

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ»

На правах рукописи

МАКАРЧЕВА Александра Анатольевна

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ШТОКВЕРКОВОГО ТИПА

Специальность: 25.00.11. – Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения

Диссертация
На соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
кандидат геолого-минералогических наук
профессор О.И. Гуськов

Москва 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список иллюстраций	Ошибка! Закладка не определена.
Список таблиц	Ошибка! Закладка не определена.
Введение.....	3
1. Особенности геологического строения штокверковых месторождений	7
1.1. Термин «Штокверк»	7
1.2. Классификация штокверковых месторождений.....	10
Исходя из определенных целей и задач,	10
1.3. Группа признаков, влияющих на методику разведки.....	12
1.4. Описание геологического строения месторождений с прожилковыми текстурами использованных в исследованиях.....	13
1.4.1. Месторождение Первомайское, молибденовый штокверк...	13
1.4.2. Месторождение Шерловая гора.....	16
1.4.3. Штокверк «Крутой» Пыркаайского оловоносного узла	18
2. Изменчивость оруденения штокверковых месторождений	22
2.1. Методологические основы описания изменчивости геологических объектов	22
2.2. Методы описания изменчивости рудных объектов	29
2.3. Характеристика изменчивости конкретных штокверковых месторождений.....	32
2.3.1. Штокверк Первомайский.....	33
2.3.2. Штокверк Шерловая гора.....	36
2.3.3. Штокверк Крутой Пыркаайского оловоносного узла	40
2.3.4. Сравнительная характеристика изменчивости изучаемых объектов	44
2.4. Влияние геометрии проб на количественные характеристики изменчивости содержаний полезных компонентов	48
3. Методы геометризации участков кондиционных руд на месторождениях с прерывистым характером оруденения	57
3.1. Метод сглаживания скользящим окном.....	58
3.2. Тренд-анализ	59
3.3. Кригинг	60
3.4. Индикаторный кригинг	61
3.5. Выбор оптимального метода сглаживания	62
3.5.1. Осреднение (сглаживание) методом скользящего окна.....	62
3.5.2. Осреднение методом линейного кригинга	69
3.5.3. Осреднение методом двойного кригинга	77
3.5.4. Осреднение методом индикаторного кригинга	86
4. Осреднение (сглаживание) результатов бороздового опробования	105
4.1. Метод скользящего окна.....	105
4.2. Метод линейного кригинга.....	108
5. Рекомендации по методике оценки штокверковых месторождений.....	114
Заключение	116
Список литературы	119

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время, для многих полезных ископаемых ведущим морфологическим типом становится штокверковый тип. Данный тип объектов обладает особыми структурно-морфологическими свойствами и прерывистым характером оруденения, которые с достаточной детальностью устанавливаются только при высокой плотности разведочной сети, получаемой в результате проведения сопровождающей эксплуатационной разведки. Несмотря на невысокие содержания полезных компонентов данный тип характеризуется крупными запасами и возможностью открытой отработки, что, в свою очередь делает возможным, получения дешевых концентратов. Штокверковый тип является ведущим для медно-порфировых месторождений, месторождений молибдена, вольфрама и олова.

Возможны два подхода отработки открытым способом [63]:

- отработка «валовым способом» - со сплошным извлечением руды в контуре штокверка,
- отработка селективная – с разделением участков рудных тел на кондиционную руду и породы внутренней вскрыши.

Штокверковые месторождения в большинстве случаев разведываются буровыми скважинами, а подсчет запасов производится в обобщенном контуре с применением коэффициента рудоносности, что предполагает возможность селективной отработки. В Методических рекомендациях по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых (2007г) для цветных, благородных, редких и радиоактивных металлов указано на необходимость на месторождениях, оценка запасов которых проводится с использованием коэффициента рудоносности, создавать участки детализации, где «на основании определения пространственного положения, типичных форм и размеров участков балансовых руд, а также распределения запасов по мощности рудных интервалов должна быть оценена возможность их селективной выемки [48]. Однако, вопрос о методах

анализа данных, полученных на участках детализации, и критериях оценки возможности селективной отработки месторождений в ныне действующих нормативно-методических документах и литературе, посвященной геолого-экономической оценке месторождений детально не рассмотрен. А отсутствие такого обоснования может привести к неправильной геолого-экономической оценке месторождений.

В связи с этим возникает необходимость разработать методику оценки возможности селективной отработки штокверковых месторождений по данным геологоразведочных работ.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- изучить особенности геологического строения штокверковых месторождений, влияющие на методику их разведки и оценки;
- выбрать оптимальные методы моделирования изменчивости параметров оруденения;
- оценить влияние геометрии проб на количественные характеристики изменчивости;
- на основе моделирования изменчивости разработать методику выделения объектов пригодных и непригодных для отработки селективным способом;
- сформулировать рекомендации по методике разведки и оценки штокверковых месторождений.

Поставленные задачи решались путем изучения литературных данных, применением и дальнейшим сопоставлением результатов моделирования изменчивости содержаний полезных компонентов. Исследования по изучению изменчивости свойств изучаемых объектов проведены с использованием математических методов, в том числе геостатистических моделей и тренд-анализа. При описании изменчивости в пределах слоя (горизонта отработки) рассматривается ее закономерную и случайную составляющие. Первая из них описывается поверхностью тренда – полинома 4 порядка, значимость которого оценивалась по критерию Фишера. Далее с использованием вариограмм оценивалась изменчивость признака; в рамках этой процедуры определялись

характеристики вариограмм, в том числе – эффект самородков. Проводились расчеты средних содержаний, коэффициентов рудоносности, запасов руды и металла традиционным методом и геостатистическими методами – кригинга, двойного кригинга, индикаторного кригинга и скользящего окна. Также изучались зависимости характеристик изменчивости содержаний и запасов руды от значения коэффициента рудоносности. Все геостатистические процедуры моделирования и оценивания проводились в программе GST3.02 (автор Мальцев В.А.), апробированной в ГКЗ РФ.

В качестве объектов исследований были выбраны: штокерк Первомайский (молибден), месторождение Шерловая гора (олово) и штокерк Крутой Пыркайского оловорудного рудного узла (олово). На этих объектах созданы участки детализации или имеются в наличии результаты отработки, по которым проведено изучение их параметров по сети 5-6х5-6м. Для каждого из объектов приведены характеристики их геологического строения.

В работе также был проведен анализ основных особенностей строения 17-ти штокерковых месторождений, которые заключаются, главным образом, в ориентировке рудных прожилков. Эта особенность оказывает непосредственное влияние на выбор системы разведки.

Результаты проведенных исследований позволили показать, что вопрос о возможности селективной отработки должен решаться на основе детального изучения структурных особенностей рудовмещающих прожилков, влияющих на характер изменчивости содержаний полезных компонентов.

На штокерковых месторождениях с крутыми углами падения прожилков выявлена низкая представительность результатов опробования на участках детализации, созданных путем бурения вертикальных буровзрывных скважин. Такие месторождения стоит отрабатывать «валовым способом», если это экономически выгодно, или селективно, но укрупненными блоками, выделенными путем геостатистического моделирования.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые продемонстрирована необходимость дифференцированного подхода к оценке штокверковых месторождений на основе методов математического моделирования их свойств.

1. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ШТОКВЕРКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1.1. Термин «Штокверк»

Термин «штокверк» появился в XVI веке в Саксонии. Условием для отнесения месторождения к штокверковому типу являлась текстура руды, выраженная сложной сетью мелких рудных прожилков в сопровождении более или менее интенсивной тонкой вкрапленности рудных минералов, а также форма – неправильная, обычно близкая к изометричной.

В XX веке к этому типу месторождений стали относить месторождения рассеянных руд – это медно-порфировые, а также другие месторождения вкрапленных руд.

Так следует рассмотреть, как на протяжении XX века в литературе определялось понятие «штокверк»:

«...сами по себе представляют некоторое разнообразие, обнаруживая отчасти в неправильном распределении, отчасти вдоль трещин и щелей, отчасти в виде концентрических слоев, полосы (шлиры, струи) пород, бедных полевым шпатом, называемых грейзеном. Они состоят главным образом из кварца и слюды, а вместо полевого шпата содержат оловянный камень. Некоторые массы породы совершенно выполнены оловянным камнем, распределенным в ней в виде пыли, так что вся порода, называемая рудокопами Zwitter, вырабатывается в качестве руды. В других местах гранит совсем изрезан небольшими кварцевыми жилами, вдоль и внутри которых рудное содержание оказывается весьма значительным. Совокупность этих различных форм оловянного месторождения называют штокверком» [15].

«Штокверк (нем. Горный термин) – рудное тело неправильной формы (чаще изометрической), представляющее собой густую сеть различно ориентированных рудных прожилков, прорезывающих массу породы. Обычна также вкрапленность рудных минералов» [8].

«Самый термин «штокверк» появился в Рудных горах Саксонии, в связи с разработкой месторождений Альтенберг, Гейер и др. Считается, что трещиноватость штокверка Альтенберг не имеет никакой системы и является совершенно причудливой. Личный осмотр этого месторождения автором (но без точного изучения трещиноватости) показал, что микротрещиноватость этого месторождения принадлежит трем или четырем системам» [37].

«Штокверки, так же, как и штоки, представляют собой относительно крупные рудные тела, имеющие в общем примерно одинаковые размеры по трем измерениям. Отличие штокверков от штоков в основном заключается в том, что первые из них несут прожилково-вкрапленное оруденение, а вторые сложены массивными рудами» [52].

«Под «штокверком» подразумевается относительно крупное генетически и пространственно единое геологическое тело, обычно неправильной формы с нечеткими границами, в котором слагающие его породы пронизаны густой сетью различно ориентированных рудных прожилков, сопровождаемых вкрапленностью рудных минералов. В некоторых штокверках преобладает субпараллельная ориентировка прожилков» [57].

«Под штокверком рекомендовано понимать геологическое тело с нечеткими контурами, в пределах которого массив горных пород насыщен закономерно ориентированными рудными прожилками и вкрапленностью рудных минералов» [73].

«Штокверк представляет собой относительно изометричный блок горной породы, пронизанный мелкими жилками и насыщенной вкрапленностью минерального вещества; такая горная порода с прожилками и вкраплениями ценных минералов добывается целиком – как полезное ископаемое» [65].

«ШТОКВЕРК (a. stockwork; н. Stockwerk; ф. stock-werk, gisement en masse, amas entrelace; и. stockwork) рудное тело, образованное массой горной породы, пронизанной густой сетью различно ориентированных жил и мелких прожилков, содержащих рудные минералы; такие же минералы в фоР вкраплений обычно находятся в породах, пересекаемых прожилками» [10].

«Штокверки – это большеобъемные (от сотых долей до $n \cdot 1 \text{ км}^3$) блоковые структуры, сложной формы, насыщенные жилами, прожилками и участками вкрапленной рудной минерализации, пригодными для валовой отработки. Они могут быть изотропными, если величина изменчивости по всем трем системам разрезов одинаковая, или анизотропными при различной степени изменчивости. Анизотропное строение чаще всего обусловлено развитием разноориентированных систем трещин с рудной минерализацией» [49].

«Штокверки – рудные тела различной формы, сложенные рудами с прожилково-вкрапленными текстурами» [67].

Исходя из данных определений, можно сделать вывод, что ориентировка рудных прожилков на штокверках может быть как различная, так и иметь закономерный характер. Это достаточно важный момент, который оказывает непосредственное влияние на выбор системы разведки.

В таблице 1 приведены примеры штокверковых месторождений и характер ориентировки рудных прожилков на этих месторождениях [57].

Таблица 1

Примеры штокверковых месторождений

Название месторождения	Полезное ископаемое	Ориентировка рудных прожилков
Коунрад	Cu	Различно ориентированные прожилки
Алмалык	Cu	Различно ориентированные прожилки
Боцекуль	Cu	Различно ориентированные прожилки
Агарак	Mo	Различно ориентированные прожилки
Каджаран	Cu Mo	Преобладают крутопадающие прожилки северо-западного и северо-восточного простирания
Сора	Mo	Различно ориентированные крутопадающие прожилки
Первомайское	Mo	Различно ориентированные прожилки
Шалгия	Mo	Различно ориентированные

Название месторождения	Полезное ископаемое	Ориентировка рудных прожилков
		прожилки
Джанет	Mo	Различно ориентированные прожилки
Булуктаевское	Mo- W	Различно ориентированные прожилки
Инкур	W	Преобладают крутопадающие прожилки северо-восточного простирания
Шерловая гора	Sn	Различно ориентированные прожилки
Тарбальджейское	Sn	Преобладают крутопадающие прожилки северо-западного простирания
Ипчульское	Mo	Преобладают крутопадающие прожилки близширотного простирания
Богуты	W	Преобладают крутопадающие прожилки субмеридионального и северо-восточного простирания
Бурановское	W	Преобладают крутопадающие прожилки северо-западного простирания
Пыркакайские штокверки	Sn	Преобладают крутопадающие прожилки субмеридионального простирания

Следует заметить, что на большей части месторождений углы падения и ориентировка рудных прожилков все-таки различны. Но встречаются штокверки с ориентировкой падения рудных прожилков в одном направлении. (Пыркакайские штокверки, Бурановское и др.)

1.2. Классификация штокверковых месторождений

Исходя из определенных целей и задач, разными авторами предлагались классификации штокверковых месторождений, в основу которых были заложены различные аспекты. Ниже приведены некоторые из них [50,57,73]:

По полезным компонентам:

- Монометалльные: Cu, Mo, W, Sn, Hg, Au

- Полиметалльные: Cu-Mo, Mo-W, W-Sn, Sn- полиметаллический, Pb-Zn, редкометалльные.

По площадям горизонтального сечения:

- Крупные $>0,8 \text{ км}^2$
- Средние $0,8-0,1 \text{ км}^2$
- Мелкие $0,1-0,01 \text{ км}^2$

По форме:

- Штокообразные тела, близкие к изометричным;
- Столбообразные, удлиненные по вертикали тела, приуроченные к местам пересечения тектонических нарушений;

- Уплощенные пологозалегающие тела, напоминающие пластообразные залежи;

- Линейные крутопадающие тела (вытянутые по падению и простиранию);

По текстурным признакам:

- жильно-прожилковые;
- жильно-прожилково-вкрапленные;
- гнездо – прожилково – вкрапленные;
- вкрапленно – метасоматические;

По плотности прожилков (по числу прожилков на 1 м) на штокверке:

- высокой плотности (более 10);
- средней плотности (3-10);
- низкой плотности (менее 3);

По мощности прожилков:

- тонкопрожилковые (от 1мм до 1см)
- жильно-прожилковые (от 5-10 до 20-30 см и более)
- штокверки с промежуточным значением мощности прожилков (1-5 см)

По типу рудоконтролирующих тектонических структур:

по Б.С. Чернову [74]:

1) Штокверки в линейных тектонических трещинах:

- в тектонических зонах одного направления;

- в участках сопряжения двух тектонических зон;

2) Штокверки в радиально – кольцевых трещинах, связанных с механической активностью магмы:

- в апикальных частях интрузивных массивов;
- в штоках малых интрузий и в субвулканитах;
- в магматических телах кольцевого строения;
- в трубках взрыва;

по В.А. Невскому [50]:

- штокверковые тела различной формы, приуроченные к тектоническим трещинам отрыва и скалывания (к одной, двумя, тремя системам трещин);
- штокверковые тела различной формы, приуроченные к контракционным трещинам;
- штокверковые тела различной формы, приуроченные к радиальным и концентрическим трещинам;
- штокверковые тела различной формы, приуроченные к трещинам различной генетической природы (тектонические, контракционные, трещины сложного генезиса);
- неправильной формы тела в контакте массивов с вмещающими породами, приуроченные к трещинам, возникшим вследствие локального увеличения объема пород;

Похожие классификации по внутреннему строению были разработаны Вольфсоном и Яковлевым [6], Щербой [79], Дружининым [19].

Данные систематики учитывают особенности штокверковых месторождений, но по отдельности они непригодны для вопросов разведки.

1.3. Группа признаков, влияющих на методику разведки

Соответственно, на основе этих классификаций и самого понятия штокверк следует выделить группу признаков, влияющих на методику их разведки.

К этим признакам будут относиться [36,56]:

- форма штокверка - влияет на выбор класса разведки, т.е. на ориентировку разведочных разрезов, определяет форму ячейки разведочной сети;

- прерывистость оруденения – оказывает влияние на выбор системы отработки, а также густоту разведочной сети;

- текстура руд - влияет на выбор группы и вида разведки, т.е. на расположение разведочных пересечений в разрезе и применение технических средств разведки, а также на плотность разведочной сети. Также по виду текстуры можно делать выводы о возможности избирательного истирания керна.

Для прожилковых текстур следует обращать внимание на ориентировку рудных прожилков и угол падения рудных прожилков. Эти признаки будут определять геометрию проб.

Влияние данных признаков и их изменчивости на систему разведки будет подробно рассмотрено далее. Особенные трудности возникают при разведке штокерковых месторождений с прожилковыми текстурами, поэтому основное внимание в этой работе уделяется именно им.

1.4. Описание геологического строения месторождений с прожилковыми текстурами использованных в исследованиях

1.4.1. Месторождение Первомайское, молибденовый штокер

Джидинское, рудное поле, в пределах которого находится Первомайский штокер, находится в юго-западной части Западного Забайкалья. Оно приурочено к массиву гранит-порфиров и вмещающих их кварцевых диоритов и ороговикованных сланцев. Оно включает три месторождения: Первомайский молибденовый штокер, Инкурский вольфрамовый штокер и Холтасонское вольфрамовое жильное месторождение [69].

Основная часть молибденового штокера приурочена к апикальной части небольшого гранит-порфирового интрузива, внедрившегося в зону контакта кварцевых диоритов со сланцами. Оруденение локализуется преимущественно на участках максимальной трещиноватости в гранит-порфирах и частично в ороговикованных сланцах и кварцевых диоритах. Формирование молибденового штокера происходило на ранней стадии рудоотложения до образования

крупных лампрофировых даек, кварцево-вольфрамовых жил и прожилков с вольфрамитом и шеелитом.

По форме молибденовый штокверк представляет собой неправильное, уплощенное в вертикальном направлении тело, слегка вытянутое в северо-западном направлении и имеющее пологий наклон на северо-восток. В пределах штокверка выделяется одно рудное тело, имеющее значительную мощность в центральной части резко уменьшающуюся к флангам. Окисленные руды выходят на поверхность и только в юго-восточной части месторождения начинаются с глубины 10—20 м. Нижняя граница их весьма сложная: на отдельных участках она опускается на значительную глубину, на других поднимается почти до дневной поверхности [72].

Границы сульфидных руд нерезкие и выявляются только по результатам опробования. Наибольшая мощность рудного тела установлена на его северном фланге. К югу и востоку рудное тело выклинивается постепенно, к западу и к северу наблюдается тупое выклинивание [57].

По данным В.И. Игнатовича [20] оруденение в штокверке вкраплено – жильно – прожилковое. Преобладает прожилковый тип оруденения, вкрапленный – имеет подчинённое значение и образует скопления неправильной формы в гранитах [72]. Основную практическую ценность представляют кварцево-молибденитовые прожилки, в значительно меньшей степени более крупные кварцевые и кварцево-полевошпатовые жилы с молибденитом.

Ориентировка и размеры рудных прожилков отличаются большим разнообразием элементов залегания, причем отмечается приуроченность их к трещинам разрыва, по которым часто наблюдаются пострудные сбросовые перемещения. Длина прожилков колеблется от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Средняя длина прожилков составляет 5-15м. Мощность - от долей миллиметра до 5 см редко достигает 10 см. Наиболее часто встречаются прожилки мощностью от 0,5 до 1 см. Главным жильным минералом является кварц, в подчиненном количестве встречаются флюорит и мусковит, в виде единичных зерен - берилл, альбит, апатит и триплит. Основные рудные

минералы представлены молибденитом и пиритом, в меньшем количестве встречаются халькопирит, гематит, реже пирротин и сфалерит. Рудные минералы в большинстве своем локализованы в жилах и прожилках, но также в значительно меньшей степени в виде вкрапленности, которая, впрочем, никакого самостоятельного значения не имеет.

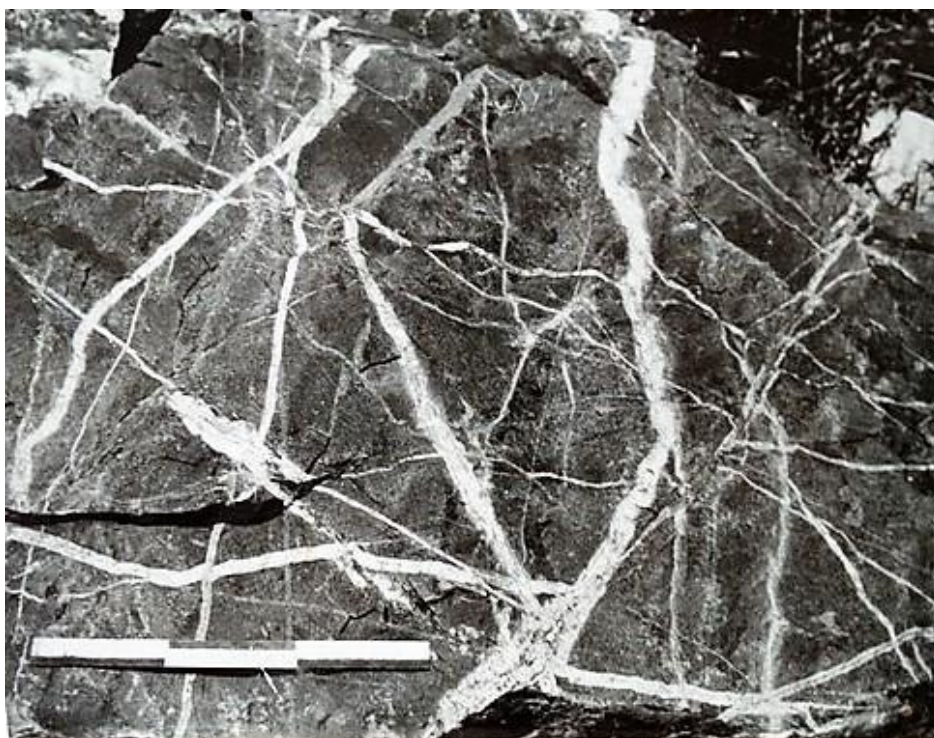


Рисунок 1. Разноориентированные рудные прожилки. Штокверк Первомайский.

