

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПРОБ НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЙ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ

*Дан анализ влияния густоты сети наблюдений, размеров проб, их объема, ориентировки и конфигурации на наблюдаемую изменчивость содержаний полезных компонентов в рудах на примере штокверкового месторождения. Показано, что ведущим фактором, определяющим характер наблюдаемой изменчивости на месторождениях с высокой степенью прерывистости и анизотропным характером изменчивости содержания, является ориентировка проб. Совпадение ориентировки проб с преобладающей ориентировкой рудных прожилков в одном направлении приводит к резкому увеличению случайной составляющей изменчивости. **Ключевые слова:** наблюдаемая изменчивость, штокверковые месторождения, ориентировка прожилков, геометрия проб.*

Makarcheva A.A. (MGRI-RGGRU)

INFLUENCE OF THE GEOMETRY SAMPLES FOR QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF VARIABILITY OF MINERAL CONTENT

*There was an analysis of the effect of the density of the observation network, sample sizes, their size, orientation and configuration of the observed variability of the mineralization in stockwork ores on the example of the deposit. There it was shown that the main factor determining the nature of the observed variability in the fields with a high degree of discontinuity and the anisotropic nature of the variability of the content, it is the orientation of the samples. There was a coincidence orientation samples ore veins predominant orientation in one direction leads to a sharp increase in the variability of the random component. **Keywords:** the observed variability, stockwork deposit, veinlets orientation, geometry samples.*

Геологические процессы представляют собой совокупность физических, химических и биологических явлений, между которыми существуют сложные причинно-следственные связи, поэтому свойства геологических образований зависят от множества факторов и часто характеризуются сильной изменчивостью [1].

Изменчивость геологических, технологических и горнотехнических свойств скоплений полезных ископаемых определяет методику, последовательность и технику проведения геологоразведочных работ, выбор наиболее эффективных способов технологии разработки и переработки минерального сырья, влияет на технико-экономические показатели освоения месторождений.

На основе количественных характеристик изменчивости оруденения решаются важные методические вопросы разведки: обосновывается форма и густота разведочной сети, определяются оптимальные размеры и ориентировка отбираемых проб, оцениваются погрешности подсчета запасов полезных ископаемых [2].

Важно различать понятия природной изменчивости свойств геологических объектов и наблюдаемой изменчивости по результатам проведенных исследований.

Под понятием природной изменчивости понимается фактическая изменчивость геологических объектов, обусловленная сложностью процессов их образования. Это явление столь сложного и многопланового характера, что полное его количественное описание практически невозможно [1]. Наблюдаемая изменчивость отражает детальность наших представлений об изменчивости реально существующего объекта в зависимости от его природной сложности и условий проведения экспериментальных наблюдений. Влияние методики разведки на наблюдаемую изменчивость весьма существенно.

Изменчивость изучаемого признака состоит из закономерной и случайной составляющих, которые связаны с наличием неоднородностей в строении геологических объектов и дискретностью сети наблюдений при их изучении. Под неоднородностью понимается не вскрытая на осуществленном этапе изучения структура геологического объекта [7]. Когда размеры областей наблюдения превышают размеры истинных элементов неоднородности на один-два порядка или сопоставимы с ними, результаты наблюдений приобретают случайный характер. Если размеры областей наблюдения заведомо меньше истинных элементов неоднородности, в результатах наблюдений появляется закономерная составляющая изменчивости признака, выявление которой — основная цель моделирования геологических полей [1]. С уменьшением расстояния между точками наблюдения доля закономерной изменчивости изучаемого признака должна увеличиваться, а случайной — уменьшаться [2].

Для расчета характеристик изменчивости используется различный математический аппарат. Силу изменчивости выражают такие статистические характеристики как коэффициент вариации и дисперсия. Локальная случайная составляющая изменения свойств в пространстве характеризуется величиной коэффициента эффекта самородков при аппроксимации вариограмм. Закономерная составляющая изменчивости описывается трендом — функцией, выражающей зависимость значений изучаемого признака от координат пространства.

