

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ПОСТРОЕНИЯ ВСЕНАПРАВЛЕННЫХ ВАРИОГРАММ В ГГИС MICROMINE ДЛЯ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ВЕСЬМА СЛОЖНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗОЛОТА

А.Ю. Полевский, Ю.В. Дмитрак,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, Москва, Россия

Е.В. Монаков,

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

Аннотация: В статье приведены результаты моделирования всенаправленных вариограмм для участка золото-сульфидного месторождения с весьма сложным распределением золота при помощи ГГИС «Micromine». Обоснован подход применения метода кригинга для дальнейшей оценки запасов. Экспериментально определен эффект самородка. Детально описаны процессы определения геологических структур (доменов), предшествующих моделированию вариограмм. Результаты исследований могут быть полезными при подборе наиболее подходящего метода подсчета запасов геологических ресурсов. Демонстрируя эффективность кригинга и его способность учитывать сложную пространственную изменчивость, это исследование дает ценную информацию о том, как лучше всего оценивать запасы в различных геологических условиях.

Ключевые слова: геостатистика, вариограммы, кригинг, метод обратных расстояний, 3D-моделирование, Micromine.

USING MICROMINE OMNIDIRECTIONAL SEMIVARIOGRAM BUILDING TOOLS FOR GOLD-SULFIDE DEPOSITS WITH VERY COMPLEX GOLD DISTRIBUTION

A.Yu. Polevsky, Yu.V. Dmitrak,

Federal State Budgetary Institution of Science Institute for Problems of Comprehensive Development of Subsoil Academician N.V. Melnikov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E.V. Monakov

National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russia

Abstract: The article presents the results of modeling omnidirectional variograms for a section of a gold-sulfide deposit with a very complex distribution of gold using the Micromine MGIS. The approach of applying the kriging method for further estimation of reserves is substantiated. The nugget effect was experimentally determined. The processes of determining the geological structures (domains) preceding the modeling of variograms are described in detail. The research results may be useful in selecting the most appropriate method for estimating reserves of various geological resources. By demonstrating the effectiveness of kriging and its ability to account for complex spatial variability, this research provides valuable insights into how best to estimate reserves in different geological contexts.

Keywords: geostatistics, semivariograms, kriging, inverse distance method, 3D modeling, Micromine.

Основополагающей работой по оценке запасов с заданными кондиционными свойствами полезного ископаемого является создание геологической модели. Она строится на основе 3D-отображенных рассеянных элементов с выделениями зон минерализации. При построении такой модели необходимо четко и грамотно определять единые структуры (геологические домены), распределения свойств внутри которых принимаются постоянными (рис. 1). Неизменными и самостоятельными остаются популяции, все выдающиеся (ураганные) содержания подавляются и приво-

дятся к значению, близкому к среднему, а их выдержанность проявляет относительно изотропные свойства.

Геологический домен представляет собой единое пространство, которое подчиняется следующим правилам:

- ✦ внутри домена выделяется однородное геологическое строение;
- ✦ внутри домена присутствует популяция, содержание которой принимается единым;
- ✦ домен основывается на едином направлении поиска данных.

Качество выделения геологических доменов в большинстве зависит от качества исходных данных, которые, в свою очередь, должны быть обеспечены охватом всей популяции и равномерным опробованием внутри каждой из популяций. «Конечность» минерализации и определение ее точных границ возможно после понимания происхождения минерализации.