Кварцево-рудные жилы с молибденитом обычно встречаются вблизи контакта сланцев с гранит-порфирами, размещаясь как в тех, так и в других. Они имеют небольшую протяженность по простиранию и падению. Углы падения большей частью пологие, направление падения обычно к центру интрузива. Характерно частое разветвление жил. Содержание молибдена в жилах нередко бывает довольно высоким. Характерными минералами рудных жил являются кварц, мусковит, розовый флюорит, молибденит и пирит. Кроме кварц-молибденитовых жил и прожилков, в пределах штокверка известно несколько крупных кварцево-вольфрамитовых жил, связанных с более поздней стадией минерализации, одновременной с образованием вольфрамового штокверка и жильного вольфрамового месторождения [73].

Отложение молибденита происходило в основном в две стадии. В первую образовались молибденитовые прожилки штокверка с кварцем, флюоритом и другими минералами и небольшие жилы с молибденитом, флюоритом, пиритом; во вторую стадию образовались крупные, но бедные по содержанию кварц-молибденитовые жилы. Распределение молибденита внутри промышленных контуров штокверка неравномерное, он может быть приурочен как к центральной части, так и к зальбандам прожилков или рассеян во всем объеме жильного кварца. Значительно реже чешуйки молибденита выходят за пределы прожилка вмещающие породы [17]. Зона окисления месторождения распространяется до глубины 20 м. Окисленный молибден составляет в среднем около 20% от общего содержания молибдена в рудах [57].

Месторождение отрабатывалось открытым способом. Сопровождающая эксплуатационная разведка осуществлялась вертикальными, буровзрывными скважинами по равномерной сети, близкой к 5×5 м. В пробу отбирался материал по 5-ти метровому интервалу по каждому уступу карьера. Так, рассматриваемый в работе участок представляет собой уступ карьера, равный по площади 190×190 м [3].

1.4.2. Месторождение Шерловая гора

Шерловогорское рудное поле находится в Восточном Забайкалье. Оно расположено в северо-восточной краевой части палеозойского Агинского массива, в районе стыка последнего с Харанорской депрессией, выполненной мезозойскими вулканогенно-осадочными отложениями и современными осадками. Район месторождения сложен эффузивно-осадочными породами палеозоя (порфириды, песчаники, сланцы) и мезозоя (кварцевые порфиры и песчано-сланцевые отложения), смятыми в крупные складки и разбитые разломами меридионального и северо-восточного простирания, сопровождающимися многочисленными оперяющимися трещинами [80].

Эффузивно-осадочные породы прорваны интрузиями варисских плагиогранитов, киммерийских аляскитовых гранитов - с которым и генетически

связано месторождение, дайками аплитов, кварцевых-порфиров и гранит-порфиров.

Месторождение находится в экзоконтакте Шерлоговорского массива в широкой зоне дробления, ороговикования и грейзенизации вмещающих кварцевых порфиров и диорит-порфиров.

Оловянная минерализация приурочена к небольшому штокообразному телу кварцевых порфиров и их туфов, частично проявляется в диоритовых порфирах и локализуется вблизи мощной зоны тектонических нарушений. Зона состоит из крупных разломов, трещин и различно ориентированной мелкой трещиноватости.

Наиболее крупными нарушениями, с которыми пространственно связано сульфидно – оловянное оруденение Шерловой горы, являются древний Северо-Восточный разлом и два более молодых сброса – Меридиональный и Северо-Восточный, разрывающие и смещающие первый. Древний разлом падает на северо-запад под углом 50° - 65° и простирается более чем на 2 км. Меридиональный сброс имеет восточное падение и срезает древний разлом вдоль западного фланга штокверка. Северо-Восточный сброс падает к юго-востоку и смещает древний разлом на южном участке месторождения, где сопровождается серией крупных трещин субмеридионального направления.

Считается, что древний Северо-Восточный разлом служил главным рудопроводящим каналом, причем наличие промышленных руд известно как в самом разломе, так и на участках вблизи него во вмещающих породах различного состава.

Главный оловоносный штокверк представляет собой неправильное тело, по форме напоминающее усеченный конус, обращенный вершиной вниз. Основная масса руд заключена в туфах повышенной трещиноватости и пористости. Границы промышленных руд расплывчатые и устанавливаются по результатам опробования.

Основным промышленным минералом месторождения является касситерит, хотя руды по своему составу комплексные и содержат также свинец, цинк и вольфрам. Наиболее распространенными гипогенными минералами, кроме

касситерита являются арсенопирит и сфалерит. Касситерит встречается в виде зерен или тонкозернистых агрегатов. Скопления касситерита обычно выполняют сеть тонких, быстро выклинивающихся различно ориентированных трещин. Интенсивность трещиноватости по месторождению неравномерная. С глубиной содержание олова понижается.

Для месторождения характерно широкое развитие процессов окисления сульфидных руд, которые распространяются до глубины 100м [73].

Месторождение разведано скважинами колонкового бурения по сети 60×60 м. Месторождение отрабатывалось открытым способом. Сопровождающая эксплуатационная разведка проводилась путем опробования шлама буровзрывных скважин по неравномерной сети, близкой к 5×5 м. В пробу отбирался материал по 5-ти метровому интервалу. Рассматриваемый в работе участок представляет собой часть уступа карьера, равный по площади 350×200 м [14].

1.4.3. Штокверк «Крутой» Пыркаайского оловоносного узла

Оловорудные месторождения Пыркаайского узла расположены в пределах Куйвиеем – Пыркаайского рудного района (Западная Чукотка). Оловянно-вольфрамовое оруденение развито в осадочных породах триасового возраста. В структурном отношении месторождения приурочены к надкупольной зоне нескрытого гранитного массива и локализованы в участках пересечения меридиональных зон трещиноватости с северо-западными и широтными разрывными структурами Оленинской зоны разломов северо-западного простирания. Месторождение гидротермального типа, касситерит кварцевой формации.

Штокверк «Крутой», расположенный в пределах Первоначального рудного поля, приурочен к северо - восточному крылу основной антиклинальной структуры данного поля и находится на его западном фланге в долине руч. Крутого. Вмещающие породы представлены, в основном, глинистыми сланцами, которые чередуются с невыдержанными по мощности и простиранию

прослойками алевролитов в нижней части разреза и прослоями песчаников в верхней. Зависимость оруденения от состава вмещающих пород отсутствует.

Интрузивные образования в штокверке представлены дайками лампрофиров, распространенными на его западном фланге.

Широким распространением в теле штокверка и на флангах пользуются породы гидротермально-, а также контактово-измененные: узловатые, пятнистые, кварц-хлоритовые, кварц-серицитовые и др. метасоматиты.

В плане штокверк «Крутой» вытянут в субмеридиональном направлении, падение крутое 70° - 90° на восток. Контур промышленного оруденения по протяженности составляет 950 м, средняя ширина – 150 м, размах оруденения по вертикали – 500 м.

Разрывные нарушения (преимущественным развитием пользуется мелкая трещиноватость) представлены системами меридионального, широтного, северо-западного и северо-восточного простирания, оперяющими широтные и северо-западные нарушения.

Основной рудовмещающей структурой штокверка является зона мелкой меридиональной трещиноватости, образующая линейную прожилковую систему и представленную двумя системами трещин:

1. Аз. пад. 80° - 100° , уг. пад. 75° - 90°
2. Аз. пад. 260° - 280° , уг. пад. 75° - 90°

Первая система является основной рудовмещающей и представлена серией параллельных трещин. Вторая система представлена тонкими притертыми трещинами, не несущими минерализации.

Основным промышленным минералом месторождения является касситерит, хотя руды по своему составу комплексные и содержат также вольфрам. Касситерит встречается в виде хорошо образованных кристаллов, в виде сплошных зернистых масс или мелкой рассеянной вкрапленности он встречается очень редко.

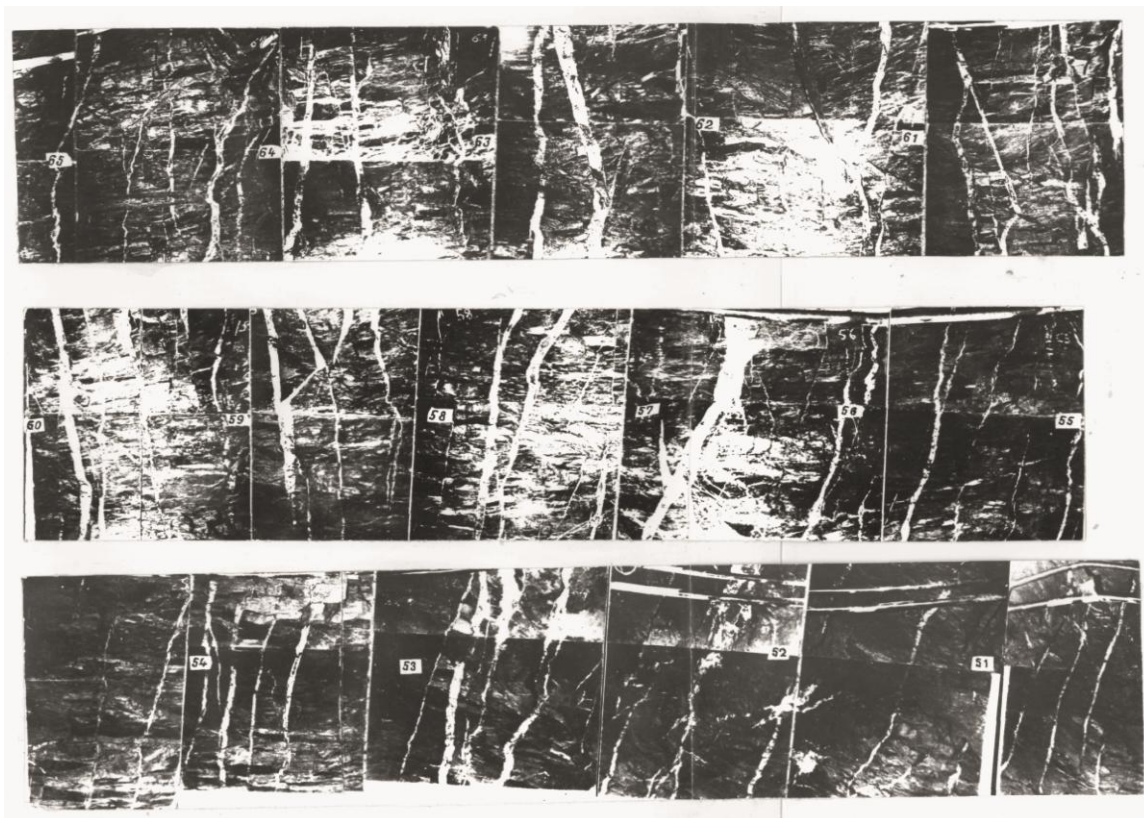


Рисунок 2. Параллельные трещины на штокверках Пыркаайского оловоносного узла.

Рудоносные трещины выполнены касситерит-кварцевой минерализацией. Средняя мощность прожилков 4 см. Длина от 1 до 30 м, средняя длина 10-15 м. Падение восточное с углом от 70° до 90° . Практически весь касситерит локализован в прожилках [53,70].

На штокверке был создан участок детализации площадью 130×195 м., разбуренный вертикальными буровзрывными скважинами глубиной 10м, по сети 5×5 м. В пробу отбирался материал с каждых пяти метров, таким образом, по результатам опробования были выделены две пятиметровые пластины – верхняя и нижняя.

Также на участке детализации вкрест простирания штокверка были пройдены и опробованы поверхностные горные выработки (канавы) через 20м-40м, с длиной пробы 1м.

Как видно, рассматриваемые выше штокверки отличаются друг от друга значениями признаков, влияющих на методику их разведки [70].

Так, штокверки будут отличаться по форме – Первомайский и Шерловая гора имеют изометричную форму, а штокверк Крутой линейную, но, так как все исследования проводились на участках детализации с равномерной сетью 5×5м, то в границах изучения можно все штокверки считать по форме близкими к изометричным.

Но главные различия связаны с текстурами данных штокверков. Так на штокверках Первомайский и Шерловая гора рудные прожилки разноориентированы, что, соответственно, свидетельствует о небольшой степени контрастности руд. При этом, на Первомайском штокверке имеются вкрапленные руды, что ещё понижает контрастность оруденения. На штокверке Крутой руды сугубо прожилковые с одной системой крутопадающих прожилков, следовательно, контрастные. Предположительно, эти отличия могут отразиться на характеристиках изменчивости.

2. ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ ШТОКВЕРКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

2.1. Методологические основы описания изменчивости геологических объектов

Выбор системы разведки базируется на изучении изменчивости некоторых характеристик штокверков. Соответственно, следует подробнее остановиться на исходных понятиях и положениях, относящихся к данному разделу.

Методологическими категориями разведки являются понятия элемент, структура и неоднородность.

Понятие элемента недр с точки зрения разведки относительно. В этом качестве может выступать любая отличная по вещественному составу, форме и размеру часть недр, ограниченная геологическими или целевыми границами, рассматриваемая как условно однородная, неделимая, т.е. относительно элементарная по признакам своего выделения.

Структура - взаиморасположение, пространственная взаимосвязь элементов внутри целого.

Неоднородность – нескрытая на осуществленном этапе изучения структура геологического объекта. Принципиальное отличие неоднородности от структуры состоит в том, что первая фиксирует только сам факт делимости объекта на части, не предполагая наличия связи между ними. Таким образом, понятие неоднородность включает в себя фактор неопределенности в пространственном взаиморасположении выделяемых элементов [76, с. 19-20].

Применительно к решению инженерно-геологических задач по масштабам проявления неоднородностей горных пород М.В. Рацем [59] выделяются:

- неоднородность массивов горных пород в пределах единой формации;
- неоднородность строения и состава горных пород в пределах одной пачки, ритма или слоя;
- неоднородность структуры горной породы и состава слагающих ее минералов;

- неоднородность кристаллов породообразующих минералов;

Рац [58,59] отмечает, что количество порядков неоднородности зависит от изучаемых свойств пород или особенностей решаемой задачи.

Каждому порядку неоднородности соответствует свой «элемент неоднородности», который на данном уровне изучения может условно рассматриваться как внутренне однородный в интересующем нас отношении [22].

Так, например, Л.И. Четвериков [76] предлагает выделять четыре структурных уровня в строении тел полезных ископаемых:

- уровень тела полезного ископаемого, на котором в качестве геологических элементов выступают зоны с различным оруденением, а точнее отдельные морфологически обособленные участки тел полезных ископаемых;

- уровень зоны (морфологически обособленной части тела) полезного ископаемого с геологическими элементами: рудными гнездами, прожилками и др;

- уровень локального обособления (текстуры руды), геологические элементы – отдельные минеральные агрегаты;

- уровень минерального агрегата (структура руды), геологические элементы – отдельные кристаллы и их сростки;

Таким образом, каждый уровень представляет собой определенный комплекс элементов, которые на данном уровне могут рассматриваться, как элементы неоднородности, т.е. как самостоятельные, условно однородные тела. В свою очередь, каждое такое «тело» состоит из более мелких элементов неоднородности, представляющих в совокупности следующий, более детальный уровень строения полезного ископаемого [21,76].

Классификация неоднородности, основанная на масштабах ее проявления, является не только условной, но и относительной, так как представление о степени однородности изучаемого объекта в каждом конкретном случае зависит от соотношения размеров элементов неоднородности и размеров тех проб, по которым производится изучение изменчивости свойств полезного ископаемого в недрах.

Соответственно, необходимо учитывать влияние размера проб на наблюдаемые характеристики изменчивости и классифицировать виды неоднородности по соотношению размеров элементов неоднородности к линейным размерам проб [26].

Такая классификация была предложена М.В. Рацем [58]. Он выделил три типа неоднородности:

- неоднородность высшего порядка – линейные размеры элементов неоднородности намного меньше линейных размеров проб, а их число в каждой пробе велико;
- эффективная неоднородность - линейные размеры элементов неоднородности примерно на порядок меньше линейных размеров проб, а их число в объеме пробы сравнительно невелико;
- неоднородность низшего порядка – линейные размеры элементов неоднородности превосходят линейных размеров проб;

Так, неоднородность высшего порядка не препятствует рассмотрению строения изучаемого объекта, как однородного, так как совокупность очень большого количества элементов неоднородности в объеме каждой пробы обеспечивает ей свойства однородной среды.

Эффективная неоднородность обуславливает разброс значений и статистическое распределение изучаемых свойств, полученных в результате испытаний проб. Наличие эффективной неоднородности позволяет рассматривать результаты испытания проб как случайные величины.

Неоднородность низшего порядка проявляется как особенность строения более крупной структурной единицы, размеры которой заведомо больше размеров отдельных проб. Она вызывает проявление неслучайной изменчивости изучаемых свойств.

Так, при изучении неоднородности высшего порядка по дискретной сети наблюдений она может проявляться как случайная или неслучайная (закономерная) изменчивость изучаемого свойства. Но обычно изменчивость изучаемого свойства проявляется как сумма обоих видов изменчивости, а доля

каждой из них зависит от степени равномерности строения полезного ископаемого и расстояния между смежными пунктами наблюдений. Чем равномернее строение полезного ископаемого и меньше расстояния между смежными пунктами наблюдений, тем меньше доля случайной составляющей наблюдаемой изменчивости признака и наоборот [22, 26].

Закономерная составляющая изменчивости выражает закономерности в поведении параметра, объективно устанавливаемые на проведенном этапе разведки. Случайная составляющая носит характер «шума», т.е. значения параметра, наблюдаемые в различных, в том числе смежных точках не зависят друг от друга [76].

При фиксированном расстоянии между смежными точками наблюдений выделяются все те же элементы неоднородности, размеры которых превосходят это расстояние. Они проявляются как закономерная изменчивость наблюдаемого свойства и могут быть разделены по размерам на несколько порядков в соответствии с теми порядками, которыми определяются более низкие уровни строения природных образований полезных ископаемых. Элементы неоднородности, размер которых меньше расстояния между смежными пунктами, не могут быть выделены при данной сети наблюдений. Они проявляются как непознанная случайная изменчивость. С уменьшением расстояния между соседними точками наблюдения доля закономерной изменчивости признака увеличится, доля случайной – уменьшится [22].

На начальных стадиях разведочных работ надежно выявляются неоднородности низких структурных уровней (залежи, рудные зоны), а неоднородности более высоких уровней надежно выявляются только на участках детализации, а также в процессе отработки месторождений [4].

Основным способом изучения неоднородности является систематическое выборочное опробование горных пород и скоплений полезных ископаемых по разреженной геометрически правильной сети наблюдений с последующим анализом каждой пробы. При решении конкретных практических задач изучаются только те свойства полезных ископаемых, которые оказывают существенное

влияние на технические приемы разведки и отработки месторождений, а проявления их изменчивости рассматриваются на тех уровнях строения, которые отвечают масштабам проводимых исследований или проектируемых работ. Поэтому следует отличать понятия «абсолютная изменчивость» и «наблюдаемая изменчивость». Термин «наблюдаемая изменчивость» выражает наблюдаемое в процессе разведки поведение параметра, фиксируемое, по его отдельным замерам, или, другими словами, показывает непостоянство значений параметра в его соседних замерах. Наблюдаемая изменчивость одновременно отражает как природную изменчивость параметра, так и методику, и технику производства замеров данного параметра в процессе разведки недр. Влияние методики разведки на наблюдаемую изменчивость весьма существенно и разнопланово [76]. Наблюдаемая изменчивость отражает детальность наших представлений об изменчивости реально существующего объекта.

Считается, что при весьма тщательной (исключающей технические и методические ошибки) и детальной разведке можно зафиксировать наблюдаемую изменчивость, которая будет полностью адекватна абсолютной изменчивости параметра [26].

Еще одна важная пространственная характеристика изменчивости – это плавность изменений свойств полезного ископаемого по мере перехода от одного пункта наблюдения к другому. Эта характеристика изменчивости отражает геологические особенности внутреннего строения природного образования полезного ископаемого. Плавность – является определяющим свойством закономерной изменчивости, так как при неслучайной изменчивости значения признака во всех точках наблюдений функционально связаны между собой.

От плавности изменения параметра напрямую зависит характер его прерывистости. Так, например, при высокой доле закономерной составляющей содержаний полезного компонента и, соответственно, при плавности его изменчивости при любом значении бортового содержания оруденение будет носить непрерывный (мало прерывный) характер. При высокой доле случайной составляющей содержаний полезного компонента и, следовательно, при резкой

его изменчивости: при низком значении бортового содержания - оруденение может носить непрерывный (мало прерывный) характер, при высоком значении бортового содержания оруденение будет иметь прерывистый характер.

