



Научная статья
УДК 553.077
EDN: WLPUPF
DOI: 10.21285/2686-9993-2025-48-4-394-405



Замена ураганной пробы с использованием метода обратных взвешенных расстояний

В.Л. Рупосов^{a✉}

^a*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия*

Резюме. В статье рассмотрена методика замены ураганной пробы с учетом пространственной взаимосвязи других рядовых проб. Такая проба представлена как результат выбора показателей опробования с содержаниями полезного компонента выше рядовых значений, определение ее произведено по предложенной методике. Подход основывается на выводах геостатистики о пространственной зависимости опробуемых участков недр в рамках одного геологического блока. Особенностью предлагаемой методики является расчет исследуемого показателя с учетом всех проб по оцениваемому блоку, включая и саму ураганную. В основу подхода взят способ определения весовых коэффициентов из метода обратных взвешенных расстояний. Апробация метода произведена на примере данных разведки россыпного месторождения золота. Исследованы все основные параметры предлагаемого метода, такие как радиус и количество создаваемых дополнительных точек, а также степенной коэффициент весовой функции. Определены несколько показателей, которые повлияют на результаты подсчета запасов полезного ископаемого с учетом ураганной пробы и при ее замене на рассчитанные значения по предлагаемой методике. Проведен анализ ситуации, когда объект исследования выбран неверно, и показано, как замена выделяющегося из ряда значения может повлиять на результаты оценки данного геологического блока. Приведены примеры замены подобных проб и оценка влияния на изменение подсчитанных запасов россыпного месторождения золота. Сделан вывод об ошибке определения ураганной пробы с сопоставлением влияния на результаты разведки и оценки геологического блока. Статья основана на исследовании геологического блока, опробованного вертикальными скважинами, в которых определялись содержания золота. Результаты получены с использованием моделирования процесса определения значений, которые будут использоваться для замены выбранной пробы. Проведенный анализ показал эффект изменения объемов для различных вариантов параметров предлагаемого метода. Публикация проиллюстрирована планами с интерполяцией по содержаниям и графиками с кривыми при различных параметрах расчетных показателей.

Ключевые слова: ураганная проба, геостатистика, метод обратных взвешенных расстояний, разведка месторождений твердых полезных ископаемых

Для цитирования: Рупосов В.Л. Замена ураганной пробы с использованием метода обратных взвешенных расстояний // Науки о Земле и недропользование. 2025. Т. 48. № 4. С. 394–405. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-4-394-405>. EDN: WLPUPF.

Original article

Hurricane sample replacement using the inverse distance weighted method

Vitaliy L. Ruposov^{a✉}

^a*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

Abstract. The article discusses the method of hurricane sample replacement taking into account the spatial relationship of other routine samples. This sample is presented as the result of selecting sampling parameters with the mineral content above average values determined using the proposed methodology. The approach is based on geostatistical findings regarding the spatial dependence of sampled subsurface areas within a single geological block. The feature of the proposed methodology is the calculation of the studied indicator taking into account all samples for the evaluated block including the hurricane one. The approach is based on the method for determining weighting coefficients from the inverse distance weighted method. The method has been tested using the exploration data from a placer gold deposit. All key parameters of the proposed method, such as the radius and number of additional points created, as well as the power coefficient of the weighting function are analyzed. Several indicators are identified that will influence the results of mineral reserves calculations taking into account a hurricane sample and when it is replaced by the values calculated using the proposed methodology. The article analyses a situation in which the study



object is selected incorrectly. It is demonstrated how the replacement of an outlier value can affect the assessment results for a given geological block. Examples of replacing similar samples are provided along with the assessment of the impact on the change in estimated reserves for a placer gold deposit. A conclusion is drawn regarding the error in determining the hurricane sample with the comparison of the impact on the exploration results and geological block assessment. The article is based on the study of a geological block tested by vertical boreholes, in which the gold content was determined. The results were obtained by modeling the process of determining the values to be used to replace the selected sample. The conducted analysis shows the effect of volume changes for various parameter variants of the proposed method. The article is illustrated with grade-interpolated plots and graphs showing curves for various parameters of calculated indicators.

Keywords: hurricane sample, geostatistics, inverse distance weighted method, exploration of solid mineral deposits

For citation: Ruposov V.L. Hurricane sample replacement using the inverse distance weighted method. *Earth sciences and subsoil use*. 2025;48(4):394-405. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-4-394-405>. EDN: WLPUPF.

Введение

Большая неоднородность залегания многих полезных ископаемых [1, 2] требует использования методов снижения высокой контрастности содержаний полезного компонента. Современные методы опробования позволяют получить разнообразные пробы по ориентации и качественно оценить содержание химических элементов и состав горных пород [3]. Надежность опробования повышается вместе с возможностями современных лабораторий, что позволяет снизить количество обрабатываемого материала [4]. Методика прохождения скважин дает возможность получения различных по местоположению и ориентации проб, что позволяет снизить количество выработок и повысить качество опробования¹. В связи с этим каждая проба, полученная во время разведочных работ, имеет высокую ценность и надежность определения, что не исключает появления значений, которые выбиваются из общего ряда опробования и могут быть признаны ураганными [5]. В этом случае нужно понимать, что ураганная проба – это элемент неоднородности природного залегания полезных ископаемых, связанный с очень высоким колебанием содержаний полезного компонента в отобранных пробах, следовательно, простой подход игнорирования или замена данного значения с внерядовыми параметрами недопустимы. Необходимо формировать подходы к замене подобного значения с учетом неоднородности природной среды². С другой стороны, сохранение выбивающейся из ряда пробы тоже может отрицательно повлиять на подсчеты запасов полезного ископаемого, так как приводит к

их повышению или снижению [6]. Чаще всего это связано с тем, что одиночная проба несет в себе высокую надежность определения содержаний и поэтому ее значение принято распространять на определенный объем в недрах, а при высоком отклонении от рядовых проб приводит к повышению ошибки оценочных работ. Для некоторых методов подсчета запасов ошибка одной пробы может сильно отражаться на общих запасах месторождения [7–10]. Например, способ многоугольников основывается на зоне влияния единичной пробы на участок недр. При этом данный способ не использует усреднение показателей, а опирается только на значение пробы, параметры которой по умолчанию распространяются на все пространство вокруг данного значения, являющегося центром многоугольника. Если представить ситуацию, когда в скважину при разведке россыпного месторождения попал самородок (при этом даже контрольная проба дала высокие значения содержания золота, что связано с выборочным истиранием), то по способу многоугольников все пространство вокруг данной пробы должно содержать самородки, но, как известно из практики, чаще всего больше самородков в этом участке недр нет. Если использовать методы подсчета запасов, где производится усреднение по небольшому количеству данных, то ошибка будет сохраняться. Так, например, подсчет запасов методом треугольников тоже будет производиться с отклонением от истинных значений. В методе треугольников усреднение содержаний полезного ископаемого происходит только для трех значений, которые являются вершинами треугольника, поэтому влияние ураганной

¹ Комлев А.С. Высококачественный комбинированный отбор проб руд и продуктов обогащения: дис. ... д-ра техн. наук: 2.8.9. Екатеринбург: Изд-во ФГБОУ ВО УГГУ, 2024. 433 с. EDN: WRPNUU.

