

**УДК 33****Количественная оценка существующей неопределённости при приобретении нового или действующего горнодобывающего проекта****Заернюк Виктор Макарович**

Доктор экономических наук, член-корреспондент РАЕН,  
профессор кафедры экономики минерально-сырьевого комплекса,  
Российский государственный геологоразведочный университет,  
117485, Российская Федерация, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23;  
e-mail: zvm4651@mail.ru

**Гатиятулин Шайдулла Нуруллоевич**

Кандидат экономических наук,  
завкафедрой «Управление бизнесом и сервисные технологии»,  
Российский биотехнологический университет,  
125080, Российская Федерация, Москва, Волоколамское ш., 11;  
e-mail: sacha9@ya.ru

**Аннотация**

Сомнительный и плохо реализованный процесс оценки горнодобывающего проекта может ошибочно классифицировать с заметной вероятностью неприбыльное горное предприятие как прибыльное, и наоборот. Последствия плохо реализованного процесса оценки горных работ могут обернуться потерей денежных средств, как для владельцев, так и для заинтересованных сторон проекта. В статье рассмотрены методы оценки, позволяющие проектировщику или аналитику получить более реалистичную оценку стоимости проекта предприятия горнодобывающей отрасли с учетом технических и экономических неопределенностей. Показано, что, методы условного моделирования представляют собой потенциальный инструмент для количественной оценки неопределенности рудного тела. В заключении показано, что оценочная кривая, сгенерированная методами линейной интерполяции, такими как метод Кригинга, дает модель, наиболее близкую с точки зрения дисперсии ошибки к исходному (неизвестному) истинному геологическому признаку, обычно предпочтительнее найти и оценить запасы полезных ископаемых. Вместе с тем, кривая моделирования предпочтительна для изучения дисперсии характеристик этих запасов, понимая то, что на практике реальные значения известны только в точках экспериментальных данных  $x$ . В отличие от обычного кригинга, моделирование воспроизводит гистограммы и вариограммы выборки данных, давая более точные значения внутри исследуемой области. С другой стороны, моделирование сохраняет как пространственную корреляцию, так и дисперсию выборки данных, что дает лучшее воспроизведение характеристик реального месторождения, чем кригинг. Таким образом, методы условного моделирования представляют собой потенциальный инструмент для количественной оценки неопределенности рудного тела с помощью альтернативных реализаций или изображений месторождения.

**Для цитирования в научных исследованиях**

Заернюк В.М., Гатиятулин Ш.Н. Количественная оценка существующей неопределённости при приобретении нового или действующего горнодобывающего проекта // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 5А. С. 166-173.

**Ключевые слова**

Горнодобывающий проект, моделирование рудного тела, обыкновенный крикинг, моделирование SGS.

**Введение**

Описание и характеристика месторождения представляет собой один из наиболее критических источников технического риска в проекте месторождения минерального сырья (далее – рудник) в целом.

Как правило, геологическая характеристика месторождения полезных ископаемых представлена в виде модели рудного тела. Модель рудного тела и окружающего его отхода моделируется путем разделения его на блоки определенного размера, или блоки селективной добычи (SMU), чтобы поток и форма материала в процессе добычи могли быть репрезентативными для реальности. В модели рудного тела каждый блок содержит важную информацию из ограниченного бурения, которая будет использована в дальнейшем при разработке будущей эксплуатации рудника. Многопараметрическая модель 3D рудного тела наполнена геотехническими, металлургическими данными, данными индекса взрыва и информацией о содержании металла.

Для оценки модели рудного тела, как правило, необходимо иметь информацию о том, какими могут быть характеристики рудного тела (например, марка металла) в местах без выборки. Однако, поскольку информация, полученная из скважин, ограничена, невозможно с уверенностью узнать содержание минералов в каждом блоке. Именно по этой причине на каждом руднике всегда будет существовать расхождение между оценочной и реальной величиной. Одним из следствий этих расхождений является то, что месторождение полезных ископаемых будет представлено с неопределенностью в отношении того, что данный блок может быть добыт с прибылью.