Таким образом, чем сильнее проявлена природная неравномерность и прерывистость оруденения, тем больше вуалируются закономерности пространственного изменения изучаемого признака. При весьма редкой сети наблюдений она может затушеваться настолько, что вообще никаких видимых закономерностей в пространственном размещении изучаемого признака проявляться не будет. С уменьшением расстояний между точками наблюдений закономерности пространственного размещения признака проявляются отчетливее. Аналогичная тенденция наблюдается и при увеличении размеров или объемов испытываемых проб, причем одновременно возрастает доля неслучайной изменчивости изучаемого признака и уменьшается размах колебаний его случайных значений [22,26].

Большое значение играет такая характеристика изменчивости, как анизотропия. Анизотропия рассматривается как различие в интенсивности размещения элементов геологической структуры по различным направлениям в недрах [45,76].

Различие между анизотропным и изотропным строением состоит в том, что в изотропных образованиях элементы их строения распределены беспорядочно, а в анизотропных – более или менее упорядочено.

Понятие анизотропии геологической структуры недр основывается на следующих исходных положениях:

- говорить об анизотропии можно только в статистическом плане, применительно ко всей структуре в целом;
- при анализе анизотропии учитывается только специфика пространственного расположения элементов, их геометрическая форма и ориентировка. В связи с этим одинаковую по типу анизотропию могут иметь геологические структуры, состоящие из качественно различных элементов;

- предполагается наличие осей анизотропии – особых направлений, для которых характерны наиболее значимые различия в размещении элементов;

- в качестве меры «интенсивности» размещения элементов Четвериков [76] предлагает использовать среднюю статистическую величину отношения количества элементов неоднородности к длинам пересекающих их линий, проведенных в заданном направлении в пределах изучаемого объема полезного ископаемого;

В общем случае выделяют три главных направления анизотропии природных скоплений полезных ископаемых, обычно совпадающие с их истинной мощностью, шириной и длиной. Как правило, максимальная изменчивость свойств наблюдается в направлении истинной мощности залежи, а наиболее выдержанным направлением является направление её вытянутости.

Анализ геологических структур показывает, что при моделировании строения недр можно обойтись тремя типами анизотропии.

- трехосная анизотропия (оси анизотропии ориентированы по мощности (I_m), ширине (I_h) и вдоль вытянутости (I_l) тела) – отчетливо вытянутые тела пластообразной формы.

- двухосная анизотропия:

- а) оси анизотропии ориентированы по мощности (I_m) и ширине (I_h) тела – невытянутые тела пластообразной формы.

- б) оси анизотропии ориентированы по мощности (I_m) вдоль вытянутости (I_l) тела – вытянутые и весьма вытянутые тела веретено- и трубообразных форм.

- одноосная анизотропия (ось анизотропии ориентирована по мощности (I_m) тела) – форма тела в целом изометричная; можно выделить только мощность.

Анизотропия внутреннего строения и связь её с внешней формой геологических тел на низких уровнях их строения представляет собой основу для выбора наиболее рационального расположения сети наблюдений. Знание характеристик анизотропии свойств полезных ископаемых на высоких уровнях их строения необходимо для обоснования оптимальных параметров пробоотбора [75,76,85].

2.2. Методы описания изменчивости рудных объектов

Оценки изменчивости свойств полезного ископаемого в практике геологоразведочных работ обычно используется для характеристики сложности строения месторождений полезного ископаемого. В свою очередь их изучение связано с задачей выбора параметров разведочной сети и оценкой точности определения геологоразведочных параметров при подсчете запасов. Как правило, в роли количественного показателя изменчивости свойств полезного ископаемого используется коэффициент вариации. В то же время, в рамках существующего математического аппарата могут быть использованы и другие характеристики, в том числе учитывающие наличие пространственных закономерностей в изменении признака.

Для описания изменчивости используется различный математический аппарат. Так силу изменчивости фиксируют такие статистические характеристики как коэффициент вариации, дисперсия; закономерности изменения свойств в пространстве, степень прерывистости – вариограмма, тренд.

Основной инструмент геостатистики, вариограмма, используется для определения пространственной корреляции между произвольно размещенными реальными данными наблюдений. Она позволяет по эмпирическим наблюдениям получить представление об изменчивости изучаемого объекта. Фактически вариограмма показывает, как в среднем различаются содержания в зависимости от расстояния в заданном направлении или в заданной области пространства [18,31,4]. Для зафиксированного направления вариограмма показывает, как изменяются значения исследуемой величины при увеличении расстояния между точками. Определение функции основывается на тройном интеграле, вычисляемом по всему объему месторождения, но на практике оценка данного интеграла происходит по выборочным данным [47]. Если имеется $N(h)$ пар проб, находящихся на расстоянии h , то вариограмму можно оценить с помощью следующей формулы:

$$2\gamma(h) = \sum [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Хотя вариограмма как и ковариограмма и спектральная функция связаны между собой и несут одинаковую статистическую информацию для описания пространственной изменчивости в практической геостатистике используют вариограмму [83]. В отличие от ковариационной функции, которая (как математическое понятие) существует только в предположении наличия конечного второго момента (дисперсии) у $Z(x)$, вариограмма не требует такого жесткого условия. Для нее важно, чтобы была конечной дисперсия не самого значения признака $Z(x)$, а его приращения [4, с.17]. При соблюдении этого условия график вариограммы характеризуется эффектом самородков, порогом и зоной влияния (Рисунок 3).

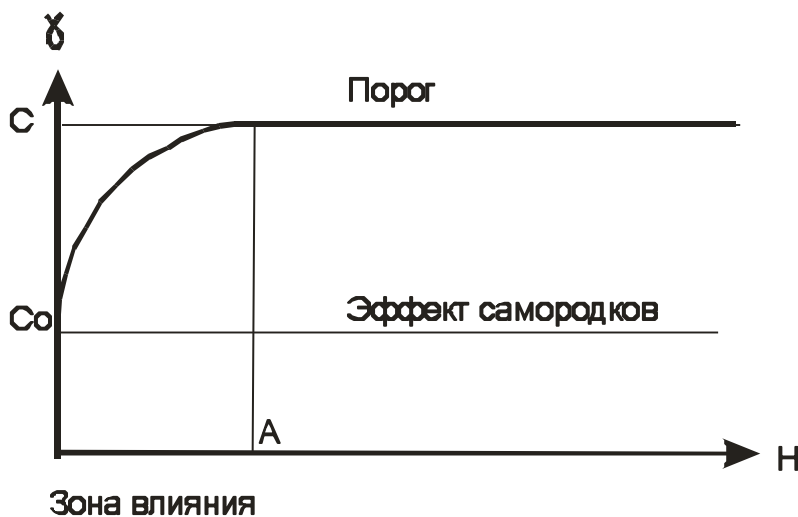


Рисунок 3. График вариограммы.

- **Эффект самородка** – отражает случайную составляющую изменчивости, которую нельзя уменьшить путём сгущения сети наблюдений. Показывает насколько велико различие признака в близко расположенных пробах.

- **Порог вариограммы** – это величина дисперсии проб. В случае, если вариограмма нормирована по дисперсии, порог будет равен 1. Это удобно, т.к. эффект самородка тогда будет являться долей случайной составляющей дисперсии, вызванной эффективной неоднородностью. Когда вариограмма достигает порога, она часто выполаживается, т.е. далее не растет.

- **Зона влияния** – это максимальное расстояние, на котором между пробами еще существует корреляция. Отражает размер элементов неоднородности. Вариограмма достигает порога на расстоянии, равном зоне влияния [1,29].

Экспериментальная вариограмма применяется для решения геологоразведочных задач. Как только она будет описана математической функцией, эта модель может быть с успехом использована для оценки неизвестных значений исследуемого параметра в любой точке данного пространства, однако из-за дискретности сети разведочных наблюдений рассчитанная вариограмма соответствует тому набору значений аргумента, который определяется объемом выборочной совокупности и исходной сетью наблюдений, определяющей взаиморасположение проб в пространстве [1,28].

При наличии тренда вариограмма имеет более сложный вид, но после вычитания из исходных данных (элиминирования) оценок тренда, как правило, приобретает вид близкий к Рисунку 3.

В геостатистике имеется ряд функций, которые используются для аппроксимации экспериментальных вариограмм в качестве моделей. Они различаются видом и параметрами, отражая свойства различных геологических пространственных переменных. Наибольшее распространение на практике получили следующие виды функций: сферическая, модель эффекта самородков, экспоненциальная, модель эффекта включений [88].

Тренд определяется как функция географических координат, построенная по совокупности наблюдений таким образом, что сумма квадратов отклонений значений признака от плоскости тренда минимальна. Тренд отражает наиболее общие закономерности пространственного распределения моделируемого параметра. Соответственно с этим определением такой тренд описывается несложной аналитической моделью. Реально используется полином до четвертой степени, хотя возможно использование и других функций, например, тригонометрических полиномов, уравнения Лапласа и др. [25,84].

Выбор степени аппроксимирующего полинома и оценка значимости выявленных закономерностей могут осуществляться с помощью дисперсионного

анализа. Для этого подсчитываются средние квадраты отклонений эмпирических значений исследуемого признака в точках замера от среднего арифметического и от аппроксимирующих поверхностей разного порядка, а также средние квадраты отклонений от среднего арифметического самих аппроксимирующих поверхностей.

Значимость закономерной составляющей изменчивости, описываемой полиномами определённого порядка, проверяется с помощью критерия Фишера с уровнем значимости 0.05. Высокие значения критерия Фишера для линейной и квадратичной модели указывают на реальность описываемых ими закономерностей.

Аппроксимация тригонометрическими полиномами позволяет описывать закономерные периодические колебания свойств геологических объектов.

Из всех возможных аппроксимирующих функций выбирается та, которая точнее описывает имеющиеся данные и содержит наименьшее число параметров [26].

2.3. Характеристика изменчивости конкретных штокверковых месторождений

Исследования количественных показателей изменчивости проведены на примере штокверковых месторождений – объектов достаточно сложного строения, отработка которых в ряде случаев связана с «неподтверждением» запасов. При этом обращалось внимание на особенности геологического строения объектов, определяющие возможности селективной выемки руды.

Для анализа были использованы данные по участкам детализации по штокверкам Крутому Пыркайского оловоносного узла, Первомайскому и Шерловой горе, на которых были пробурены буровзрывные скважины по одинаковой сети 5×5м.

Все исследования по данным штокверкам проводились в программе GST3.02 (автор Мальцев). Были посчитаны коэффициенты вариации, построены сортовые планы, тренды и вариограммы по содержанию полезных компонентов.

2.3.1. Штокверк Первомайский

Месторождение отрабатывалось открытым способом. Сопровождающая эксплуатационная разведка осуществлялась вертикальными, буровзрывными скважинами по равномерной сети 5×5 м. В пробу отбирался материал по 5-ти метровому интервалу, по каждому уступу карьера. Моделирование проводилось по данным эксплуатационной разведки на одном из уступов карьера, равном по площади 190×190 м.

Изначально, рассчитывались основные статистические характеристики распределений содержаний молибдена, фиксирующие силу изменчивости.

Коэффициент вариации составил $K_{vb} = 65,47 \%$

Это свидетельствует о том, что изменчивость содержаний молибдена по пробам велика.

Для наблюдения плавности изменения свойств по уступу были построены сортовые планы (Рисунок 4) по бортовым содержаниям (C_b) равным 45 ‰ , 65 ‰ и 85 ‰ . Далее, для каждого случая вычислялись коэффициенты рудоносности (K_p) по всей площади участка детализации.

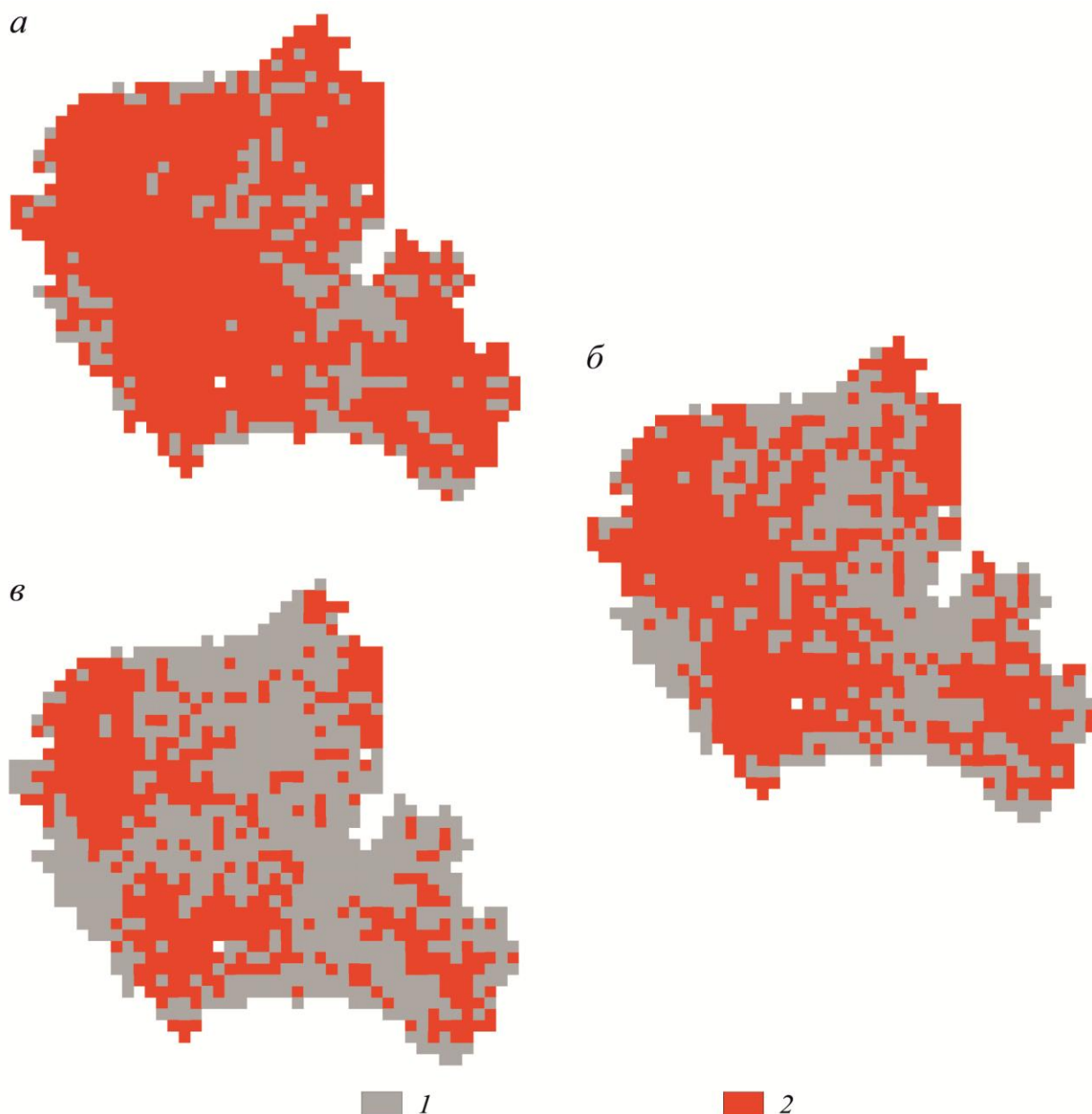


Рисунок 4. Планы по уступу штокверка Первомайский. Бортовые содержания молибдена (C_6): *a* - 45 0/000, *б* - 65 0/000 и *в* - 85 0/000. 1 – безрудные участки, 2 – кондиционные руды

По рисунку 4 видно, что при увеличении бортового содержания происходит некоторое усложнение формы рудных скоплений и увеличение степени их прерывистости. Так, при значениях бортового содержания 45 0/000 штокверк представляет собой единое тело с отдельными небольшими по площади участками некондиционных руд внутри контура и коэффициентом рудоносности (K_p) равным 0,8. С увеличением бортового содержания до 85 0/000 увеличивается и степень прерывистости оруденения, коэффициент рудоносности (K_p) же уменьшается до 0,4 [42].

Далее для анализа пространственного характера изменчивости содержаний молибдена были смоделированы и оценены региональные тренды, то есть наиболее общие закономерности признака (Рисунок 5). Так закономерная составляющая, описанная ортогональным полиномом 4 порядка, составляет 29,59% от общей дисперсии и по коэффициенту Фишера признается значимой.



Рисунок 5. План тренда содержаний молибдена по уступу штокерка Первомайский. Классы содержаний (0/000): 1 – <25, 2 – 25-45, 3 – 45-65, 4 – 65-85, 5 – 85-105, 6 – 105-125, 7 – 125-145, 8 – 145-165, 9 – >165

Следующий этап в изучении изменчивости – это оценка локальной закономерности, то есть тесноты взаимосвязи на малых расстояниях. Для этого вычислялись вариограммы без элиминирования тренда. В итоговую модель вариограммы входят эффект самородков и изотропная сферическая модель. Чтобы на кривой оказалось достаточное количество точек для хорошей интерпретации, шаг осреднения был задан 5 м. Угол сглаживания выбран 90° - так между четырьмя ориентированными вариограммами будут распределены без перекрытия все возможные пары проб. Интерпретация структуры изменчивости

выполнялась на осредненной вариограмме, так как вариограммы по разным направлениям имеют схожий вид (Рисунок 6).

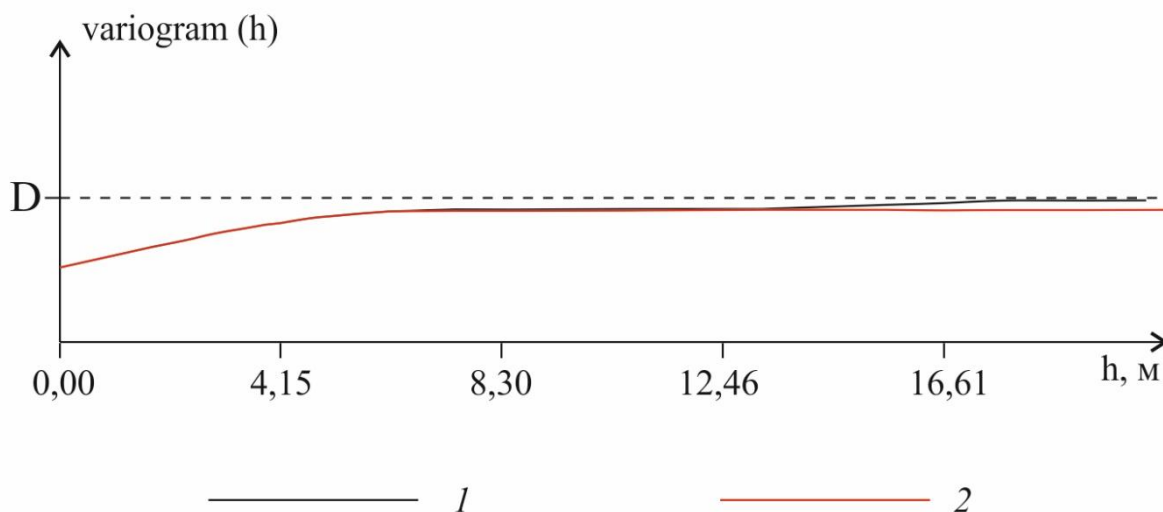


Рисунок 6. Модель осреднённой вариограммы по уступу штокверка Первомайский. Условные обозначения: 1- график вариограммы, 2 – вид аппроксимирующей функции

По поведению вариограммы на малых расстояниях можно судить о непрерывности руд, так эффект самородков составил 0,51%, что указывает на наличие непрерывности в рудах, но затушевываемой значительной долей случайной изменчивости [16]. Из этого следует, что сортовые планы, построенные по результатам опробования отражают реальные закономерности изменения содержаний молибдена.

2.3.2. Штокверк Шерловая гора

Месторождение разведано скважинами колонкового бурения по сети 60×60 м. Месторождение отрабатывалось открытым способом. Сопровождающая эксплуатационная разведка проводилась путем опробования шлама буровзрывных скважин по неравномерной сети, близкой к 5×5 м. В пробу отбирался материал по 5-ти метровому интервалу. Рассматриваемый в работе участок представляет собой часть уступа карьера, равный по площади 350×200 м.

Коэффициент вариации составил $K_{vb}=170,49\%$

Это свидетельствует о том, что изменчивость содержаний олова по пробам очень велика.

Для наблюдения плавности изменения свойств по уступу были построены сортовые планы (Рисунок 7) по бортовым содержаниям (C_b) равным 0,02%; 0,045% и 0,07%. Далее, для каждого случая вычислялись коэффициенты рудоносности (K_p) по всей площади участка детализации.

По Рисунку 7 видно, что при увеличении бортового содержания происходит некоторое усложнение формы рудных скоплений и увеличение степени прерывистости оруденения. Так, при значениях бортового содержания 0,02 % штокверк представляет собой тело с отдельными участками некондиционных руд внутри контура и коэффициентом рудоносности (K_p) равным 0,78. С увеличением бортового содержания до 0,07 % степень прерывистости оруденения увеличивается, но не очень значительно, коэффициент рудоносности (K_p) же уменьшается до 0,36 [42].