² Филонюк В.А. Основы управления факторами риска при освоении месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие для вузов. Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2014. 113 с. EDN: UIEONZ.



пробы здесь будет также высоким. При этом выбивающееся из ряда значение будет искажать объем запасов для всех треугольников, которые имеют данную вершину в качестве одной из трех точек. Такая ситуация никак не влияет на надежность и обоснованность полученных результатов разведки по данной скважине или пробе, следовательно, учет такого значения должен происходить. Просто заменить данное значение без его анализа – некорректно [5, 9, 11].

Цель данного исследования – определить способ замены ураганной пробы на значение, которое учитывает статистические и пространственные особенности распределения полезного компонента в недрах.

Материалы и методы исследования

Анализ ураганной пробы разделяется на два этапа: на первом – определяем, что относится к данному показателю, на втором – заменяем данную пробу на расчетное значение [5].

Первый этап описан в предыдущей статье [12]. Необходимо было привести некоторые характеристики предложенного метода выявления подобной пробы, особенно для месторождений с высокой изменчивостью содержаний. В работе предлагалось искать наиболее высокие низкочастотные модальные значения, для выявления которых необходимо производить деления на классы по предлагаемой формуле, где учитывается неоднородность данных за счет введения в формулу значения коэффициента вариации:

$$k = 1,5 + \frac{1}{\log_5 V} \sqrt{n},$$

где V – коэффициент вариации, k – количество классов для выборки с n измерениями.

При расчете количество классов увеличивается в зависимости от значения относительного разброса (V). Другой особенностью предложенного метода является анализ низкочастотных модальных значений. При этом необходимо учитывать наличие естественного повышения содержаний, обоснованное серией проб с высокими значениями и находящимися в непосредственной близости друг от друга. Серия таких проб не может быть отнесена к ураганным, даже если они являются намного выше среднего значения по ряду. А вот единичная низкочастотная проба с пространственным окружением невыдающихся проб может быть отнесена к такой, как показа-

но в статье на примере разведки россыпного месторождения.

Для иллюстрации этого подхода на рис. 1 представлен план, на котором определены две ураганные пробы. Примером является россыпное месторождение золота с опробованием скважинами по разведочным линиям с высокой неоднородностью оруденения. При этом наиболее высокие значения на плане, относящиеся к скважинам № 75 и 74, для данной методики определения ураганной пробы не могут быть отнесены к ним, так как находятся рядом друг с другом и с высокими значениями скважин № 73 и 76, формируя таким образом область закономерного повышения содержания полезного ископаемого. А вот скважины, пробы которых показали высокие значения (более 20000 мг/м³), можно отнести к ураганным, так как они находятся в относительно обособленной зоне и окружены пробами с рядовыми значениями. К таким объектам относим скважины № 20 и 15.

После того как определились с пробами, которые являются ураганными, необходимо перейти на следующий этап. В статье представлены результаты исследования методов замены выбранных значений расчетными.

В литературе отмечается несколько подходов к учету ураганной пробы. Одним направлением можно назвать способ определения и исключения подобных значений при подсчете запасов, при этом расчет среднего содержания полезного ископаемого по месторождению допустимо производить без исключения подобной пробы [5]. В самых ранних работах по данной проблеме предлагалось заменить данную пробу на новую, которую следовало отобрать в тех же условиях и с очень близкими геометрическими параметрами. Зачастую это было невозможно в связи с завершением полевых работ разведочной стадии, когда требуемое оборудование может уже отсутствовать на месторождении или повторить геометрически близко полученную пробу очень сложно. Сейчас к этому можно добавить и экономическую целесообразность таких работ, особенно когда каждый процесс разведки имеет высокую надежность получения результата.

Вторым подходом является замена подобной пробы на значение определенного показателя. Данный подход позволяет снизить ошибку подсчета запасов, так как проба не убирается полностью, а заменяется на определенное рассчитанное значение. В этом

