

УДК 622.271.1:622.342.1

**Сентябов Сергей Васильевич**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
лаборатория геодинамики и горного давления,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [sentyabov1989@mail.ru](mailto:sentyabov1989@mail.ru)

### **ВЫБОР МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ОСВОЕНИИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ\***

*Аннотация:*

Горное дело – сфера человеческой деятельности, связанная с извлечением полезных ископаемых из недр в условиях знакопеременного изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород. Изменение НДС может проявляться внезапными разрушениями горных конструкций, а также землетрясениями.

Прогноз места и времени проявления горного давления в настоящее время является одной из самых актуальных задач. Ежегодный рост объемов применения профилактических мер при практически неизменном количестве динамических проявлений горного давления и возрастании относительного количества горных ударов свидетельствует о низкой эффективности традиционных мер предупреждения горных ударов, что обуславливает необходимость разработки новых способов прогноза и предупреждения удароопасности. С использованием результатов и замеров в доступном для нас 11-летнем цикле солнечной активности выявлены закономерности формирования деформации, а также напряжений массива горных пород. Появилось обоснование изменения физического состояния средств измерения, основанных на электромагнитных волнах: спутниковые навигационные системы, свето- и радиодальномеры.

В то же время было установлено, что все эти параметры изменяются во времени непрерывно и бесконечно, и их необходимо будет отслеживать, чтобы давать надежный прогноз их влияния на техногенную деятельность горных предприятий. Богатый экспериментальный материал об относительной деформации материи, а главное, о деформации массива горных пород, т.е. земной коры, полученный за многие годы исследований, дал возможность найти решение этой проблемы, используя само поведение массива горных пород при отклике его на техногенную деятельность.

*Ключевые слова:* управление горным давлением, висячий бок, лежащий бок, напряженное состояние, порядок отработки, анализ результатов, система разработки.

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.01.007

**Sentyabov Sergey V.**

Candidate of Technical Sciences,  
Senior Researcher,  
Laboratory of Geodynamics and Mining Pressure,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [sentyabov1989@mail.ru](mailto:sentyabov1989@mail.ru)

### **CHOICE OF ROCK PRESSURE CONTROL METHODS DURING DEVELOPMENT OF DEEP DEPOSITS**

*Abstract:*

Mining is a sphere of human activity associated with the extraction of minerals from the subsoil under the conditions of a sign-alternating change in the stress-strain state (SSS) of the rock mass. A change of the SSS can manifest in sudden destruction of mountain structures, as well as through earthquakes.

Prediction of the place and time of manifestation of rock pressure is currently one of the most urgent tasks. The annual growth in the use of preventive measures with a practically unchanged number of dynamic manifestations of rock pressure and an increase in the relative number of rock bursts indicates the low efficiency of traditional rock burst prevention measures, which necessitates the development of new methods for predicting and preventing rock bursts.

Using the results and measurements in the accessible to us 11-year cycle of solar activity, we revealed the regularities in the occurrence of deformation, as well as of stresses in the rock mass. There was a rationale for changing the physical state of measuring instruments based on electromagnetic waves: satellite navigation systems, light and radio rangefinders.

At the same time, we found that all these parameters change continuously and infinitely over time, and they will need the monitoring in order to give a reliable forecast of their impact on the technogenic activity of mining enterprises.

Rich experimental material about the relative deformation of matter, and most importantly about the deformation of the rock mass, i.e. of the earth's crust, obtained over many years of research, made it possible to find a way out to solve this problem using the very behavior of the rock mass in response to technogenic activity.

*Key words:* rock pressure management, hanging side, recumbent side, stress state, mining procedure, analysis of results, development system.

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания № №075-00412-22 ПП, тема №3 (FUWE-2022-0003), рег. №1021062010536-3-1.5.1.

## Введение

Все конструктивные элементы подземных систем разработки имеют замкнутый контур, что предопределяет затрудненные условия для нарушения специального предельного равновесия. Поэтому основной моделью массива скальных пород является модель сплошной среды [1].