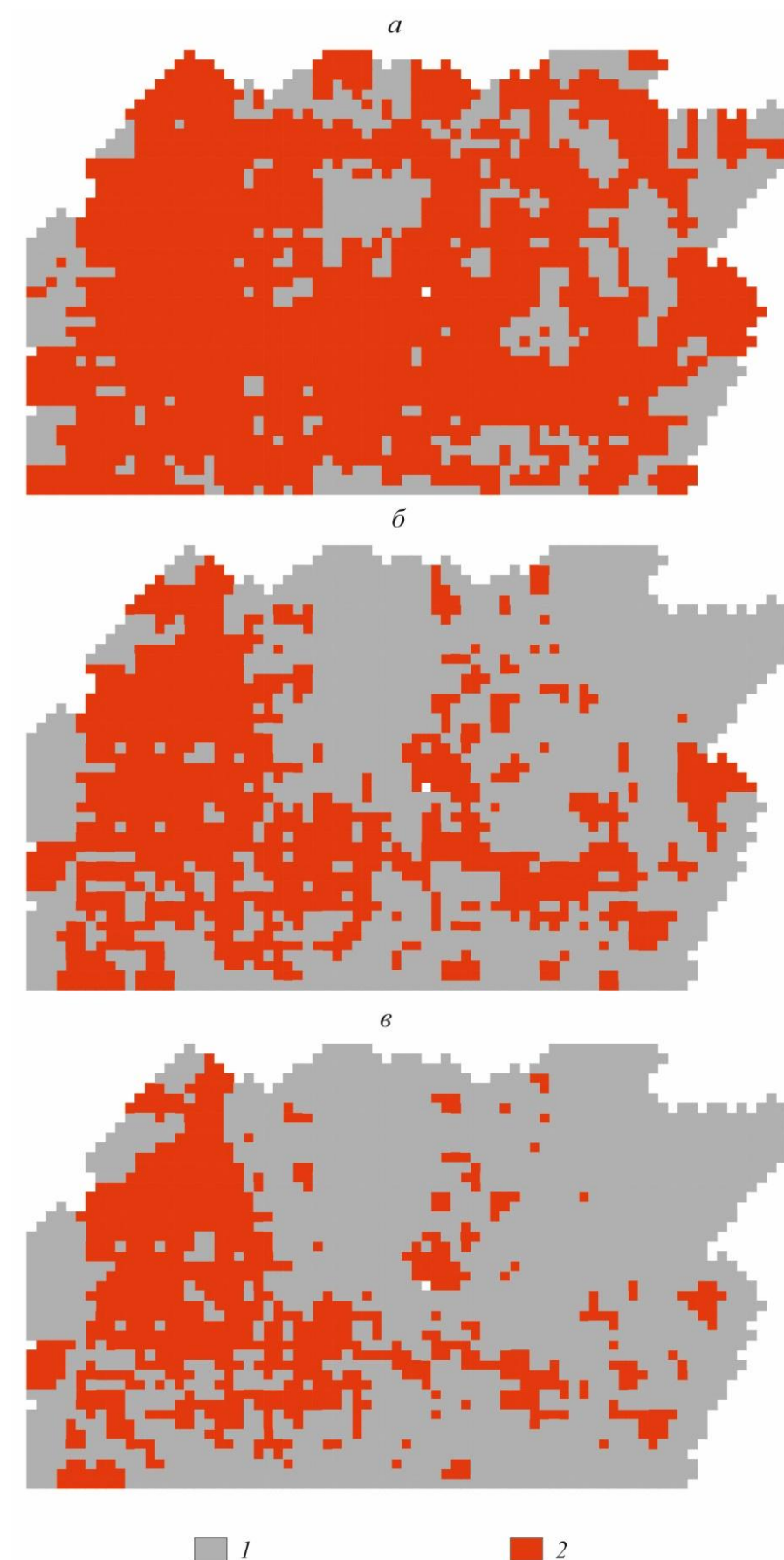


Рисунок 7. Планы по уступу штокверка Шерловая гора. Бортовые содержания олова (C_6):
a – 0,02 0/0, *б* – 0,045 0/0, *в* – 0,07 0/0. 1 – безрудные участки, 2 – кондиционные руды.

Далее были смоделированы и оценены региональные тренды (Рисунок 8). Так закономерная составляющая, описанная ортогональным полиномом 4 порядка, по коэффициенту Фишера признается значимой и составляет 22,51% от общей дисперсии, что немного меньше чем на штокверке Первомайском.

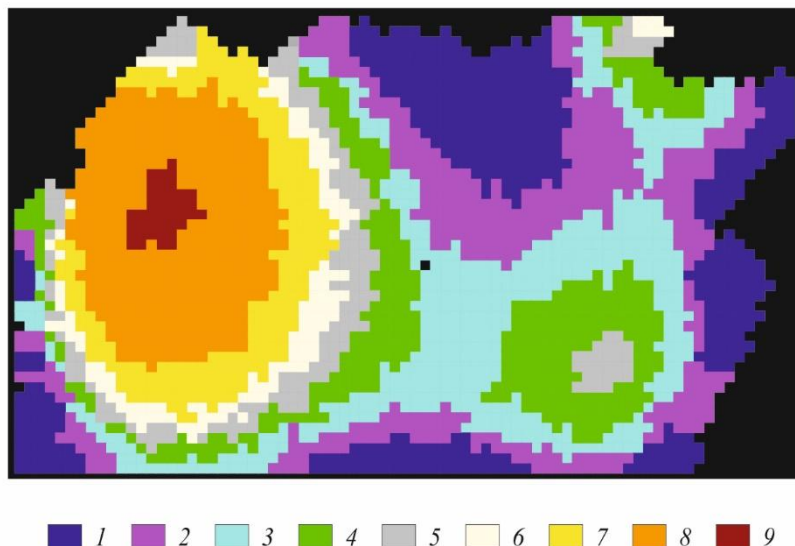


Рисунок 8 План тренда по уступу штокверка Шерловая гора. Классы содержаний (%): 1 – $<0,02$, 2 – $0,02-0,045$, 3 – $0,045-0,07$, 4 – $0,07-0,095$, 5 – $0,095-0,12$, 6 – $0,12-0,145$, 7 – $0,145-0,2$, 8 – $0,2-0,3$, 9 – $>0,3$.

План тренда указывает на неоднородность значений содержаний олова. Так в западной части тренд проявлен очень отчетливо, а вот в восточной прерывистость оруденения сильнее.

В итоговую модель вариограммы, которая вычислялась без элиминирования тренда, входят эффект самородков и изотропная сферическая модель. Шаг осреднения был задан 10м. Угол сглаживания выбран 90° . Интерпретация структуры изменчивости выполнялась на осредненной вариограмме (Рисунок 9).

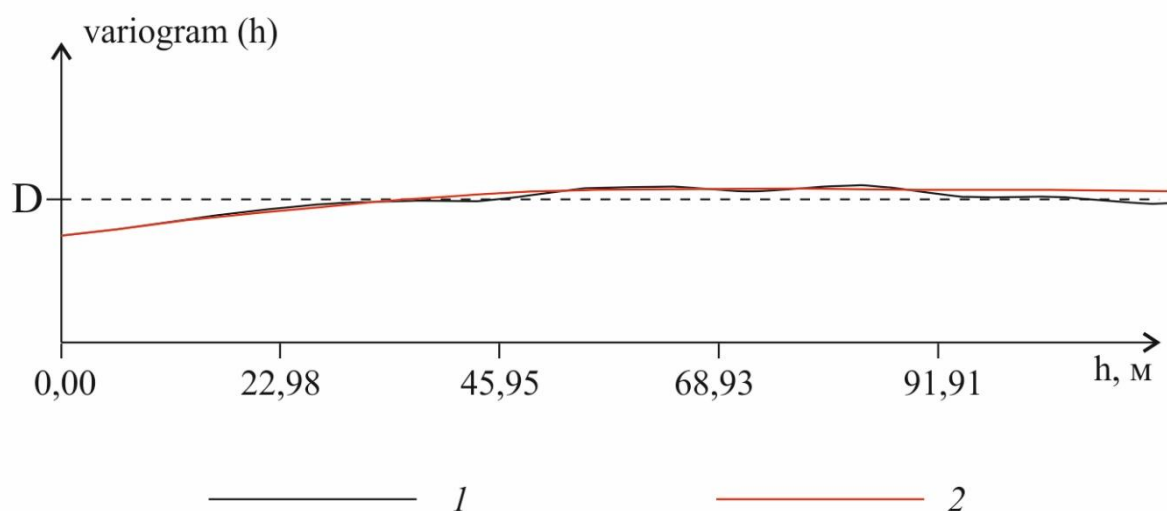


Рисунок 9. Модель осреднённой вариограммы по уступу штокверка Шерловая гора. Условные обозначения: 1- график вариограммы, 2 – вид аппроксимирующей функции.

По поведению вариограммы на малых расстояниях можно судить о непрерывности руд, так эффект самородков составил 0,74%, что указывает на некоторое наличие непрерывности в рудах, но сильно затушевываемой значительной долей случайной изменчивости, из чего следует, что приведенным на Рисунок 4 сортовым планам некоторое доверие есть, преимущественно тем, что построены при низких значениях бортового содержания (например, 0,02 г/т), при которых отработку можно вести «валовым способом».

2.3.3. Штокверк Крутой Пыркакайского оловоносного узла

На штокверке был создан участок детализации площадью 130×195 м., разбуренный вертикальными буровзрывными скважинами глубиной 10м, по сети 5х5 м. В пробу отбирался материал с каждых пяти метров, таким образом, по результатам опробования были выделены две пятиметровые пластины – верхняя и нижняя.

Коэффициенты вариации составили $K_{vb} = 79,9 \%$ по верхней пластине и $K_{vh} = 88,7 \%$ по нижней.

Это свидетельствует о том, что в обоих случаях изменчивость содержаний олова по пробам достаточно велика.

Планы (Рисунок 10) были построены по бортовым содержаниям (C_b) равным 0,1%; 0,15% и 0,2%. Далее, для каждого случая вычислялись коэффициенты рудоносности (K_p) по всей площади участка детализации.

По планам хорошо видно, что степень прерывистости оруденения зависит от бортового содержания. Так, при низком C_b , равном 0,1% оруденение носит мало прерывный характер, а коэффициент рудоносности (K_p) в обоих случаях составляет около 0,8, часть «пустых» участков приурочена к единичным скважинам, когда как при C_b , равном 0,2% - характер оруденения становится достаточно прерывистым, практически все запасы концентрируются в мелких изолированных скоплениях, а коэффициент рудоносности (K_p) по обеим пластинам составляет около 0,4. Это наблюдение косвенно указывает на высокую долю случайной составляющей содержаний олова.

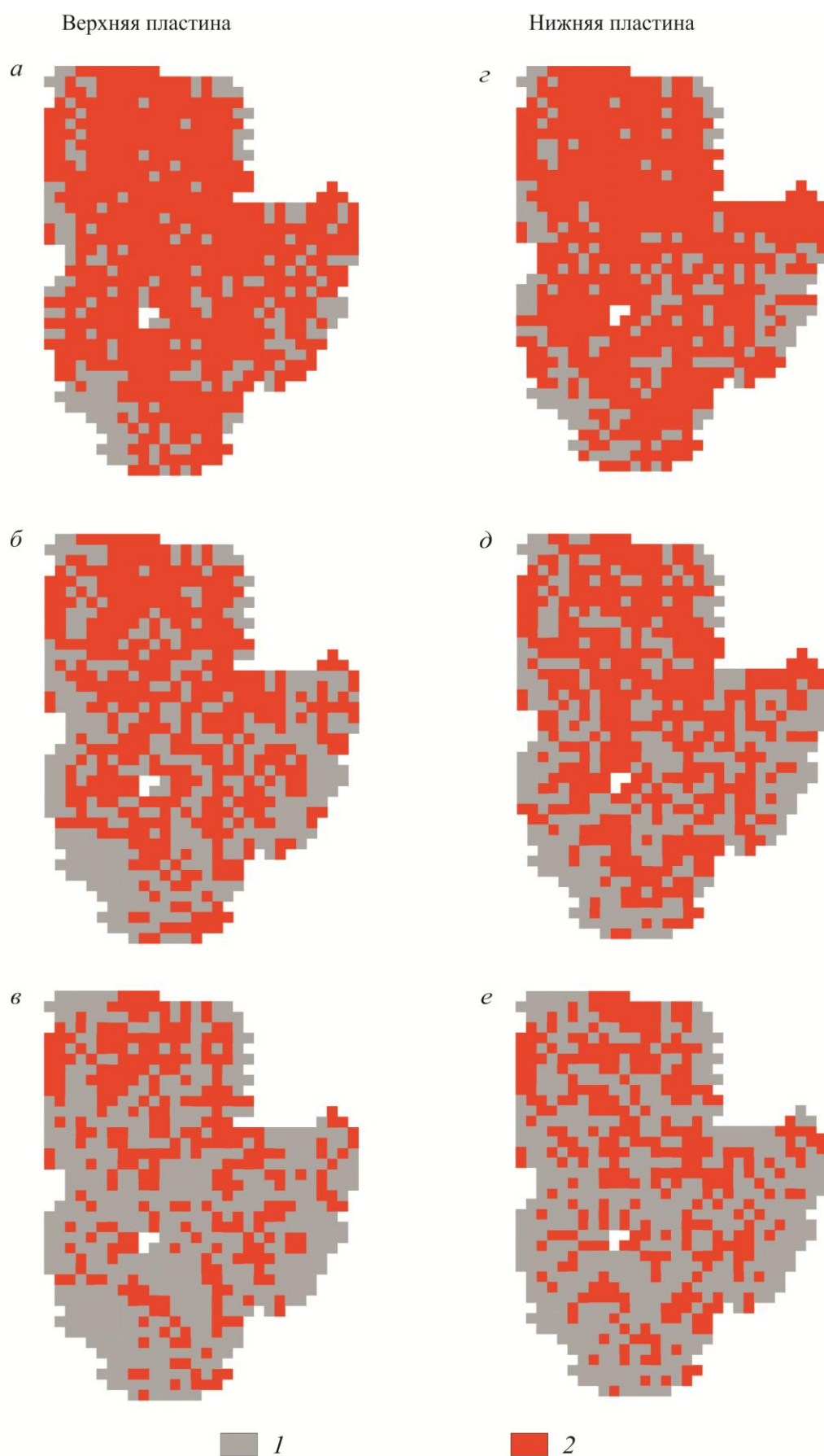


Рисунок 10. Планы участка детализации на штокверке Крутой. Бортовые содержания олова: *a, г* - 0.10 %; *б, д* - 0.15%; *в, е* - 0.20%. 1 – безрудные участки, 2 – кондиционные руды.

Далее были смоделированы и оценены глобальные тренды (Рисунок 11). Поверхности тренда описывают около 7% от общей дисперсии (по обеим пластинам), и по коэффициенту Фишера закономерная составляющая признается не значимой.

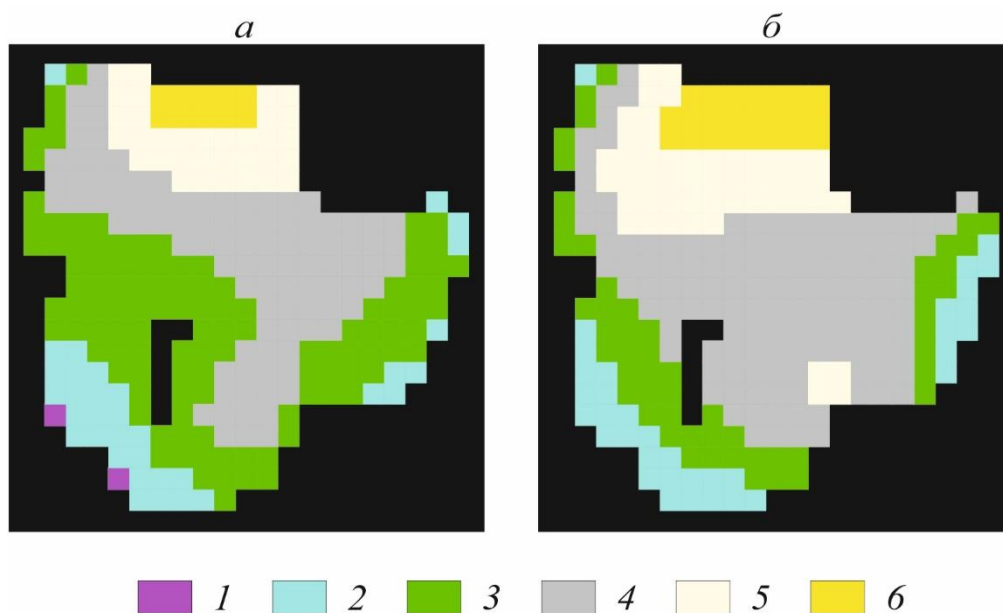


Рисунок 11. Планы тренда: верхняя (а) и нижняя (б) пластины штокверка Крутой. Классы содержаний (%): 1 – <0,05, 2 – 0,05-0,1, 3 – 0,1-0,15, 4 – 0,15-0,2, 5 – 0,2-0,25, 6 – 0,25-0,3, 7 – 0,3-0,4, 8 – 0,4-0,5, 9 – >0,5.

Сравнивая тренды по верхней и нижней пластинам, можно прийти к выводу, что всё-таки эти 7% не случайны. На Рисунке 11 хорошо видно, что по обеим пластинам северный блок более богатый, южный – более бедный. Скорее всего, это связано с различием коэффициентов рудоносности северной и южной частей участка детализации [42,62].

В итоговые модели вариограмм, вычисленные без элиминирования тренда, входят эффект самородков и изотропная сферическая модель. Шаг осреднения был задан 10м. Угол сглаживания выбран 90°. Интерпретация структуры изменчивости выполнялась на осредненной вариограмме (Рисунок 12).

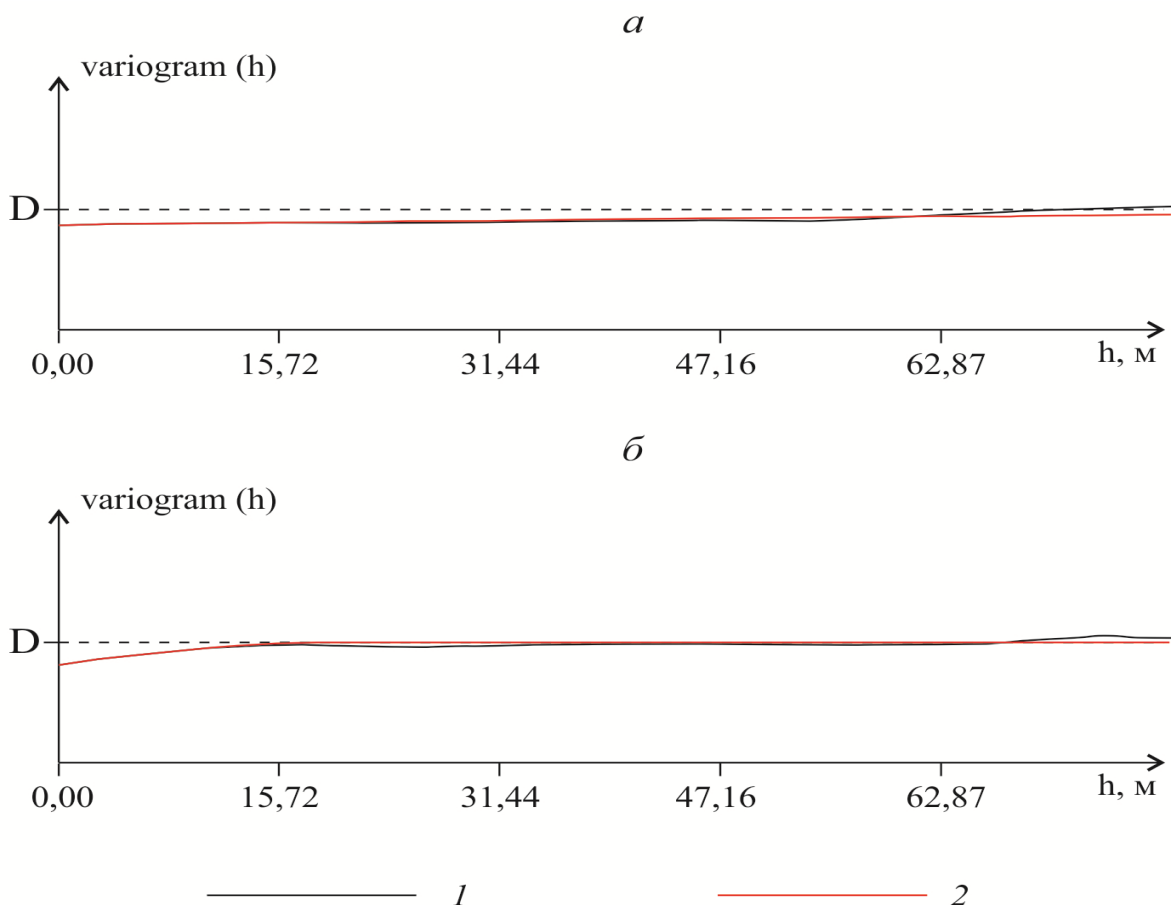


Рисунок 12. Модели вариограмм: верхняя (а) и нижняя (б) пластины штокверка Крутой. Условные обозначения: 1- график вариограммы, 2 – вид аппроксимирующей функции.

По поведению вариограммы на малых расстояниях можно судить о непрерывности руд, так эффект самородков по верхней и нижней пластинам составил 0,88 и 0,83 соответственно, что указывает на весьма большую долю случайной составляющей и отсутствие непрерывности руд, из чего следует, что сортовые планы, построенные по результатам опробования не отражают закономерностей изменения содержания олова в горизонтальных сечениях штокверка.