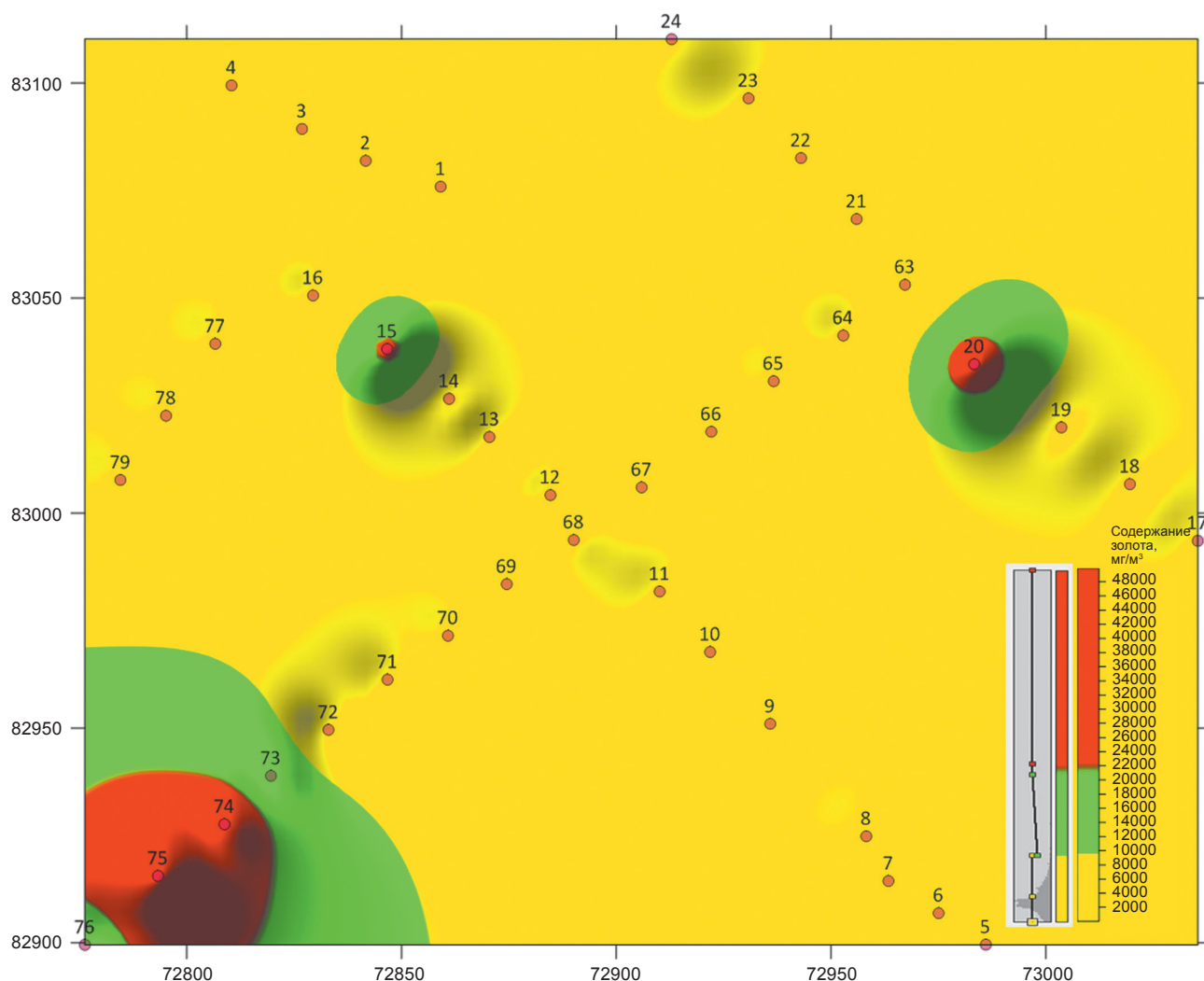


Рис. 1. План изменения содержаний золота по скважинам с определением проб, относящихся к ураганным
Fig. 1. Gold grade change plot for boreholes with the identification of samples related to hurricane samples

случае не страдает точность учета запасов за счет изменения геометрии блоков подсчета полезных ископаемых. По способу расчета такого показателя, который обоснованно может заменить ураганную пробу, в литературе развернулась широкая дискуссия [5, 13–15]. Обоснования многих методов построены на основе статистических методов, особенно большое внимание уделено распределениям случайной величины. Например, Д.И. Шаманский предлагал заменять значение с эмпирического распределения случайной величины на нормальное распределение. В.И. Смирнов рекомендовал заменять средним значением по выборке [5]. Н.В. Володомонов предложил замену ураганной пробы на расчетную величину, основанную на среднем содержании по всем пробам, с учетом увеличения значения

по введенному показателю предела влияния данной пробы на среднее, равное 20 %. Подобный подход замены расчетным показателем выбивающейся из ряда пробы можно встретить и у других авторов, например, свою формулу вывели В.И. Кузьмин, В.М. Гудков, Г.И. Вилесов, Ив. Христов, Д. Димоков, Цв. Бояджиев, Б.Я. Юфа, Г.А. Базанов, И.В. Францкий и многие другие³ [3–5, 9, 11, 14, 15]. Влияние пространственного положения пробы можно встретить в работах П.Л. Каллистова [5], где он предлагает относить к ураганной пробе, которая по содержанию в два и более раза превышает ближайшую к ней пробу. С точки зрения пространственного анализа влияния такой пробы заслуживают дополнительного рассмотрения, что было отмечено в подходе Г.И. Вилесова [5]. В его методике за-

³ Францкий И.В., Базанов Г.А. Математическая статистика и геометризация месторождений: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИПИ, 1975. 249 с.



мены ураганной пробы есть особенность, связанная с распространением влияния такого значения. Данное содержание предлагается распространять не на половину расстояния между соседними пробами, а на часть этого расстояния, соответствующего вероятности появления ураганного значения, рассчитанного как соотношение условных запасов по подобным пробам к сумме условных запасов по ураганным и рядовым пробам.

В проведенных исследованиях предлагается замена данной пробы на основе анализа ее пространственного положения в исследуемых недрах. Значение, заменяющее данную пробу, должно учитывать как содержание всех проб, полученных при разведке данного рудного блока, так и их местоположение в пространстве. Основным предположением является геостатистическая концепция зависимости оруденения геологических блоков от пространственной геометрии рудонесущих структур [16–19]. Для формирования подхода замены подобных проб была применена методика интерполирования с использованием обратных взвешенных расстояний [20]. Данный метод основывается на геостатистическом предположении, что влияние на интерполиру-

емую точку могут оказывать все пробы, полученные для выбранного геологического блока или рудного тела. Ограничивает это влияние пространственное положение проб. Чем геометрически дальше от определяемой точки находятся пробы, тем меньшее влияние оказывается на расчетное значение. Реализуется данный метод через расчет специальных коэффициентов. Чаще всего таким коэффициентом выступает обратное расстояние, возведенное в степенной коэффициент. Большинство программного обеспечения, созданного для такого вида интерполяции, по умолчанию предлагает возводить расстояние в квадрат. Данное исследование показало, что можно использовать и другие значения степенного коэффициента, включая диапазон от 0 до 1.

Приведем методику расчета значения показателя, которым можно заменить ураганную пробу (рис. 2).

В основе метода взвешенных обратных расстояний лежит предположение, что ближайшая проба к интерполируемой точке является наиболее влиятельной, а наиболее удаленная – менее влиятельной. Определение веса производится через обратное расстояние, возведенное в степень γ . Формула рас-

