

# Обоснование параметров углубочных систем открытой разработки рудных месторождений с учетом геометрии недр и пространственного расположения элементов нарушенности массива горных пород

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-47-51>

В статье приводятся результаты оценки устойчивости откосов уступов на фактическом и проектном контурах Горевского свинцово-цинкового месторождения. По результатам анализа трехмерной модели карьера и элементов залегания поверхностей ослабления прибортового массива выбраны расчетные схемы возможного деформирования, по которым производился кинематический анализ устойчивости. Для конечного контура выемки рудной залежи выявлены участки, геометрические параметры системы разработки которых не удовлетворяют критерию вероятности обрушения, в связи с чем произведена корректировка параметров системы разработки при их постановке в предельное положение.

**Ключевые слова:** открытые горные работы, параметры открытой системы разработки, устойчивость уступов карьеров, кинематический анализ, геометрия недр, проектный контур, фактический контур, системы трещин.

**Для цитирования:** Обоснование параметров углубочных систем открытой разработки рудных месторождений с учетом геометрии недр и пространственного расположения элементов нарушенности массива горных пород / И.Ю. Боос, И.В. Патачаков, П.С. Шпаков и др. // Уголь. 2023. № 10. С. 47-51. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-10-47-51.

## ВВЕДЕНИЕ

В формировании деформационных процессов, сложенных скальными и полускальными горными породами, ключевую роль играют системы трещин, которые, пересекаясь между собой, придают массиву блочное строение, что устанавливается по результатам маркшейдерской съемки и не только. В действующих карьерах по мере развития горных работ целесообразным является определение количества систем трещин в массиве горных пород. По результатам кинематического анализа определяют системы трещин и их комбинации, участвующие в формировании потенциально неустойчивых блоков с последующим расчетом устойчивости откосов уступов. В горном деле исследованиям устойчивости как отдельно взятых уступов, так и бортов карьеров уделяется большое внимание, о чем свидетельствуют результаты работ по геомеханике, представленных в краткой подборке тематических научных трудов [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

## БООС И.Ю.

Ассистент Сибирского федерального университета, 660025, г. Красноярск, Россия

## ПАТАЧАКОВ И.В.

Канд. техн. наук, доцент Сибирского федерального университета, 660025, г. Красноярск, Россия  
e-mail: sibniigim@mail.ru

## ШПАКОВ П.С.

Доктор техн. наук, профессор Владимирского государственного университета, 602264, г. Муром, Россия

## РЕДЬКИН Д.В.

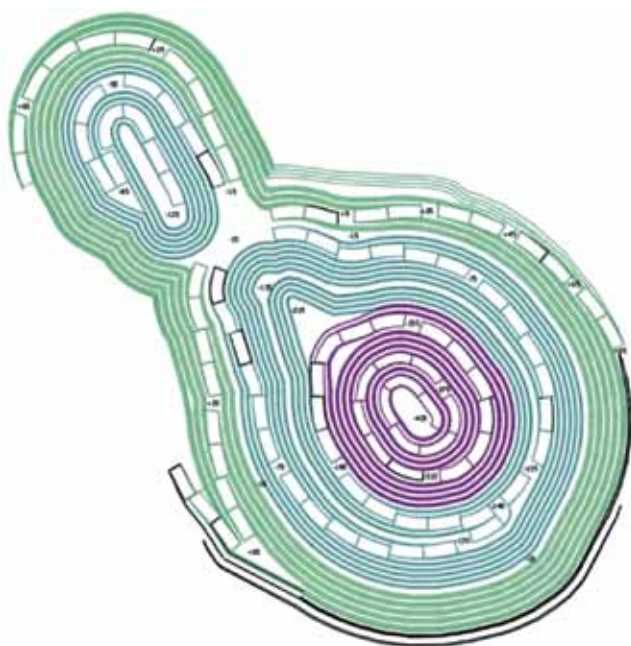
Аспирант Сибирского федерального университета, 660025, г. Красноярск, Россия