Разрушение массива горных пород в окрестности подземных выработок также происходит на двух масштабных уровнях: на базе подземных горных выработок и на базе очистных выработок (камер и целиков, фронта подвигания очистных работ).

В подземных выработках обрушения развиваются по трем основным сценариям:

- нарушения устойчивости, практически не зависящие от величины действующих природных напряжений (вывалы породных блоков и отслоения пород по поверхностям ослабления, образование куполов обрушения при хаотической трещиноватости);

- хрупкое или близкое к нему разрушение пород на контуре выработок в результате концентрации напряжений, в т.ч. стреляния пород [2];

- большие деформации выработок по всему контуру выработок под воздействием высокого уровня напряжений, характерные для пород, склонных к пластическим деформациям [3].

Целью работы является исследование закономерностей формирования напряжений на различных месторождениях, выявление тренда изменения напряжений во времени и прогноз их величин на перспективу, разработка технологии снижения риска и уменьшения тяжести последствий техноприродных катастроф в сфере недропользования.

### Структура природного поля напряжений

Результаты многолетних измерений, представленные в табл.1, позволяют утверждать, что природное напряженное состояние земной коры формируется в результате наложения полей напряжений, обусловленных гравитационными и тектоническими силами Земли, а также переменными компонентами различного происхождения, и могут быть представлены в следующем виде [4, 5]:

$$\begin{aligned}\sigma_Z &= \gamma H + \sigma_{zT} + \sigma_{zП}; \\ \sigma_X &= \lambda \gamma H + \sigma_{xT} + \sigma_{xП}; \\ \sigma_Y &= \lambda \gamma H + \sigma_{yT} + \sigma_{yП},\end{aligned}$$

где  $\sigma_z$  – действующее вертикальное напряжение (наиболее часто совпадает с одним из главных нормальных напряжений);

$\sigma_x$  и  $\sigma_y$  – горизонтальные главные нормальные напряжения;

$\gamma H$  – вертикальное напряжение, создаваемое весом налегающих пород;

$\lambda$  – коэффициент бокового распора, определяемый деформационными характеристиками массива пород;

$\sigma_{zT}$ ,  $\sigma_{xT}$  и  $\sigma_{yT}$  – компоненты тектонических напряжений, остающиеся неизменными многие десятилетия;

$\sigma_{zП}$ ,  $\sigma_{xП}$  и  $\sigma_{yП}$  – изменяющиеся компоненты напряжений.

Переменная составляющая поля напряжений может определяться многими причинами: притяжением Луны и Солнца (приливы и отливы), тектоникой плит и, в частности, сейсмической активностью регионов, мелкомасштабными подвижками по тектоническим разломам и т.д. [5]. Естественно, что длительность, величина и повторяемость этих компонент весьма различны. Главное, что их объединяет, – это то, что они, накладываясь на статическое поле напряжений, могут создавать предпосылки для аварий, а в сочетании с техногенными факторами – и для катастроф.

### Прогноз изменения природного поля напряжений во времени

Предыдущими исследованиями установлено, что в приповерхностной части земной коры происходят знакопеременные подвижки, локализующиеся, как правило, в зонах крупных тектонических нарушений. Продолжительность этих подвижек невелика и не превышает 2 – 3 месяцев [6, 7].

Переменная «астрофизическая» составляющая является величиной переменной, и ее необходимо непрерывно отслеживать. Измерение можно проводить как на поверхности, так и в подземных условиях, измеряя деформацию базисов различной длины [8, 9].

В настоящее время к таким методам относятся измерения при использовании

- спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС;
- лазерных дальномеров (ЛД);
- кварцевых трубчатых деформометров (КТД);
- маркшейдерских мерных проволок, рулеток (МР).

Астрофизическая составляющая на рудниках Урала определялась в результате экспериментального измерения деформаций на глубинах более 400 м, т.е. ниже зоны дезинтеграции массива горных пород, вызванных знакопеременными подвижками по нарушениям, приведенным на рис. 1 – 2.

