорск, Вишневогорское III				40	40	-20	-13	-9
16	Сатка, Саткинское I	130 150 240 2007 2019	Ш Ш, Ч Ш, Ч Ш Ш	65-80	70	-22,3±2,39 (-10±0,29H) (-10±0,29H) -28,5 -40,7	-19,8±3,8 (-10±0,29H) (-10±0,29H) -18,3 -30,2	-14,2±1,54 (-10±0,29H) (-10±0,29H) -	
17	Бакал, Ново-Бакальское	1982	150	Ш	45	45	-14,0	-11,0	-4,0

Продолжение таблицы
№ Город, месторож-
дение Дата измере-
ния, год Метод измере-
ния, год Азимут, град Простирание рудного тела

	№	Город, месторож- дение	Дата измере- ния, год	Метод измере- ния	Азимут, град	Первоначальные напряжения, МПа	горизонтальные		верти- кальные
							Действия $\sigma_x^{\text{п}}$	$\sigma_y^{\text{п}}$	
18	Бакал, Северо-Шиханское	1982	180	Щ	45	45	-15,0	-12,0	-4,4
		1988	180	Щ	45	45	-18,0	-12,0	-
		2018	290	Щ	45	45	-9,8±1,1	-9,3±0,3	-15,4±1,3
19	Учалы, Узельгиское III	1994	550	Щ	0	0	-38,5	-37,4	-26,5
	Узельгиское I	1996	550	Щ		96**	-30,3	-26,8	-23,6
	Узельгиское I	1999	550	Щ		96**	-36,4	-24,4	-20,6
	Узельгиское IV	1990	640	Щ		96**	-30,5±1,5	-25,9±1,1	-18,5±1,5
20	Гласт, Кацкарское	П	ЭА	260		54**	-34,0	-8,0	-
	Шх. №16, I, П	1968	192	Ч	260	5	-13,7	-6,0	-3,7
	Шх. Центр, I, П	1968	295	Ч	275	0	-31,3	-25,2	-9,5
	Шх. Фрунзе, V	500	Ч	250		170	-47,0	-22,0	-15,0
	Шх. 15 лет Октября	200÷600	Ч	250		160	-0,058Н	-0,033Н	-0,03Н
	Шх. Центральная	2016	512	Щ	275	0	-47,0	-22,0	-10,0
21	Миндяк, Миндяк- ское, I и II	1968	250*	Ч	220	125	-64,0	-41,0	-33,0
		1986	250	Ч	180	90	-6,4	6,2	6,0
		2015	440	Щ			-10	-4,0	-7,0
			510	Щ			-19,9±2,0	-19,6±1,0	-14,0
			580	Щ			-24,0±4,6	-20,2±3,1	14,0
22	Рудный, Соколов- ское I						-20,9±3,5	-24,6±3,9	15,5
			170	П	180	-	-7,0÷10,0	-7,0÷10,0	-6,0
			270	П		-	-12,0	-12,0	-11,5
			320	П		-	-16,5	-16,5	-14,0
			460	П		-	-18,5÷22,0	-18,5÷22,0	-18