Соотношение случайной и закономерной составляющих изменчивости зависит от природных свойств изучаемых геологических образований, густоты сети наблюдений, размеров проб, их объема, ориентировки и конфигурации [1]. Эти факторы в большей или меньшей степени освещены в литературе, однако работ, в которых рассматривается совместное влияние, мало. Так, например, пробы малого объема могут включать в себя только полезный минерал или только пустую породу. Соответственно содержания в этих пробах будут либо очень высокими, либо нулевыми. Таким образом, изменчивость содержаний полезного компонента в этом случае будет максимальной. При увеличении объема проб значения содержаний по пробам будут выравниваться, что приведет к снижению изменчивости. Влияние конфигурации и размера проб на дисперсию содержаний рассматривалось Матероном [4] на основе понятия «линейного эквивалента пробы». Суть заключается в том, что, например, проба кубической формы может состоять или из рудного минерала, или из пустой породы, а линейная проба того же объема включает в

себя как рудные, так и безрудные интервалы. А.Б. Каздан [3] отметил, что при анизотропном строении залежи следует учитывать и ориентировку проб. Нельзя недооценивать и влияние природных свойств полезных ископаемых на количественные характеристики изменчивости. Изменчивость содержаний полезных компонентов зависит от генетического и морфологического типа месторождения, геологических и физико-химических условий рудообразования и других факторов. Важной пространственной характеристикой изменчивости, отражающей геологические особенности внутреннего строения скопления полезного ископаемого, является плавность изменений свойств по мере перехода от одного пункта наблюдения к другому. Плавность является определяющим свойством закономерной изменчивости. Отсутствие плавности изменения содержаний свидетельствует о прерывистости оруденения. Чем больше прерывистость и выше неравномерность пространственного размещения скопления полезных ископаемых, тем более высокой степенью изменчивости обладает ее количественная характеристика, полученная по результатам анализов проб [3].

Для месторождений разной геологической природы и различных видов минерального сырья количественные характеристики изменчивости существенно различаются. Соответственно существуют объекты с прерывистым характером оруденения, например, штоковёрковые месторождения с прожилковыми текстурами. В большинстве случаев рудный минерал на штоковёрках сосредоточен в прожилках, что подразумевает прерывистость оруденения.

Рассмотрим штоковёрк Крутой Пыркайского оловоносного узла. Штоковёрк Крутой представляет собой линейную систему трещин протяженностью около 1000 м, в которой прожилки отличаются крутым падением и меридиональным простиранием. Мощность прожилков в пределах штоковёрка изменяется от первых миллиметров до 10–15 см, средняя мощность 4 см, расстояние между ними составляет 20–25 см. Длина прожилков — 10–15 м. Практически весь касситерит локализован в прожилках. На штоковёрке был создан участок детализации площадью 130×195 м, разбуренный вертикальными буровзрывными скважинами глубиной 10 м по сети 5×5 м. В пробу отбирался материал с каждые 5 м. Вкрест простирания штоковёрка были пройдены и опробованы канавы через 20–40 м с длиной пробы 1 м [5, 6].

Из рис. 1 видно, что содержание олова по разному меняется в соседних скважинах. Коэффициент вариации составил 79,9 %, что свидетельствует о высокой изменчивости содержаний олова по пробам, отобранным по буровзрывным скважинам. При пространственном анализе характера изменчивости было установлено, что на штоковёрке Крутой тренд практически не проявлен и описывает около 7 % от общей дисперсии, по критерию Фишера признан статистически незначимым. Величина коэффициента эффекта самородков при аппроксимации вариограммы составила 0.88. Коэффициент эффекта самородков показывает отсутствие связи между близкорасположенными участками руд, т.е. он может являться показателем прерывистости оруденения.

Малая доля закономерной составляющей изменчивости и весьма большая случайной составляющей на штоковёрке Крутой сохраняется даже при густоте сети опробования 5×5 м. Большая величина коэффициента эффекта самородков свидетельствует об отсутствии непрерывности оруденения.

Такая ситуация на штоковёрке Крутом связана с тем, что рудные прожилки практически вертикальны и буровзрывные скважины то же вертикальны, что приводит к резкому различию содержаний олова в соседних скважинах.

Было изучено влияние геометрии проб и густоты сети на характеристики изменчивости содержаний олова. Для этого были использованы результаты бороздowego опробования канав на участке детализации. В отличие от буровзрывных проб бороздовые пробы отобраны по направлению максимальной изменчивости, т.е. изменяется ориентировка проб. Также не будут совпадать длина и соответственно объем пробы. Поэтому чтобы изучить влияние ориентировки пробы, была предпринята попытка уравнивать буровзрывные и бороздовые пробы по длине и, следовательно, приблизить их объемы. Было рассмотрено два варианта:

длина пробы 1 м (результаты опробования) — отличаются от проб буровзрывных скважин по длине, объему и ориентировке.

длина пробы 5 м (содержания олова были осреднены) — в данном случае исключается различие по длине проб.