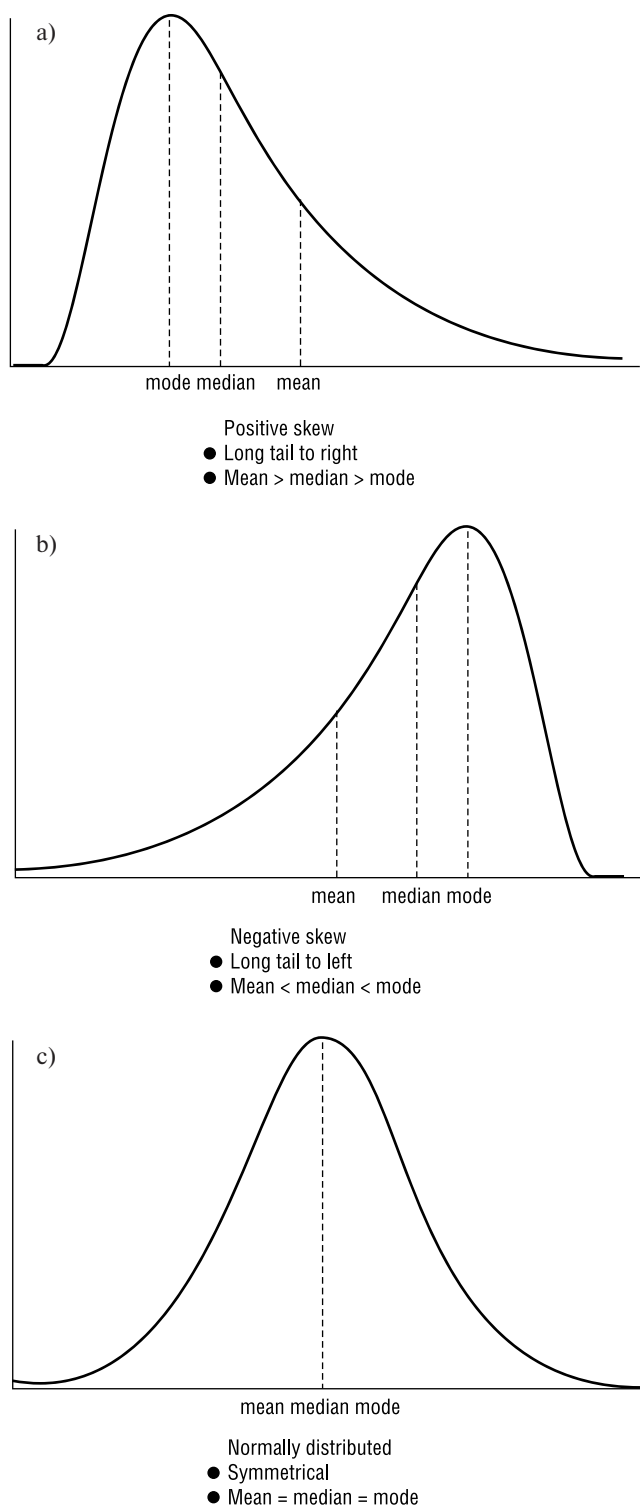


Рис. 1. Виды нормального распределения: а) положительная асимметрия; б) отрицательная асимметрия; в) нормальное распределение без смещения / Fig. 1. Types of normal distribution: a) positive asymmetry; b) negative skewness; c) normal distribution without bias.

Наиболее простым и удобным способом визуализации представительности набора исследуемых проб является гистограмма (рис. 2). Зачастую график имеет положительную асимметрию (небольшой процент проб с высокими содержаниями относительно большинства проб с низкими содержаниями). При логарифмическом преобразовании графика визуально увеличивается зона низких содержаний, а зона с выдающимися значениями уменьшается.