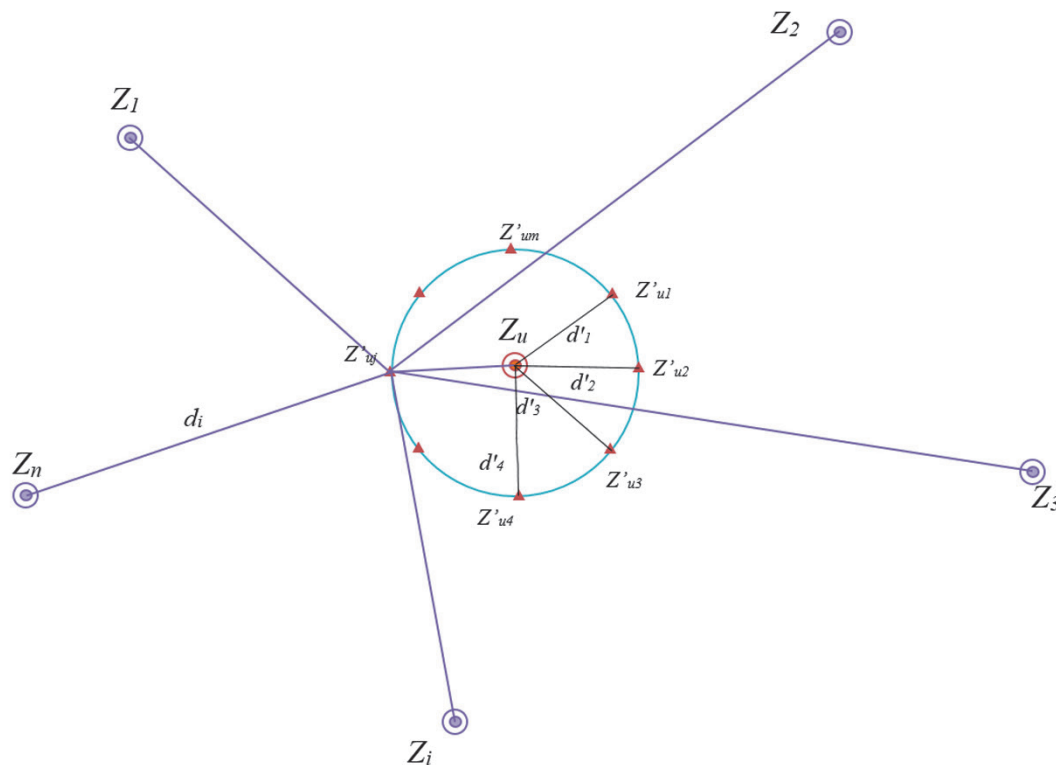


Рис. 2. Схема пересчета ураганной пробы:

$Z_{1-3, i, n}$ – рядовые пробы; $Z_{um, u1-u4, uj}$ – дополнительные расчетные точки; Z_u – ураганная проба

Fig. 2. Hurricane sample recalculation scheme:

$Z_{1-3, i, n}$ – routine samples; $Z_{um, u1-u4, uj}$ – additional calculation points; Z_u – hurricane sample



чета весов по методу обратных взвешенных расстояний:

$$\lambda_i = \frac{1}{d_i^r}, \quad (1)$$

где λ_i – это вес, с которым учитывается i -ая проба; r – степенной коэффициент; d_i^r – расстояние между интерполируемой точкой и i -й пробой, которая рассчитывается по формуле:

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{uj})^2 + (y_i - y_{uj})^2}, \quad (2)$$

где x_i и y_i – координаты i -й точки; x_{uj} и y_{uj} – координаты интерполированной точки.

Особенностью предлагаемого метода является создание серии интерполируемых точек, расставленных вокруг ураганной пробы по окружности, каждая такая точка в результате процесса определения расчетного значения через обратные взвешенные расстояния является самостоятельной. Выбранная проба также участвует в процессе расчета интерполированного значения. Данный подход продемонстрирован на рис. 2. Для использования метода необходимо рассчитать как значение Z_{uj} для каждой дополнительной точки, так и положение точки на плане. Для этого будем использовать формулу вычисления определяемого показателя Z_{uj} :

$$Z_{uj} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (3)$$

где Z_i – значение изучаемого показателя для i -й пробы; λ_i – весовой коэффициент для данной пробы; $\sum_{i=1}^n \lambda_i$ – общая сумма весов.

Для определения координат дополнительной точки на плане воспользуемся формулами:

$$x_{ui} = x_u + d'_j \cos \alpha'_j, \quad (4)$$

$$y_{ui} = y_u + d'_j \sin \alpha'_j, \quad (5)$$

где x_u и y_u – координаты ураганной пробы; d' – расстояние от данной пробы до интерполируемой точки; дирекционный угол α'_j определяется по формуле:

$$\alpha'_j = \left(\frac{360}{m}\right)j, \quad (6)$$

где m – количество дополнительных точек для интерполяции.

После того как найдены дополнительные точки, рассчитываем значение, которым будет заменена ураганная проба. Расчет проводим по формуле:

$$Z'_u = \frac{\sum_{j=1}^m Z_{uj}}{m}. \quad (7)$$

В данном способе замена ураганной пробы производится с учетом всех полученных проб, включая заменяемую, что позволяет учесть все полученные данные без исключения. Рассчитанное значение будет учитывать неоднородность рудного поля и сложность его строения.

Данный способ зависит от нескольких параметров, значение которых может сильно повлиять на результаты расчета заменяемой ураганной пробы. Можно выделить следующие критические параметры:

- значение степенного коэффициента при расчете весов;
- расстояние интерполируемых точек от выбранной пробы;
- количество дополнительных интерполируемых точек.

Результаты исследования и их обсуждение

Были проведены исследования на реальном объекте с разведочными данными по россыпному месторождению для определения влияния вышеперечисленных параметров на результаты использования предлагаемого метода.

Влияние количества дополнительных точек, выстроенных равномерно по окружности вокруг ураганной пробы, было оценено методом вычисления получаемого результата по формулам (1)–(7) для различных вариантов. Были взяты точки на окружности в количестве от 4 до 26 единиц и рассчитаны заменяемые значения по вышеприведенным формулам (4) и (5) для каждого варианта с шагом 1. Построенный график по результатам расчетов приведен на рис. 3.

На графике видно, что после 10 дополнительных точек значение расчетного показателя становится практически одинаковым. Поэтому берем количество точек на окружности с учетом 20 % повышения надежности, равное 12 шт.

Следующим направлением анализа стали два показателя – это степенная функция и расстояние от выбранной пробы. Анализ расстояния производился с учетом размера разведочной сетки, так как в противном случае влияние окружающих проб будет выше, чем ураганной, и тогда можно просто заме-