Чтобы уменьшить различия между оценочными и реальными значениями, геолог обычно прибегает к методам, основанным на пространственной статистике (геостатистике) и вычислительным методам, которые моделируют пространственную неопределенность рудного тела как стохастический процесс. Эти методы можно разделить на две группы. Первая группа соответствует методу оценивания, основанному на детерминированных линейных методах, таким как обыкновенный крикинг, предложенный исследователями M. David и другими авторами, который является условным ожиданием и объясняет локальную изменчивость. Вторая группа соответствует оценке, основанной на методах условного моделирования, таким как последовательное гауссово моделирование (SGS), учитывающих глобальную изменчивость.

Использование условного моделирования не только помогает геологу моделировать рудное тело, но и помогает аналитику или проектировщику интегрировать неопределенность модели рудного тела в процесс оценки рудника и выполнить анализ рисков проекта по добыче полезных ископаемых, что позволяет защитить стратегические инвестиции и раскрыть потенциал проекта рудника.

## Материалы и методы исследования

В качестве материала исследований использовались данные о горнодобывающей промышленности. Методы исследований базировались на отечественных [Забайкин, 2020; Улыбин, 2007] и зарубежных публикациях [Вуе, 2006], а также на авторских разработках [Заернюк, 2023; Иоффе, Величко, 2023].

## Результаты и обсуждение

Рассмотрим базовое определение случайных величин и случайных функций для определения основных понятий, которые будут использоваться в дальнейшем при определении концепций обычного кригинга и последовательного условного моделирования.

Дискретное представление пространственных случайных величин и случайных функций характеризуется следующим. Случайная величина (RV)  $Z_i$  - это функция, которая присваивает действительное число  $z_i$  каждому результату  $i$  в пространстве выборки случайного эксперимента. Другими словами,  $Z_i$  - это вещественная функция, определенная над элементами выборочного пространства на основе некоторого распределения вероятностей. Случайная величина  $Z_i$  дискретна, если она принимает только конечное или счетное бесконечное число значений, и полностью характеризуется своей кумулятивной функцией плотности (*cdf*)  $F(z) = P\{Z_i \leq z\}$ , которая дает вероятность того, что случайная величина  $Z_i$  в точке  $i$  не больше любого заданного предела  $z$ .

Пространственная случайная функция (RF)  $Z(x_i)$  определяется как совокупность случайных величин  $Z_i$ , определенных в каждой точке  $A \in R^k$  над некоторой интересующей областью  $A \in R^k$ , то есть,  $\{Z(x_i)\}_{i=1}^n$   $A \in R^k$ . Простыми словами, случайная функция - это многомерный процесс, состоящий из  $n$  случайных величин  $Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Случайные функции полностью характеризуются их многомерной кумулятивной функцией плотности (*cdf*), задаваемой выражением:

$$F(z_1, z_2, \dots, z_n; x_1, x_2, \dots, x_n) = Pr\{Z(x_1) \leq z_1, \dots, Z(x_n) \leq z_n\}, \quad (1)$$

(RF)  $Z(x_i)$  называется «строго стационарной», если все RV,  $Z_i, \forall_i Vi = 1, 2, \dots, n$ , в пространстве  $A$ , имеют одинаковое распределение,  $F_z\{z; x | (n)\}$ . В науках о земле стационарная RF обычно относится к стационарной слабой второго порядка, то есть среднее значение постоянно, а ковариационная функция зависит только от расстояния  $h$  между двумя точками, а не от местоположения  $x_1$ .

$Z(x_1)$  является внутренней случайной функцией с нулевым дрейфом, если:

$$E\{Z(x_1 + h) - Z(x_1)\} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} \text{Var}\{Z(x_1 + h) - Z(x_1)\} = \gamma(h),$$

где функция  $\gamma(h)$  называется «вариограммой». Пространственная стационарная RF  $Z(x_1)$  называется «эргодической» в параметре  $m$ , обычно принимаемом за стационарное среднее значение RF, если среднее значение соответствующей ей  $n$  статистики реализации  $m^{(l)}, \forall l$  сходится к  $m$  по мере увеличения размера доменного пространства  $A$ . Более подробная информация о стационарных и эргодических случайных функциях приводится в исследовании