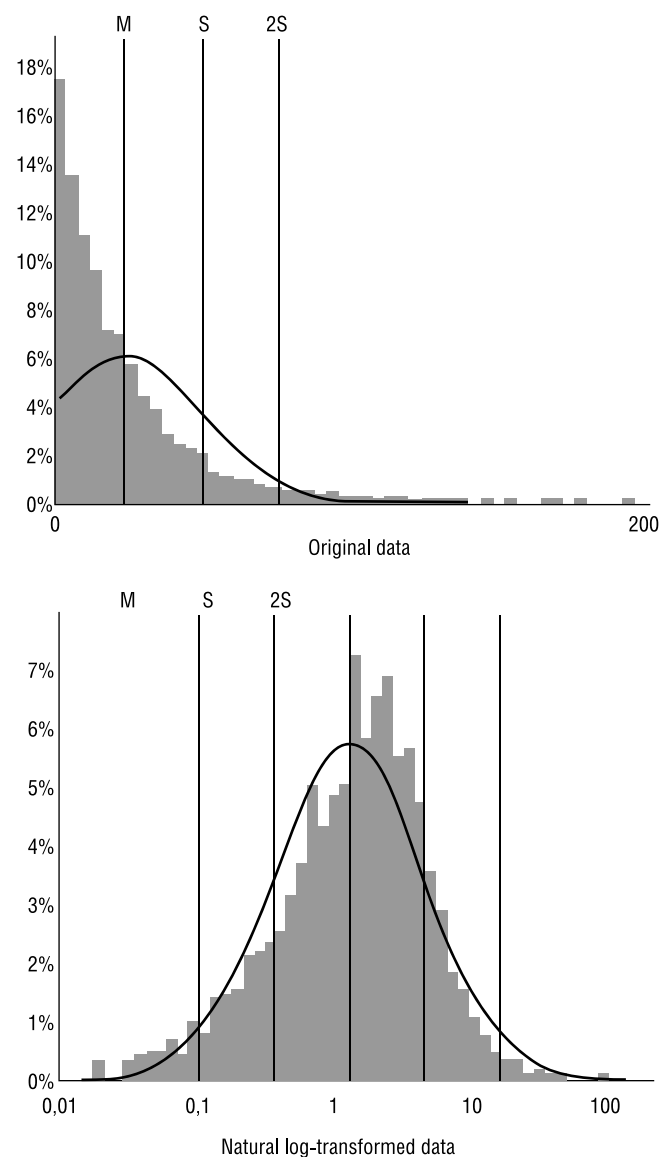


Рис. 2. Гистограмма по данным опробования, имеющая: а) нормальное распределение; б) логнормальное распределение со смещением границ / Fig. 2. Histogram based on sampling data, having: a) normal distribution; b) log-normal distribution with boundary shift.

При отсутствии популяции с единым содержанием расчеты не будут отражать реальной картины: оценка популяций с пониженными и повышенными содержаниями будет иметь тенденцию к сглаживанию границ между ними.

Цель исследования: рассмотреть возможность применения метода ординарного кригинга при оценке запасов золоторудного месторождения и получить модели всенаправленных полувариограмм по данным опробования [1].

Методы и материалы исследований

В соответствии с Соглашением о неразглашении конфиденциальной информации между автором работы и недропользователем, названия месторождения, рудных тел, а также других количественных и качественных показателей не приводились, либо были изменены.

Результаты исследований

Работа проводилась на базе данных опробования золоторудного месторождения. База включает в себя 5770 значений проб по скважинам. Для удобства данные по пробам были визуализированы в виде гистограммы. После приведения графика к логнормальному типу и декомпозиции (разбиения на популяции) гистограмма приобрела следующий вид (рис. 3. См. цветную вклейку стр. 25).

Как видно из графика, в базе данных присутствует ряд проб с явно завышенными содержаниями. Несмотря на то, что все пробы прошли анализ внутреннего и внешнего контроля, результат, полученный в лабораториях, подтвердил наличие единичных максимумов и минимумов, выходящих за пределы допустимых значений, которые могут привести к смещенной оценке. Попытка выявления выдающихся содержаний по методике И.Д. Когана показала отсутствие ураганных проб в выборке [2-3].

До перехода к вариограммному анализу отдельные пробы были объединены в рудные интервалы (композиции) в соответствии с требованиями ГКЗ. На первом этапе по данным интервалам вычисляются вариограммы вдоль скважин для определения «эффекта самородка», который будет применяться для моделирования всенаправленных вариограмм. Для удобства визуализации и сглаживания «пиков», свидетельствующих о богатых включениях на близких расстояниях, вариограмма визуализирована в виде родограммы (рис. 4).

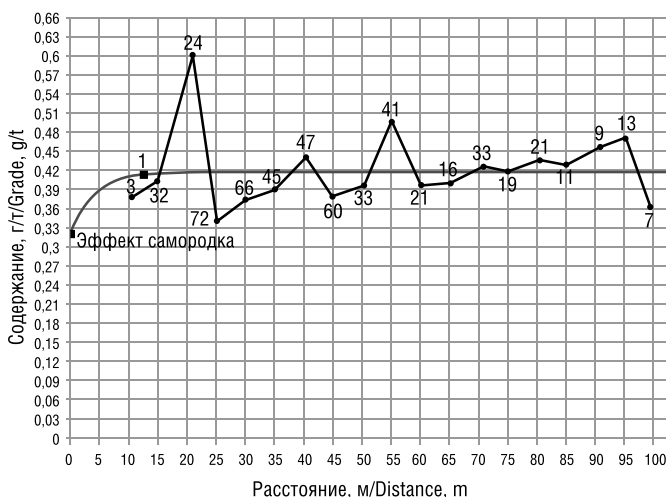


Рис. 4. Родограмма с установленным значением эффекта самородка /
Fig. 4. Rodogram with the value of the nugget effect set.

Полученное значение эффекта самородка — 0,362 было использовано в дальнейшем при моделировании всенаправленных вариограмм.

