

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ,
ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Научная статья

УДК 553.077

EDN: RVPXPZ

DOI: 10.21285/2686-9993-2025-48-1-112-121



Определение ураганных проб на основании модального анализа

В.Л. Рупосов^а^а*Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия*

Резюме. Проведение анализа ураганных проб требует особой внимательности, поскольку при подсчете запасов возможны ошибки, которые могут привести к необоснованному занижению или завышению запасов на участке рудного поля и сильно исказить истинную картину экономической состоятельности месторождения твердых полезных ископаемых. Наиболее часто применяемые методы определения ураганных проб основаны на статистическом анализе, позволяющем математически обосновать выявление выделяющихся из общего ряда проб. Тем не менее в некоторых случаях для месторождений третьей и четвертой групп сложности нужно использовать модифицированные методы построения гистограммы для выявления ураганных проб. Целью данного исследования являлась демонстрация возможности использования модального анализа, который позволяет выделить низкочастотные значения на гистограмме. Для удобства расчета количества классов были предложены формула и графический способ определения данного значения. Помимо частотного, проводился анализ пространственной составляющей распределения полезного компонента на месторождении, а также расположения ураганных проб на плане или разрезе. Данная методика позволяет определить пространственное скопление проб и в этом случае не относить их к ураганным. В статье продемонстрирована апробация указанного метода на основе россыпного месторождения золота, проведен расчет количества классов по предложенной методике, вычислены модальные значения, проведен пространственный анализ с использованием метода обратных взвешенных расстояний.

Ключевые слова: ураганные пробы, частотный статистический анализ, модальный анализ, пространственный анализ опробования

Для цитирования: 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.

APPLIED MINING AND PETROLEUM FIELD GEOLOGY,
GEOPHYSICS, MINE SURVEYING AND SUBSOIL GEOMETRY

Original article

Unusually high sample determination based on modal analysis

Vitaliy L. Ruposov^а^а*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

Abstract. The analysis of unusually high samples requires special accuracy, since possible errors in calculating reserves can lead to unjustified underestimation or overestimation of reserves at the ore field site and significantly distort the true picture of the economic viability of the solid mineral deposit. The most commonly used methods for determining unusually high samples are based on statistical analysis, which makes it possible to justify mathematically the identification of outstanding samples. Nevertheless, in some cases, modified histogram construction methods should be used for deposits of the third and fourth complexity groups to identify unusually high samples. The purpose of this study is to demonstrate the possibility of using modal analysis enabling identification of low-frequency values on a histogram. To make the calculation of the number of classes more convenient a formula and a graphical method for determining this value are proposed. In addition to the frequency analysis, the spatial component of the useful component distribution at the deposit is analyzed, as well as the location of unusually high samples on the plan or section. This method allows to determine the spatial clustering of samples and not to classify this case as unusually high samples. The article demonstrates the testing of this method based on a placer gold deposit. The number of classes is calculated according to the proposed methodology, modal values are calculated, and a spatial analysis is carried out using the inverse distance weighted method.

© Рупосов В.Л., 2025



Keywords: unusually high samples, frequency statistical analysis, modal analysis, spatial sampling analysis

For citation: 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.

Введение

Проблеме проведения анализа ураганных проб посвящено множество исследований. Сложно перечислить все подходы, которые были сформированы и предложены разными учеными, встречаются в литературе и обобщения. Так, в работе А.М. Прерис «Определение и учет ураганных проб» описано 42 подхода к решению обозначенной проблемы [1]. Исследования влияния ураганных проб на результаты подсчета запасов месторождений продолжают по сей день, для этого используются различные методы. Например, В.И. Снетков и А.А. Соловьев предлагают использование моделирования методом Монте-Карло [2, 3].

Использование статистических методов еще с середины XX в. повысило внимание к различным аспектам анализа моделей случайных распределений. Наибольший интерес вызывают асимметрические распределения, особенно с правой асимметрией [4–7], поэтому чаще всего ураганными значениями считают очень высокие пробы, отражающиеся на гистограмме в виде низкочастотных крайне правых значений. Часто исследователи используют методики, основанные на особенностях нормального распределения, к примеру, правило трех сигм, как называют использование тройного стандарта [5, 1]. Тем не менее Л.И. Шаманский отмечал, что не всегда данные опробования по месторождению соответствуют симметричному (гауссовскому) распределению. В настоящее время можно утверждать, что это происходит крайне редко. Использование логнормального распределения привело к появлению отдельных методов. Так, при внедрении геоинформационных технологий стали применять метод дезинтеграции и корректировки по среднему Сихеля [2, 8], однако хорошо он себя зарекомендовал только при логнормальном распределении.

Для анализа распределения проб массово применяют гистограмму, которая позволяет анализировать частоту встречи крайне низких или высоких проб [1, 4–6, 8–12]. Помимо гистограммы, исследователи используют график накопленной частоты (предполагается, что ураганная проба будет относиться к горизонтальной площадке на непрерывно возрас-

тающей кривой) [5, 8]. Такой метод основан на анализе характера изменения коэффициента вариации.