2.3.4. Сравнительная характеристика изменчивости изучаемых объектов

Из рассмотренных выше примеров видно, что даже при такой густой сети буровзрывных скважин как 5×5 м на штокверках эффект самородков, характеризующий долю случайной изменчивости, высок. Скорее всего это

связано с внутренним строением самих штокверков, а точнее с ориентировкой рудных прожилков. Так на штокверках Первомайский и Шерловая Гора прожилки разноориентированы, что позволяет говорить об изотропности внутреннего строения штокверка. Закономерная составляющая в обоих случаях значительна, при этом на штокверке Первомайском она немного выше, это может быть связано с тем, что на данном штокверке рудные минералы локализованы не только в жилах и прожилках, но также хотя и в меньшей степени, в виде вкрапленности, что делает руды более непрерывными. При этом, штокверк Шерловая гора неоднороден по степени прерывистости, что видно на плане тренда (западная и восточная части). На штокверке Крутой Пыркайского оловорудного узла преобладают крутопадающие прожилки субмеридионального простирания и разведка вертикальными скважинами, даже по очень густой сети противоречит принципу ориентировки разведочных пересечений по направлению максимальной изменчивости. Возможно, именно поэтому случайная составляющая на штокверке Крутом имеет настолько высокое значение. То есть, из вышесказанного можно заключить, что эффект самородков косвенно отражает особенности текстуры руд.

Значение характеристик изменчивости в итоговой таблице.

Таблица 2

Значения характеристик изменчивости

Название штокверков	Сеть наблюдений	Коэффициент вариации, %	Закономерная составляющая (орт. полиномом 4 пор.), %	Эфф. самородков, доля единицы
Первомайский	буро-взрывные скважины 5×5 м	65,47	29,59	0,51
Шерловая гора	буро-взрывные скважины 5×5 м	170,49	22,51	0,74
Крутой, верхняя пластина	буро-взрывные скважины 5×5 м	79,9	7	0,88
Крутой, нижняя пластина	буро-взрывные скважины 5×5 м	88,7	7	0,83

Так, из Таблицы 2 видно, что независимо от текстурных особенностей штокверков, параметров сети и массы проб доля случайной составляющей больше доли закономерной составляющей изменчивости. При этом, именно исходя из величины эффекта самородков, делается вывод о низком доверии к сортовым планам. К тому же, от доли закономерной составляющей напрямую зависит плавность (резкость) изменения признака. Это позволяет сделать вывод, что на штокверковых месторождениях при реально достигаемых параметрах сети эксплуатационной разведки плавность изменения признака невозможна, так как средние мощности рудных прожилков на большинстве штокверков составляют первые сантиметры. Отсюда можно заключить, что эффект самородков, отражающий в свою очередь прерывистость оруденения, является характеристикой представительности проб. Так как именно он позволяет судить о надежности границ между обогащенными и некондиционными участками и достоверности представлений о качестве руды [51], а, следовательно, и о возможности селективной отработки кондиционных руд. Под представительностью пробы следует понимать степень соответствия свойства полезного ископаемого в единичной пробе среднему значению этого свойства в объеме недр, характеризуемом этой пробой.

Характеристики изменчивости рудных скоплений зависят от кондиционных показателей, в первую очередь от бортового содержания. Поэтому исследования проводились при разных вариантах бортового содержания. То есть бортовое содержание Сб позволило смоделировать несколько вариантов с разной степенью прерывистости в пределах одного объекта. Степень прерывистости выражается коэффициентом рудоносности (K_p), а характер прерывистости размерами элементов в пространстве.

Рассмотрим таблицу:

Значения коэффициента рудоносности при разных бортовых содержаниях

	Бортовое содержание, %		
	45	65	85
Штокверк Первомайский			
Коэффициент рудоносности	0,83	0,62	0,44
Штокверк Шерловая гора			
	Бортовое содержание, г/т		
	0,02	0,045	0,07
Коэффициент рудоносности	0,78	0,44	0,36
Штокверк Крутой, верхняя пластина			
	Бортовое содержание, г/т		
	0,1	0,15	0,2
Коэффициент рудоносности	0,82	0,6	0,4
Штокверк Крутой, нижняя пластина			
	Бортовое содержание, г/т		
	0,1	0,15	0,2
Коэффициент рудоносности	0,8	0,6	0,42

Видно, что прерывистость, которая напрямую связана с плавностью, будет зависеть от значения бортового содержания. При низком значении бортового содержания - оруденение будет носить непрерывный (мало прерывный) характер (K_p – высокий); при высоком значении бортового содержания оруденение может иметь прерывистый характер (K_p – низкий). При этом, стоит заметить, что при высоком бортовом содержании на всех рассмотренных штокверках степень прерывистости, выраженная коэффициентом рудоносности примерно одинаковая, а вот характер прерывистости разный. Поэтому, при решении вопроса о доверии сортовым планам, построенным по данным опробования, кроме величины степени прерывистости обязательно надо обращать внимание на значение коэффициента эффекта самородков.

Из примеров понятно, что такие показатели как закономерная составляющая, описанная ортогональным полиномом 4 порядка и эффект самородков, при учете характера прерывистости оруденения дают возможность сделать вывод о степени достоверности сортовых планов. Так, руды различного качества на штокверке Первомайском поддаются достаточно надежной

геометризации [9], на штокверке Шерловая Гора – некоторые участки можно геометризовать, некоторые нет, на штокверке Крутом – различные по качеству руды по данным опробования без применения специальных методов обработки исходных данных геометризовать нельзя. Соответственно, эти показатели дают возможность выделить штокверки, на которых селективная отработка по данным эксплуатационного опробования невозможна.

Отсюда, можно сделать вывод:

Тезис 1.

В связи с крайне прерывистым характером оруденения результаты эксплуатационного опробования на некоторых штокверках не позволяют надежно геометризовать кондиционные руды и проводить их селективную добычу.

Оценить возможность селективной отработки штокверковых месторождений можно по показателям прерывистости оруденения – результатам тренд-анализа и виду аппроксимирующей функции вариограммы.

2.4. Влияние геометрии проб на количественные характеристики изменчивости содержаний полезных компонентов

Все участки детализации сравнивались при одинаковой геометрии проб. А характеристики изменчивости зависят не только от свойств самого объекта, но и от геометрии проб [23,24] – их объема, сечения, длины, направления, конфигурации. Эти факторы в большей или меньшей степени освещены в литературе, однако работ, в которых рассматривается совместное влияние, мало. Так, влияние конфигурации и размера проб на дисперсию содержаний рассматривалось Матероном [47] на основе понятия «линейного эквивалента пробы». А.Б. Каждан [24] отмечал, что при анизотропном строении залежи следует учитывать и ориентировку проб [41]. Поэтому были проведены исследования по изучению влияния густоты сети и геометрии проб на характеристики изменчивости содержаний полезного компонента. Для этого были

использованы результаты по бороздовым пробам верхней пластины штокверка Крутой. Следует отметить, что в бороздовые пробы отличаются от буровзрывных по длине, объёму и направлению пробы. Поэтому чтобы изучить влияние ориентировки пробы, были рассмотрены 2 варианта:

- при длине пробы 1м (данные опробования) отличаются по длине, объёму и ориентировке от проб буровзрывных скважин.

- при длине пробы 5м (содержания олова были осреднены) – в данном случае исключается различие по длинам проб, а их объёмы становятся более сопоставимы.

При этом следует обратить внимание, что бороздовые пробы, в отличие от буровзрывных, отобраны по направлению максимальной изменчивости.

По метровым бороздовым пробам сечением 5×10 см закономерная составляющая, описанная ортогональным полиномом 4 порядка, по коэффициенту Фишера признается не значимой и составляет 5,41% от общей дисперсии. При оценке локальной закономерной составляющей получена вариограмма характерная для случайной изменчивости. Это говорит о том, что при длине бороздовых проб 1м велика доля случайной составляющей изменчивости.

По результатам исследований, проведенных по бороздовым пробам с осредненными значениями содержаний на длину пробы 5 м, равную длине буровзрывных скважин коэффициент вариации составил $K_{vb}=79,4\%$. Это свидетельствует о том, что сила изменчивости содержаний олова по пробам достаточно велика. Для анализа пространственного характера изменчивости содержаний олова были смоделированы и оценены региональные тренды (Рисунок 13). Закономерная составляющая, описанная ортогональным полиномом 4 порядка, по коэффициенту Фишера признается значимой и составляет 22,37% от общей дисперсии, величина эффекта самородков достаточно высока, но всё же ниже относительно скважин – 73%. Такое его значение может объясняться наличием неоднородностей более высокого порядка. Исходя из значений закономерной и случайной составляющих изменчивости можно судить о

некотором наличии непрерывности в рудах, но сильно затушевываемой значительной долей случайной изменчивости, из чего следует, что сортовым планам, построенным по результатам опробования бороздовых проб, осредненных по длине 5 м, некоторое доверие есть, преимущественно тем, что построены при низких значениях бортового содержания, при которых можно вести отработку «валовым способом».

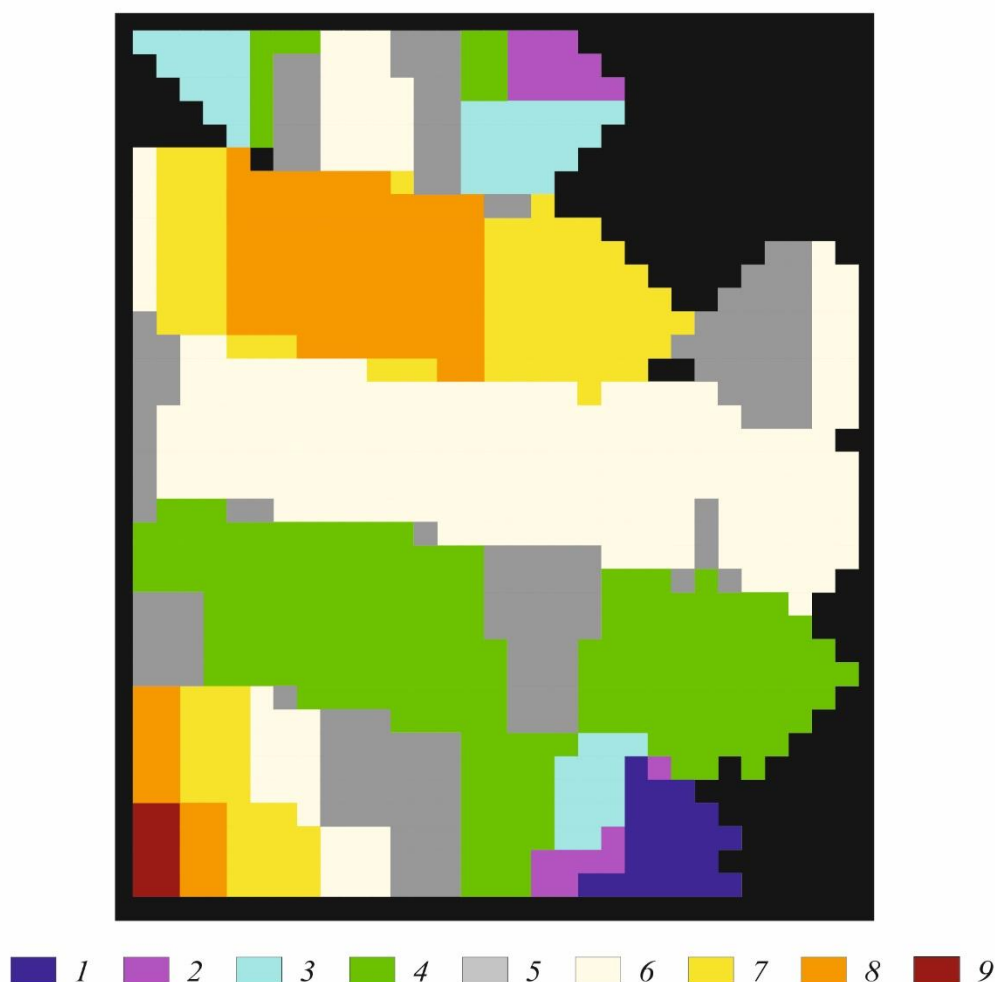


Рисунок 13. План тренда штокверка Крутой по пятиметровым бороздовым пробам. Классы содержаний (%): 1 – $<0,05$, 2 – $0,05-0,1$, 3 – $0,1-0,15$, 4 – $0,15-0,2$, 5 – $0,2-0,25$, 6 – $0,25-0,3$, 7 – $0,3-0,4$, 8 – $0,4-0,5$, 9 – $>0,5$.

В итоговую модель вариограммы входят эффект самородков и изотропная сферическая модель. Шаг осреднения был задан 5м. Угол сглаживания выбран 90° . Интерпретация структуры изменчивости выполнялась на осредненной вариограмме (Рисунок 14).

По пятиметровым бороздовым пробам, отобранным на штокверке Крутом вкрест простирания рудных прожилков, т.е. в направлении максимальной изменчивости, закономерная составляющая изменчивости практически совпадает с закономерными составляющими штокверков с изотропным внутренним строением – Первомайским и Шерловой Горой и значительно превышает закономерную составляющую, рассчитанную по данным буровзрывных скважин, анизотропного по внутреннему строению штокверка Крутой. По-видимому, это обусловлено именно ориентировкой проб. Бороздовые пробы, как уже отмечалось, ориентированы вкрест простирания минеральных прожилков, в то время как вертикальные буровзрывные скважины штокверка Крутой ориентированы субпараллельно их падению.

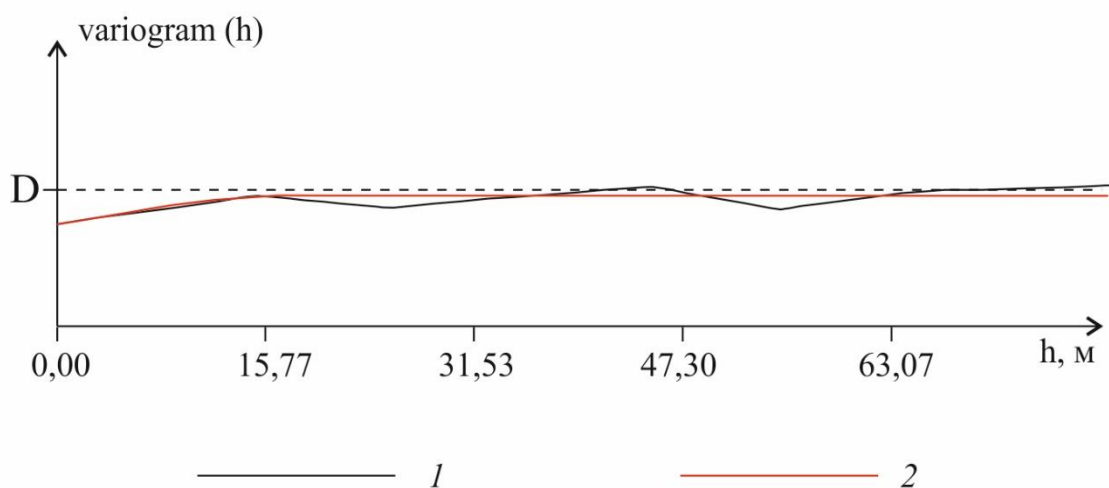


Рисунок 14. Модель вариограммы штокверка Крутой по бороздовым пробам ($L=5\text{м}$).
Условные обозначения: 1- график вариограммы, 2 – вид аппроксимирующей функции.

На примере штокверка Крутой, можно показать какое значительное влияние оказывает ориентировка проб на наблюдаемую изменчивость. Как уже было отмечено ранее, на значение закономерной составляющей изменчивости влияют густота сети отбора проб, масса проб и их ориентировка. Соответственно, чем гуще сеть – тем доля закономерной составляющей выше, то же верно и для массы – чем больше масса проб, тем выше закономерная составляющая. При малой длине проб уменьшается и объем пробы. Это приводит к увеличению дисперсии, а, следовательно, и к увеличению величины случайной составляющей. Так при

сравнении данных параметров при изучении изменчивости по пятиметровым пробам борозд и буровзрывных скважин, в случае с бороздовыми пробами сеть опробования реже, объём, а, соответственно, и масса проб меньше, значит, и закономерная составляющая должна быть ниже. В действительности же она выше за счет ориентировки линий отбора проб.

Сравнить изменчивость содержаний олова по результатам исследований проб длиной 1 м и 5 м помогут графики содержаний отдельно по каждой канаве.

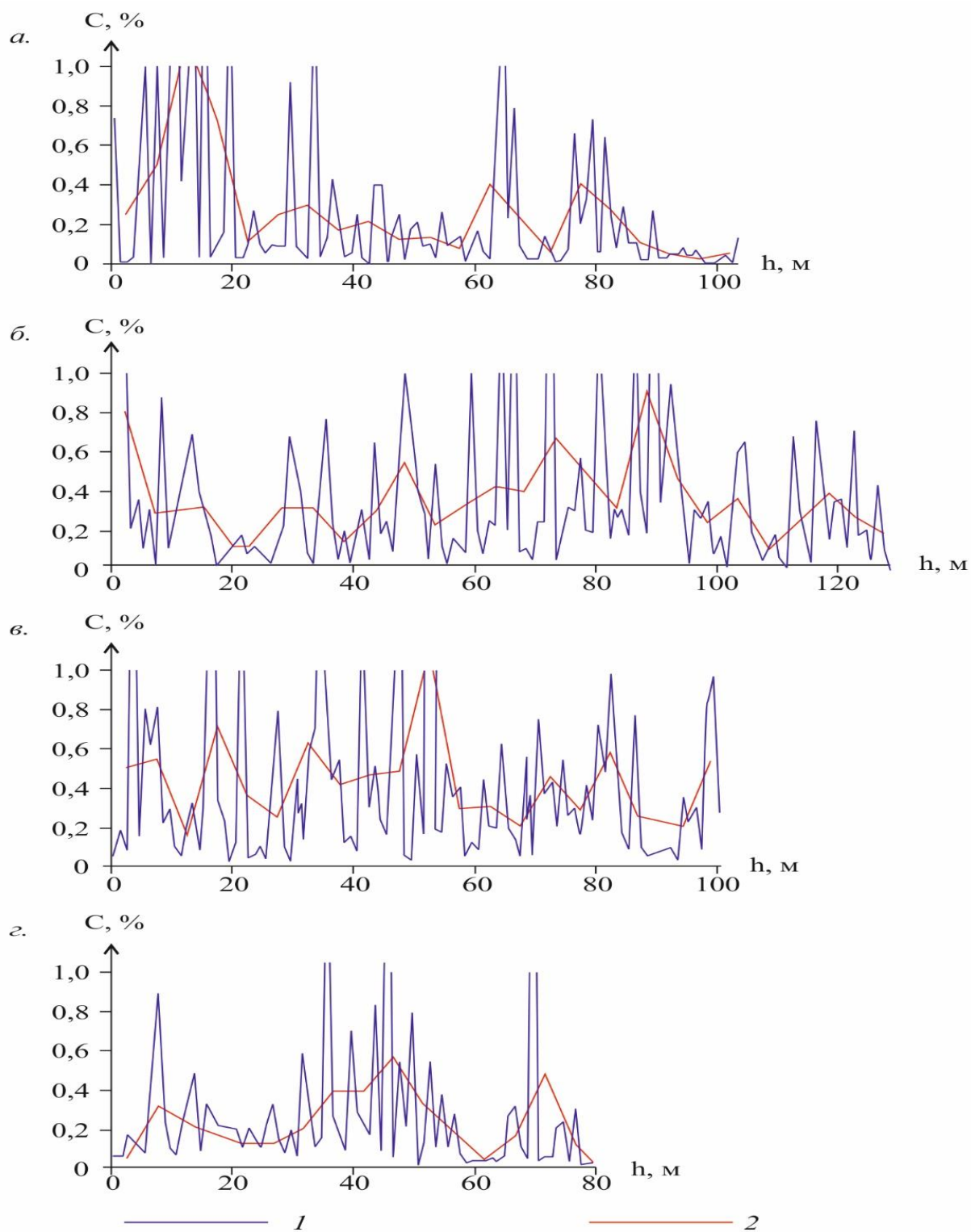


Рисунок 15. Результаты бороздового опробования по канавам, пройденным на участке детализации с длиной пробы: 1 – 1 м, 2 – 5 м.

По пробам длиной 1м плавного изменения содержания олова не наблюдаются. При этом, по пробам длиной 5м – по некоторым канавам (например, К-258) выявляются участки с повышенными содержаниями олова, что

позволяет отмечать некоторые закономерности, которые характеризуют размещение не отдельных рудных прожилков, а их скоплений. Пробы 1м и 5м улавливают закономерности разных структурных уровней – уровень рудных прожилков и уровень скоплений рудных прожилков [64,76].

Для большей убедительности, можно сравнить графики вариограмм по некоторым канавам (К-256, К-258) длине проб - 1м и 5м.