Анализ представленных материалов позволяет сделать следующие выводы:

1. Изменения деформаций хорошо коррелируются как с солнечной активностью (идут в одной фазе), так и с вариациями космических лучей (идут в противофазе).

2. Независимо от того, что места измерений расположены далеко друг от друга (между шахтой Северопесчанская и Гайским подземным рудником порядка 1300 км) и относятся к разным генетическим типам, величины дополнительных деформаций близки друг к другу, что дает основание предположить, что они будут одинаковы для всех месторождений, расположенных в скальных породах.

3. Если предположить, что астрофизическая компонента деформаций одинакова для всех скальных массивов, то она должна проявляться в изменении фигуры Земли, что может быть дополнительно отслежено методами гравиметрии (максимальное изменение оценивается как 0,5 км).

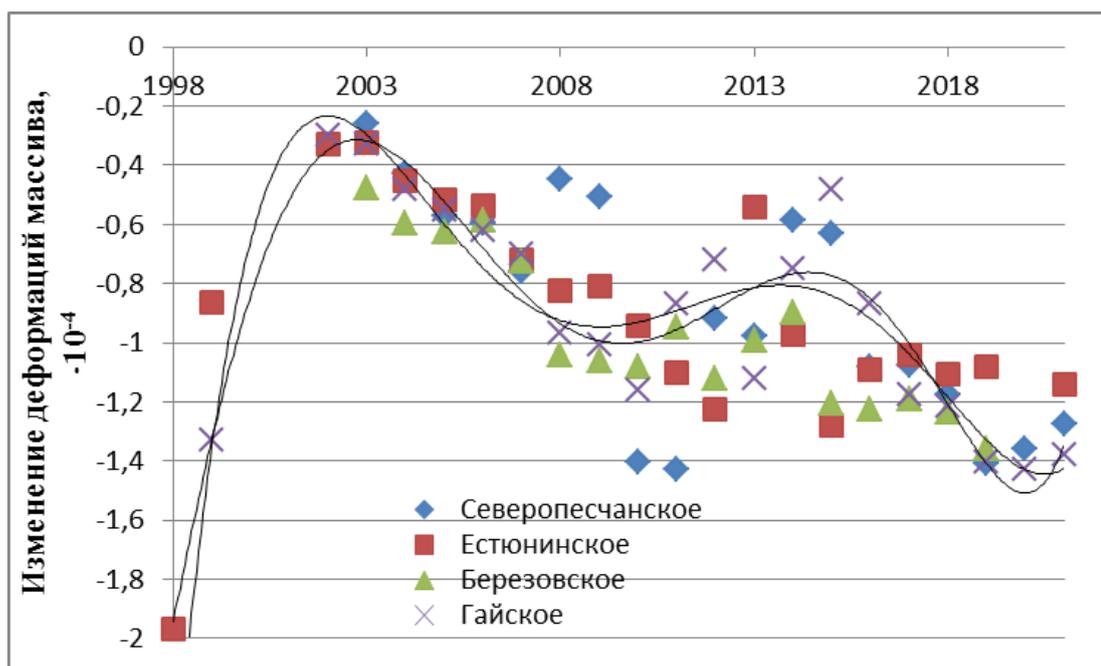


Рис. 1. Изменение среднегодовых деформаций на рудниках во времени

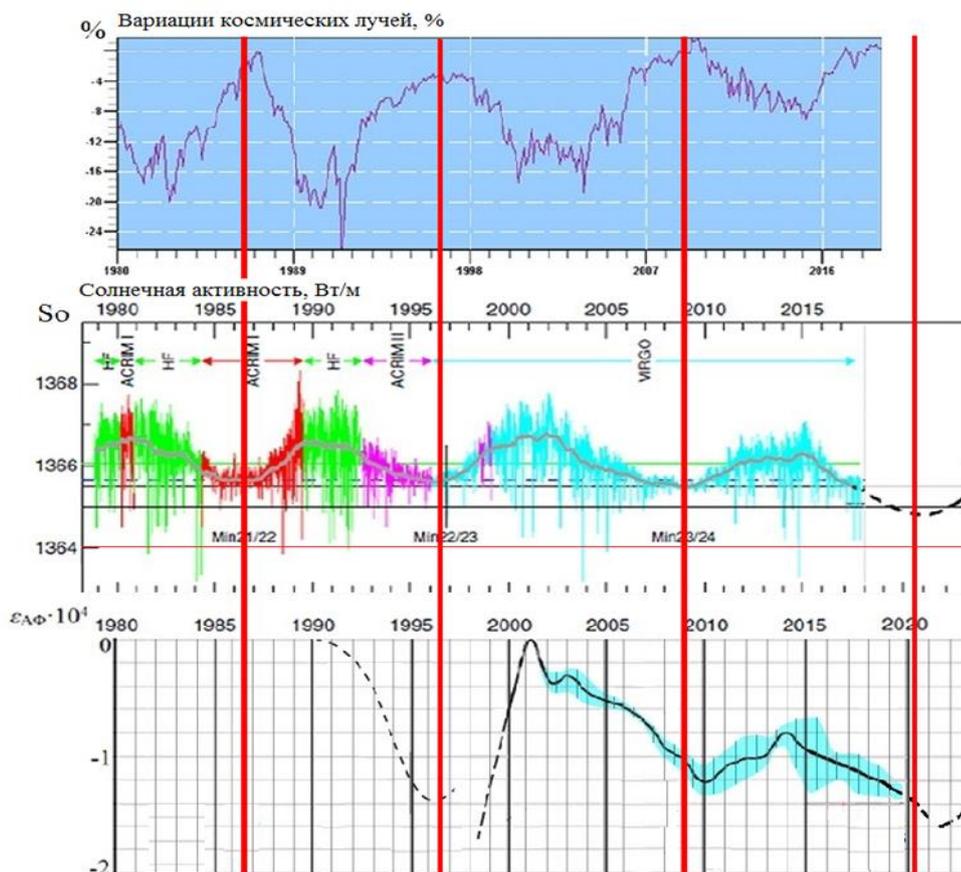


Рис. 2. Изменение средних по четырем рудникам значений деформаций массива горных пород ( $\epsilon_{\text{АФ}}$ ) на Урале на фоне изменения излучающей способности Солнца  $S_0$  и интенсивности космического излучения

Прогноз изменения величины «астрофизической» [10, 11], составляющей во времени на настоящий момент можно вести только на основе экстраполяции зависимостей, приведенных на рис. 1 – 2, причем прогноз на период более 2 – 3 лет может выполняться только с большими погрешностями.