Можно выделить два этапа работы с ураганными пробами: на первом определяется такой критерий, как отнесение пробы к ураганной, на втором – значение, заменяющее ураганную пробу. Целью данного исследования являлось формирование метода отнесения пробы к ураганной с учетом неоднородности опробования и пространственного распределения оруденения.

На первом этапе к ураганным пробам можно отнести все единичные пробы, во много раз превышающие нормальное содержание и приводящие к существенному искажению истинного среднего [1]. Отмечается, что наибольшее влияние такие пробы оказывают на блоки с малым количеством разведочных выработок. Затем производится попытка дать расшифровку понятию «нормальное содержание» и приблизиться к пониманию истинного среднего [1].

Наряду с этим предложено взять пробу повторно. Если использовать контрольную часть керна, то полученные результаты оказываются близки к ураганной пробе. Тем не менее провести дополнительную скважину в некоторых случаях невозможно, поскольку процессы прохождения разведочных выработок завершены, техника может не присутствовать на месторождении, к тому же для проведения указанных исследований требуется создание нового проекта разведочных работ. В связи со снижением издержек на геологоразведочные работы владельцы компаний не желают нести дополнительные затраты. Получается так, что данные методы, несмотря на очень высокую достоверность, не применимы в современных условиях.

По мнению исследователя В.А. Филонюка, ураганные пробы являются не ошибкой опробования, а свойством сложного геологического поля, строение которого нелинейное, возможно, фрактальное [13]. Сложность иерархии рудных образований и несоответствие системы разведки природной неоднородности приводят к появлению проб, которые сильно превышают средние значения по месторо-



ждению, поэтому разведка сложных месторождений должна проводиться с учетом разных уровней иерархии рудного поля и сложности его формирования. Для этого в настоящее время реализуются методы опробования, основанные на исследованиях разных уровней иерархии (например, использование кустов скважин для понимания разных иерархических уровней оруденения) [14].

Еще одним надежным способом анализа ураганных проб является использование средневзвешенных формул определения содержаний, особенно убедительно он проявил себя при анализе бороздовых проб (Н.К. Скаковский) [1] и там, где есть возможность определить вес пробы на основе каких-либо количественных факторов. В случае с одиночной пробой без возможности внести вес данный подход не может быть применен. Применение метода интерполяции с помощью обратных квадратов взвешенных расстояний не дает эффекта, вес ураганной пробы при малых расстояниях до данной точки становится наиболее высоким, и проба сильно выделяется на фоне среднего значения. Необходимо понимать, что при использовании линейной интерполяции на основе триангуляции еще больше необоснованно завышаются объем запасов и значение содержания полезного компонента по сравнению с методом обратных расстояний. В настоящее время в геологии можно встретить не очень характерные для данной науки методы, пришедшие, к примеру, из финансового менеджмента (например, метод межквартильного размаха) [5].

Материалы и методы исследования

На первом этапе исследования необходимо было определить, какие пробы относятся к ураганным. В работе А.М. Прерис [1] большое внимание уделяется методу выборочной статистики (статистических испытаний), или Монте-Карло, благодаря которому сделан вывод о том, что определение ураганных проб должно происходить через расчеты определенных порогов, при выходе значения за которые происходит их выявление. Большое влияние при применении данного метода оказывает количество проб в выборке. С ростом их числа порог становится выше, а выявленных ураганных проб меньше. Поэтому был сделан вывод о том, что ураганные пробы выявляются только при небольшом количестве опробований.

Указанный подход приводит к ошибке в определении среднего содержания – оно уменьшается эквивалентно количеству измерений, вернее на \sqrt{n} , чем подчеркивает нелинейную зависимость.

Такие исследователи, как Г.С. Букуров, З.Д. Низгурецкий и Ю.Ф. Перов использовали модальное значение для обоснования порога выявления ураганной пробы [1]. Они использовали тезис А.Б. Каждана, согласно которому ураганные пробы могут обладать как сверхвысокими значениями, так и очень низкими при введении показателя ε , позволяющего определить как верхний $+\varepsilon$, так и нижний $-\varepsilon$ порог, отображаемые на графике распределения. Для того чтобы метод был работоспособным и универсальным, было предложено выявлять этот показатель не от среднего и не от медианы, а используя модальное значение. Идея заключалась в том, что если в выборке будут содержаться пробы как со сверхвысоким, так и с очень маленьким значением, влияние на среднее содержание будет нейтрализоваться, а если будут встречаться только значения выше $+\varepsilon$, то среднее по данному блоку будет завышаться, значения же меньше $-\varepsilon$ будут снижать среднеарифметическое содержание.