## ЧЕРПАКОВА А.А.

Аспирант Сибирского федерального университета, 660025, г. Красноярск, Россия,

## ЮРОНЕН Ю.П.

Канд. техн. наук, доцент Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, 660049, г. Красноярск, Россия



- – сектор карьера с уступами высотой 30 метров и углами откоса 75°;
- – сектор карьера с уступами высотой 20 метров и углами откоса 75°;
- – сектор карьера с уступами высотой 20 метров и углами откоса 60°

Рис. 1. Проектный план карьера на конец отработки месторождения

Fig. 1. Design plan of the open pit at the end of mine life

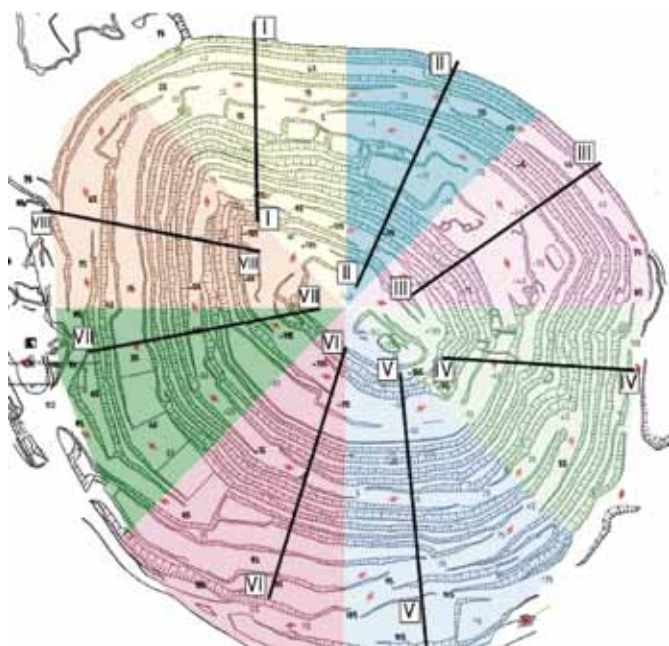


Рис. 2. Выделение секторов в карьере для оценки устойчивости откосов уступов

Fig. 2. Allocation of sectors in the open pit to assess the slope stability of benches

### КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

В настоящее время на территории Красноярского края открытым способом разрабатываются более 10 рудных месторождений, на которых горные работы получают свое развитие как в глубину, так и при расширении карьеров в плане. На каждом месторождении в ходе инженерно-геологических изысканий изучена нарушенность массива горных пород. Одним из таких геологических объектов, строение которого осложнено множеством систем трещин, является Горевское месторождение свинцово-цинковых руд. В ходе выработки практических рекомендаций при ведении горных работ на Горевском месторождении обосновано влияние систем трещин на устойчивость массива горных пород и параметры систем открытой разработки. Работы проведены в соответствии с основными положениями «Правил обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов».

Проектный план карьера на Горевском месторождении представлен на рис. 1. Анализ содержательной части проекта указал на то, что он выполнен без учета существующих элементов нарушенности массива горных пород.

С целью корректировки параметров системы открытой разработки на Горевском месторождении начиная с 2020 г. и до конца отработки запасов открытым способом был произведен значительный объем работ по изучению трещиноватости. В результате цифрового и полевого картирования откосов карьера было определено более 28000 элементов залегания трещин. В общей сложности выделено 10 систем трещин, элементы залегания которых используются для проведения кинематического анализа. Кинематический анализ дает возможность предварительно оценить геотехническую обстановку за счет выявления систем трещин и их комбинаций, потенциально влияющих на устойчивость откосов в зависимости от географической ориентации откоса уступа и его геометрических параметров.