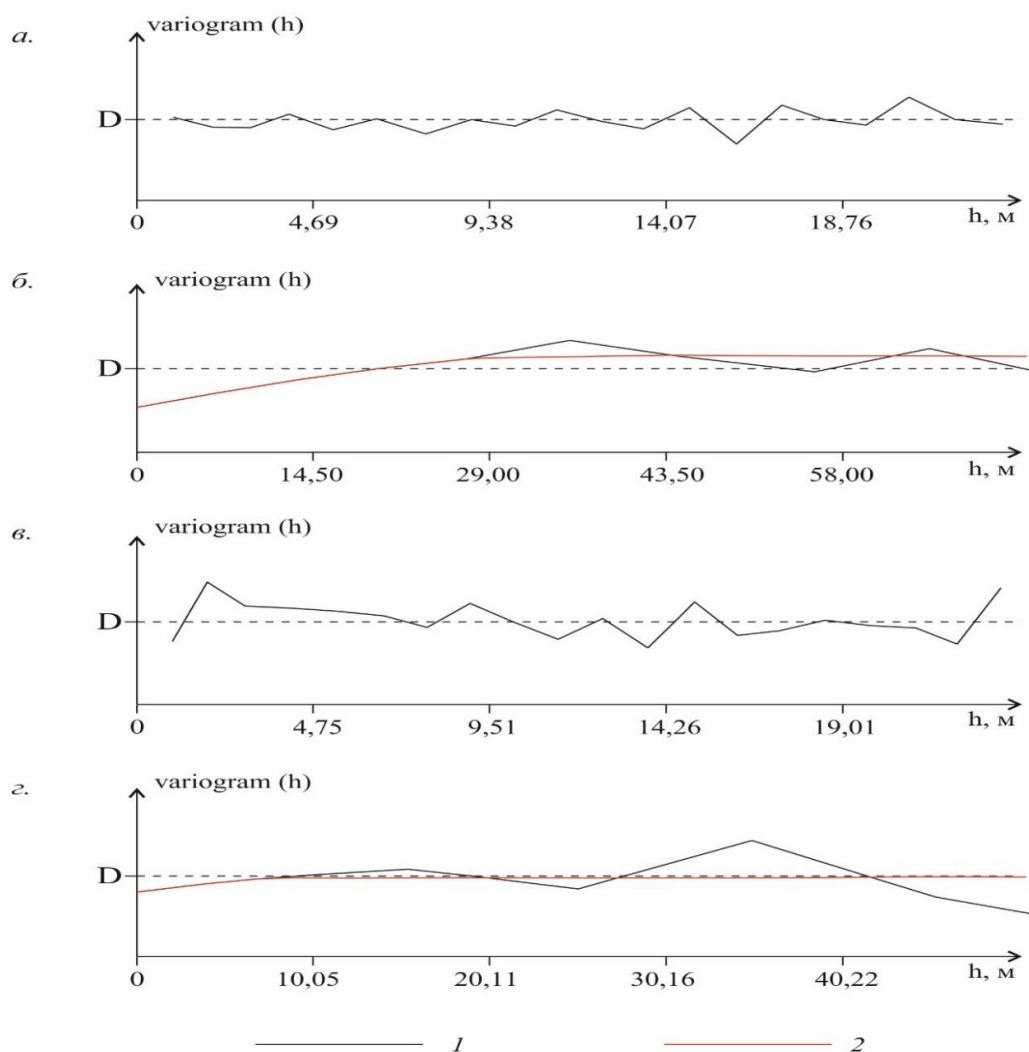


Рисунок 16. Модели вариограмм по бороздовым пробам, отобранным по канавам на штоковке Крутой: а. – канава К-256, длина пробы 1 м, б. - канава К-256, длина пробы 5 м, в. - канава К-258, длина пробы 1 м, г. - канава К-258, длина пробы 5 м. Условные обозначения: 1- график вариограммы, 2 – вид аппроксимирующей функции.

Видно, что величина эффекта самородков вариограмм, построенных по данным опробования с длиной проб в 1м выше, чем величина эффекта самородков вариограмм построенных по данным опробования с длиной проб 5м.

Как упоминалось ранее, при сгущении сети случайная составляющая изменчивости олова должна уменьшаться, а закономерная расти. Но в данной ситуации происходит наоборот, растет величина случайной составляющей изменчивости. С одной стороны, это можно объяснить тем, что при детализации длина проб уменьшается, соответственно уменьшается и объем пробы, что приводит к увеличению дисперсии признака, а, следовательно, и к увеличению величины случайной составляющей изменчивости. С другой стороны, такая картина как раз характерна для месторождений с прожилково-вкрапленными текстурами, с высокой степенью прерывистости, опробованных системой небольших проб, размеры которых заведомо меньше пустых интервалов между соседними прожилками, а сами прожилки во много раз меньше линейных размеров проб [22].

Соответственно, при описании неоднородности на уровне прожилков для уменьшения доли случайной изменчивости и увеличения закономерной надо сокращать расстояния 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). Это представляется практически невозможным. Следовательно, даже при весьма детальной разведке с длиной пробы 1 метр наблюдаемая изменчивость, не будет адекватна абсолютной изменчивости параметра. Поэтому, чтобы выявить элементы неоднородности, которые могут быть интересны с точки зрения добычи значения параметра надо осреднять, но более мелкие неоднородности всё равно будут давать достаточно высокий эффект самородков.

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 объём [41].

3. МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ УЧАСТКОВ КОНДИЦИОННЫХ РУД НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С ПРЕРЫВИСТЫМ ХАРАКТЕРОМ ОРУДЕНЕНИЯ

Кондиционное оруденение в пределах штокверков часто имеет прерывистый характер, и отработка таких месторождений экономически эффективна только с применением селективных методов добычи. Запасы таких месторождений на стадии разведки подсчитываются с помощью коэффициента рудоносности. Для этого на месторождениях создаются участки детализации, где разведочная сеть сгущается до размеров сети эксплуатационной разведки. При этом предполагается, что геометризация рудных скоплений по такой сети обеспечивает надежное оконтуривание практически сплошного оруденения.

В предыдущей главе было показано, что далеко не всегда «наблюдаемая» изменчивость совпадает с абсолютной даже по сети эксплуатационной разведки. Значительная доля случайной составляющей изменчивости содержания полезного компонента часто сохраняется даже при густоте сети опробования 5x5 м., следовательно, построенным по данным эксплуатационной разведки сортовым планам, особенно при высоких значениях бортового содержания, доверия нет. Селективная отработка в этом случае будет приводить к сильному разубоживанию и потерям кондиционных руд. Однако, опыт с канавами показывает, что осреднение результатов опробования позволяет выявить закономерности, обусловленные наличием зон сгущения прожилков.

Так, на всех рассматриваемых штокверках, при низком бортовом содержании (C_b), коэффициент рудоносности (K_p) высок, но часть «пустых» участков приурочена к единичным скважинам, что не дает уверенности в надежности их оконтуривания. В этом случае следует отдать предпочтение отработке «валовым способом». И наоборот, при высоком бортовом содержании, и низком коэффициенте рудоносности единичными скважинами пересекаются обогащенные участки, надежность оконтуривания которых, в некоторых случаях (штокверк Крутой), ставится под сомнение. При селективной отработке за счет

ошибок геометризации значительная доля кондиционной руды будет включаться в породы внутренней вскрыши и вывозиться в отвал, а участки пустых пород и некондиционных руд, напротив, будут включены в контур рудных скоплений, что приведет к значительному разубоживанию.

Поэтому, если нельзя геометризовать участки сплошных кондиционных руд по результатам опробования разведочных пересечений, то следует найти такой аппарат осреднения данных, который помогает выделить участки, которые можно отработать «валовым способом» укрупненными блоками. То есть, нужно переходить от оценок по линейным пробам к оценкам в элементарных объёмах – этот принцип заложен в основу подсчёта запасов с применением методов блочного моделирования [40].

3.1. Метод сглаживания скользящим окном

Совокупности многих наблюдаемых признаков часто не удовлетворяют требованиям непрерывности и плавности. В таких случаях П.К. Соболевский [66] рекомендует сглаживать их скользящими статистическими окнами, размеры которых должны подбираться эмпирически, в зависимости от характера исходных данных. Позже способ скользящего сглаживания был использован П.Л. Каллистовым [27] для разделения их наблюдаемой изменчивости на две составляющих – случайную и закономерную [25].

Метод сглаживания скользящим окном может применяться как с перекрытием окна осреднения, так и без перекрытия. Метод может проводиться по профилям, а также по площадям.

Данные способы просты и наглядны, но обладают существенными недостатками.

Отсутствуют критерии для выбора оптимального размера окна сглаживания. Чем больше площадь окна, тем больше будет сглаживание. Следовательно, будут теряться локальные закономерности, которые меньше размера окна. Если присутствуют только локальные закономерности и метод применяется без перекрытия, то закономерную составляющую можно вообще не выявить.

Когда метод применяется с перекрытием сглаживающего окна могут появиться «наведенные» закономерности или закономерности которых нет. Так как часть точек в соседних окнах одинакова, то между значениями в них появляется корреляция, которая будет выражаться в появлении локальных закономерностей, размер которых будет сопоставим с размером скользящего окна. Если метод применяется без перекрытия, этой ложной закономерности не появится.

Таким образом, для данных методов нет объективных критериев, которые устанавливают наличие закономерной составляющей.

В зарубежной геологической практике применялись сглаживающие преобразования Вулхауса (15-ти точечная схема сглаживания), Спенсера (20-ти точечная схема сглаживания), Шеппарда (24-ти точечная схема сглаживания) и др., рассчитанные для сглаживания по профилю. Суть данных преобразований в том, что сглаженное значение рассчитывается как среднее взвешенное по соседним значениям, умноженным на весовой коэффициент, величина которого зависит от расстояния до точки, для которой рассчитывается значение. Весовые коэффициенты уменьшаются при удалении от точки сглаживания. Коэффициенты брались эмпирическим путём. Стоит отметить, что метод обратных расстояний получивший широкое распространение в последнее время, тоже является разновидностью метода скользящего осреднения [25].

3.2. Тренд-анализ

Тренд-анализ кроме метода описания изменчивости, также является и методом сглаживания данных. Но в отличие от метода скользящего окна, этот метод использует функции, которые описывают изменения свойства, как функцию координат пространства и записываются в аналитическом виде. Этот метод позволяет статистически проверить гипотезу о наличии закономерной составляющей.

Основной недостаток данного метода состоит в том, что поверхность тренда, отражающая закономерную составляющую, описывает только общие закономерности, но не учитывает локальные. Тренд-анализ работает, как

сглаживание большим окном – равным площади изучаемого объекта, так как при расчёте формулы учитываются значения по всему объекту. В результате этого локальные закономерности трендом не описываются [2].

3.3. Кригинг

Предпосылкой развития данного метода подсчета запасов послужило подмеченное Д.Г.Криге на месторождении Витватерсранд расхождение между содержаниями золота в разведочных пробах и в характеризующих ими извлекаемых объемах недр [38, 87]. Криге показал, что если содержание в каждом блоке оценивается по пробам, отобранным внутри его объема, то содержание в блоках, с высоким содержанием, в среднем систематически завышаются, а в блоках с низким содержанием - занижаются. Это явление объясняется тем, что содержания в пробах характеризуются, значительно большим разбросом, чем средние содержания в блоках, и соответственно гистограмма истинных средних содержаний в блоках всегда содержит меньше экстремальных (больших и малых) значений и больше близких к общему среднему, чем гистограмма, построенная по данным опробования. В результате при разделении по данным опробования, блоки, отнесенные к непромышленным, на самом деле будут в среднем богаче, чем это даст оценка по соответствующим пробам, а блоки, отнесенные к промышленным, напротив, беднее [46,47].

Смысл кригинга состоит в том, что содержанию каждой пробы приписывается такой вес, при котором обеспечивается минимальная дисперсия оценки среднего содержания в блоке [82]. Определение весов проб производится методами геостатистики с учётом геометрических форм, размеров и взаимного расположения проб и оцениваемого блока. В общем случае, чем больше удалена проба от центра блока, тем меньше приписываемый ей вес [24].

Кригинг позволяет решать задачи интерполяции и оценивания. Для решения задач собственно интерполяции применяется процедура линейного кригинга точек (оценка значения исследуемой пространственной переменной в точке), которая позволяет строить сглаженные сортовые планы. Для решения задач оценивания запасов применяется аппарат блочного кригинга, когда усредняются

содержания в блоках заданных размеров. Методы точечного и блочного линейного кригинга, как и другие рассмотренные ранее методы, ведут к сглаживанию данных. Стоит отметить, что у метода кригинга нет процедуры оценивания наличия закономерностей. Коэффициенты осреднения получаются расчетным путём, то есть учитывается характер локальных закономерностей, которые описывает вариограмма. Но сама процедура расчета весовых коэффициентов исходит из условия стационарности, которая подозревает отсутствие тренда [30]. Соответственно, если тренд есть, тогда весовые коэффициенты не будут оптимальны. Поэтому, в современных программных комплексах существуют методы описания и снятия (элиминирование) тренда.

Существует достаточно большое разнообразие видов кригинга, такие как простой, дискретный, индикаторный кригинг, непрерывный, случайный, ко-кригинг. Также существуют такие модификации, как смещенный, логнормальный (сейчас практически не используется), универсальный кригинг [78]

3.4. Индикаторный кригинг

Все предыдущие методы исходят из того, что содержание полезного компонента описывается функцией координат пространства, которая обладает свойством непрерывности. Когда решаются вопросы об отработке месторождений, оруденение рассматривается как прерывистое, так как имеется кондиционное и некондиционное оруденение. Для описания прерывистых объектов и был предложен индикаторный кригинг.

Сущность индикаторного кригинга состоит в том, что при известном бортовом (индикаторном) содержании, данный метод оценивает вероятность того, что руда в интересующем нас блоке имеет среднее содержание не ниже бортового (индикаторного) содержания. Для этого применяется следующая функция кодировки: массив исходных данных преобразуется в набор кодов 0 и 1, в зависимости от того, выше или ниже реальное содержание в пробе содержания бортового. Далее для массива кодированных данных рассчитывается вариограмма, по тем же принципы, что и при традиционном вариограммном моделировании. После этого проводится процедура линейного кригинга.

Оценочные значения, полученные в итоге, будут представлять собой вероятности того, что среднее (неизвестное) содержание в оцениваемом блоке не ниже бортового (индикаторного) содержания [4,39].

Поэтому с теоретических позиций индикаторный кригинг для решения задач сглаживания данных заслуживает внимания.

Таким образом, исходя из свойств вышеописанных методов, их применение приводит к сглаживанию данных, что позволяет использовать их для осреднения данных на месторождениях с прерывистым характером оруденения.

3.5. Выбор оптимального метода сглаживания

При выборе лучшего метода осреднения можно учитывать значение закономерной составляющей или величину тренда по сглаженным данным, чем тренд выше - тем данные более сглажены, а также визуально оценивать полученные планы. Для сглаживания данных по нижней пластине штокверка Крутой были применены следующие методы – кригинг, двойной кригинг, индикаторный кригинг и метод скользящего окна. Данный штокверк был выбран, так как именно этот объект обладает самой высокой прерывистостью оруденения, где по данным опробования наблюдается наиболее частое чередование кондиционных и некондиционных участков, соответственно селективная отработка без методов сглаживания невозможна. Все осреднения проводились в блоках определенных размеров, исходя из реальных возможностей отработки штокверковых месторождений. Самый малый размер блока 5×5 м. соответствует размерам сети буровзрывных скважин при отработке буровзрывным способом, а, следовательно, и максимально густой сети эксплуатационного опробования на штокверковых месторождениях. Укрупненные блоки были взяты кратными исходной сети - 10×10 м., 15×15 м. и 20×20 м. [13]. Все исследования проводились в программе GST3.02, автором которой является В.А. Мальцев [44].

3.5.1. Осреднение (сглаживание) методом скользящего окна

Сглаживание методом скользящего окна проводилось без перекрытия. Среднее содержание по блокам рассчитывалось, как среднее арифметическое.

Планы с размером блоков 5×5 м – планы по исходным данным буровзрывных скважин, пробуренных по сети 5×5 м.

По вариантам осреднения подсчитывались: коэффициенты рудоносности (K_p), средние содержания полезного компонента (C_{cp}), запасы руды ($Q_{руд}$) и запасы металла (P). Изменение запасов руды соответствует изменению коэффициента рудоносности [77]. Поэтому данные по запасам руды не приводятся.

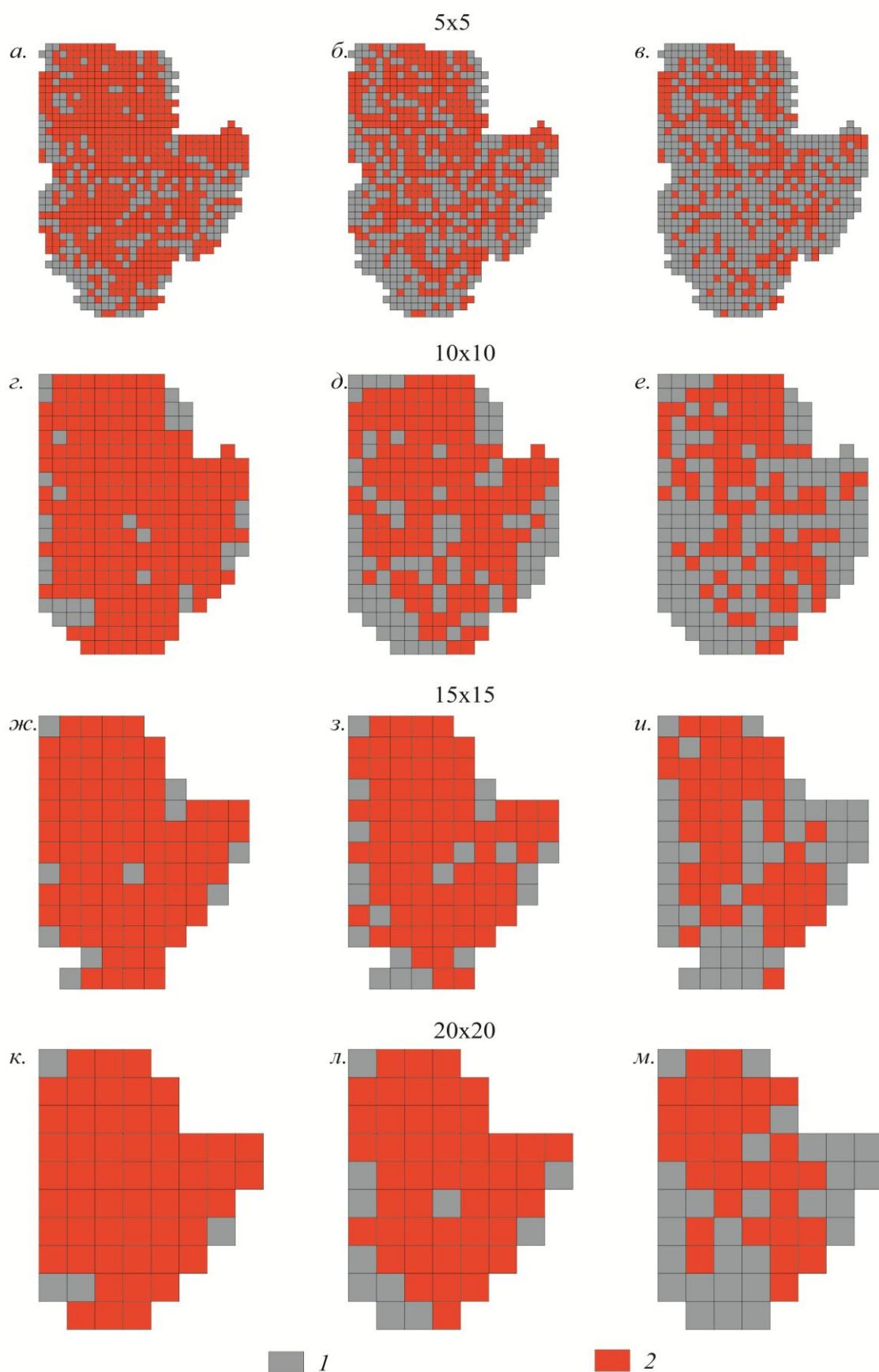


Рисунок 17. Планы участков кондиционных руд на штокверке Крутой, построенные методом скользящего окна. Бортные содержания олова: для: а, г, ж, к - 0.10 %; б, д, з, л - 0.15%; в, е, и, м - 0.20%. 1 – безрудные участки, 2 – кондиционные руды

Из планов распределения кондиционных руд, приведенных выше, видно, что при низкой степени прерывистости и высоком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,1 \%$) за счёт сглаживания участки некондиционных руд по единичным скважинам в большинстве случаев пропадают. То есть при низкой прерывистости при увеличении размера окна осреднения кондиционная часть становится непрерывной, некондиционные участки выявляются только в краевых частях, т.е. оруденение практически сплошное.

При средней степени прерывистости ($C_6 = 0,15 \%$) при небольшом окне сглаживания оруденение остается прерывистым. При больших размерах блоков осреднения некондиционные участки также выделяются в краевых частях и единично в центре.

Соответственно, при низкой и средней степени прерывистости при крупных размерах окна осреднения, центральную часть штокверка можно отрабатывать валовым способом, а некондиционные краевые блоки везти в отвал.

При высокой степени прерывистости и низком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,2 \%$) при небольшом окне осреднения оруденение также остается прерывистым. Участки кондиционных руд значительных размеров, пригодных для отработки появляются при увеличении параметров блоков осреднения.

В подтверждение этому приводятся таблицы и графики зависимости коэффициента рудоносности (K_p) от размеров окна осреднения и бортового содержания C_6 .