А.М. Прерис выступает с критикой данного подхода, так как при опробовании месторождения редко встречаются случаи, когда значение проб соответствуют гауссовскому распределению. Правоасимметричные распределения имеют множество проб, которые не влияют на общее среднее, зато при смещении модального значения влево получаем большее количество высоких значений, которые можно отнести к ураганным, при этом смещение их среднеарифметического в большую сторону весьма существенно, что приводит к необоснованному занижению запасов.

При исследовании сложных месторождений на гистограмме часто появляются дополнительные модальные значения, которые не позволяют однозначно интерпретировать, от какой моды необходимо откладывать ε , что не дает этому способу стать универсальным. При этом анализ низкочастотных модальных значений как способ определения ураганных проб заслуживает внимания. При построении гистограммы можно наблюдать наличие низкочастотных значений, уходящих в правую или в левую сторону от среднего. В результате мы видим распределение с несколькими модальными значениями. При этом основная мода



может быть во много раз выше, чем крайние модальные значения, которые выпадают из основного ряда. Задача определения ураганных проб в этом случае сводится к вычислению количества классов гистограммы и определению низкочастотных модальных значений.

Если второй вопрос решается однозначно через аналитический расчет моды

$$M_o = x_{M_o} + h \frac{f_{M_o} - f_{-1}}{(f_{M_o} - f_{-1}) + (f_{M_o} - f_{+1})}, \quad (1)$$

где x_{M_o} – начало модального интервала; f_{M_o} – частота модального интервала; f_{-1} – предмодальная частота; h – величина интервала; f_{+1} – послемодальная частота, то по определению количества классов нет однозначного ответа, при этом существующие методы не удовлетворяют некоторым особенностям высококонтрастных месторождений [9, 15].

На сегодняшний день можно выделить несколько наиболее популярных методов определения количества классов k , в основном зависящих от числа значений выборки n [16, 17]. Так, правило Стерджесса основывается на расчете через логарифм:

$$k = 1 + \log_2(n). \quad (2)$$

Кроме того, используют эмпирическую формулу, которая выглядит следующим образом:

$$k = 1 + 3,32 \lg(n). \quad (3)$$

Правило Райса позволяет повысить количество классов, при больших значениях числа проб

$$k = 2\sqrt[3]{n}. \quad (4)$$

Еще большее количество классов можно получить при использовании правила квадратного корня, который рассчитывается по следующей формуле:

$$k = \sqrt{n}. \quad (5)$$

Тем не менее все указанные способы не учитывают случаев, когда при большом значении ураганной пробы на гистограмме отображаются только два крайних класса, в которые попадают все значения: в один класс – низкочастотное (возможно, единственное крайне высокое значение), другой класс содержит все остальные данные. При возникновении данной ситуации прибегают к использованию эмпирического правила, когда количество классов выбирается между 5 и 20, обеспечивая таким образом наглядность.

Количество классов для выборок проб, содержащих ураганные значения, должны быть увеличены. Необходимо учитывать разброс

данных, который может быть учтен через значения коэффициента вариации [18, 19]. При сильной неоднородности рудного поля показатель может быть крайне высоким, поэтому необходимо повышать количество классов для такого ассиметричного распределения. В результате исследования различных месторождений с ураганными пробами [11, 20–22] предлагается использовать следующую формулу для расчета количества классов с учетом неоднородности данных за счет введения в формулу значения коэффициента вариации V :

$$k = \frac{1.5 + \frac{1}{\log_5 V}}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Благодаря использованию данного показателя количество классов будет увеличиваться в зависимости от значения относительного разброса V , при этом для нормального закона распределения, когда $V = 25\%$, будет соответствовать показателю по правилу квадратного корня (5).

Результаты исследования и их обсуждение

Для иллюстрации работы рассмотренного метода анализа были проведены расчеты на примере опробования россыпного месторождения золота третьей категории сложности. Рудное поле было опробовано 79 скважинами, определено содержание золота в песках, среднее содержание составляло 4022 мг/м³, коэффициент вариации был равен 209%. Для корректного использования метода была построена гистограмма, определено количество классов. При использовании классического метода (2) получилось 9 классов, при использовании выведенной формулы (6) количество классов составило 11.

По данным распределения значений выборки по классам, представленным в таблице, составлена гистограмма (рис. 1), на которой были выделены несколько модальных значений.

С использованием формулы (1) были вычислены величины модальных значений (на графике их четыре): $M_{o1} = 2400$ мг/м³, $M_{o2} = 12417$ мг/м³, $M_{o3} = 27448$ мг/м³, $M_{o4} = 48035$ мг/м³.