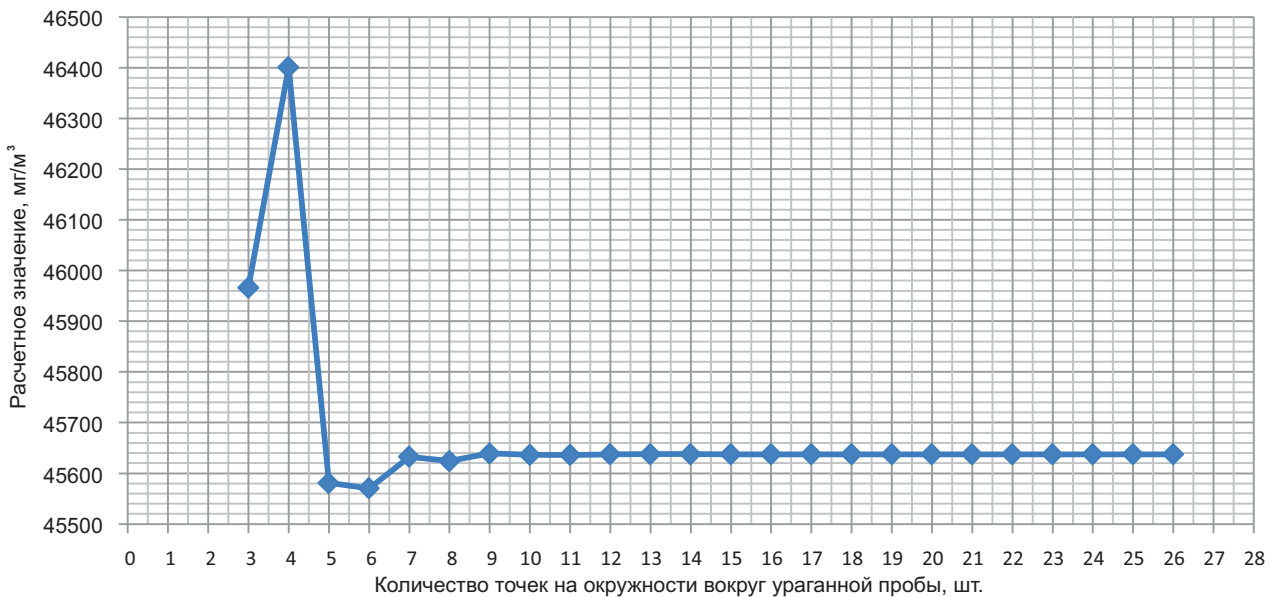


Рис. 3. Анализ количества точек вокруг ураганной пробы
Fig. 3. Analysis of the number of points around the hurricane sample

нить данный показатель значением содержания ближайшей скважины. Для этого находилось расстояние до ближайшей пробы и проводился анализ влияния размера радиуса окружности от выбранной пробы. Радиусы исследовались от месторасположения ураганной пробы до половины расстояний к ближайшей скважине.

Исследование степенного коэффициента производилось методом расчета показателя, заменяющего данную пробу для разных значений радиуса по формулам (1), (3) и (7). Поэтому данные по анализу влияния радиуса от ураганной пробы и степенной функции были объединены в единый набор кривых, представленных на рисунках ниже. Степенной показатель изучался в периоде от 0,5 до 6 с неравным шагом. Полученные результаты для пробы скважины № 15 представлены на рис. 4. Как видно на графике, высокая зависимость результатов существует как от степени в весовой функции метода обратных взвешенных расстояний, так и от радиуса, на котором построены двенадцать дополнительных интерполированных точек. Максимальное снижение ураганной пробы происходит только для степенных коэффициентов 0,5, 0,6 и 0,7, при этом влияние увеличения расстояния последних трех метров незначительно. Также график показал, что высокие степени (когда степенной коэффициент выше 3) не имеют существенного отличия друг от друга и, следовательно, степени выше 3 применять нецелесообразно. Степень «единица» – когда показатели веса

соответствуют обратным расстояниям, кривая близка к линейной зависимости, следовательно, действует только расстояние от ураганной пробы практически по линейному закону.

Данная методика замены ураганной пробы получилась очень гибкой – в зависимости от цели и типа месторождения можно резко сократить значение, используя половину или даже всего 1/3 расстояния от подобной пробы и степень 0,5 или 0,6. При этом снижение выбранной пробы для приведенного примера произошло с 23674 до 4400 мг/м³, то есть на 81 %. Самое небольшое снижение данной пробы для максимального радиуса возможно при степенном коэффициенте, равном 3, что эквивалентно 8200 мг/м³, то есть значение заменяемой ураганной пробы сократится на 65 %.

Для данного типа месторождений, относящихся к третьей группе сложности, можно использовать кривую со степенным коэффициентом 0,6 и расстоянием 14 м от местоположения ураганной пробы. Значение для замены выбранной пробы будет соответствовать 5100 мг/м³ или 78 % от первоначального значения.

Для оценки влияния замены ураганной пробы проведем подсчет объема поверхности содержаний относительно нулевого значения с использованием программного обеспечения Surfer. Общий объем «слитка» без использования замены выбранной пробы получился $268,3 \times 10^6$ мг. При замене этой пробы с 23674 на 8200 мг/м³ объем «слитка» получился $248,3 \times 10^6$ мг, разница составила 7,5 %. Без

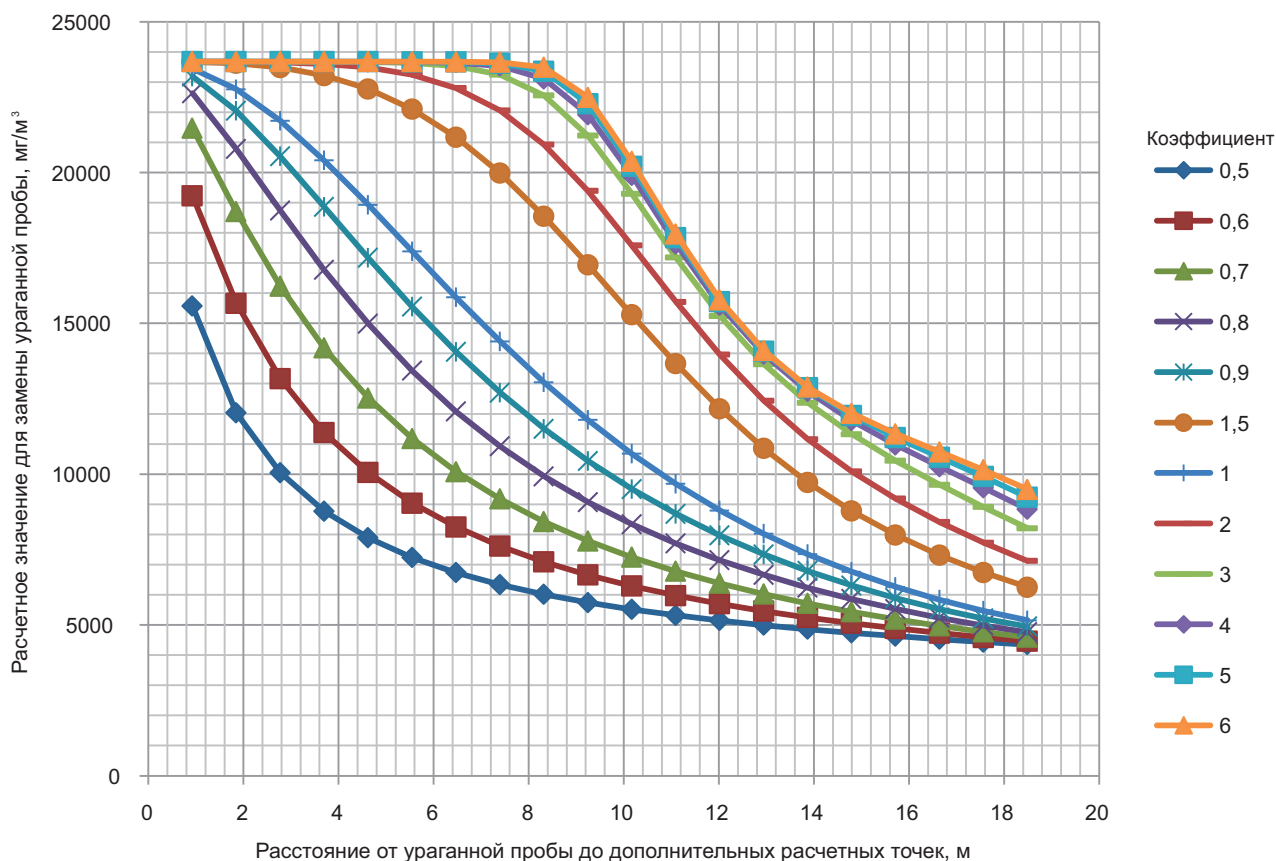


Рис. 4. Зависимость расчета значения заменяемой ураганной пробы от расстояния и степени в функции весовых коэффициентов для скважины № 15
Fig. 4. Calculated replaced hurricane sample value vs distance and degree as a function of weighting coefficients for the borehole no. 15