При моделировании горизонтального веера для получения азимута 1 оси были приняты следующие параметры: угол от 0° до 180°; количество интервалов — 180 (одна вариограмма соответствует одному градусу). После чего каждая варио-

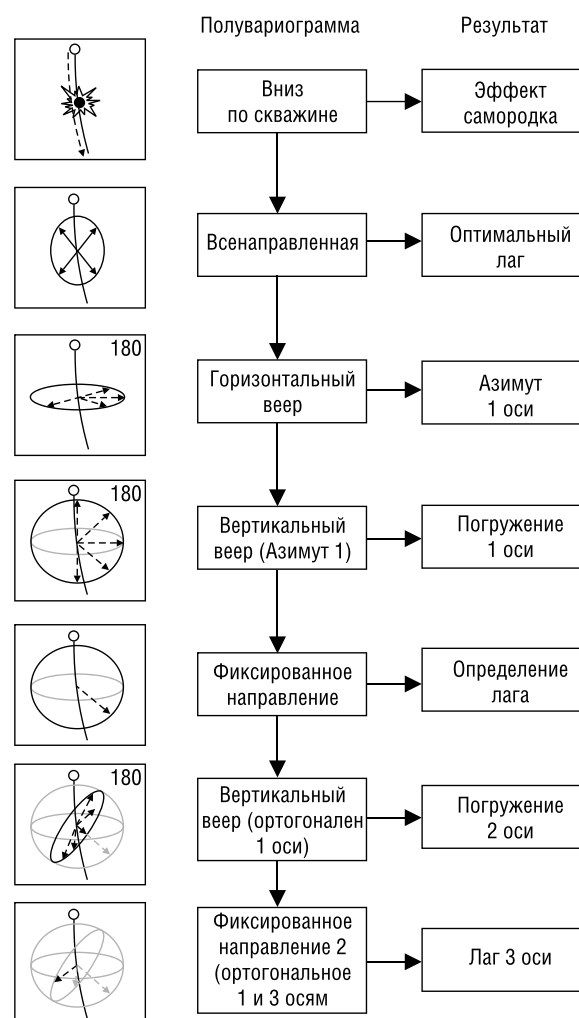


Рис. 5. Рабочий процесс моделирования вариограммы /
Fig. 5. Semivariogram modeling workflow.

грамма просматривается для выбора наиболее представительной. Помимо визуальной проверки в расчет принимается наклон и эффект самородка, для которого тип компоненты меняется с линейной на сферическую, подбирается порог, который фиксируется для дальнейших исследований. В нашем случае после детализации была выбрана вариограмма с азимутом 107° (рис. 6).

При моделировании вертикального веера для получения погружения 1 оси были приняты следующие параметры: выбранный при моделировании горизонтального веера угол азимута 107°, угол погружения от 90° до -90°; количество интервалов — 180 (одна вариограмма соответствует одному градусу). Далее, как и в первом случае, была выбрана наиболее представительная вариограмма, в нашем случае — с погружением 0°, представленная на рисунке выше.

Параметры второй оси рассчитываются в ГИС Micromine в полуавтоматическом режиме при заданных параметрах первой оси. В этом случае наиболее представительной является вариограмма с погружением -45° (рис. 7).

Далее для эффекта самородка тип компоненты также меняется с линейной на сферическую, определяется зона влияния.

Полувариограмма для третьей оси рассчитывается также в полуавтоматическом режиме (рис. 8).

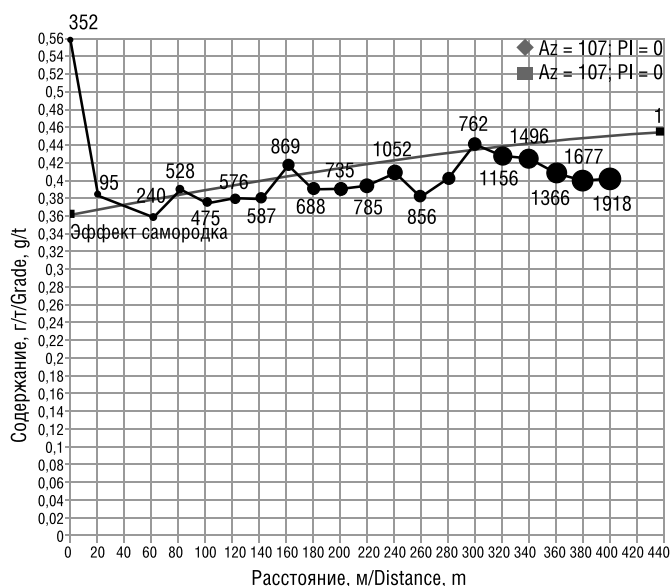


Рис. 6. Вариограмма полученная для горизонтального веера с азимутом 107° / Fig. 6. Variogram obtained for a horizontal fan with an azimuth of 107°.