Продолжение таблицы

№	Город, месторождение	Дата измерения, год	Н, м	Метод измерения	Азимут, град	Простирание рудного тела	Первоначальные напряжения, МПа		горизонтальные	вертикальные
							Действия σ_x^n	Действия σ_y^n		
Гайское, І		1998	830	Ш		101±6**	-39,9±4,5	18,7±1,2	21,8	
		2004	910	Ш		101±6**	-41,6	-19,8	-25,0	
		2008	1070	Ш		-	-48,7	-32,0	-33,3	
		2019	1390	Ш		-	-67,3	-55,2	-37,0	
24	Хромтау, Молодёжное, І	1980	530	ЧБ, Ш	50	140	-18,6	-18,0	-13,3	
25	Хромтау, Алмаз-Жемчужина, І	1979	500	ЧБ	0	50**	-20,9	-13,2	-13,2	
26	Таштагол	1983	540	Ш		52	-45,2±8,0	-41,8±10	-20,0±45	
		1983	750	Ш			-52,5±7,5	-45,2±3,6	-24,0±3,3	
		1985	890	П		150**	-73±10	-44±8	-35±5	
27	п. Яковлево, Яковлевск. ПР	2007	600	Ш	320	15 СВ-205 ЮЗ	-21,7	-10,5	-10,4	
28	Ирокинда	2004	200	Ш	C3		-9,3±1,4	-8,6±1,8	-7,4±0,9	
		2007	250	Ш	C3		-5,9±0,4	-10,8±1,2	-6,6±0,5	
		2017	250	Ш	C3		-9,4±3,0	-13,5±3,0	-6,7±2,3	
		410	410	Ш	C3		-17,5±5,1	-27,3±8,8	-11,6±3,7	
29	Кедровское	2015	300	Ш	субмеридиональное		-11,6±3,8	-4,9±1,0	-8,3±2,1	
		2015	400	Ш	субмеридиональное		-15,3±0,9	-19,9±4,3	-10,3±1,1	
30	Майское	2008	120	Ш	355-357°		-3,7±0,4	-4,3±0,5	-4,3±0,3	
		2020	500	Ш	355-357°		-24,2±2,0	17,5±1,6	12,7±1,0	
31	Каральвеем	2012	510	Ш	C3		-27,7±4,4	-22,5±4,3	-15,2±1,6	
32	Коневинское	2014	200	Ш	C3		-6,6±1,9	-4,3±0,5	-5,4±0,6	
		2011	335	Ш	C3		-12,0±0,7	-8,9±1,1	-9,0±2,1	
		2014	300	Ш	C3		-11,9±2,0	-12,8±1,8	-8,1±0,7	

№	Город, месторож- дение	Дата измере- ния, год	Н, м	Метод измере- ния	Азимут, град	Первоначальные напряжения, МПа	горизонтальные		Верти- кальные	
							Простирание рудного тела	σ_x^n	σ_y^n	σ_z^n
33	Зуун-Холба	2003	50	Щ	C3 310–330°	-3,3±1,1	-3,5±1,5	-3,3±1,1	-1,6±1,3	
		380	Щ	Щ	C3 310–330°	-14,6±5,0	16,6±1,8	16,6±1,8	-11±2,1	
		530	Щ	Щ	C3 310–330°	-30,7±6,5	-18,9±4,0	-18,9±4,0	-14,2±3,7	
		2017	940	Щ	C3 310–330°	-26,0±3,0	-42,7±3,5	-42,7±3,5	-25,3±2,1	
		2017	1000	Щ	C3 310–330°	-45,3±26,5	-59,8±49,3	-59,8±49,3	-35,6±13,5	
34	Дарасуң	1986– 1989	400	Щ	СВ	-4,1±1,6	-21,3±4,9	-21,3±4,9	-12,3±2,1	
		500	Щ	СВ	СВ	-4,1±1,4	-20,8±4,4	-20,8±4,4	-11,6±1,5	
		600	Щ	СВ	СВ	-5,2±2,8	-20,3±9,1	-20,3±9,1	-10,9±2,2	
		700	Щ	СВ	СВ	-19±2,1	-24,1±2,9	-24,1±2,9	-14,3±1	
		2019	550	Щ	СВ	-23,0±2,6	-14,8±4,5	-14,8±4,5	-15,0±3,0	
		617	Щ	СВ	СВ	-10,4±0,3	-9,3±1,6	-9,3±1,6	-16,7±1,4	
		2008	220	Щ	C3 2550 – 3350	-4,4±0,4	-5,4±0,6	-5,4±0,6	-6,7±0,3	
35	Ново-Широкинское					-11,2±2,7	-11,1±1,9	-11,1±1,9	-9,7±2,3	
36	Многовершинное	2012– 2017	350	Щ	–					

Примечание: Щ – данные, полученные при щелевой разгрузке массива горных пород; Ч – данные, полученные при частичной разгрузке массива горных пород; ЭА – данные, полученные экспериментально-аналитическим методом.

величина тектонических напряжений на месторождении остается «неизменной» [2] на период отработки всего месторождения. Тектоническую составляющую можно только измерить σ_{im} , она изменяется в широких пределах от ноля до десятков МПа, но природная тектоническая составляющая неизменна в течение десятков лет.

Переменная «астрофизическая» [1] составляющая является величиной переменной, и ее необходимо непрерывно отслеживать, т. к. период ее изменения составляет 11–13 лет, 84–93 года, 200–400 лет и т.д. [1].