Таблица 4

Изменение коэффициента рудоносности (K_p) в зависимости от бортового содержания C_6 и размера окна сглаживания. Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Метод скользящего окна)

Размер блока		Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	K_p	0,80	0,60	0,42
10×10	K_p	0,92	0,72	0,49
15×15	K_p	0,91	0,80	0,55
20×20	K_p	0,93	0,81	0,52

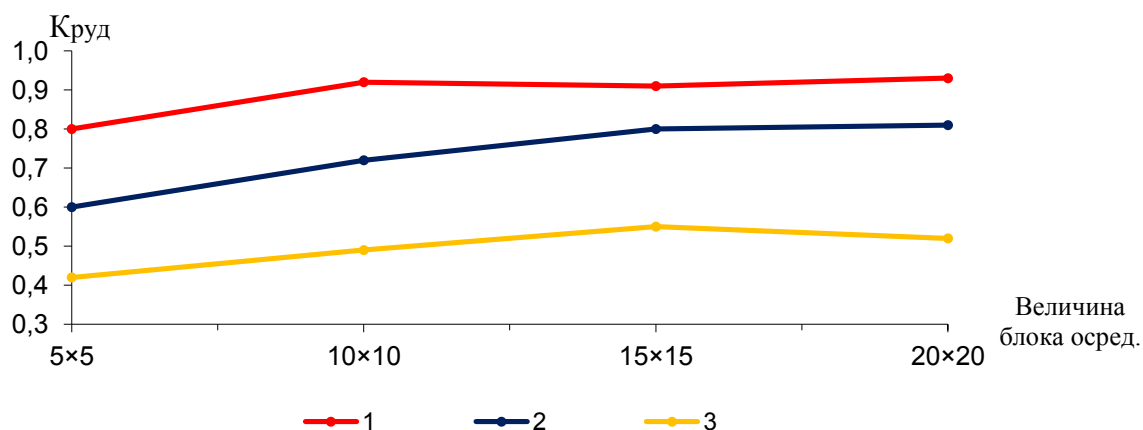


Рисунок 18. График изменения коэффициента рудоносности (K_p) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод скользящего окна)

По Рисунку 18 коэффициент рудоносности (K_p) сначала растёт, потом выходит «на плато». Перегиб в графиках происходит из-за перехода некондиционных блоков в кондиционные за счёт осреднения. При выходе «на плато» происходит полное сглаживание центральной части, т.е. получается единое рудное тело. Единственный случай, когда увеличение параметра блока не влечет увеличения коэффициента рудоносности – это вариант перехода блока 15×15метров к блоку размером 20×20 метров при бортовом содержании 0,2%. Эта ситуация свидетельствует о том, что в данном случае балансовые блоки чаще переходят в забалансовые.

Со средними содержаниями ($C_{ср}$) ситуация похожа. Сначала происходит резкое снижение, потом, при переходе через отметку 15×15 метров они меняются слабо. Средние содержания ($C_{ср}$) уменьшаются при увеличении размера окна сглаживания.

Таблица 5

Изменение среднего содержания ($C_{ср}$) зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания Сб. Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Метод скользящего окна)

Размер блока	$C_{ср}$ (%)	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20

Размер блока	С _{ср} (%)	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	С _{ср}	0,271	0,321	0,385
10×10	С _{ср}	0,237	0,270	0,315
15×15	С _{ср}	0,232	0,246	0,277
20×20	С _{ср}	0,227	0,241	0,275

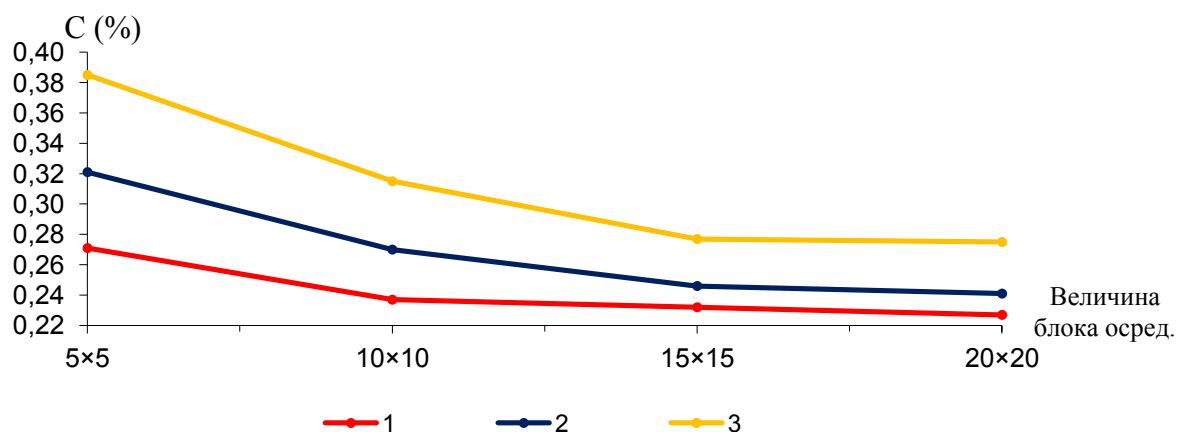


Рисунок 19. График изменения среднего содержания (С_{ср}) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод скользящего окна).

Целесообразно здесь привести также таблицу и график изменения запасов металла (Р) от бортового содержания С_б.

Таблица 6

Изменение запасов металла (Р) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания С_б. Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Метод скользящего окна)

Размер блока	Запасы металла (Р), кг.	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	Р	534,87	475,17	398,93
10×10	Р	537,93	479,61	380,80
15×15	Р	520,86	485,53	375,87
20×20	Р	520,83	481,61	352,80

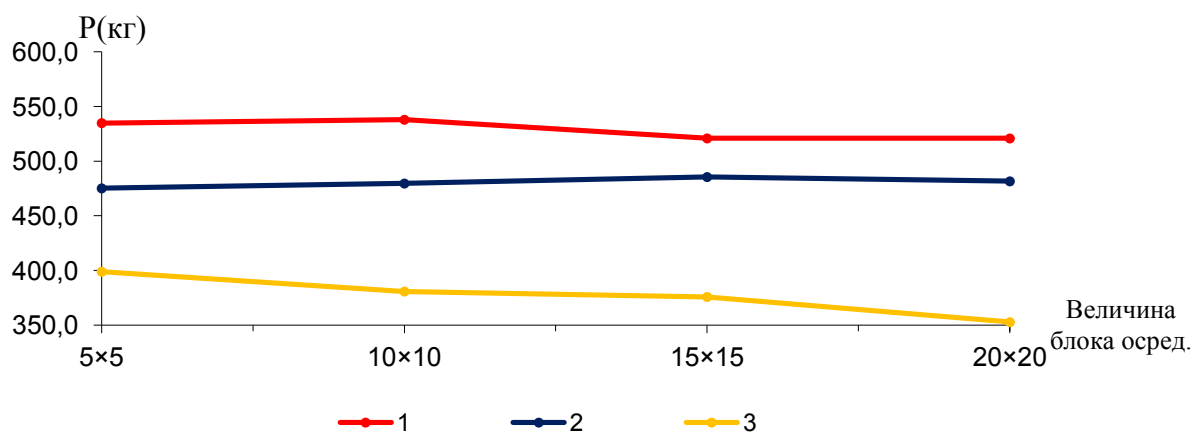


Рисунок 20. График изменения запасов металла (P) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод скользящего окна).

По Рисунку 20 видно, что при низкой степени прерывистости (при $C_6 = 0,1$ %) запасы металла (P) изменяются в небольших пределах. При высокой степени прерывистости (при $C_6 = 0,2$ %) запасы начинают теряться. Часть балансовых запасов переходят в забалансовые.

Можно сделать вывод, что сглаживание скользящим окном позволяет осреднить и выявить участки сплошных руд. Так при низкой степени прерывистости (при высоком коэффициенте рудоносности и низком бортовом содержании) оруденение практически сплошное. При средней степени прерывистости (при среднем коэффициенте рудоносности и среднем бортовом содержании) практически сплошное оруденение выявляется только при сглаживании блоками крупного размера. При высокой степени прерывистости (при низком коэффициенте рудоносности и высоком бортовом содержании) оруденение прерывистое, выявить можно разобщенные участки кондиционных руд при осреднении крупным блоком, при этом запасы металла уменьшаются.

Данный пример иллюстрирует, что при сглаживании скользящим окном при увеличении блока осреднения происходит резкое снижение среднего содержания и резкое увеличение коэффициента рудоносности. Запасы металла, при этом, при низкой степени прерывистости оруденения меняются слабо, но при высокой степени прерывистости происходит уменьшение запасов при увеличении блоков осреднения.

В довершении стоит привести таблицу характеристик изменчивости по планам распределения кондиционных руд, построенным методом скользящего окна:

Таблица 7

Значение характеристик изменчивости по планам распределения кондиционных руд, построенным методом скользящего окна. Штокверк Крутой, нижняя пластина

Размер блока	Коэффициент вариации, %	Закономерная составляющая (орт. полиномом 4 пор.), %
5×5	88,65	7,04
10×10	55,4	16,61
15×15	39,65	38,19
20×20	38,37	55,7

Из Таблицы 7 видно, что доля закономерной составляющей изменчивости растёт. При этом, растёт и доверие к планам распределения кондиционных руд, которое при размере блока 20×20 является достаточно высоким. К тому же, от доли закономерной составляющей напрямую зависит плавность (резкость) изменения признака, соответственно и его прерывистость, - это, как упоминалось ранее, позволяет на планах с увеличенными размерами блоков выделить участки для отработки «валовым способом» при низких бортовых содержаниях, и наметить участки для селективной отработки укрупненными блоками при высоких бортовых содержаниях.

3.5.2. Осреднение методом линейного кригинга

При работе с аппаратом кригинга применялись процедуры линейного кригинга точек и блоков.

При наличии вариограмм (Глава 2) можно перейти к решению задач собственно интерполяции и оценивания. Оценив значения исследуемой пространственной переменной в точке – данная процедура называется линейным кригингом точек, получим план содержаний олова по пластине – Рисунок 21.

Исходя из анализа кривой вариограммы, радиус привлечения проб взят 15 м, а шаг интерполяционной сети – 5м.

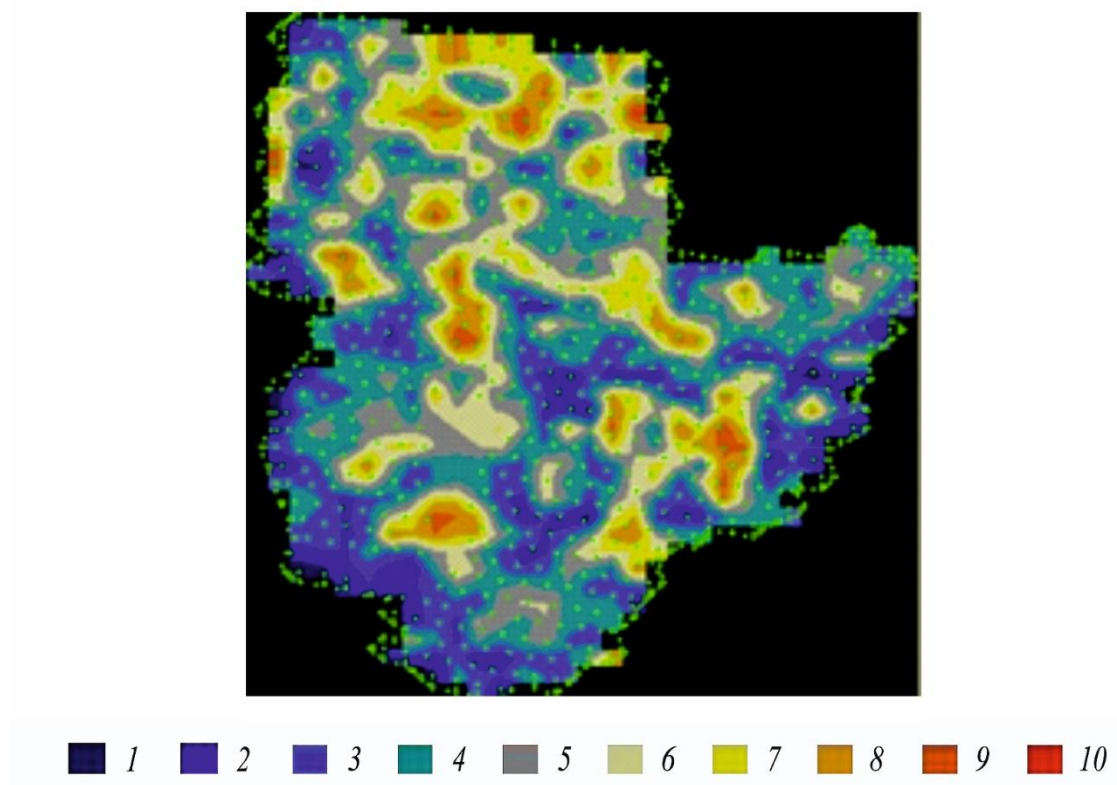


Рисунок 21. Линейный кригинг точек. Штокверк Крутой, нижняя пластина. Классы содержаний (%): 1 – < 0,05, 2 – 0,05-0,1, 3 – 0,1-0,15, 4 – 0,15-0,2, 5 – 0,2-0,25, 6 – 0,25-0,3, 7 – 0,3-0,4, 8 – 0,4-0,5, 9 – 0,5-1,0, 10 – >1,0.

Несмотря на то, что точечный кригинг ведет к сглаживанию данных, на Рисунке 21 видно, что прерывистость оруденения при высоком бортовом содержании всё равно весьма значительна.

Для решения задачи оценивания был применен аппарат блочного кригинга, который более наглядно помогает выделить перспективные участки в виде блоков с учётом технических возможностей отработки месторождения и минимальных размеров объемов селекций. Соответственно, при задании бортового содержания появляется возможность отсекаать безрудные части, а остальное отрабатывать «валовым способом». По вариантам осреднения подсчитывались: коэффициенты рудоносности (K_p), средние содержания полезного компонента (C_{cp}) и запасы металла (P). Все показатели подсчитывались в комплексе GST3.02.

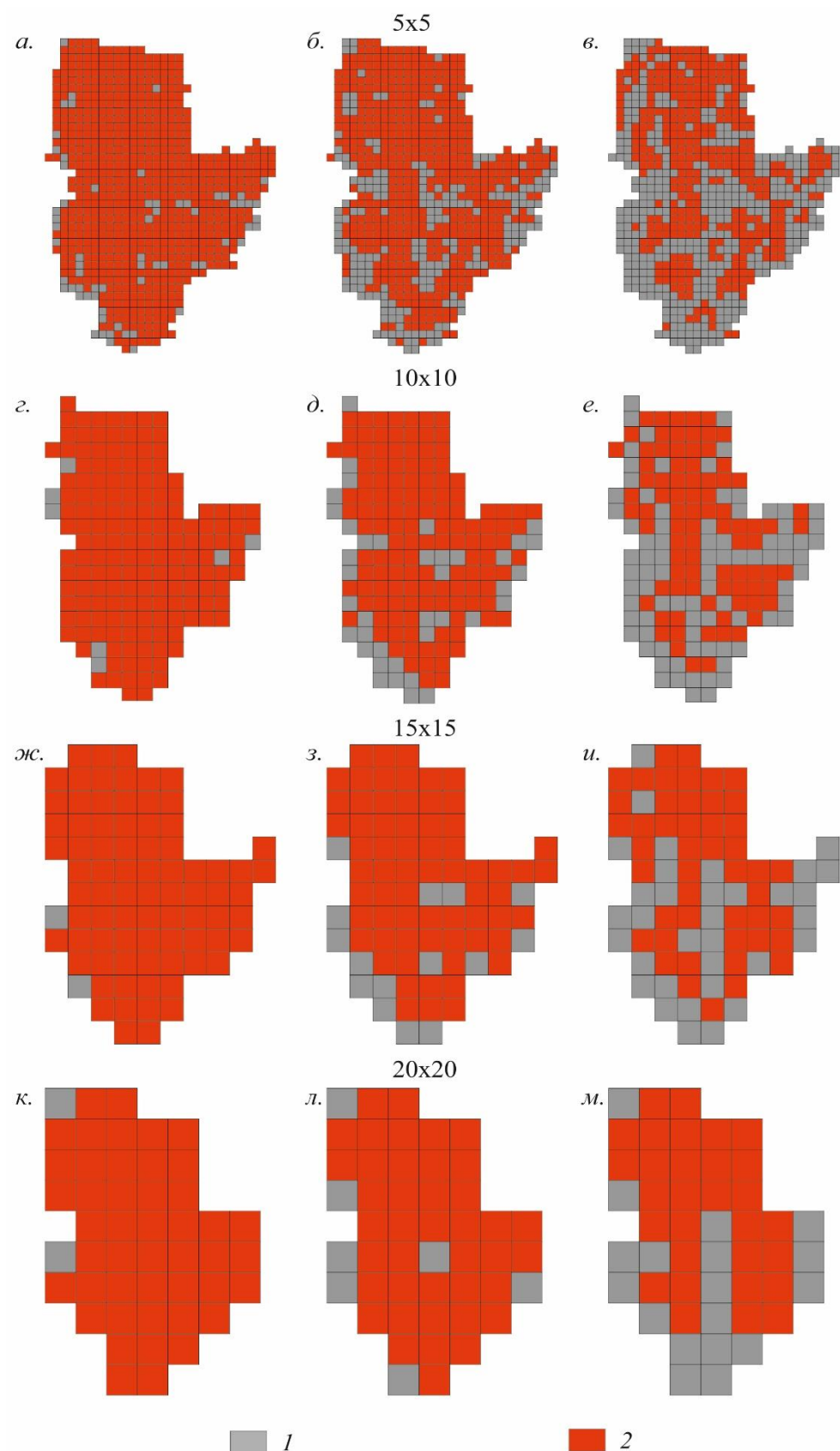


Рисунок 22. Планы участков кондиционных руд на штоковке Крутой, построенные методом линейного кригинга. Бортовые содержания олова: для: а, г, ж, к - 0.10 %; б, д, з, л - 0.15%; в, е, и, м - 0.20%. 1 – безрудные участки, 2 – кондиционные руды.

Из планов распределения кондиционных руд, построенных методом кригинга видно, что при низкой степени прерывистости и высоком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,1 \%$) за счёт сглаживания участки некондиционных руд появляются в незначительном количестве в краевых частях при увеличении окна осреднения, т.е. оруденение практически сплошное.

При средней степени прерывистости ($C_6 = 0,15 \%$) при небольшом окне сглаживания оруденение остается прерывистым. При больших размерах блоков осреднения некондиционные участки также выделяются в краевых частях, и появляются единичные участки некондиционных руд в центре объекта.

При осреднении методом кригинга картина такая же, как и при осреднении методом скользящего окна - при низкой и средней степени прерывистости, при крупных размерах окна сглаживания, центральную часть штокверка можно отрабатывать валовым способом, а некондиционные краевые блоки везти в отвал.

При высокой степени прерывистости и низком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,2 \%$) при небольшом окне осреднения оруденение также остается прерывистым. Участки кондиционных руд значительных размеров появляются при увеличении параметров блоков осреднения. Данные участки можно отрабатывать селективно укрупнёнными блоками.

При кригинге, так же, как и при методе скользящего окна, при одинаковом значении бортового содержания, но при увеличении размера блока степень прерывистости оруденения уменьшается. Также и средние содержания ($C_{ср}$) уменьшаются при одинаковом значении бортового содержания, но при увеличении размера окна сглаживания. Рассмотрим таблицы и графики, приведённые ниже.

Изменение коэффициента рудоносности (K_p) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_6 . Штокверк Крутой, нижняя пластина.

(Линейный кригинг)

Размер блока	Коэффициент рудоносности (K_p)	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	K_p	0,91	0,71	0,49
10×10	K_p	0,96	0,79	0,52
15×15	K_p	0,98	0,81	0,58
20×20	K_p	0,96	0,85	0,63

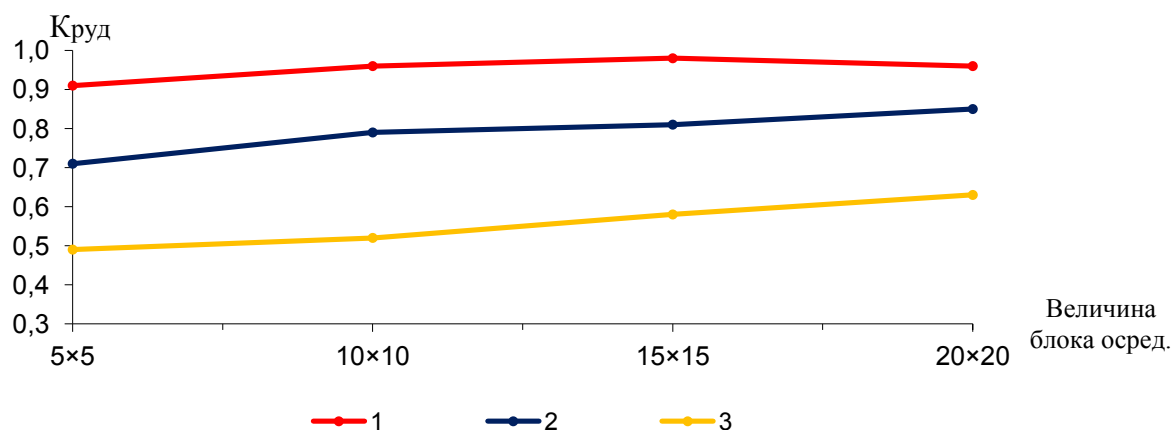


Рисунок 23. График изменения коэффициента рудоносности (K_p) для бортовых содержаний: 1 – 0,10%, 2 – 0,15%, 3 – 0,20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод линейного кригинга).

По Рисунку 23 видно, что коэффициент рудоносности (K_p) при увеличении блока осреднения постоянно растёт, т.е. он не выходит «на плато», как при методе скользящего окна. Единственный случай, когда увеличение параметра блока не влечет увеличения коэффициента рудоносности – это вариант перехода блока 15×15 метров к блоку размером 20×20 метров при бортовом содержании 0,1%. Но разброс в значениях K_p незначительный, поэтому его можно и не учитывать. Большой рост коэффициента рудоносности (K_p) свидетельствует о том, что при методе кригинга забалансовые участки чаще переходят в балансовые, чем при методе скользящего окна.

Средние содержания (C_{cp}) снижаются более равномерно, чем при сглаживании скользящим окном. Возможно, это связано с тем что метод кригинга проводится с перекрытием окон осреднения. А так как распределение содержания асимметрично, то на среднее содержание в блоке низкие содержания в пробе будут не очень влиять, а вот высокие будут повышать содержание в блоке. То есть осреднение методом кригинга более чувствительно к высоким значениям признака, так как одно значение распространяется на несколько блоков, что будет сказываться и на росте коэффициента рудоносности. Средние содержания (C_{cp}) уменьшаются при одинаковом значении бортового содержания, но при увеличении размера окна сглаживания.