P. Goovaerts по геостатистике.

Для RF  $Z(x_1)$  с многомерной функцией плотности вероятности справедливо следующее общее выражение:

$$\begin{aligned} F(z_1, z_2, \dots, z_n; x_1, x_2, \dots, x_n) &= F(z_1; x_1) \\ &\times F(z_2; x_2 | Z(x_1) = z_1) \\ &\times F(z_3; x_3 | Z(x_1) = z_1, Z(x_2) = z_2) \end{aligned} \quad (3)$$

где условная  $n$ -мерная функция распределения является произведением одномерных маргинальных функций условного распределения. Тогда  $n$ -мерная cdf RF  $Z(x_1)$ , обусловленная определенным набором данных  $N$ , равна:

$$\begin{aligned} F(z_1, z_2, \dots, z_n; x_1, x_2, \dots, x_n) &= F(z_1; x_1 | N) \\ &\times F(z_2; x_2 | Z(x_1) = z_1; N + 1) \\ &\times F(z_3; x_3 | Z(x_1) = z_1, Z(x_2) = z_2; N + 2) \end{aligned} \quad (4)$$

$\times \dots \dots \dots$

$$\times F(z_n; x_n | Z(x_1) = z_1, \dots, Z(x_{n-1}) = z_{n-1}; N + n - 1)$$

Первый момент пространственной стационарной и эргодической RF задается выражением

$$E\{Z(x_1)\} = m; \forall x, \quad (5)$$

И второй момент

$$C(h) = E\{Z(x), Z(x+h)\} - m^2; \forall x, \quad (6)$$

Обычно в науках о Земле случайная величина  $Z(x_0)$ , выражающая значение определенного атрибута в невыборочном местоположении  $x_0$ , моделируется как сумма гладкой детерминированной функции  $Z_{x_0}^*$ , описывающей систематический аспект явления, и случайной функции с нулевым средним значением, называемой ошибкой или остатком,  $R(x_0)$ .

Для получения информации о поведении случайной величины  $Z(x_0)$  необходимо сначала построить модель как для  $Z_{x_0}^*$ , так и для  $R(x_0)$ .

**Обыкновенный крикинг** - это метод несмещенной линейной оценки, используемый при моделировании рудных тел для оценки значения  $Z_{x_0}^*$ , определенного геологического признака, такого как марка металла, в неотобранном месте  $x_0$ . Одной из важных характеристик этого метода является то, что он является точным интерполятором, который учитывает значения данных в местах расположения данных, то есть, если одна из известных выборок  $Z_{x_j}$  считается неизвестной, ОК успешно определит истинное значение наблюдения с дисперсией, равной нулю. Другая характеристика ОК состоит в том, что она учитывает локализованные вариации среднего значения, ограничивая область стационарности средним значением локальной окрестности  $D$ . Локальная окрестность  $D$  - это множество точек,  $x_j$ , в которых выборки  $Z_{x_j}$ , RF  $Z_{x_i}$  используются для оценки  $Z_{x_0}^*$ , то есть  $D = \{x_j; j = 1, \dots, N\} A \in R^n$ . ОК — это оценка, для которой среднее значение неизвестно, но предполагается, что оно постоянно в пределах

локальной области  $D$ .

В этом методе оценочное значение  $Z_{x_0}^*$  выражается в виде взвешенной линейной комбинации данных, выраженных в виде случайных величин  $Z_{x_j}^*$  ( $\forall x_j \in D$ ), доступных в выборочных точках  $x_{j\cdot}$ , то есть

$$Z_{x_0}^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j Z_{x_j}, \quad (6)$$

Как видно из уравнения 5.8, для нахождения оценочной оценки  $Z_{x_0}^*$ , а также соответствующей дисперсии ошибки  $Var\{R_{x_0}\}$ , характеризующей распределение случайной величины  $Z_{x_0}$ , необходимо знать значения весовых коэффициентов ординарного кригинга  $\lambda_j, \forall j = 1, 2, 3, \dots, n$ .

$$R(x_0) = Z_{x_0} - Z_{x_0}^* \quad (7)$$

Для оценки весовых коэффициентов  $\lambda_j$ , метод ОК минимизирует дисперсию ошибки  $Var\{R_{x_0}\}$ . Дисперсия погрешности  $R(x_0)$  выражается в виде:

$$Var\{R(x_0)\} = Var\left\{Z_{x_0} - \sum_{j=1}^n \lambda_j Z_{x_j}\right\} \quad (8)$$

Для минимизации дисперсии ошибки используется метод множителей Лагранжа, который вводит в уравнение дисперсии ошибки новую переменную  $\mu$ , а затем минимизирует ее.