Результаты экспериментальных исследований определения первоначальных напряжений на месторождениях полезных ископаемых России и Казахстана

При использовании результатов измерения напряжений в различных регионах мира при прогнозировании на 2–3 года вперед можно районировать территорию России и всего мира по фактору техно-природных катастроф, приняв напряжение в элементах горно-капитальных выработок

$$\sigma_{\text{г-к}} = 2,4\sigma^{\text{п-р}},$$

в элементах подготовительно-нарезных выработок

$$\sigma_{\text{п-н}} = 2,4 \cdot \sigma^{\text{п-р}} \cdot 2,6 = 6,2\sigma^{\text{п-р}}.$$

Районирование территории Российской Федерации по риску техноприродных катастроф нужно проводить не в плане, а по глубине, как при оценке ударопасности:

- горно-капитальные выработки (это массив);
- подготовительно-нарезные выработки (это элементы систем разработки).

Результаты

В результате проведенных замеров в 2020 г. и анализа накопив-

шихся результатов измерений с 1968 по 2020 гг. [9–12] в основных горнодобывающих районах России и мира (табл., рис.) был сделан прогноз изменения напряжений в массиве горных пород на ближайшие 3 и последующие годы [1].

В 21 веке астрофизики Пулковской обсерватории спрогнозировали 4 ступени понижения S_o : 2002–2009 гг.; 2014–2022 гг.; 2025–2033 гг. и 2036–2045 гг., после чего должен наступить очередной минимум Маундера (до 2100 г.) [1].

Заключение

Напряженно-деформированное состояние массива крепких горных пород формируется в результате действия гравитационных, тектонических и переменных «астрофизических» сил. Гравитационную составляющую напряжений находят расчетом (γH), тектоническую можно только измерить экспериментально на конкретном месторождении, и она находится в пределах 0–40 МПа. А переменная «астрофизическая» [1] составляющая зафиксирована как единая для всей земной коры в пределах 0–20 МПа и скорость ее роста до 2022 года прогнозируется на 3–4 МПа в год. Именно переменные «астрофизические» напряжения суммируясь с гравитационными и тектоническими составляющими массива горных пород, в периоды экстремумов инициирует техноприродные катастрофы, приводящие к гибели сотен и тысяч людей [13].

По результатам измерения напряжений на различных рудниках Урала и Сибири суммарные тектонические и пульсирующие напряжения достигают нескольких десятков МПа. При анализе мировых данных переменная составляющая достигает порядка 10 МПа, что также говорит о значительной величине тектонической состав-

ляющей. Для отдельных конструкций при расчете напряженного состояния был задан режим учета собственного

веса. Такой подход широко апробирован на практике и представлен в работах [14–18].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков А. В. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры // Литосфера. 2015. № 6. С. 116–129.
2. Зубков А. В. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры / А. В. Зубков // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 483. – № 3. – С. 1 – 11.
3. Зубков А. В. Методика определения природных напряжений в массиве по деформации карьера с использованием спутниковых навигационных систем / А. В. Зубков, К. В. Селин, С. В. Сентябов // Литосфера. – 2019. – № 5. – С. 767 – 779. – (DOI: 10.24930/1681–9004–2019–19–5-767–779).
4. Мясков А. В. Методологические основы эколого-экономического обоснования сохранения естественных экосистем в горнопромышленных регионах // Горный информационно –аналитический бюллетень. –2011. – № 1. – С. 399–401.
5. Мясков А. В. Современные эколого-экономические проблемы недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. –2014. – № 2. – С. 157–160.
6. Timonin V. V., Kondratenko A. S. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes // J. Min. Sci. 2015. Vol 51. No 5 pp. 1056–1061.
7. Сидоров Д. В., Потапчук М. И., Сидляр А. В. Прогнозирование удароопасности тектонически нарушенного рудного массива на глубоких горизонтах Николаевского полиметаллического месторождения // Записки Горного института. –2018. – Т. 234. –С. 604–611.
8. Еременко В. А., Гахова Л. Н., Семенякин Е. Н. Формирование зон концентрации напряжений и динамических явлений при отработке рудных тел Таштагольского месторождения на больших глубинах // ФТПРПИ. –2012. – № 2. – С. 80 – 87.
9. Hong K., Han E., Kang K. Determination of geological strength index of jointed rock mass based on image processing // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017.No 9. Pp. 702 – 708.
10. Sosnovskaya E. Control over The geotechnical processes the goldfields of Eastern Siberia = Управление геомеханическими процессами на золоторудных жильных месторождениях Восточной Сибири/ Е. Sosnovskaya, N. Avdeev // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – № 5. – С. 21 – 29. – DOI: 10.21440/0536 – 1028 – 2019 – 5 – 21 – 29.
11. Avdeev A. Geomechanical conditions of veingold deposits in permafrost zone = Геомеханические условия жильных золоторудных месторождений криолитозоны / А. Avdeev, E. Sosnovskaya. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201026> // E3S Web of Conferences : VIII International Scientific Conference «Problems of Complex Development of Georesourcef» (PCDG 2020), Khabarovsk, Russia Federation, September 8–10, 2020 г. = VIII Международная научная конференция «Проблемы комплексного освоения георесурсов». – 2020. – Vol. 192. – p. 01026.
12. Сосновская Е. Л. Оценка первоначального напряженного состояния массива горных пород в криолитозоне (на примере Ирокиндинского месторождения) / Е. Л. Сосновская, А. Н. Авдеев. – DOI: 10.25018/0236 – 1493 – 2020 – 31 – 0-208 – 215 // Проблемы недропользования: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 3 – 1. – С. 208 – 215.
13. Сентябов С. В. Геомеханические аспекты формирования природных напряжений в бетонной крепи шахтных стволов / С. В. Сентябов. – DOI: 10.25018/0236 – 1493 –