В результате анализа было определено, что к ураганным пробам можно отнести низкочастотные моды, находящиеся в правой части, это крайне правый столбец, соответствующий самому высокому классу с одной попавшей в данный класс пробой, и два столбца с двумя значениями проб, отнесенных к данным классам. К третьему модальному значению относятся



Распределение значений выборки по классам Sample value distribution by classes

Номер класса	Границы классов, мг/м ³		Количество	Частота	Накопленная частота
	Нижняя	Верхняя			
1	0	4575	64	0,810	0,81
2	4575	9150	6	0,076	0,886
3	9150	13724	1	0,013	0,899
4	13724	18299	3	0,038	0,937
5	18299	22874	0	0	0,937
6	22874	27449	2	0,025	0,962
7	27449	32024	2	0,025	0,987
8	32024	36599	0	0	0,987
9	36599	41173	0	0	0,987
10	41173	45748	0	0	0,987
11	45748	50323	1	0,013	1
Всего	–	–	79	1	–

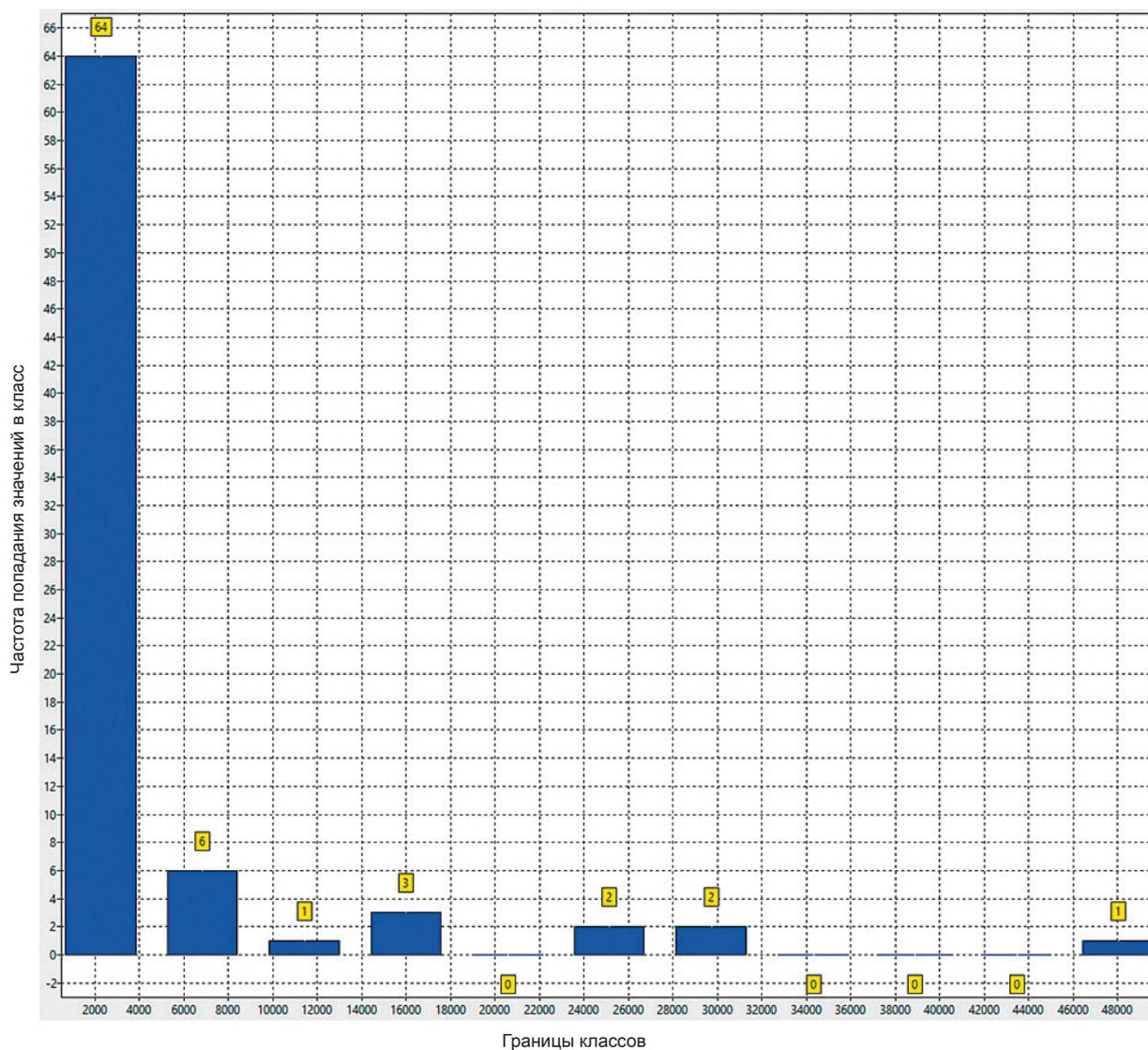


Рис. 1. Гистограмма частоты проб по классам
Fig. 1. Histogram of sample frequency by classes



пробы из скважин 15 (со значением содержания 23674), 20 (значение содержания – 28694 мг/м³), 39 (значение содержания – 23848 мг/м³), 74 (значение содержания – 23848 мг/м³), к четвертой моде относится значение содержания 50323 мг/м³ из скважины 75.