Величины деформаций, если исключить измерения 1998 г., не превышают  $1,43 \cdot 10^{-4}$ . При этом величина сжимающих напряжений может возрастать на 6 – 15 МПа в зависимости от модуля деформации массива (максимальные напряжения характерны для Естюнинского месторождения, имеющего аномально высокие деформационные и прочностные характеристики массива скальных пород).

Хотя полученные результаты наблюдений позволяют выделить периодичность 11 – 12 лет, можно утверждать, что вопрос об амплитуде и периоде изменения астрофизической составляющей природного поля напряжений нельзя считать решенным до конца, поскольку в природе солнечной активности выделяются гармоники с большим периодом (см. рис. 2).

На сегодняшний день можно с большой долей уверенности предположить, что до конца 2022 г. будет продолжаться незначительный рост напряжений (не более 2 – 3 МПа), а с 2032 г. начнется их незначительное снижение.

*Оценка напряженного состояния массива пород выполняется прежде всего для подземных предприятий.*

При этом районирование ведется по двум параметрам:

- по глубине отработки, что не только определяет величину действующих первоначальных напряжений, но и позволяет учесть изменение соотношения горизонталь-

ных и вертикальных напряжений с глубиной и определение верхней границы удароопасности;

- по времени заложения выработок и сроку их службы, что позволяет учесть величину «астрофизической» составляющей.