По бороздовым пробам с осредненными значениями содержаний на длину пробы 5 м, равную длине буровзрывных скважин, коэффициент вариации составил $K_{vb} = 79,4 \%$. Это говорит о том, что сила изменчивости содержаний олова по пробам достаточно велика. Закономерная составляющая, описанная полиномом 4 по-

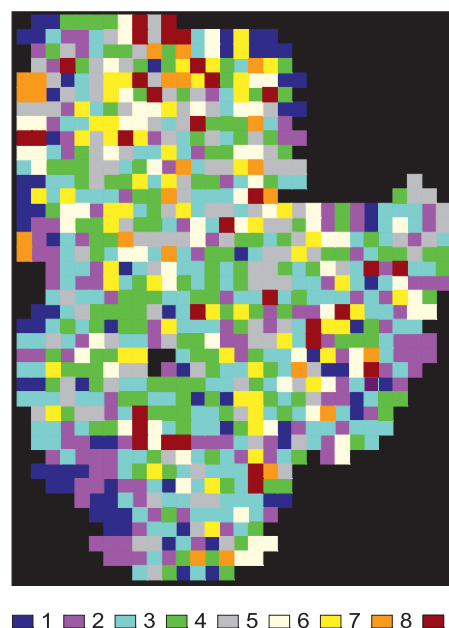


Рис. 1. Штоковёрк Крутой: сортный план по результатам опробования буровзрывных скважин: классы содержаний (%): 1 — <0.05, 2 — 0.05–0.10, 3 — 0.10–0.15, 4 — 0.15–0.20, 5 — 0.20–0.25, 6 — 0.25–0.30, 7 — 0.30–0.40, 8 — 0.40–0.50, 9 — >0.50

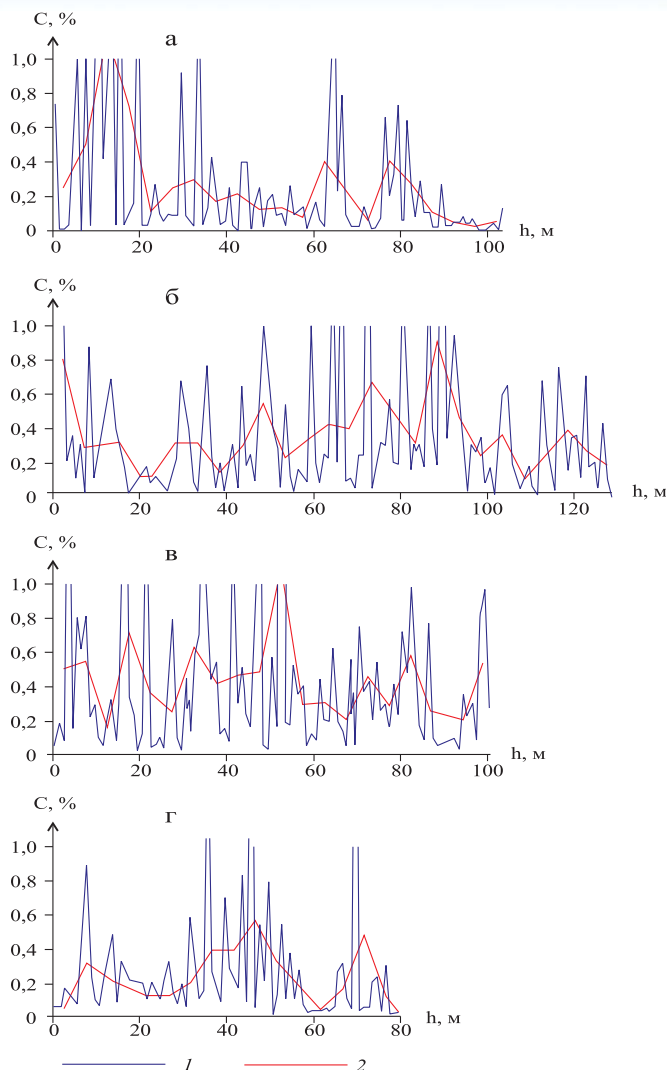


Рис. 2. Результаты бороздового опробования по каналам (а — г), пройденным на участке детализации: длина пробы: 1 — 1 м, 2 — 5 м

рядка, по коэффициенту Фишера признается значимой и составляет 22,37 % от общей дисперсии, эффект самородков достаточно высок, но ниже, чем по скважинам — 73 %. Такое его значение может объясняться наличием на штокверке неоднородностей более высокого порядка, чем те, что улавливаются пробами длиной в 5 м. Исходя из значений закономерной и случайной составляющих изменчивости олова, можно судить о наличии непрерывности в рудах, которая сильно затушевывается значительной долей случайной изменчивости.