Для Горевского месторождения выбраны следующие расчетные классические схемы для проведения кинематического анализа: клиновидный, плоскостной, опрокид. Кинематический анализ выполнен в интервале 0-360° с шагом 20° ( $\pm 10^\circ$  от заданного значения) по направлению падения откосов уступов для оценки устойчивости при всех возможных вариациях пересечения поверхностей ослабления с откосами уступов на рабочем и предельном контурах карьера. Оценка устойчивости проведена по секторам в зависимости от направления падения участков борта карьера [Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИМИ, 1972]. Условное деление месторождения на секторы представлено на рис. 2.

По анализу комбинаций или единичных систем трещин при помощи специализированного ПО производился вероятностный анализ для каждого типа деформаций с учетом фактических параметров рабочих уступов. На следующем этапе был произведен детерминистический анализ устойчивости, в процессе которого рассчитаны коэффициенты запаса устойчивости определенного вида вероятной де-

**Результаты оценки устойчивости откосов уступов в секторах 1, 2, 3 действующего карьера**

Assessment results of the slope stability of benches in Sectors 1, 2, 3 of the operating open pit mine

Сектор, №	Азимут падения группы уступов, градус	Фактические параметры уступа		Показатели устойчивости уступа		
		Высота уступа, м	Угол залегания, градус	Коэффициент запаса устойчивости	Вероятность, %	Вид деформации
1	160±10	20	60	1,1	20	Клиновидный вывал
			65	1,08	30	
	180±10	20	60	1,17	11	Клиновидный вывал
			65	1,12	26	
2	200±10	20	65	1,36	6	Клиновидный вывал
			70	1,16	21	
3	240±10	20	60	1,08	12	Опрокидывание слоев
			65	1,07	17	

формации. Геометрические параметры рабочих уступов и результаты оценки устойчивости выборочно представлены в таблице.

Допустимая вероятность обрушения для рабочих уступов действующего карьера не должна превышать 40%, а при проектировании элементов системы разработки для периода погашения горных работ и постановки борта карьера в конечное положение нормативное предельное значение вероятности обрушения откосов уступов равно 30%.

По данным таблицы можно считать, что откосы уступов в секторах оценки устойчивости № 1, 2, 3 в действующем карьере находятся в устойчивом состоянии, а вероятность их обрушения составляет менее 30%, что является меньше допустимой вероятности обрушения для рабочих уступов – 40%. Аналогичный вывод сделан для секторов с четвертого по восьмой (в статье результаты оценки не представлены).

В скальном массиве при движении горных работ от фактического положения (современное состояние горных работ в карьере) к проектному контуру выявлены участки, геометрические параметры системы разработки которых не удовлетворяют критерию вероятности обрушения  $PoF(probability\ of\ failure) \leq 30\%$ , в связи с чем, на наш взгляд, требуется корректировка параметров уступов при их постановке в предельное положение. Ниже приведены предельные параметры системы разработки при ведении горных работ с момента оценки (2020 г.) и до постановки борта карьера в предельное положение на конец отработки запасов с учетом элементов нарушенности массива горных пород. Результаты оценки устойчивости откосов уступов на предельном контуре по азимутам падения были отображены в виде круговой диаграммы с нанесением рекомендуемых технологических параметров системы открытой разработки (рис. 3).

Предварительная оценка наших рекомендаций указывает на необходимость корректировки параметров постановки борта карьера в предельное состояние. Реализация наших рекомендаций неизбежно приведет к большой вероятности увеличения объемов вскрышных работ относительно проектного варианта развития горных работ в карьере, но при этом будет обеспечен большой уровень безопасности производства открытых горных работ.

По мере изменения горно-геологической и горнотехнической ситуаций, пополнения информации о геологическом, гидрогеологическом и тектоническом строении, а также о характерных деформациях на месторождении необходимо производить переоценку устойчивости состояния откосов уступов и бортов карьера.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящее время по результатам кинематического анализа установлено, что откосы рабочих уступов в действующем карьере на Горевском месторождении полиметаллических руд находятся в устойчивом состоянии, вероятность их обрушения – менее 30%, что является нормативно допустимой величиной. Для последующего этапа отработки Горевского месторождения выявлены секторы, в которых значительно повышается вероятность обрушения откосов уступов, что автоматически влечет за собой корректировку основных технологических параметров системы открытой разработки.