В последнем случае можно использовать установленную на сегодняшний день величину дополнительной «астрофизической» деформации ( $\varepsilon_{\text{АФ}} \leq 2 \cdot 10^{-4}$ ) и с ее помощью оценить максимально возможное увеличение действующих напряжений, задаваясь модулем деформации массива.

Для оценки величины тектонических напряжений можно воспользоваться результатами измерений напряженного состояния, приведенного в табл.1.

Таблица 1

**Результаты измерения относительной деформации массива горных пород на рудниках Урала, а также США и Европы**

Азимут Год	*	I	II	III	IV	V	VI	$\varepsilon_{\text{срАФ}} \cdot 10^4$
1990	A							0
1992	A							-0,35
1993	A							-0,49
1995	A							-1,32
1997	A							-1,29
1998	T	-2,13	-1,87	-	-	-1,88	-1,99	-1,97±0,12
1999	T	-0,72	-0,5	-	-1,94	-0,55	-0,6	-1,08±0,31
	Г	-	-0,64	-	-2,02	-	-	
2001		0	0	0	0	0	0	0
2002	T	-0,18	-0,19	-	-	-0,24	-0,7	-0,36±0,21
	Г	-	-0,49	-	-0,11	-	-0,3	
2003	K	-0,17	-	-0,15	-0,16	-0,16	-0,65	-0,31±0,21
	T	-0,15	-0,06	-	-	-0,3	-0,79	
	Б	-	-0,56	-0,44	-0,51	-	-0,39	
	Г	-	-0,47	-	-0,19	-	-0,33	
2004	K	-	-	-0,37	-0,31	-0,20	-0,84	-0,45±0,19
	T	-0,43	-0,36	-	-	-0,23	-0,79	
	Б	-	-0,52	-0,53	-0,66	-	-0,67	
	Г	-	-0,64	-	-0,32	-	-0,48	
2005	K	-	-	-0,49	-0,53	-0,35	-0,92	-0,53±0,15
	T	-0,47	-0,36	-	-	-0,45	-0,79	
	Б	-	-0,53	-0,6	-0,62	-	-0,75	
	Г	-	-0,66	-	-0,47	-	-0,52	
2006	K	-0,77	-	-0,28	-0,62	-0,56	-0,75	-0,58±0,16
	T	-0,65	-0,35	-	-	-0,35	-0,79	
	Б	-	-0,4	-0,59	-0,65	-	-0,71	
	Г	-	-0,75	-	-0,50	-	-0,62	
2007	K	-0,88	-	-0,61	-0,75	-0,5	-1,06	-0,71±0,18
	T	-0,85	-0,36	-	-	-0,61	-1,06	
	Б	-	-0,61	-0,75	-0,72	-	-0,82	
	Г	-	-0,77	-	-0,63	-	-0,7	
	С	-	-	-	-	-0,5	-	
2008	K	1,00	-	-0,94	-0,87	-0,50	-0,94	-0,92±0,14
	T	-0,74	-0,92	-	-	-0,84	-0,79	
	Б	-	-0,96	-1,0	-1,14	-	-1,07	
	Г	-	-1,04	-	-0,9	-	-0,97	