#### **Последовательное моделирование по Гауссу (SGS)**

Моделирование SGS - это метод, который относится к разряду нелинейных методов, основан на разложении многомерной функции условного распределения RF  $Z(x_j) = \{Z(x_j)\}_{j=1}^n$  [10], которая определяется как:

$$F(z_1, z_2, \dots, z_n; x_1, x_2, \dots, x_N | n) = F(z_1; x_1 | n) \quad (9)$$

В этом контексте, чтобы создать  $N$  вариантов рудного месторождения, метод последовательно отбирает многомерное распределение. Практическая трудность заключается в том, что, как правило, мы не знаем, как вычислить условные вероятности, за исключением идеального случая случайного гауссова распределения. Тогда для гауссова RF с известным средним условным распределением  $Z_{x_i}^*$  является гауссовским и задается выражением:

$$Z_{x_i} = Z_{x_i}^* + \sigma_{x_i} \varepsilon_{x_i}, \quad (10)$$

где  $Z_{x_i}^*$  - обыкновенная оценка кригинга  $Z_{x_i}$ ,  $\sigma_{x_i}$  - связанная дисперсия кригинга, а  $\varepsilon_{x_i}$  - независимые и идентичные стандартные нормально распределенные инновации, то есть  $E\{\varepsilon_{x_i}\} = 0$  и  $Var\{\varepsilon_{x_i}\} = 1$ .

Кригинг всегда дает единую оценочную модель рудного тела. Одной из характеристик этой оценочной модели является то, что каждый блок будет характеризоваться ожидаемым значением соответствующих геологических атрибутов, таких как марка металла и пористость породы, среди прочих. Еще одна особенность этой оценочной модели заключается в том, что она не воспроизводит модель пространственной изменчивости (ковариационную модель),

выведенную из набора данных. Причина этого заключается в том, что методы кригинга, или линейного интерполятора в целом, всегда оценивают условное среднее соответствующего геологического признака путем минимизации локальной дисперсии ошибки, приведенной в уравнении (8). То есть, эти методы линейной интерполяции пытаются дать точное значение геологического атрибута в каждом местоположении  $x$ , которое в действительности имеет нулевую дисперсию. Этот результат, однако, достигается за счет обеспечения меры пространственной изменчивости.

Напротив, методы моделирования всегда обеспечивают в каждом местоположении набор альтернативных равновероятных реализаций соответствующего пространственного распределения геологических признаков. Как и в случае с ОК, методы моделирования также воспроизводят значения данных в соответствующих местоположениях; однако, в отличие от ОК, методы моделирования также воспроизводят модели гистограммы и вариограммы данных, выведенные из набора данных скважины. Этот результат, однако, достигается за счет обеспечения меры оценки или среднего значения.

### Заключение

В связи с тем, что оценочная кривая, сгенерированная методами линейной интерполяции, такими как метод Кригинга, дает модель, наиболее близкую с точки зрения дисперсии ошибки к исходному (неизвестному) истинному геологическому признаку, обычно предпочтительнее найти и оценить запасы полезных ископаемых. Вместе с тем, кривая моделирования предпочтительна для изучения дисперсии характеристик этих запасов, понимая то, что на практике реальные значения известны только в точках экспериментальных данных  $x$ .

В отличие от обычного кригинга, моделирование воспроизводит гистограммы и вариограммы выборки данных, давая более точные значения внутри исследуемой области. С другой стороны, моделирование сохраняет как пространственную корреляцию, так и дисперсию выборки данных, что дает лучшее воспроизведение характеристик реального месторождения, чем кригинг. Таким образом, методы условного моделирования представляют собой потенциальный инструмент для количественной оценки неопределенности рудного тела с помощью альтернативных реализаций или изображений месторождения.