2020 – 31 – 0-199 – 207 // Проблемы недропользования: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 3 – 1. – С. 199 – 207.

14. Yang Z.-S., Peng F.-L., Qiao Y.-K., Hu Y.-Y. A new cryogenic sealing process for the launch and reception of a tunnel shield // Tunnelling and Underground Space Technology. 2019, 85, pp. 406 – 417.

15. Hu X., Fang T., Chen J., Ren H., Guo W. A large-scale physical model test on frozen status in freeze-sealing pipe roof method for tunnel construction // Tunnelling and Underground Space Technology. 2018, 72, pp. 55 – 63.

16. Rib S. V. The influence of rock interlayer location on the stress-strain state of the rock massif near the underground mine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 206. Pp. 1 – 4 (012011) (accessed: <http://library.sibsiu.ru>).

17. Gell E. M., Walley S. M., Braithwaite C. H. Review of the Validity of the Use of Artificial Specimens for Characterizing the Mechanical Properties of Rocks // Rock Mechanics and rock Engineering, 2019, no. 3, pp. 1 – 13.

18. Липин Я. И. Исследование вариаций поля упругих напряжений массива пород при отработке Песчанского месторождения / Я. И. Липин, С. В. Сентябов, Р. В. Криницын. – DOI: 10.21440/0536 – 1028 – 2020 – 5-19 – 28 // Известия вузов. Горный журнал. – 2020. – № 4. – С. 19 – 28. ГИАБ

REFERENCES

1. Zubkov A. V. Regularities of the formation of the stressed state of the rock mass in the upper part of the earth's crust. Lithosphere. 2015. no. 6. P. 116 – 129.
2. Zubkov A. V. The law of formation of the natural stress state of the earth's crust / A. V. Zubkov. Reports of the Academy of Sciences. 2018. T. 483. no. 3. pp. 1 – 11.
3. Zubkov AV Methods for determining natural stresses in the rock mass by deformation of a quarry using satellite navigation systems / AV Zubkov, K. V. Selin, S. V. Sentyabov. Lithosphere. 2019. no. 5. C. 767 779. (DOI: 10.24930 / 1681-9004-2019-19-5-767-779).
4. Myaskov A. V. Methodological foundations of the ecological and economic substantiation of the preservation of natural ecosystems in the mining regions. Gorny information-analytical bulletin. –2011. no. 1. pp. 399 – 401.
5. Myaskov A. V. Modern ecological and economic problems of subsoil use. Mining information and analytical bulletin. –2014. no. 2. pp. 157 – 160.
6. Timonin V. V., Kondratenko A. S. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes. J. Min. Sci. 2015. Vol 51.no. 5 pp. 1056 – 1061.
7. Sidorov D. V., Potapchuk M. I., Sidlyar A. V. Prediction of rock burst hazard of a tectonically disturbed ore massif on deep horizons of the Nikolaev polymetallic deposit. Zapiski Gornogo instituta. –2018. T. 234. pp. 604 – 611.
8. Eremenko V. A., Gakhova L. N., Semenyakin E. N. Formation of stress concentration zones and dynamic phenomena during mining of ore bodies of the Tashtagol deposit at great depths. FTPRPI. 2012. no. 2. pp. 80 – 87.
9. Hong K., Han E., Kang K. Determination of geological strength index of jointed rock mass based on image processing. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2017.no. 9. pp. 702 – 708.
10. Sosnovskaya E. Control over The geotechnical processes the goldfields of Eastern Siberia = Control of geomechanical processes at the gold vein deposits of Eastern Siberia / E. Sosnovskaya, N. Avdeev. Izvestiya vuzov. Mining magazine. 2019. no. 5. pp. 21 – 29. DOI: 10.21440 / 0536 – 1028 – 2019 – 5-21 – 29.
11. Avdeev A. Geomechanical conditions of veingold deposits in permafrost zone = Geomechanical conditions of vein gold ore deposits in the permafrost zone / A. Avdeev, E. Sosnovskaya. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019201026>. E3S Web of Conferences: VIII International Scientific Conference “Problems of Complex Development