Продолжение таблицы 1

2009	К	1,56	-	-1,12	-0,96	-0,9	-1,11	-1,03±0,19
	Т	-0,98	-0,67	-	-	-0,8	-0,79	
	Б	-	-1,02	-1,06	-1,10	-	-1,07	
	Г	-	-1,09	-	-0,92	-	-1,05	
2010	К	-1,85	-	-1,24	-1,24	-1,38	-1,3	-1,22±0,29
	Т	-1,03	-0,43	-	-	-1,03	-1,29	
	Б	-	-1,05	-	-	-1,11	-1,09	
	Г	-	-	-	-1,17	-	-1,15	
	Е	-	-	-	-	-0,38	-	
2011	К	-1,8	-	-1,39	-1,18	-1,35	-	-1,1±0,29
	Т	-1,1	-	-	-	-	-	
	Б	-	-0,94	-0,99	-	-0,97	-0,89	
	Г	-	-0,75	-	-0,97	-	-0,88	
2012	К	-1,2	-	-0,77	-1,01	-0,7	-	-1,02±0,24
	Т	-	-	-	-	-1,0	-1,45	
	Б	-	-1,12	-1,04	-	-1,13	-1,2	
	Г	-	-0,62	-	-0,82	-	-0,72	
2013	К	-1,26	-	-1,27	-0,53	-0,85	-	-1,00±0,37
	Т	-0,17	-	-	-	-0,26	-1,19	
	Б	-	-0,92	-1,0	-	-1,04	-1,02	
	Г	-	-0,79	-	-1,1	-	-1,47	
2014	К	-1,14	-	-0,42	-0,37	-0,41	-	-0,8±0,30
	Т	-0,82	-	-	-	-0,95	-1,15	
	Б	-	-0,95	-1,14	-	-1,04	-0,47	
	Г	-	-0,65	-	-0,9	-	-0,7	
2015	К	-1,0	-	-0,81	-0,41	-0,3	-	-0,94±0,39
	Т	-1,18	-	-	-	-1,22	-1,44	
	Б	-	-1,15	-1,31	-	-1,17	-1,2	
	Г	-	-0,68	-	-0,76	-	-0,6	
2016	К	-1,6	-	-0,92	-0,96	-0,84	-	-1,1±0,21
	Т	-1,25	-0,8	-	-	-1,14	-1,17	
	Б	-	-1,22	-1,23	-1,23	-1,23	-1,21	
	Г	-	-0,95	-	-1,10	-	-0,83	
2017	К	-1,47	-	-0,82	-0,94	-	-	-1,11±0,23
	Т	-1,32	-0,67	-	-	-1,14	-	
	Б	-	-1,10	-1,30	-1,20	-	-1,16	
	Г	-	-1,13	-	-1,16	-	-1,24	
2018	К	-1,5	-	-0,89	-1,07	-1,25	-	-1,18±0,17
	Т	-1,24	-0,88	-	-	-	-1,20	
	Б	-	-	-1,24	-1,30	-	-1,17	
	Г	-	-1,17	-	-1,18	-	-1,30	
2019	К	-1,69	-	-1,27	-1,22	-1,45	-	-1,36±0,20
	Т	-	-0,86	-	-	-	-1,30	
	Б	-	-	-1,45	-1,30	-	-1,33	
	Г	-	-1,38	-	-1,41	-	-1,42	
2020	К	-1,51	-	-1,23	-1,08	-1,61	-	-1,39±0,22
	Г	-	-1,46	-	-1,41	-	-1,42	
2021	К	-1,57	-	-1,20	-1,02	-1,31	-	-1,31±0,18
	Т	-	-0,91	-	-	-1,15	-1,36	
	Г	-	-1,39	-	-1,32	-	-1,43	

\* Измерения проводились на рудниках, расположенных вблизи городов: А – Абаза (представлены средние значения  $\sigma_T + \sigma_{AF} = \sigma_{IPR} - \gamma_H$ ), Б – Березовский, Г – Гай, К – Краснотурьинск, Т – Нижний Тагил; Е – Европа (проект OPERA), С – США (проект MINOS); Направления базисов: I – 0°- 9°, II– 20°-30°, III– 45°- 75°, IV– 80°- 90°, V– 125°- 135°, VI– 156°-160°

Таким образом, для выбора мест и обоснования безопасных условий строительства объектов на земной поверхности достаточно оценки сейсмоактивности рассматриваемого участка и картирования сетки тектонических нарушений с оценкой их активности. При проектировании и эксплуатации подземных рудников в обязательном порядке должно учитываться напряженное состояние массива и его изменение во времени [12].