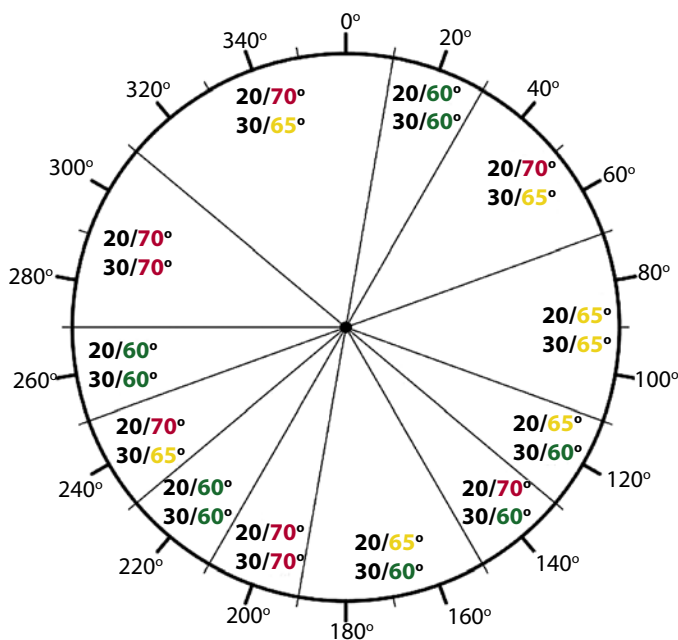


Рис. 3. Диаграмма рекомендуемых параметров системы разработки для предельного контура карьера Горевского месторождения

Fig. 3. Diagram of recommended mining method parameters for the limiting pit outline of the Gorevskoye deposit

## Список литературы

1. Методика обратных расчетов сцепления и трения по трещинам по фактам вывалов с бортов карьеров / А.Б. Макаров, Э. Хормазабаль, И.С. Ливинский и др. // Маркшейдерия и недропользование. 2016. № 4. С. 44-48.
2. Патачаков И.В., Фуртак А.А. & Боос И.Ю. Определение прочностных свойств горных пород методом обратных расчетов в условиях Горевского свинцово-цинкового месторождения // Маркшейдерия и недропользование. 2018. № 1. С. 41.
3. Изучение структурных особенностей прибортового массива по 3D-модели откоса, построенной с применением мультикоптера / И.Ю. Боос, Ю.Л. Юнаков, И.В. Патачаков и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 12. С. 19-30.
4. Бахаева С.П., Гурьев Д.В. Оценка устойчивости борта котлована под промышленную площадку шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 1. С. 32-42. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-32-42.
5. Ливинский И.С., Митрофанов А.Ф., Макаров А.Б. Комплексное геомеханическое моделирование: структура, геология, разумная достаточность // Горный журнал. 2017. № 8. С. 51-55.
6. Бирючев И.В., Макаров А.Б., Усов А.А. Геомеханическая модель рудника. Часть 1. Создание // Горный журнал. 2020. № 1. С. 42-48.
7. Кузин Е.А., Халкечев К.В. Математическая модель определения формы устойчивого целика поликристаллической структуры в углевмещающих породах // Уголь. 2020. № 2. С. 22-25. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-22-25.
8. Напряженно-деформированное состояние приконтурно-углепородного массива / В.Ф. Демин, Д.С. Шонтаев, Т.К. Балгабеков и др. // Уголь. 2020. № 5. С. 63-67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-5-63-67.
9. A New Methodology for Rockfall Hazard Assessment in Rocky Slopes / L.R.C. Silveira, Lana M.S., P. Alameda-Hernández et al. // Mining. 2022. № 2. P. 791-808. URL: <https://doi.org/10.3390/mining2040044>.
10. Geotechnical Issues in Decommissioning Surface Lignite Mines – The Case of Amyntaion Mine in Greece / M. Kavvadas, C. Roumpou, A. Servou et al. // Mining 2022. № 2. P. 278-296. <https://doi.org/10.3390/mining2020015/>.
11. Navid Bahrani, Peter K. Kaiser. Influence of degree of interlock on confined strength of jointed hard rock masses // J. Rock Mech. Geotech. Eng. 2020. Vol. 12. Is. 6. P. 1152-1170.
12. Adeyemi Emman Aladejare, Musa Adebayo Idris. Performance analysis of empirical models for predicting rock mass deformation modulus using regression and Bayesian methods // J. Rock Mech. Geotech. Eng. 2020. Vol. 12. Is. 6. P. 1263-1271.
13. A consecutive joint shear strength model considering the 3D roughness of real contact joint surface / Ban Liren, Tao Zhigang, Du Weisheng et al. // International Journal of Mining Science and Technology. 2023. Vol. 33. Is. 5. P. 617-624.