учета данной пробы подсчет запасов линейным способом будет завышать количество золота на месторождении более чем на 5 %, что выше принятой ошибки оценки месторождения. План с интерполированной поверхностью представлен на рис. 5, а.

Был проведен анализ случая, когда выбранная проба не является ураганной (как, например, скважина № 75 на рис. 1 и 5). Данная скважина, как было сказано выше, не является ураганной, так как находится в окружении проб с высоким содержанием золота, что хорошо видно на плане, где в красную зону очень высоких содержаний попадает еще одна скважина, а в зеленую зону высоких содержаний – две скважины, находящиеся в непосредственной близости. В случае неправильного выбора подобной пробы методика не должна сильно влиять на общие запасы полезного ископаемого. Для обоснования этого утверждения был проведен анализ изменчивости рассчитываемого показателя в зависимости от степени и расстояния от выбранной пробы. Полученные результаты сведены в график на рис. 6.

Как видно на графике, поведение степенных функций остается подобным графику на рис. 4, следовательно, действие метода устойчиво для разных случаев. Так, например, для степеней выше 3 кривые сливаются. Разница между получившимся минимальным значением 10340 и псевдоураганной пробой 50323 мг/м³ составляет 79,5 %, что ниже, чем для истинно ураганной пробы скважины № 15. Если возьмем значения при степенном коэффициенте 0,6 и расстоянии 14 м, то на рис. 6 найдем значение 14200 мг/м³, что составит снижение значения выбранной псевдоураганной пробы на 71,7 %, что меньше, чем при замене истинно ураганной пробы на 6 %.

Как видно на рис. 5, b, замененное значение псевдоураганной пробы перестало быть сверхвысоким, но при этом осталось высоким. Подсчитав объем получившейся поверхности в размере 228,9×10⁶ мг и сравнив с объемом первоначальной поверхности, равной 268,3×10⁶ мг, приходим к выводу, что произошло существенное снижение (на 14,7 %). Следовательно, данная методика при непра-

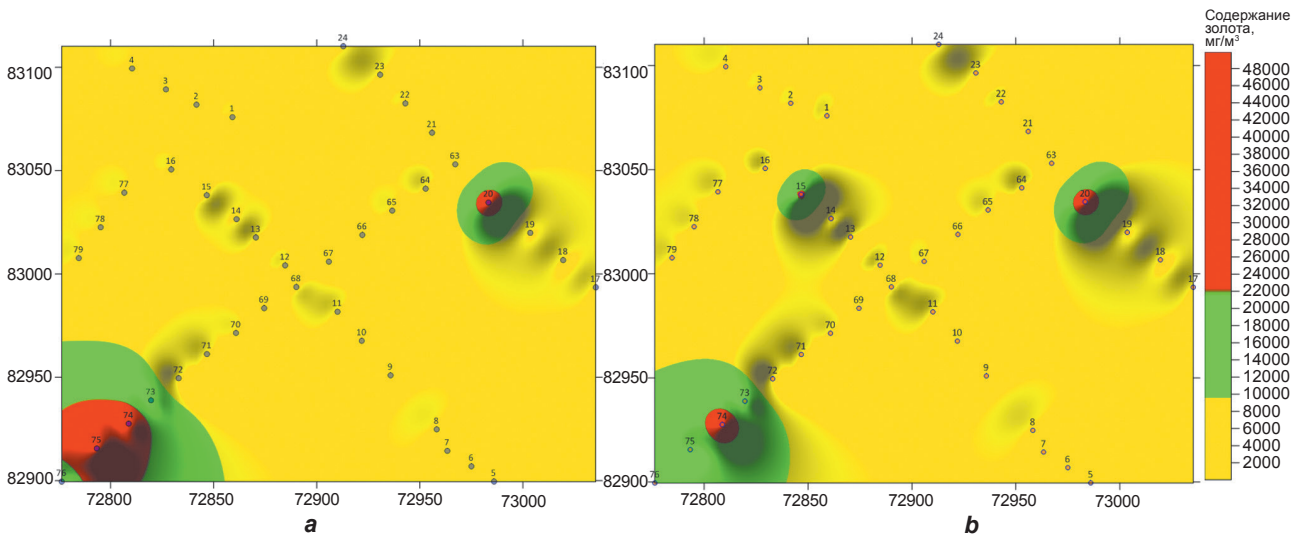


Рис. 5. План изменения содержаний золота по скважинам с интерполированием при замене ураганных проб № 15 (а) и 75 (б) по предлагаемой методике
Fig. 5. Gold grade change plot boreholes with interpolation when replacing hurricane samples no. 15 (a) and 75 (b) according to the proposed methodology