of Georesourcef" (PCDG 2020), Khabarovsk, Russia Federation, September 8–10, 2020 = VIII International Scientific Conference "Problems of Integrated Development of Georesources". 2020. Vol. 192. p. 01026.

12. Sosnovskaya EL Assessment of the initial stress state of the rock mass in the permafrost zone (by the example of the Irokindinskoye deposit) / EL Sosnovskaya, AN Avdeev. DOI: 10.25018 / 0236 – 1493 – 2020 – 31 – 0-208 – 215. Problems of subsoil use: *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3 – 1. pp. 208 – 215.

13. Sentyabov SV Geomechanical aspects of the formation of natural stresses in the concrete support of mine shafts / SV Sentyabov. DOI: 10.25018 / 0236 – 1493 – 2020 – 31 – 0-199 – 207. Problems of subsoil use: *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. no. 3 – 1. pp. 199 – 207.

14. Yang Z.-S., Peng F.-L., Qiao Y.-K., Hu Y.-Y. A new cryogenic sealing process for the launch and reception of a tunnel shield. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2019, 85, pp. 406 – 417.

15. Hu X., Fang T., Chen J., Ren H., Guo W. A large-scale physical model test on frozen status in freeze-sealing pipe roof method for tunnel construction. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2018, 72, pp. 55 – 63.

16. Rib S. V. The influence of rock interlayer location on the stress-strain state of the rock massif near the underground mine. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 206. pp. 1 – 4 (012011) (accessed: <http://library.sibsiu.ru>).

17. Gell E. M., Walley S. M., Braithwaite C. H. Review of the Validity of the Use of Artificial Specimens for Characterizing the Mechanical Properties of Rocks. *Rock Mechanics and rock Engineering*, 2019, no. 3, pp. 1 – 13.

18. Lipin Ya. I., Sentyabov S. V., Krinitzyn R. V. Investigation of variations in the field of elastic stresses in rock mass during the development of the Peschanskiy deposit. DOI: 10.21440 / 0536 – 1028 – 2020 – 5-19 – 28. *Izvestiya vuzov. Mining magazine*. 2020. no. 4. pp. 19 – 28.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зубков Альберт Васильевич¹ – докт. техн. наук, главный научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления, e-mail: sentyabov1989@mail.ru;

Сентябов Сергей Васильевич¹ – канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления, e-mail: sentyabov1989@mail.ru;

Криницын Роман Владимирович¹ – заведующий лаборатории геодинамики и горного давления, e-mail: Roman_krinicyn@mail.ru

Селин Константин Владимирович¹ – научный сотрудник лаборатории геодинамики и горного давления, e-mail: stress.igd@mail.ru;

¹ Институт горного дела УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zubkov A. V.¹, Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, e-mail: sentyabov1989@mail.ru;

Sentyabov S. V.¹, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, e-mail: sentyabov1989@mail.ru;

Krinitzyn R. V.¹, Head of laboratory, e-mail: Roman_krinicyn@mail.ru;

Selin K. V.¹, Researcher, e-mail: stress.igd@mail.ru;

¹ Institute of Mining of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 15.12.2020; получена после рецензии 01.03.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 15.12.2020; received after the review 01.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.