Полученная по результатам исследования 5-метровых бороздовых проб, отобранных по анизотропному, внутреннему строению в направлении максимальной изменчивости, закономерная составляющая значительно превышает таковую, рассчитанную по данным буровзрывных скважин. Это обусловлено именно ориентировкой бороздовых проб вкрест простирания минеральных прожилков, в то время как вертикальные буровзрывные скважины ориентированы субпараллельно их падению.

Из данного примера видно, какое значительное влияние оказывает ориентировка проб на наблюдаемую

изменчивость. На значение закономерной составляющей изменчивости влияют густота сети отбора проб, длина, объем проб и их ориентировка. Соответственно, чем гуще сеть — тем доля закономерной составляющей выше; то же самое верно для длины и объема. При малой длине проб уменьшается их объем. Это приводит к увеличению дисперсии, а, следовательно, и к увеличению величины случайной составляющей. При сравнении данных параметров по 5-метровым бороздовым пробам и пробам буровзрывных скважин в первом случае сеть опробования реже, объем проб меньше, следовательно, и закономерная составляющая должна быть ниже. В действительности же она выше за счет ориентировки линий отбора проб.

По 1-метровым бороздовым пробам сечением 5×10 см закономерная составляющая, описанная ортогональным полиномом 4-го порядка, по коэффициенту Фишера признается незначимой и составляет 5,41 % от общей дисперсии. При оценке локальной закономерной составляющей получена вариограмма, характерная для случайной изменчивости. Это говорит о том, что

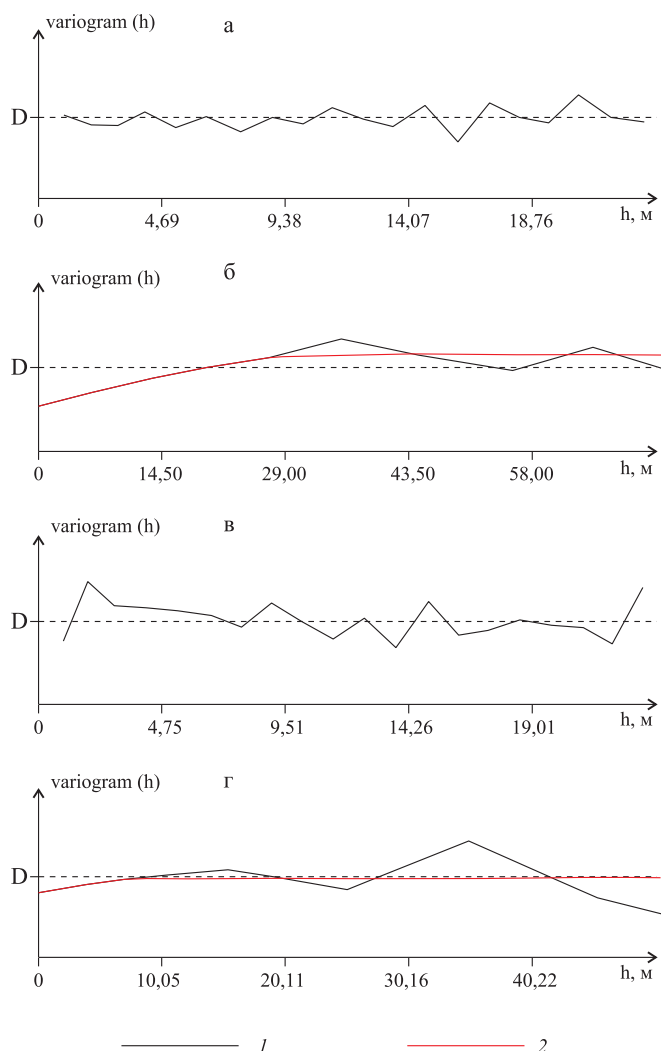


Рис. 3. Модели вариограмм по бороздовым пробам, отобранным по каналам на штокверке Крутой: а — канава К-256, длина пробы 1 м; б — канава К-256, длина пробы 5 м; в — канава К-258, длина пробы 1 м; г — канава К-258, длина пробы 5 м; 1 — график вариограммы; 2 — вид аппроксимирующей функции

при длине бороздовых проб 1 м велика доля случайной составляющей изменчивости.

По результатам исследований проб длиной 1 и 5 м построены графики отдельно по каждой канаве (рис. 2). На графиках видно, что по пробам длиной 1 м плавного изменения содержания олова не наблюдается. При этом по пробам длиной 5 м по некоторым канавам (например, К-258) выявляются участки с повышенными содержаниями, что позволяет отмечать некоторые закономерности распределения олова.