### Библиография

1. Багаутдинов И.И., Зуев Б.Ю., Стрешнев А.А. Оценка эффективности бурения разгрузочных скважин для приведения выработок в неудороопасное состояние методами численного и физического моделирования // Горный журнал. 2023. № 5. С. 33-39.
2. Забайкин Ю.В. Воспроизводство российской минерально-сырьевой базы: тенденции и перспективы развития (Ю.В. Забайкин, П.Ф. Анисимов, В.М. Заернюк, Д.В. Лютягин, А.С. Давшан) // Москва, National Research. 2020. 340 с. ISBN: 978-1-952243-09-7 DOI: 10.25726/worldjournals.pro/NR.9781952243097
3. Заернюк В.М. Моделирование рисков при управлении изменениями в горнодобывающей отрасли // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики: российский и зарубежный опыт. 2023. № 2 (44). С. 8-11.
4. Иоффе А.М., Величко Д.В. Оценка устойчивости горных выработок с использованием методов численного моделирования // Вестник РАЕН. 2015. Т. 15. № 4. С. 53-58.
5. Стадник Д.А., Стадник Н.М., Жилин А.Г., Лопушняк Е.В. Методические основы имплицитного моделирования месторождений твердых полезных ископаемых при автоматизированном проектировании // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 5-1. С. 185-197.
6. Темкин И.О., Клебанов Д.А., Дерябин С.А., Конов И.С. Построение интеллектуальной геоинформационной системы горного предприятия с использованием методов прогнозной аналитики // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 3. С. 114-125.
7. Улыбин А.В. Обоснование применения геомеханических моделей при разработке нефтяных месторождений //

- Молодой ученый. 2017. № 50 (184). С. 85-87. URL: <https://moluch.ru/archive/184/47211>
8. Bye A. The application of multi-parametric block models to the mining process. In International Platinum conference: «Platinum surges ahead» The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Sun City, 2006. Vol. 107, pp. 51-58.
  9. David M., Dowd P. A. and Korobov S. Forecasting departure from planning in open pit design and grade control. In 12th APCOM Symposium Colorado School of Mines, 1974. pp. 131-153
  10. Martinez L.A. Orebody modelling and mine project evaluation: Estimation vs. simulation-a practical viewpoint, Santiago de Chile, 2007. Vol. 1, pp. 721-728.
  11. Torries T.F. Evaluating mineral projects: applications and misconceptions, Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1998. 153 p.
  12. Zhong D.Y., Wang L.G., Jia M.T., Bi L., Zhang J. Orebody modeling from non-parallel cross sections with geometry constraints / Minerals. 2019, vol. 9, no. 4, article 229.
  13. Wackernagel H. Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 388 p. URL: <https://ru.z-library.se/book/2135928/ae219c>

## **Quantify the uncertainty associated with the acquisition of a new or existing mining project**

**Viktor M. Zaernyuk**

Doctor of Economics,  
Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences,  
Professor of the Department of Economics of the Mineral Resource Complex,  
Russian State Geological Prospecting University,  
117485, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, Russian Federation;  
e-mail: [zvm4651@mail.ru](mailto:zvm4651@mail.ru)

**Shaidulla N. Gatiyatulin**

PhD in Economics,  
Head of the Department of Business Management and Service Technologies,  
Russian Biotechnological University,  
125080, 11, Volokolamskoe h., Moscow, Russian Federation,  
e-mail: [sacha9@ya.ru](mailto:sacha9@ya.ru)

### **Abstract**

A questionable and poorly executed process for evaluating a mining project can erroneously classify an unprofitable mining operation as profitable with a noticeable probability, and vice versa. The consequences of a poorly executed mine evaluation process can result in a loss of money for both project owners and stakeholders. The article discusses valuation methods that allow a designer or analyst to obtain a more realistic estimate of the cost of a mining enterprise project, taking into account technical and economic uncertainties. It is shown that conditional modeling methods are a potential tool for quantifying the uncertainty of an orebody. In conclusion, it is shown that the estimation curve generated by linear interpolation methods such as Kriging produces a model that is closest in terms of error variance to the original (unknown) true geological feature, usually preferable to finding and estimating mineral reserves. However, the modeling curve is preferable for studying the dispersion of the characteristics of these reserves, recognizing that in practice the real

values are known only at the experimental data points  $x$ . Unlike conventional kriging, modeling reproduces histograms and variograms of a data sample, giving more accurate values within the study area. On the other hand, modeling preserves both the spatial correlation and variance of the data sample, resulting in a better reproduction of real field characteristics than kriging. Thus, constrained modeling techniques represent a potential tool for quantifying orebody uncertainty using alternative realizations or deposit images.