К определению ураганных проб необходимо подходить комплексно и смотреть не только на статистические показатели выборки, но и на пространственные зависимости. Если все пробы с высоким значением содержания полезного компонента и небольшой частотой, которые показаны крайне правыми столбцами

на гистограмме, на местности удалены друг от друга и разделены пробами с более низкими значениям содержаний, то их появление является случайным и не имеет пространственной зависимости. Для примера были выделены 5 ураганных проб. Поскольку необходимо было проверить, являются ли они пространственно независимыми, был построен план с цветовой картой, выполненной по методу обратных взвешенных расстояний со степенным коэффициентом, равным двум. На план были нанесены исходные данные с подписями номеров точек (рис. 2).

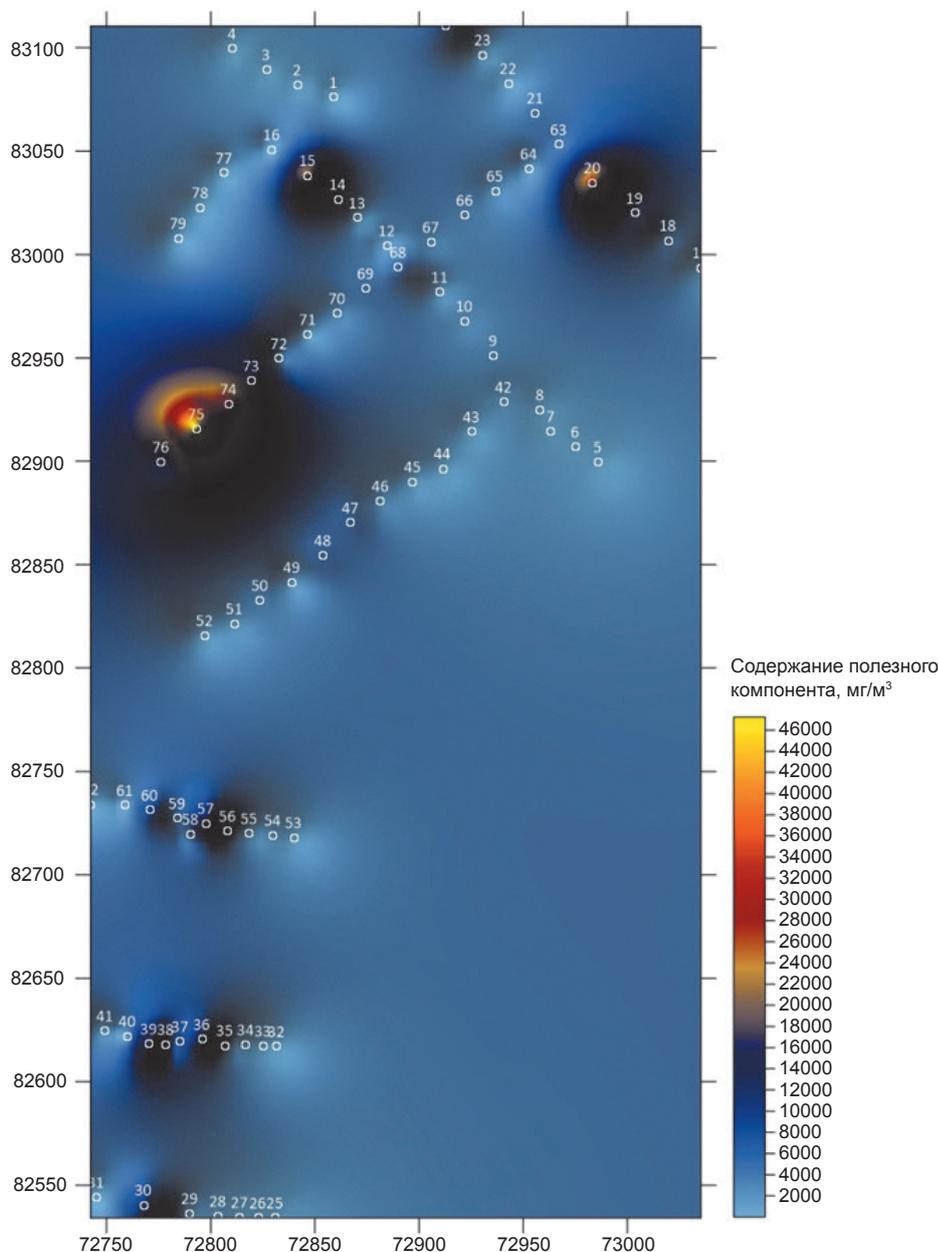


Рис. 2. План опробования участка рудного тела с положением разведочных скважин и интерполяцией методом обратных взвешенных расстояний
Fig. 2. Ore body section sampling plan with the position of exploration boreholes and inverse distance weighted interpolation



Для анализа пространственных зависимостей были выбраны самая высокая и низкочастотная пробы с номером скважины 75. Как показано на рис. 2, рядом с данной пробой находится другая ураганная проба с номером скважины 74. При этом значение в скважине 76 составляет 14544, что в 3,6 раза превышает среднее содержание по блоку. Благодаря этому можно считать, что данные пробы формируют богатый участок недр и не могут быть отнесены к ураганным. Следовательно, ураганными пробами будут являться только пробы из 15, 20 и 39 скважины. Как показано на представленном плане, соседние пробы являются у таких скважин близкие к среднему по месторождению или ниже.