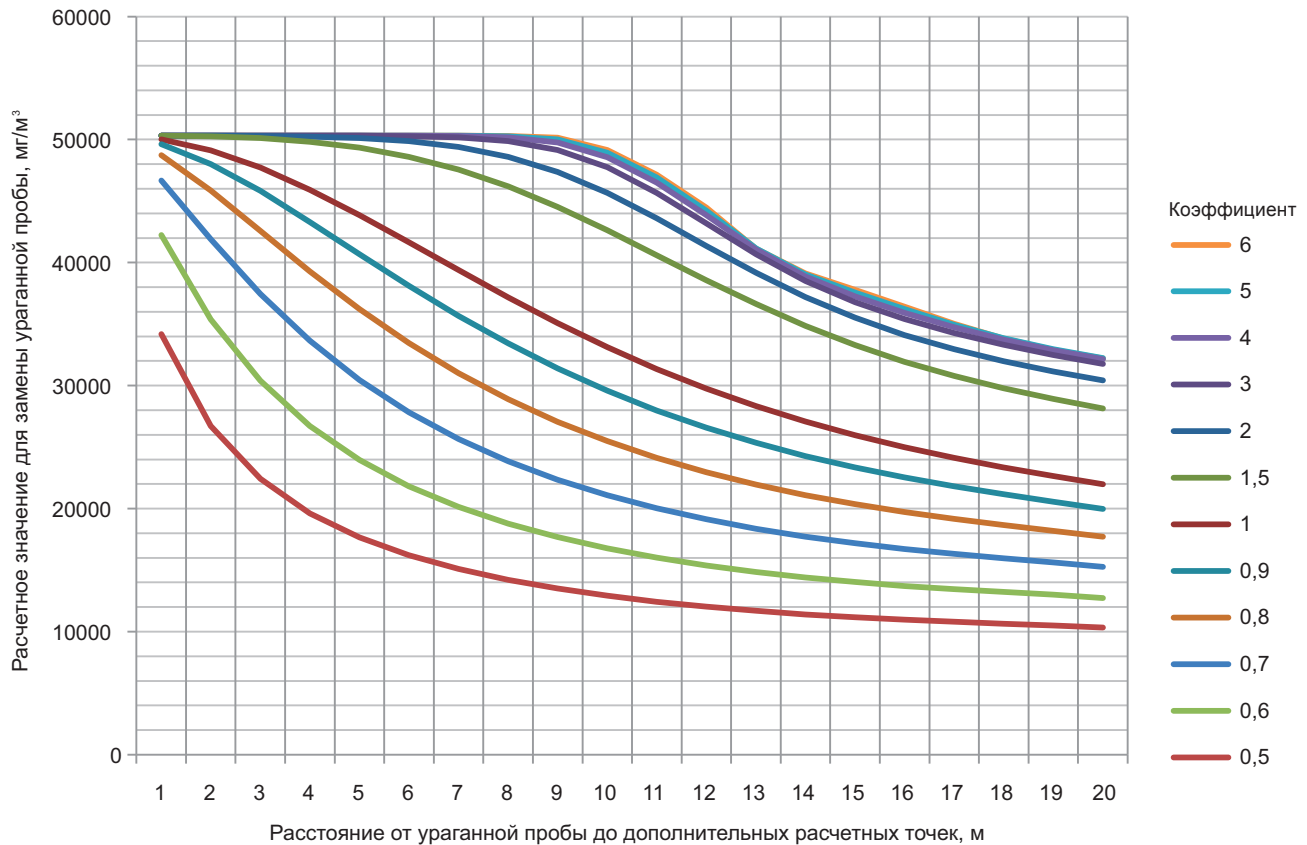


Рис. 6. Зависимость расчета значения заменяемой ураганной пробы от расстояния и степени в функции весовых коэффициентов для скважины № 75
Fig. 6. Calculated replaced hurricane sample value vs distance and degree as a function of weighting coefficients for the borehole no. 75

вильно выбранной ураганной пробе может необоснованно снизить показатели запасов полезного ископаемого, что не делает методику полностью универсальной и не снимает со специалиста, подсчитывающего запасы, индивидуальную ответственность за выбор подобной пробы.

Заключение

Предложенная методика позволяет не только заменять пробы данного типа с учетом содержания по исследуемому геологическому блоку, но и оценивать влияние геометрического расположения опробуемых



участков недр. Геостатистический подход к оценке пространственной переменной позволяет производить расчеты с использованием всех полученных результатов опробования с учетом высокой надежности и хорошего качества полученных результатов на всех этапах разведочных работ. Исключать пробы из оценки блока по причине их выбивающегося из общего ряда значения на данном этапе развития технологий недопустимо, соответственно, замена должна происходить с уче-

том существования ураганной пробы. Расчетное значение должно быть обосновано не только по содержанию, но и по геометрии ориентации проб в оцениваемом пространстве недр. Предлагаемая методика замены подобных проб основывается на весовых коэффициентах метода обратных взвешенных расстояний, соответствует всем предъявляемым требованиям и может быть использована для различных месторождений твердых полезных ископаемых.

Список источников

1. Филонюк В.А., Корнаков В.В. Фрактальные кластеры в геологических системах и гипотеза о процессах многоуровневого структурообразования в геологической среде // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2011. № 2. С. 231–247. EDN: OKDCMD.
2. Павлов А.М., Мильшин Е.А., Филонюк В.А. Геометризация промышленных рудных тел и определение показателей качества отработки запасов в условиях закономерно-прерывистого распределения металла на Зун-Холбинском золоторудном месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 12. С. 90–105. EDN: JVVYNGL.
3. Комлев А.С. Условия достоверного определения массовой доли ценного компонента в продуктах обогащения // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2019. № 5. С. 63–74. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-5-63-74>. EDN: OSKSKG.
4. Козин В.З., Комлев А.С. Неоднозначность вероятной систематической погрешности опробования // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2015. № 5. С. 112–116. EDN: UKELDV.
5. Прерис А.М. Определение и учет ураганных проб. М.: Недра, 1974. 104 с.
6. Шевелев В.П. Сравнение двух методов подсчета запасов россыпного золота на примере месторождений Амурской области // Разведка и охрана недр. 2014. № 1. С. 9–12. EDN: RUJRNN.
7. Кувашкина Т.А., Дранишников П.С. Подсчет запасов полезных ископаемых на базе объектно-ориентированной методологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 5. С. 185–196. EDN: HZONDR.
8. Воронин Ю.А. Подсчет запасов полезных ископаемых с позиций теории оценивания // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 8. С. 1050–1053. EDN: NJGCCX.
9. Снетков В.И., Соловьев А.А. Исследование явления ураганности проб в зависимости от принятых параметров кондиций при подсчете запасов // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 2. С. 33–39. <https://doi.org/10.21285/0301-108X-2016-55-2-33-39>. EDN: WAXNBZ.
10. Сунцев А.С. О достоверности опробования россыпи по разведочным скважинам // Вопросы науки и образования. 2020. № 11. С. 6–8. EDN: OHASHY.
11. Вяльцев А.С., Кирьяков Г.А. Способы определения ураганных содержаний при оценке минеральных ресурсов // Успехи современного естествознания. 2024. № 6. С. 41–49. <https://doi.org/10.17513/use.38281>. EDN: VJQJCX.
12. Рупосов В.Л. Определение ураганных проб на основании модального анализа // Науки о Земле и недропользование. 2025. Т. 48. № 1. С. 112–121. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-1-112-121>. EDN: RVPXPZ.
13. Снетков В.И., Соловьев А.А. Моделирование воздействия ураганных проб на эффективность применения математических методов при обработке геологоразведочной информации // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 4. С. 19–29. <https://doi.org/10.21285/0130-108X-2016-57-4-19-29>. EDN: XDYLBR.
14. Живулько А. Подавление ураганных содержаний при оценке минеральных ресурсов // Золото и технологии. 2018. № 2. С. 46–49. EDN: YBMKGD.
15. Лобач В.И. Учет выдающихся подсчетных параметров на основе статистической неоднородности рудных месторождений // Руды и металлы. 2007. № 4. С. 42–49. EDN: KYJNRB.
16. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики / пер. с франц. М. – Ижевск: Изд-во «ИКИ», 2009. 460 с.
17. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд / пер. с англ. Л.: Недра, 1980. 360 с.
18. Рупосов В.Л., Подкорытов М.Е., Лаптев А.С. Использование полинома в качестве модели для вариограммы // Перспективы развития горно-металлургической отрасли: материалы XXIV Всерос. науч.-практ. конф. (г. Иркутск, 28 ноября – 3 декабря 2024 г.). Иркутск: Изд-во ИрННТУ, 2024. С. 135–141. EDN: DARWWI.
19. Рупосов В.Л., Рупосова Е.В. Модели вариограмм на основе периодических функций // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: материалы XIX Всерос. науч.-техн. конф. (г. Иркутск, 15–18 апреля 2024 г.). Иркутск: Изд-во ИрННТУ, 2024. С. 187–191. EDN: EKOLUL.