#### Выводы

1. Доказана хорошая корреляция переменной компоненты деформаций с 11-летним циклом солнечной активности. Связь этой компоненты с более низкочастотными колебаниями активности не доказана в связи с малым периодом наблюдений (чуть более 20 лет). Все деформации являются деформациями сжатия.

2. Переменные деформации практически для всех рудников, где производились измерения, одинаковы и не превышают для 11-летнего цикла величины  $1,43 \cdot 10^{-4}$ . При этом величина сжимающих напряжений может возрастать на 6 – 15 МПа в зависимости от модуля деформации массива.

#### Заключение

Представлено обобщение результатов длительного геодеформационного мониторинга природных напряжений на рудниках Урала, проводимого лабораторией геодинамики и горного давления ИГД УрО РАН в течение последних 20 лет, что дало основание предложить новую, более современную структуру поля естественных напряжений с привязкой их изменения во времени.

Выявлено, что относительная деформация Земли и земной коры в отдельных циклах не превышает величины до  $\varepsilon_{\text{АФ}} = 1,43 \cdot 10^{-4}$ , что приводит к изменению напряженного состояния массива горных пород  $\sigma_{\text{АФ}}$  на  $5 \div 15$  МПа, которое предположительно одинаково для всех континентов и везде вызывает аварийные ситуации.

#### Список литературы

1. Зубков А.В., 2001. *Геомеханика и геотехнология*. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 333 с.
2. Сидоров Д.В., Потапчук М.И., Сидляр А.В., 2018. Прогнозирование удароопасности тектонически нарушенного рудного массива на глубоких горизонтах Николаевского полиметаллического месторождения. *Записки Горного института*, Т. 234, С. 604 – 611.
3. Еременко В.А., Гахова Л.Н., Семенякин Е.Н., 2012. Формирование зон концентрации напряжений и динамических явлений при отработке рудных тел Таштагольского месторождения на больших глубинах. *ФТПРПИ*, № 2, С. 80 – 87.
4. Зубков А.В., Селин К.В., Сентябов С.В., 2015. Закономерности формирования напряженного состояния массива горных пород в верхней части земной коры. *Литосфера*, № 6, С. 116 - 129.
5. Зубков А.В., 2016. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры. *Литосфера*, № 5, С. 146 - 151.
6. Timonin V.V., Kondratenko A.S., J. Min. Sci, 2015. *Process and measuring equipment transport in uncased boreholes*, Vol 51, No 5, pp. 1056 – 1061.
7. Jianju Du, Xiang hui Qin, Qingli Zeng, Luqing Zhang, Qunce Chen, Jian Zhou, Wen Meng, 2017. Estimation of the present-day stress field using in-situ stress measurements in the Alxa area, Inner Mongolia for China's HLW disposal. *Engineering Geology*, Vol. 220, 30 March, pp. 76 - 84.
8. Афанасьев С.Л., 1998. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. *Циклическая динамика в природе и обществе*. Т.1. Москва: Научный мир, С. 88 - 94.

9. Абдусаматов Х.И., 2013. *Глобальный минимум мощности солнечного излучения приведет к малому ледниковому периоду*. Санкт-Петербург: Издательство Нестор-История, 246 с.

10. Зубков А.В., Сентябов С.В., Криницын Р.В., Селин К.В., 2021. Районирование территории по действующим первоначальным напряжениям на месторождениях полезных ископаемых. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5 - 2, с. 80 – 92. DOI: 25018/0236-1493-2021-52-0-80.

11. Зубков А.В., Сентябов С.В., 2021. Методы управления горным давлением, основанные на выявленных закономерностях формирования напряженного состояния в горных конструкциях. *Известия вузов. Горный журнал*. № 1, С. 14 - 25. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-14-25.

12. Зубков А.В., Сентябов С.В., 2021. Выбор методов управления горным давлением на гайском подземном руднике. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5 – 2, С. 64 - 79. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-52-0-64.