Заключение

В результате использования рассмотренного метода можно получить эффективный инструмент, позволяющий определять ураганные пробы на основании статистической методики

расчета модальных значений на основе построения гистограммы. Для определения количества классов гистограммы необходимо принимать во внимание не только размеры выборки (объем полученных проб), но и коэффициент вариации, позволяющий учитывать изменчивость параметра. Для различных значений объема выборки и коэффициентов вариации был построен график (рис. 3), который можно использовать для быстрого определения количества классов при построении гистограммы.

Еще одним выводом проведенного исследования является высокая зависимость определения ураганных проб от их пространственного расположения, что ранее (при использовании статистических методов) не учитывалось. Если предполагаемые ураганные пробы находятся рядом, то необходимо анализировать их в комплексе с соседними пробами, и если различие невысокое, то данные значения нужно учитывать без исправления при подсчете запасов. Роль геостатистиче-

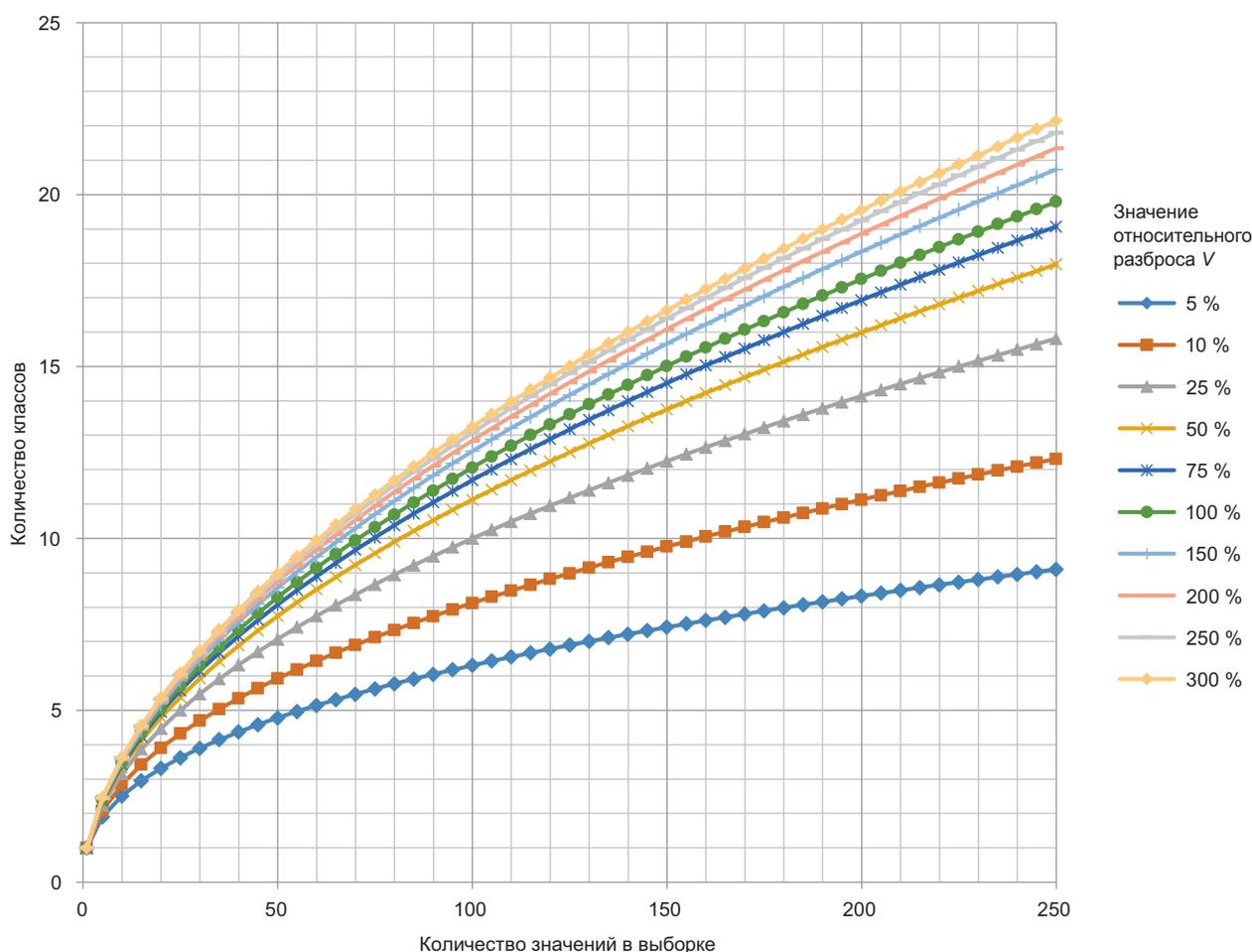


Рис. 3. Зависимость количества значений классов для построения гистограммы от коэффициента вариации по формуле (6)