### For citation

Zaernyuk V.M., Gatiyatulin Sh.N. (2024) Kolichestvennaya otsenka sushchestvuyushchei neopredelennosti pri priobrenenii novogo ili deistvuyushchego gornodobyvayushchego proekta [Zaernyuk V.M. Gatiyatulin Sh.N. Kolichestvennaya otsenka sushchestvuyushchei neopredelennosti pri priobrenenii novogo ili deistvuyushchego gornodobyvayushchego proekta]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (5A), pp. 166-173.

### Ключевые слова

Mining project, orebody modeling, ordinary screening, SGS modeling.

## References

1. Bagautdinov I.I., Zuev B.Yu., Streshnev A.A. Assessment of the Effectiveness of Drilling Unloading Wells for Bringing Workings to a Non-Shock State by Methods of Numerical and Physical Modeling. 2023. No 5. pp. 33-39.
2. Zabaykin Y.V. Reproduction of the Russian Mineral Resource Base: Trends and Development Prospects (Yu.V. Zabaykin, P.F. Anisimov, V.M. Zaernyuk, D.V. Lyutyagin, A.S. Davshan)// Moscow, National Research. 2020. 340 p. ISBN: 978-1-952243-09-7 DOI: 10.25726/worldjournals.pro/NR.9781952243097
3. Zaernyuk V.M. Modeling of risks in the management of changes in the mining industry // Actual problems and prospects for the development of the economy: Russian and foreign experience. 2023. No 2 (44). pp. 8-11.
4. Ioffe A.M., Velichko D.V. Assessment of the stability of mining workings using methods of numerical modeling. 2015. Vol. 15. No 4. pp. 53-58.
5. Stadnik D.A., Stadnik N.M., Zhilin A.G., Lopushnyak E.V. Metodicheskie osnovy implicitnogo modelirovaniya depositov tverdykh mineral'nykh pri avtomobilizatsionnom proektirovaniye [Methodical foundations of implicit modeling of deposits of solid minerals in automated design]. 2023. No 5-1. pp. 185-197.
6. Temkin I.O., Klebanov D.A., Deryabin S.A., Konov I.S. Stroitel'nie intellektual'noy geoinformatsionnoy sistemy gornogo predpriyatiya s ispol'zovaniem metody prognoznoy analitsiki [Construction of an intellectual geoinformation system of a mining enterprise using methods of forecast analytics]. 2020. No 3. pp. 114-125.
7. Ulybin A.V. Justification of the use of geomechanical models in the development of oil fields. 2017. No 50 (184). pp. 85-87. URL: <https://moluch.ru/archive/184/47211>
8. Bye A. The application of multi-parametric block models to the mining process. In International Platinum conference: «Platinum surges ahead» The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Sun City, 2006. Vol. 107, pp. 51-58.
9. David M., Dowd P. A. and Korobov S. Forecasting departure from planning in open pit design and grade control. In 12th APCOM Symposium Colorado School of Mines, 1974. pp. 131-153
10. Martinez L.A. Orebody modelling and mine project evaluation: Estimation vs. simulation-a practical viewpoint, Santiago de Chile, 2007. Vol. 1, pp. 721-728.
11. Torries T.F. Evaluating mineral projects: applications and misconceptions, Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 1998. 153 p.
12. Zhong D.Y., Wang L.G., Jia M.T., Bi L., Zhang J. Orebody modeling from non-parallel cross sections with geometry constraints / Minerals. 2019, vol. 9, no. 4, article 229.
13. Wackernagel H. Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 388 p. URL: <https://ru.z-library.se/book/2135928/ae219c>