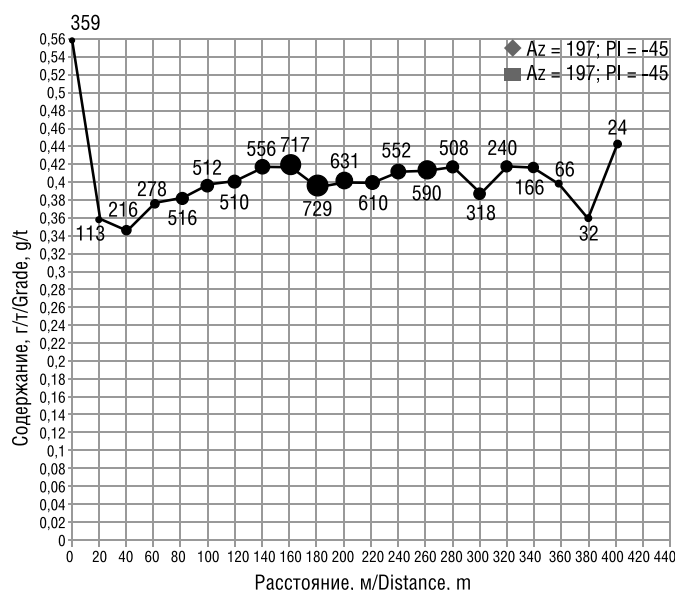


Рис. 7. Вариограмма полученная для параметров второй оси / Fig. 7. Semivariogram obtained for the parameters of the second axis.

В дальнейшем, полученные параметры для осей используются для ориентации поискового эллипсоида, с помощью которого данные по пробам будут интерполироваться в блочную модель.

Визуально легко установить, что ориентация поискового эллипсоида соответствует направлению падения и простирания рудных тел. Таким образом можно считать, что модель эллипсоида является корректной и можно приступать к оценке запасов.

Логика метода обратных расстояний заключается в том, что пробы, которые ближе всех расположены к оценочной точке, будут оказывать гораздо большее влияние, чем удаленные от нее. В нашем случае пробы с повышенными содержаниями имеют анизотропическое распределение и склонны будут «заражать» блоки блочной модели, в резуль-

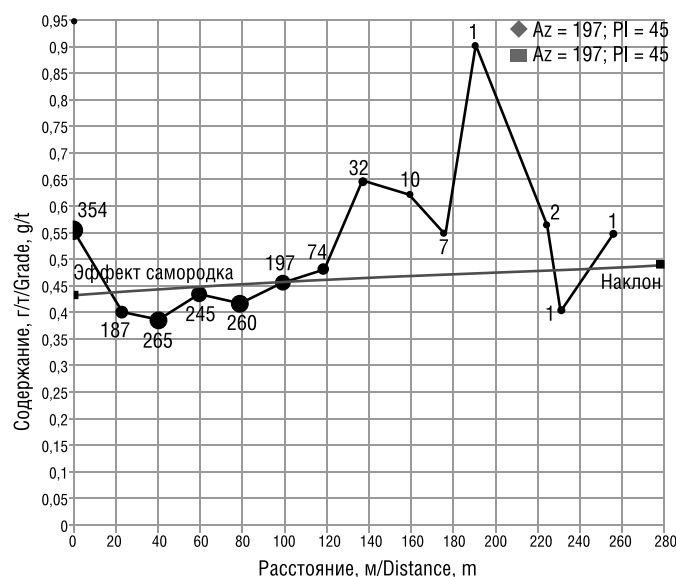


Рис. 8. Вариограмма полученная для параметров третьей оси / Fig. 8. Semivariogram obtained for the parameters of the third axis.

Таблица 1 / Table 1

Параметры поискового эллипсоида / Parameters for search ellipsoids.