## Original Paper

UDC 622.271.332 © I.Yu. Boos, I.V. Patachakov, P.S. Shpakov, D.V. Redkin, A.A. Cherpakova, Yu.P. Yuronen, 2023  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 10, pp. 47-51  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-47-51>

## Title

**JUSTIFICATION OF THE DEEPENING METHOD PARAMETERS FOR OPEN PIT MINING OF ORE DEPOSITS WITH ACCOUNT OF SUBSURFACE GEOMETRY AND SPATIAL LOCATION OF ROCK MASS DISTURBANCES**

## Authors

Boos I.Yu.<sup>1</sup>, Patachakov I.V.<sup>1</sup>, Shpakov P.S.<sup>2</sup>, Redkin D.V.<sup>1</sup>, Cherpakova A.A.<sup>1</sup>, Yuronen Yu.P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660025, Russian Federation

<sup>2</sup>Vladimir State University, Murom, 602264, Russian Federation

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

## Authors Information

**Boos I.Yu.**, Assistant

**Patachakov I.V.**, PhD (Engineering), Associate Professor

**Shpakov P.S.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor

**Redkin D.V.**, Postgraduate student

**Cherpakova A.A.**, Postgraduate student

**Yuronen Yu.P.**, PhD (Economic), Associate Professor

## Abstract

The paper presents the results of assessing the slope stability of benches at the actual and design pit outlines of the Gorevskoye lead-zinc deposit. Based on analyzing a 3D model of the open pit and elements of weakening surface occurrence in the near-wall rock mass, the calculation models of possible deformation were selected, which were used for kinematic stability analysis. Areas which mining method geometric parameters fail to meet the caving probability criterion have been identified for the limiting pit outline of the ore deposit, hence, the parameters of the mining method have been adjusted when they are applied to the limiting position.

## Keywords

Open pit mining, Parameters of open pit mining method, Stability of pit benches, Kinematic analysis, Subsurface geometry, Design contour, Actual contour, Fracture systems.

## References

1. Makarov A.B., Hormazabal E., Livinsky I.S., Spirin V.I. & Soluyanov N.O. Back analysis of shear strength of joints based on bench wedge failures. *Markshejderiya i nedropol'zovanie*, 2016, (4), pp. 44-48. (In Russ.).
2. Patachakov I.V., Furtak A.A. & Boos I.Yu. Determination of strength properties of rocks by the method of inverse calculations in the conditions of Gorevsky lead-zinc deposits. *Markshejderiya i nedropol'zovanie*, 2018, (1), pp. 41. (In Russ.).
3. Boos I.Yu., Yunakov Yu.L., Patachakov I.V. & Grishin A.A. Structural analysis of pit wall rock mass on 3D slope model constructed using a multicopter. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2021, (12), pp. 19-30. (In Russ.).
4. Bakhayeva S.P. & Guryev D.V. Slope stability analysis of pit wall meant for mine infrastructure site. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2021, (1), pp. 32-42. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-32-42.