Fig. 3. Number of class values for histogram construction vs variation coefficient according to formula (6)



ской особенности распределения полезного компонента в пространстве остается высокой и зачастую определяющей при анализе ураганных проб.

Список источников

1. Прерис А.М. Определение и учет ураганных проб. М.: Недра, 1974. 104 с.
2. Снетков В.И., Соловьев А.А. Оценка представительности данных разведки на месторождении «Ожерелье» с позиций теории случайных функций // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2013. № 2. С. 37–43. EDN: RTGRWD.
3. 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.
4. Козин В.З., Комлев А.С. Эффекты опробования, связанные с асимметрией распределений массовых долей компонентов в точечных пробах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 11-1. С. 107–118. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_111_0_107. EDN: EZSIQJ.
5. Вьяльцев 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.
6. Полевский А.Ю., Дмитрак Ю.В., Момаков Е.В. Использование инструментов построения всенаправленных вариограмм в ГИС Micromine для золото-сульфидных месторождений с весьма сложным распределением золота // Маркшейдерия и недропользование. 2023. № 2. С. 20–28. https://doi.org/10.56195/20793332_2023_2_20_24. EDN: USGVIS.
7. Конышев В.О. Опыт оценки погрешностей опробования и совершенствование методологии разведки месторождения с бананцевым распределением золота // Отечественная геология. 2004. № 6. С. 4. EDN: HSELHN.
8. Живулько А. Подавление ураганных содержаний при оценке минеральных ресурсов // Золото и технологии. 2018. № 2. С. 46–49. EDN: YBMMKD.
9. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд / пер. с англ. Л.: Недра, 1980. 360 с.
10. Сатыбеков М.Б., Зарлыков А.К., Шамшиев О.Ш. Влияние метода оценки и ограничения выдающихся проб на вывод среднего содержания // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2024. № 1. С. 80–91. <https://doi.org/10.56634/16948335.2024.1.80-91>. EDN: IPTPTM.
11. Конышев В.О. К методике оценки содержания Au в рудопроявлениях с крупным золотом Ортон-Балыксинского района, Кузнецкий Алатау // Руды и металлы. 2014. № 2. С. 44–64. EDN: SAHZQD.
12. Гончаренко С.Н. Построение индикаторной модели интерпретации границ геологических и рудных областей минерализации месторождения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 5. С. 184–196. <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2021-5-184-197>. EDN: SJJCAF.
13. Филонюк В.А. Некоторые философские аспекты развития современного научного знания // Новые идеи в философии. 1996. № 5. С. 113–118. EDN: EHINYH.
14. Пат. № 725656, Российская Федерация, G01V 9/00. Способ разведки золото-кварцевых жил / В.А. Филонюк, Н.Н. Блинков, Л.П. Власьевский. Заявл. 1985.06.07; опубл. 20.05.1999.
15. Кумбс Д. Искусство и наука оценки запасов. Перт: Coombes capability, 2008. 231 с.
16. Лобач В.И. Учет выдающихся подсчетных параметров на основе статистической неоднородности рудных месторождений // Руды и металлы. 2007. № 4. С. 42–49. EDN: KYJNRB.
17. Малютин Ю.А. Особенности моделирования зон минерализации по геологоразведочным данным // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2020. № 5. С. 45–54. EDN: HKULWJ.
18. Карпенко И.А., Куликов Д.А., Черемисин А.А. Повариантный подсчет запасов для ТЭО освоения и кондиций по месторождению Сухой лог и направления его последующей геолого-экономической оценки // Руды и металлы. 2008. № 2. С. 37–56. EDN: KYJOGV.
19. Сунцев А.С. О достоверности опробования россыпи по разведочным скважинам // Вопросы науки и образования. 2020. № 11. С. 6–8. EDN: OHASHY.
20. Чemezov В.В. О достоверности и представительности результатов разведки россыпей // Разведка и охрана недр. 2006. № 3. С. 29–32. EDN: KKNTCZ.
21. Засько Ю.Е. Геолого-маркшейдерские исследования запасов россыпного золота Верхне-Аркагалинского природно-промышленного комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. № 8. С. 37–39. EDN: MVCIXN.
22. Абатурова И.В., Петрова И.Г., Болтыров В.Б., Клокова Ю.В. Особенности проведения экологической оценки на месторождениях рудного золота в Иркутской области и Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 11-1. С. 5–17. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_111_0_5. EDN: EHXPZ.