### References

1. Zubkov A.V., 2001. *Geomekhanika i geotekhnologiya [Geomechanics and geotechnology]*. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 333 p.

2. Sidorov D.V., Potapchuk M.I., Sidlyar A.V., 2018. Prognozirovanie udaropasnosti tektonicheski narushennogo rudnogo massiva na glubokikh gorizontakh Nikolaevskogo polimetallicheskogo mestorozhdeniya [Prediction of the impact hazard of a tectonically disturbed ore massif on the deep horizons of the Nikolaiv polymetallic deposit]. *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 234, P.604 - 611.

3. Eremenko V.A., Gakhova L.N., Semenyakin E.N., 2012. Formirovanie zon konsentratsii napryazhenii i dinamicheskikh yavlenii pri otrabotke rudnykh tel Tashta-gol'skogo mestorozhdeniya na bol'shikh glubinakh [Formation of stress concentration zones and dynamic phenomena during mining of ore bodies of the Tashtagol deposit at great depths]. *FTPPI*, № 2, P. 80 – 87.

4. Zubkov A.V., Selin K.V., Sentyabov S.V., 2015. Zakonomernosti formirovaniya napryazhennogo sostoyaniya massiva gornyx porod v verkhnei chasti zemnoi kory . [Regularities in formation of the stressed state of the rock mass in the upper part of the earth's crust]. *Litosfera*, № 6, P. 116 - 129.

5. Zubkov A.V., 2016. Zakon formirovaniya prirodno napryazhennogo sostoyaniya zemnoi kory [The law of formation of the natural stress state of the earth's crust]. *Litosfera*, № 5, P. 146 - 151.

6. Timonin V.V., Kondratenko A.S., *J. Min. Sci*, 2015. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes , Vol 51, No 5, pp. 1056 – 1061.

7. Jianju Du, Xiang huiQin, QingliZeng, Luqing Zhang, Qunce Chen, Jian Zhou, Wen Meng, 2017. Estimation of the present-day stress field using in-situ stress measurements in the Alxa area, Inner Mongolia for China's HLW disposal. *Engineering Geology*, Vol. 220, 30 March, pp. 76 - 84.

8. Afanas'ev S.L., 1998. Atlas vremennykh variatsii prirodnykh, antropogen-nykh i sotsial'nykh protsessov Atlas of temporal variations of natural, anthropogenic and social processes]. *Tsiklicheskaya dinamika v prirode i obshchestve*. Vol.1. Moscow: Nauchnyi mir, P. 88 - 94.

9. Abdusamatov Kh.I., 2013. Global'nyi minimum moshchnosti solnechnogo izlucheniya privedet k malomu lednikovomu periodu [The global minimum of solar radiation power will lead to a small ice age]. *Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo Nestor-Istoriya*, 246 p.

10. Zubkov A.V., Sentyabov S.V., Krinitsyn R.V., Selin K.V., 2021. Raionirovanie territorii po deistvuyushchim pervonachal'nym napryazheniyam na mestorozhdeniyakh poleznykh iskopaemykh [Zoning of the territory according to the current initial stresses at

---

mineral deposits]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5 - 2, p. 80 – 92. DOI: 25018/0236-1493-2021-52-0-80

11. Zubkov A.V., Sentyabov S.V., 2021. Metody upravleniya gornym davleniem, osnovannye na vyyavlennykh zakonomernostyakh formirovaniya napryazhennogo sostoyaniya v gornykh konstruktsiyakh [Methods of rock pressure control based on the revealed patterns of stress state formation in rock structures]. Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal. № 1, P. 14 - 25. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-14-25.

12. Zubkov A.V., Sentyabov S.V., 2021. Vybor metodov upravleniya gornym davleniem na gaiskom podzemnom rudnike [Selection of methods for controlling rock pressure at the Gaisky underground mine]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 5 - 2, P. 64 - 79. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-52-0-64.