## SURFACE MINING

5. Livinsky I.S., Mitrofanov A.F. & Makarov A.B. Complex geomechanical modeling: structure, geology, reasonable sufficiency. *Gornyj zhurnal*, 2017, (8), pp. 51-55. (In Russ.).
6. Biryuchev I.V., Makarov A.B., Usov A.A. Geomechanical model of underground mine. Part 1. Creation. *Gornyj zhurnal*, 2020, (1), pp. 42-48. (In Russ.).
7. Kuzin E.A. & Khalkechev K.V. Mathematical model for determining the shape of a stable pillar of a polycrystalline structure in carbon-bearing rocks. *Ugol'*, 2020, (2), pp. 22-25. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-22-25.
8. Demin V.F., Shontayev D.S., Balgabekov T.K., Shontayev A.D. & Kongkybayeva A.N. Stressed-deformed state of the boundary-carbon array. *Ugol'*, 2020, (5), pp. 63-67. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-5-63-67.
9. Silveira, L.R.C., Lana, M.S., Alameda-Hernández, P. & Santos T.B. A New Methodology for Rockfall Hazard Assessment in Rocky Slopes. *Mining*, 2022, (2), pp. 791-808. Available at: <https://doi.org/10.3390/mining2040044>.
10. Kavvadas M., Roumpos C., Servou A. & Paraskevis N. Geotechnical Issues in Decommissioning Surface Lignite Mines – The Case of Amyntaion Mine in Greece. *Mining*, 2022, (2), pp. 278-296. Available at: <https://doi.org/10.3390/mining2020015/>.
11. Navid Bahrani & Peter K. Kaiser. Influence of degree of interlock on confined strength of jointed hard rock masses. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, 2020, Vol. 12, (6), pp. 1152-1170.
12. Adeyemi Emman Aladejare & Musa Adebayo Idris. Performance analysis of empirical models for predicting rock mass deformation modulus using regression and Bayesian methods. *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, 2020, Vol. 12, (6), pp. 1263-1271.
13. Liren Ban, Zhigang Tao, Weisheng Du & Yuhang Hou. A consecutive joint shear strength model considering the 3D roughness of real contact joint surface. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2023, Vol. 33, (5), pp. 617-624.

**For citation**

Boos I.Yu., Patachakov I.V., Shpakov P.S., Redkin D.V., Cherpakova A.A. & Yuronen Yu.P. Justification of the deepening method parameters for open pit mining of ore deposits with account of subsurface geometry and spatial location of rock mass disturbances. *Ugol'*, 2023, (10), pp. 47-51. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-10-47-51.

**Paper info**

Received July 19, 2023

Reviewed September 14, 2023

Accepted September 26, 2023

Оригинальная статья

УДК 622.271:622.85 © О.И. Подурец, 2023

# Пространственная вариабельность содержания тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях влияния угледобывающего предприятия

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-51-58>

Открытая разработка месторождения динамично трансформирует и усложняет структуру почвенного покрова. Зональные почвы, сохранившие свое естественное сложение, и молодые техногенные почвы – эмбриоземы, формирующиеся в условиях самозаращения на отвалах Талдинского угольного разреза, располагаются в зоне высокой пылевой нагрузки и находятся в близости от источников загрязнения. Для оценки пространственной вариабельности свойств учитывались рН, гумус, фракция физической глины и валовые формы элементов, относимых к критической группе веществ – индикаторов стресса окружающей среды: Hg, Pb, Cd, Zn и As. Из результатов следует, что почвы содержат валовые формы токсичных элементов в количествах, не превышающих нормативные показатели, за исключением As с превышением до 2,6 ПДК в зональных почвах. В эмбриоземах содержание мышьяка ниже нормативных показателей, но высказано предположение, что ще-

**ПОДУРЕЦ О.И.**

Канд. биол. наук, доцент,  
доцент кафедры  
естественнонаучных дисциплин  
КГПИ ФГБОУ ВО «Кемеровский  
государственный университет»  
6546041, г. Новокузнецк, Россия  
e-mail [glebova-podurets@mail.ru](mailto:glebova-podurets@mail.ru)