References

1. Preris A.M. *Identification and accounting of high grade samples*. Moscow: Nedra; 1974, 104 p. (In Russ.).
2. Snetkov V.I., Soloviev A.A. Random function theory evaluation of Ozherelye field exploration data representativeness. *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*. 2013;2:37-43. (In Russ.). EDN: RTGRWD.
3. Snetkov V., Soloviev 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.

4. Kozin V.Z., Komlev A.S. Sampling effects related to the asymmetry of distributions of mass fractions of components in point samples. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2022;11-1:107-118. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_111_0_107. EDN: EZSIQJ.

5. Vyaltsev A.S., Kiryakov G.A. Techniques for determining extremely high grades in the estimation of mineral resources. *Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya*. 2024;6:41-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.38281>. EDN: VJQJCX.

6. Polevsky A.Yu., Dmitrak Yu.V., Monakov E.V. Using micromine omnidirectional semivariogram building tools for gold-sulfide deposits with very complex gold distribution. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2023;2:20-28. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2023_2_20_24. EDN: USGVIS.

7. Konyshov V.O. Experience of sampling error evaluation and development of methodology to explore a deposit with bonanza gold distribution. *Otechestvennaya geologiya*. 2004;6:4. (In Russ.). EDN: HSELHH.

8. Zhivul'ko A. High grade suppression in mineral resource estimation. *Zoloto i tekhnologii*. 2018;2:46-49. (In Russ.). EDN: YBMKKD.

9. David M. Geostatistical ore reserve estimation. Amsterdam: Elsevier, 1977, 364 p. (Russ. ed.: *Geostatisticheskie metody pri otsenke zapasov rud*. Leningrad: Nedra; 1980, 360 p.).

10. Satybekov M.B., Zarlykov A.K., Shamshiev O.Sh. Effect of scoring method and limitation of outstanding samples on the inference of mean content. *Proceedings of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov*. 2024;1:80-91. (In Russ.). <https://doi.org/10.56634/16948335.2024.1.80-91>. EDN: IPTPM.

11. Konyshov V.O. On evaluation methodology of Au contents in ore occurrences with large gold in the Orton-Balyksinsky district, Kuznetsk Alatau. *Ores and Metals*. 2014;2:44-64. (In Russ.). EDN: SAHZQD.

12. Goncharenko S.N. Construction of an indicator model of boundaries interpretation of geological and ore areas of the deposit mineralization. *Izvestiya Tula State University*. 2021;5:184-196. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2021-5-184-197>. EDN: SJJCAF.

13. Filonyuk V.A. Some philosophical aspects of modern scientific knowledge development. *Novye idei v filosofii*. 1996;5:113-118. (In Russ.). EDN: EHINYH.

14. Filonyuk V.A., Blinkov N.N., Vlas'evskii L.P. *An exploration method of gold-quartz veins*. Patent RF, no. 725656; 1999. (In Russ.).

15. Coombes J. *The art and science of reserve estimation*. Pert: Coombes capability; 2008, 231 p. (In Russ.).

16. Lobach V.I. Accounting for outstanding calculation parameters based on statistical heterogeneity of ore deposits. *Ores and Metals*. 2007;4:42-49. (In Russ.). EDN: KYJNRB.

17. Malyutin Y.A. Features of modeling of mineralization zones based on geological exploration data. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya*. 2020;5:45-54. (In Russ.). EDN: HKULWJ.

18. Karpenko I.A., Kulikov D.A., Cheremisin A.A. Reserve variant calculation for the feasibility study of Sukhoi Log deposit development, conditions and directions of subsequent geological and economic assessment. *Ores and Metals*. 2008;2:37-56. (In Russ.). EDN: KYJOGV.

19. Suntsev A.S. On reliability of placer sampling in exploratory wells. *Problems of Science and Education*. 2020;11:6-8. (In Russ.). EDN: OHASHY.

20. Chemezov V.V. On reliability and representativity of placer exploration results. *Prospect and protection of mineral resources*. 2006;3:29-32. (In Russ.). EDN: KKNTCZ.

21. Zas'ko Yu.E. Geological and surveying studies of Verkhne-Arkagalinsky natural-industrial complex placer gold reserves. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2001;8:37-39. (In Russ.). EDN: MVCIXN.

22. Abaturova I.V., Petrova I.G., Boltyrov V.B., Klokova Ju.V. Features of environmental assessment at ore gold deposits in the Irkutsk region and Yakutia. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2022;11-1:5-17. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_111_0_5. EDN: EHXPZ.

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,
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 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 21.02.2025; одобрена после рецензирования 10.03.2025; принята к публикации 21.03.2025.

The article was submitted 21.02.2025; approved after reviewing 10.03.2025; accepted for publication 21.03.2025.