Для большей убедительности можно сравнить графики вариограмм, вычисленные без элиминирования тренда, по канавам К-256 и К-258 при длине проб 1 и 5 м (рис. 3). Эффект самородков вариограмм, построенных по данным опробования с длиной проб в 1 м, выше, чем по данным опробования с длиной проб 5 м.

При сгущении сети наблюдений случайная составляющая изменчивости олова должна уменьшаться, а закономерная — расти. Но в данной ситуации, наоборот, растет величина случайной составляющей. Отчасти это объясняется тем, что при детализации длина и объем проб уменьшаются. Это приводит к увеличению дисперсии и соответственно к увеличению случайной составляющей. Такая ситуация характерна для месторождений с прожилково-вкрапленными текстурами, обладающих высокой степенью прерывистости и опробованных системой небольших проб, размеры которых заведомо меньше пустых интервалов между соседними прожилками, а сами прожилки во много раз меньше линейных размеров проб [2].

Следовательно, бороздовые пробы длиной 1 и 5 м улавливают закономерности разных структурных уровней. Метровые пробы характеризуют размещение рудных прожилков, а 5-метровые — их скопления. Соответственно при описании неоднородности на уровне прожилков для уменьшения доли случайной изменчивости и увеличения закономерной надо сокращать рас-

стояния между соседними наблюдениями, т.е. сгущать сеть до размеров, соизмеримых с элементами неоднородности — прожилками, а это первые сантиметры (средняя мощность прожилков на штокверке Крутой составляет 4 см), что представляется практически невозможным. Следовательно, даже при весьма детальном опробовании с длиной пробы 1 м наблюдаемая изменчивость не будет адекватна абсолютной изменчивости содержаний олова в штокверке.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

при анализе изменчивости признака надо изучать все аспекты, влияющие на нее, в том числе и анизотропию строения изучаемого объекта;

для описания изменчивости на месторождениях с высокой степенью прерывистости и анизотропным характером изменчивости содержания первостепенное значение будет иметь ориентировка проб, а не их длина и объем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каждан, А.Б. Математические методы в геологии: учебник для вузов / А.Б. Каждан, О.И. Гуськов. — М.: Недра, 1990. — 251 с.
2. Каждан, А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых / А.Б. Каждан. — М.: Недра, 1974. — 272 с.
3. Каждан, А.Б. Разведка месторождений полезных ископаемых / А.Б. Каждан. — М.: Недра, 1977. — 327 с.
4. Матерон, Ж. Основы прикладной геостатистики / Ж. Матерон. — М.: Мир, 1968. — 408 с.
5. Павловский, А.Б. Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых. Олово: учебное пособие / А.Б. Павловский, И.Г. Печенкин, И.Г. Луговская. — М.: ВИМС, 2015. — 52 с.
6. Утин, П.П. Отчет о геологоразведочных работах на штокверках Пыркакайского оловоносного узла с подсчетом запасов по состоянию на 1 июля 1980 г. / П.П. Утин. — Магадан, 1980. — 364 с.
7. Четвериков, Л.И. Оценка анизотропии геологических объектов / Л.И. Четвериков. // Вестник ВГУ. Серия: Геология. — 2000. — № 9. — С. 26–31.

© Макарчева А.А., 2016

Макарчева Александра Анатольевна // ogon.ok@mail.ru

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.83:550.814

Семенова М.П., Цирель В.С. (ФГУНПП «Геологоразведка»)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АЭРО-ГЕОФИЗИКИ

Развитие беспилотной аэрогеофизики базируются на достижениях науки и новых технологий XXI столетия, позволяющих создавать беспилотные аппараты, геофизическую аппаратуру, методы управления съемкой, системы сбора, обработки и интерпретации данных. Рассматриваются конструктивные и технические особенности беспилотной аэрогеофизики, современное состояние систем геофизических измерений с использованием беспилотных носителей, приводятся результаты проведенных исследований, намечаются пути дальнейшего развития данной

*отрасли. **Ключевые слова:** беспилотная аэрогеофизика, беспилотный летательный аппарат, аэромагниторазведка, аэроэлектроразведка, аэрогамма-спектрометрия, электромагнитные помехи, экономическая эффективность.*

Semenova M.P., Tsirel V.S. (Geologorazvedka)
DEVELOPMENT PROSPECTS UNMANNED AIR GEOPHYSICS

There has been the development of unmanned air geophysics based on the achievements of science and new technologies of XXI century, allowing creating drones, geophysical equipment, shooting management, collection, processing and interpretation of data. There were considered constructive and technical features of unmanned aero geophysics, the current state of geophysical measurement systems using unmanned vehicles, the