Радиус / Radius	1
Простирание (RH) / Strike (RH)	287
Направление падения / Dip direction	17
Падение / Dip	45
Фактор первой оси / Axis 1 Factor	110
Азимут первой оси / Axis 1 Azimuth	107
Погружение первой оси / Axis 1 Plunge	0
Фактор второй оси / Axis 2 Factor	60
Азимут второй оси / Axis 2 Azimuth	197
Погружение второй оси / Axis 2 Plunge	-45
Фактор третьей оси / Axis 3 Factor	10
Азимут третьей оси / Axis 3 Azimuth	197
Погружение третьей оси / Axis 3 Plunge	45

тате чего оценка получится необоснованно завышенной. По этой причине для оценки запасов было решено использовать метод ординарного кригинга. В данном случае эта методика не противоречит полученным результатам проведенного вариограммного анализа и позволит лучше учесть особенности распределения данных опробования [4-7].

Выводы

В данной статье был детально изложен порядок подготовки данных опробования для получения достоверного результата оценки запасов: разбиение на геологические домены, выделение популяций и представление данных по ним на графиках с нормальным распределением и логнормированных графиках. Представлен рабочий процесс моделирования всенаправленных вариограмм, которые в дальнейшем используются для оценки запасов методом ординарного кригинга. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Воларович Г.П., Иванов В.Н. Методика разведки золоторудных месторождений. ЦНИГРИ, Москва, 1991 г.
2. Jacqui Coombes. The Art and Science of Resource Estimation. Coombes Capability, Perth, 2010.
3. Кушнарев П.П. Выделение рудных интервалов: методические особенности, практика применения. Геологический анализ кондиций: определение минимальной рабочей мощности, максимальной мощности пустого прослоя, бортового содержания.
4. Яшков Е.О. Метод кригинга на пальцах: как устроен внутри самый популярный метод оценки содержаний в блочных моделях. Журнал «Глобус. Геология и бизнес». Май 2022 г.
5. Калинин С.В. Статистический анализ геологических данных в ГГИС «Майкромайн» Журнал «Глобус. Геология и бизнес». Март 2021 г.
6. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. Серия «Науки о Земле», Том 12, МИР, Москва, 1968 г.
7. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика. Наука, Москва, 2010 г.

REFERENCES

1. Volarovich G.P., Ivanov V.N. Methods of exploration of gold deposits. TsNIGRI, Moscow, 1991.
2. Jacqui Coombes. The Art and Science of Resource Estimation. Coombes Capability, Perth, 2010.
3. Kushnarev P.P. Allocation of ore intervals: methodological features, practice of application. Geological analysis of conditions: determination of the minimum working power, the maximum thickness of the empty layer, cut-off grade.
4. Yashkov E.O. The finger kriging method: how the most popular grade estimation method in block models works internally. Magazine «Globus. Geology and business». May 2022.
5. Kalinkin S.V. Statistical analysis of geological data in the GGIS «Micromine» Journal «Globus. Geology and business». March 2021.
6. Matheron Zh. Fundamentals of applied geostatistics. Series «Earth Sciences», Volume 12, MIR, Moscow, 1968.
7. Demyanov V.V., Savelyeva E.A. Geostatistics: theory and practice. Nauka, Moscow, 2010.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Полевский Алексей Юрьевич:
ведущий инженер,
отдел № 8 «Моделирования и управления
горнотехническими системами»,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: polevskiy@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Polevskiy Aleksey Yurievich:
Lead Engineer,
Department No. 8 of Modeling and Control of Mining
and Engineering Systems,
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral
Resources of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia,
e-mail: polevskiy@yandex.ru



Дмитрак Юрий Витальевич:
доктор технических наук,
профессор,
заведующий отделом № 8 «Моделирования
и управления горнотехническими системами»
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: dmitrak@yandex.ru

Dmitrak Yuriy Vitalievich:
Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Head of the Department No. 8 of Modeling and Control
of Mining and Engineering Systems,
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral
Resources of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia,
e-mail: dmitrak@yandex.ru



Монаков Егор Вадимович:
ассистент,
кафедра «Геологии и маркшейдерского дела»,
Горный институт НИТУ «МИСИС»,
Москва, Россия,
e-mail: monakegor@yandex.ru

Monakov Egor Vadimovich:
assistant,
Department of Geology and Surveying,
Mining Institute NUST MISIS,
Moscow, Russia,
e-mail: monakegor@yandex.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей. / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.