20. Новиков Е.С., Рупосов В.Л. Исследование методов обратных расстояний // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: материалы XIX Всеросс. науч.-техн. конф. (г. Иркутск, 15–18 апреля 2024 г.). Иркутск: Изд-во ИрНТУ, 2024. С. 171–177. EDN: ZJKLRS.

References

1. Filonyuk V.A., Kornakov V.V. Fractal clusters in geological systems and the hypothesis of multilevel structure formation processes in the geological environment. *Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2011;2:231-247. (In Russ.). EDN: OKDCMD.
2. Pavlov A.M., Milshin E.A., Filonyuk V.A. Geometrization of industrial ore bodies and determination of quality indicators for mining reserves under regular intermittent distribution of metal at the Zun-Kholbinsky gold deposit. *Mining information and analytical bulletin*. 2008;12:90-105. (In Russ.). EDN: JVVYNGL.
3. Komlev A.S. The conditions of reliable determination of valuable component mass fraction in mineral processing products. *Minerals and Mining Engineering*. 2019;5:63-74. (In Russ.). <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-5-63-74>. EDN: OSKSKG.
4. Kozin V.Z., Komlev A.S. The ambiguity of probable systematic inaccuracy of sampling. *Minerals and Mining Engineering*. 2015;5:112-116. (In Russ.). EDN: UKELDV.
5. Preris A.M. *Determination and accounting of hurricane samples*. Moscow: Nedra; 1974, 104 p. (In Russ.).
6. Shevelev V.P. The comparative result of two methods of the stock counting of auriferous sand on the example of Amur regions deposits. *Prospect and protection of mineral resources*. 2014;1:9-12. (In Russ.). EDN: RUJRNN.
7. Kuvashkina T.A., Dranishnikov P.S. Estimation of mineral reserves based on object-oriented methodology. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2006;5:185-196. (In Russ.). EDN: HZONDR.
8. Voronin Yu.A. Assessment of mineral reserves in terms of the estimation theory. *Russian Geology and Geophysics*. 2004;45(8):1050-1053. EDN: NJGCCX.
9. Snetkov V.I., Solovyov A.A. Study of the hurricane sample effect depending on the acceptable grade parameters under reserve calculation. *Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2016;2:33-39. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/0301-108X-2016-55-2-33-39>. EDN: WAXNBZ.
10. Suntsev A.S. On reliability of placer sampling in prospect boreholes. *Issues of Science and Education*. 2020;11: 6-8. (In Russ.). EDN: OHASHY.
11. Vyaltsev A.S., Kiryakov G.A. Techniques for determining extremely high grades in the estimation of mineral resources. *Advances in Current Natural Sciences*. 2024;6:41-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.38281>. EDN: VJQJCX.
12. Ruposov V.L. Unusually high sample determination based on modal analysis. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2025;48(1):112-121. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-1-112-121>. EDN: RVPXPZ.
13. Snetkov V.I., Soloviev A.A. Modeling of hurricane sample effect on mathematical method application efficiency when processing exploration information. *Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*. 2016;4:19-29. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/0130-108X-2016-57-4-19-29>. EDN: XDYLBR.
14. Zhivulko A. Suppression of hurricane grades in mineral resource assessment. *Gold and Technology*. 2018;2: 46-49. (In Russ.). EDN: YBMKKD.
15. Lobach V.I. Accounting for outlying calculation parameters based on the statistical heterogeneity of ore deposits. *Ores and metals*. 2007;4:42-49. (In Russ.). EDN: KYJNRB.
16. Mataronue J. Fundamentals of applied geostatistics; 1962, 460 p. (Russ. ed.: *Osnovy prikladnoi geostatistiki*. Moscow – Izhevsk: Izdatel'stvo "IKI"; 2009, 460 p.).
17. David M. Geostatistical ore reserve estimation; 1977, 360 p. (Russ. ed.: *Geostatisticheskie metody pri otsenke zasopov rud*. Leningrad: Nedra; 1980, 360 p.).
18. Ruposov V.L., Podkorytov M.E., Laptev A.S. Using a polynomial as a model for a variogram. In: *Development prospects of mining and metallurgical industry: Proceedings of the 24th All-Russian scientific and practical conference*. 28 November – 3 December 2024, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2024, p. 135-141. (In Russ.). EDN: DARWWI.
19. Ruposov V.L., Ruposova E.V. Models of variograms based on periodic functions. In: *Geology, Prospecting and Exploration of Minerals and Methods of Geological Research: Proceedings of the 19th All-Russian scientific and technical conference*. 15–18 April 2024, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2024, p. 187-191. (In Russ.). EDN: EKOLUL.
20. Novikov E.S., Ruposov V.L. Study of inverse distance methods. In: *Geology, Prospecting and Exploration of Minerals and Methods of Geological Research: Proceedings of the 19th All-Russian scientific and technical conference*. 15–18 April 2024, Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2024, p. 171-177. (In Russ.). EDN: ZJKLRS.



Информация об авторе / Information about the author



Рупосов Виталий Леонидович,

кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Россия,

✉ ruposov@istu.edu

<https://orcid.org/0000-0003-2202-9034>

Vitaliy L. Ruposov,

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia,

✉ ruposov@istu.edu

<https://orcid.org/0000-0003-2202-9034>

Вклад автора / Contribution of the author

Автор выполнил исследовательскую работу, на основании полученных результатов провел обобщение, подготовил рукопись к печати.

The author performed the research, made a generalization on the basis of the results obtained and prepared the copyright for publication.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

The author declares no conflict of interests.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the author.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 28.10.2025; одобрена после рецензирования 14.11.2025; принята к публикации 26.11.2025.

The article was submitted 28.10.2025; approved after reviewing 14.11.2025; accepted for publication 26.11.2025.