Таблица 9

Изменение среднего содержания (C_{cp}) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_b . Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Линейный кригинг)

Размер блока	Среднее содержание (C_{cp}), %	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	C_{cp}	0,242	0,274	0,319
10×10	C_{cp}	0,231	0,254	0,295
15×15	C_{cp}	0,234	0,256	0,285
20×20	C_{cp}	0,237	0,252	0,280

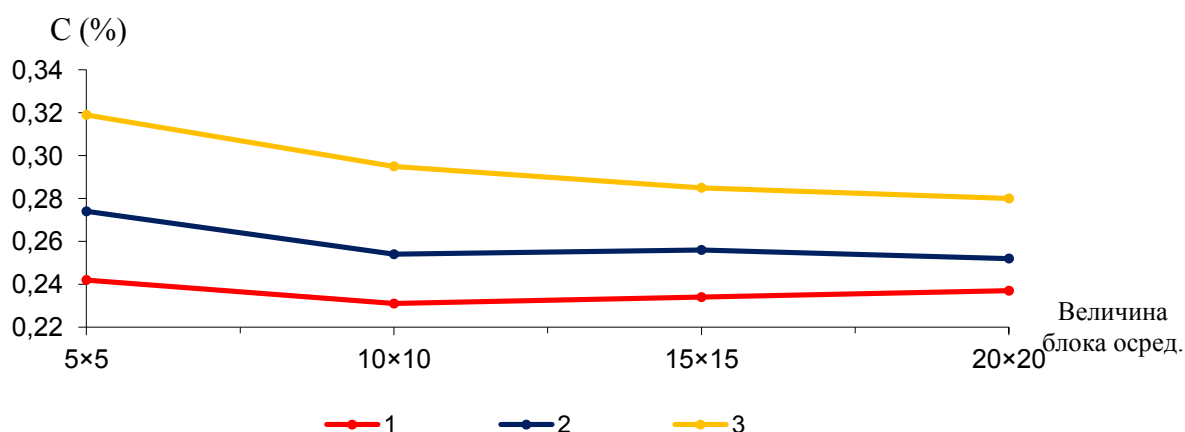


Рисунок 24. График изменения среднего содержания (C_{cp}) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод линейного кригинга).

Из графика на Рисунке 24 видно, что при увеличении блока осреднения оценки среднего содержания C_{cp} не всегда смещаются в сторону снижения.

Возможно, это связано с тем, что при высоком коэффициенте рудоносности бортовое содержание особого значения не имеет, так как практически вся масса породы будет являться рудой, соответственно и среднее содержание будет постоянно. Так содержания 0.231%, 0.234% и 0.237% можно считать постоянными. При коэффициенте рудоносности около 0.5 -0.6 тенденция к уменьшению среднего содержания при увеличении параметра блока восстанавливается.

Таблица 10

Изменение запасов металла (Р) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания Сб. Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Линейный кригинг)

Размер блока	Запасы металла (Р), кг	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	Р	544,00	482,00	387,00
10×10	Р	551,00	499,00	380,00
15×15	Р	561,00	513,00	410,00
20×20	Р	592,00	559,00	454,00

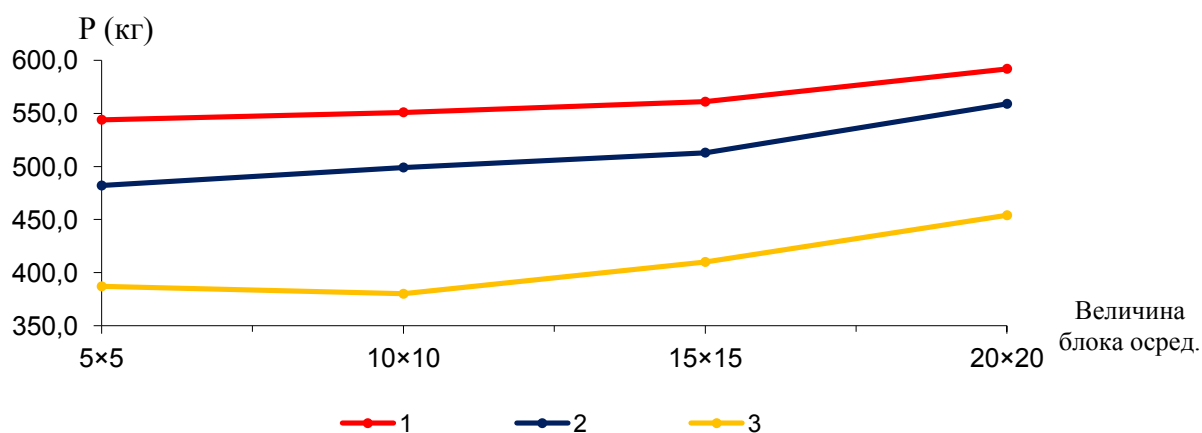


Рисунок 25. График изменения запасов металла (Р) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод линейного кригинга).

По Рисунку 25 прослеживается рост запасов металла (P) не зависимо от степени прерывистости. При этом, при низкой степени прерывистости ($C_6 = 0,1\%$) увеличение происходит в меньших пределах, чем при высокой степени прерывистости ($C_6 = 0,2\%$). Это говорит о том, что количество блоков, которые переводятся в балансовые больше, чем тех, что переводятся в забалансовые. О чем, кстати свидетельствует и постоянное увеличение коэффициента рудоносности.

Можно сделать вывод, что метод кригинга позволяет осреднить и выявить участки сплошных руд. Так при низкой степени прерывистости (при высоком коэффициенте рудоносности и низком бортовом содержании) оруденение становится практически непрерывным. При средней степени прерывистости практически сплошное оруденение выявляется только при сглаживании блоками крупного размера. При высокой степени прерывистости (при низком коэффициенте рудоносности и высоком бортовом содержании) при осреднении крупными блоками можно выявить значительные по площади участки кондиционных руд.

Из примера видно, что при методе кригинга при увеличении блока осреднения происходит равномерное снижение среднего содержания и плавное увеличение коэффициента рудоносности. Предположительно, это связано с тем, что метод подразумевает перекрытия окон осреднения. Запасы металла, при этом, растут при увеличении блоков осреднения не зависимо от степени прерывистости.

Далее, стоит привести таблицу характеристик изменчивости по планам построенным методом кригинга:

Таблица 11

Значение характеристик изменчивости по сортовым планам построенным методом кригинга. Штокверк Крутой, нижняя пластина

Размер блока	Коэффициент вариации, %	Закономерная составляющая (ортогональным полиномом 4
--------------	-------------------------	--

		порядка), %
5×5	55,97	16,84
10×10	44,46	24,47
15×15	38,27	40,15
20×20	37,44	55,7

Так видно из Таблицы 11, доля закономерной координированной составляющей изменчивости растёт. И даже визуально видно, что метод кригинга позволяет на планах выделить участки для отработки «валовым способом» при низких бортовых содержаниях и участки для селективной отработки укрупненными блоками при высоких бортовых содержаниях.

3.5.3. Осреднение методом двойного кригинга

При применении двойного кригинга использовались те же процедуры, что и в работе с аппаратом простого кригинга – линейный кригинг точек и блоков. Процедура проводилась путём записи результатов точечного кригинга первого порядка, и повторного их сглаживания кригингом.

Так, проведя линейный кригинг точек, получено графическое изображение – Рисунок 26. Радиус привлечения проб взят 15 м, а шаг интерполяционной сети – 5м.

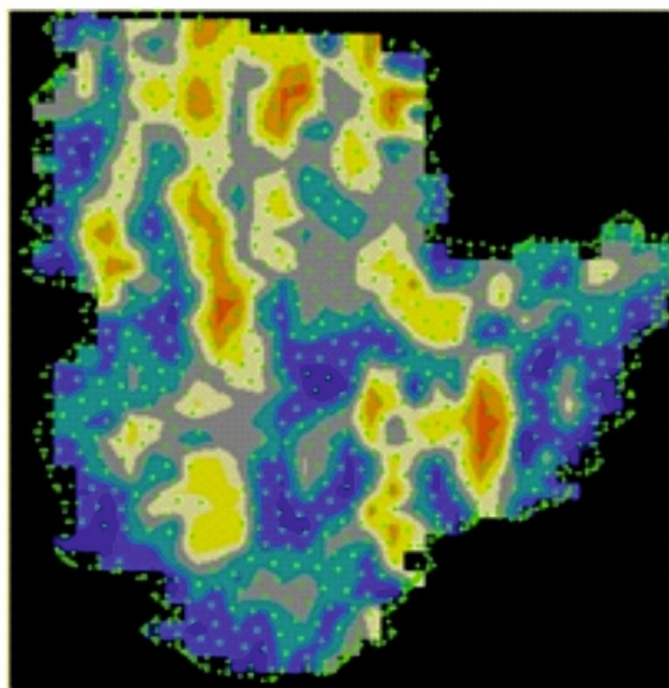


Рисунок 26. Двойной кригинг точек. Штокверк Крутой, нижняя пластина. Классы содержаний (%): 1 – $< 0,05$, 2 – $0,05-0,1$, 3 – $0,1-0,15$, 4 – $0,15-0,2$, 5 – $0,2-0,25$, 6 – $0,25-0,3$, 7 – $0,3-0,4$, 8 – $0,4-0,5$, 9 – $0,5-1,0$, 10 – $>1,0$.

Как уже было отмечено, точечный кригинг ведет к сглаживанию данных, так на Рисунке 26 видно, что прерывистость оруденения уменьшилась по сравнению с точечным кригингом первого порядка. Соответственно, и при высоком бортовом содержании – $0,2\%$, получается наметить участки в северной части плана, которые достаточно надёжно можно выделить не только для селективной отработки, но и отработки «валовым способом», а также и другие участки пригодные для селективной отработки укрупненными блоками. Между тем по Рисунку 26 заметно, что наиболее обогащенные участки вытянуты в меридиональном направлении, как и система трещин, вмещающая рудные прожилки. Эта же картина наблюдается и при двойном кригинге по верхней пластине штокверка Крутой. Поэтому, можно предположить, что двойной кригинг выявляет фактическую морфологию обогащенных участков на штокверке.

При применении аппарата двойного блочного кригинга содержания усреднялись также по блокам размером 5×5 , 10×10 , 15×15 , 20×20 метров. Показано, как при задании бортового содержания появляется возможность отсекаать безрудные части, а остальное добывать «валовым способом».

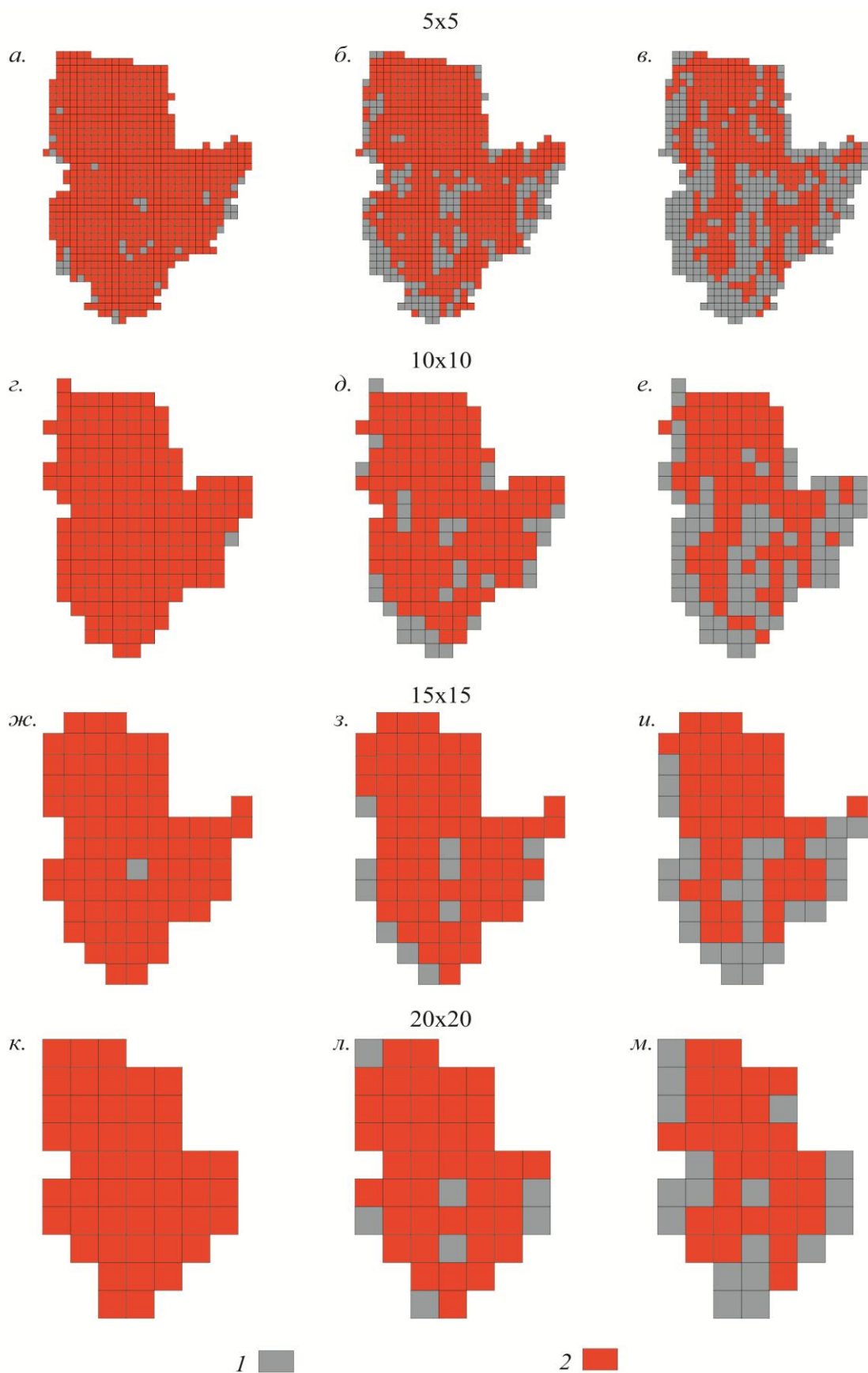


Рисунок 27. Планы участков кондиционных руд на штокверке Крутой, построенные методом двойного линейного кригинга. Бортовые содержания олова: для: а, г, ж, к - 0.10 %; б, д, з, л - 0.15%; в, е, и, м - 0.20%. 1 – безрудные участки, 2 – кондиционные руды.

Из планов распределения кондиционных руд, построенных методом двойного кригинга видно, что при низкой степени прерывистости и высоком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,1 \%$) за счёт сглаживания окном малого размера участки некондиционных руд выявляются в незначительном количестве в центральных частях, при увеличении окна осреднения, оруденение становится сплошным.

При средней степени прерывистости ($C_6 = 0,15 \%$) при небольшом окне сглаживания оруденение остается немного прерывистое. При больших размерах блоков осреднения некондиционные участки также выделяются в краевых частях, и появляются единичные участки некондиционных руд в центре объекта.

Как и в предыдущих двух методах, при низкой и средней степени прерывистости при крупных размерах окна осреднения, центральную часть штокверка можно отрабатывать валовым способом, а некондиционные краевые блоки везти в отвал.

При высокой степени прерывистости и низком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,2 \%$) при небольшом окне осреднения оруденение также остается прерывистым. Участки кондиционных руд значительных размеров, пригодные к отработке селективно, но укрупненными блоками, появляются при увеличении размеров блоков осреднения.

При двойном кригинге, также прослеживается тенденция к уменьшению степени прерывистости оруденения при одинаковом значении бортового содержания и при увеличении размера блока. Также и средние содержания (C_{cp}) уменьшаются во всех вариантах при одинаковом значении бортового содержания, но при увеличении размера окна сглаживания. То есть общие закономерности при двойном кригинге остаются теми же, что и при одинарном. О чем свидетельствуют таблицы и графики, приведённые ниже.

Изменение коэффициента рудоносности (K_p) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_6 . Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Двойной линейный кригинг)

Размер блока	Коэффициент рудоносности (K_p)	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	K_p	0,95	0,77	0,53
10×10	K_p	0,99	0,83	0,55
15×15	K_p	1	0,86	0,64
20×20	K_p	1	0,88	0,65

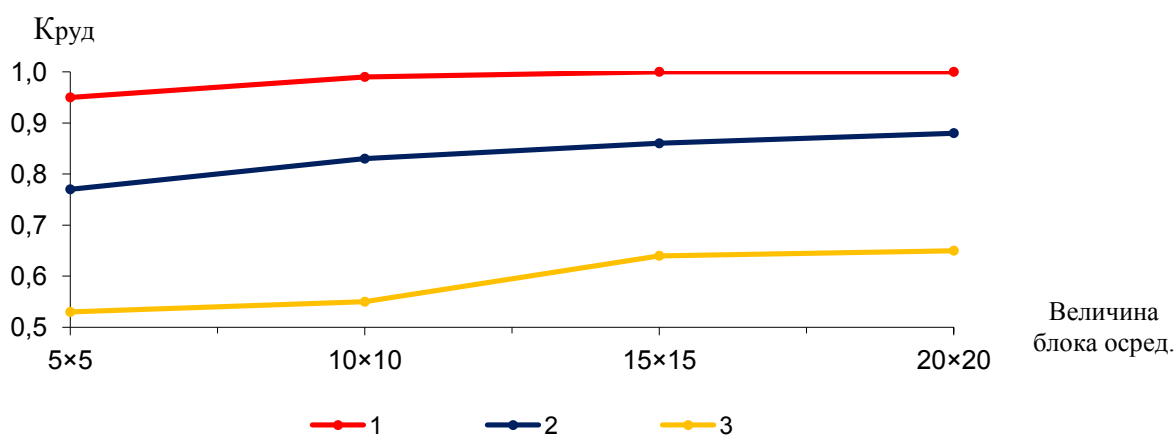


Рисунок 28. График изменения коэффициента рудоносности (K_p) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод двойного линейного кригинга).

Графики по двойному кригингу похожи на графики по кригингу обычному, т.е. коэффициент рудоносности (K_p) при увеличении блока осреднения постоянно растёт, он не выходит «на плато», как при методе скользящего окна. Увеличение параметра блока влечет увеличения коэффициента рудоносности при всех бортовых содержаниях. При этом, при низком бортовом содержании коэффициент рудоносности можно считать постоянным, так как руды практически сплошные.

Большой рост коэффициента рудоносности (K_p) свидетельствует о том, что при методе двойного кригинга (как и одинарного кригинга) забалансовые участки чаще переходят в балансовые, чем при методе скользящего окна.

Средние содержания (C_{cp}) снижаются также, как и при одинарном кригинге, достаточно равномерно. Как уже упоминалось, скорее всего, это связано с тем, что метод кригинга проводится с перекрытием окон осреднения. Средние содержания (C_{cp}) при низкой степени прерывистости (при $C_b = 0,1 \%$) при увеличении размера блока сглаживания колеблются слабо, так как оруденение становится практически сплошным.

Таблица 13

Изменение среднего содержания (C_{cp}) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_b . Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Двойной линейный кригинг)

Размер блока	Среднее содержание (C_{cp}), %	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	C_{cp}	0,233	0,258	0,295
10×10	C_{cp}	0,226	0,247	0,283
15×15	C_{cp}	0,227	0,242	0,266
20×20	C_{cp}	0,224	0,236	0,258

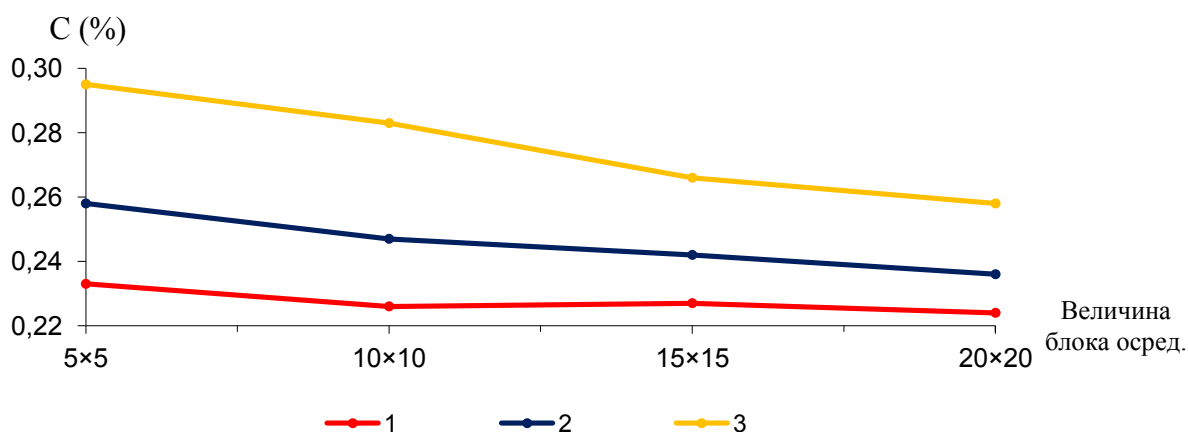


Рисунок 29. График изменения среднего содержания (C_{cp}) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод двойного линейного кригинга.)

Из графика на Рисунке 29 видно, что при увеличении блока осреднения оценки среднего содержания C_{cp} смещаются в сторону снижения, что ожидаемо.

Изменение запасов металла (P) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания Сб. Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Двойной линейный кригинг)

Размер блока	Запас металла, кг.	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	P	548,00	489,00	390,00
10×10	P	559,00	508,00	391,00
15×15	P	558,00	516,00	421,00
20×20	P	581,00	538,00	433,00

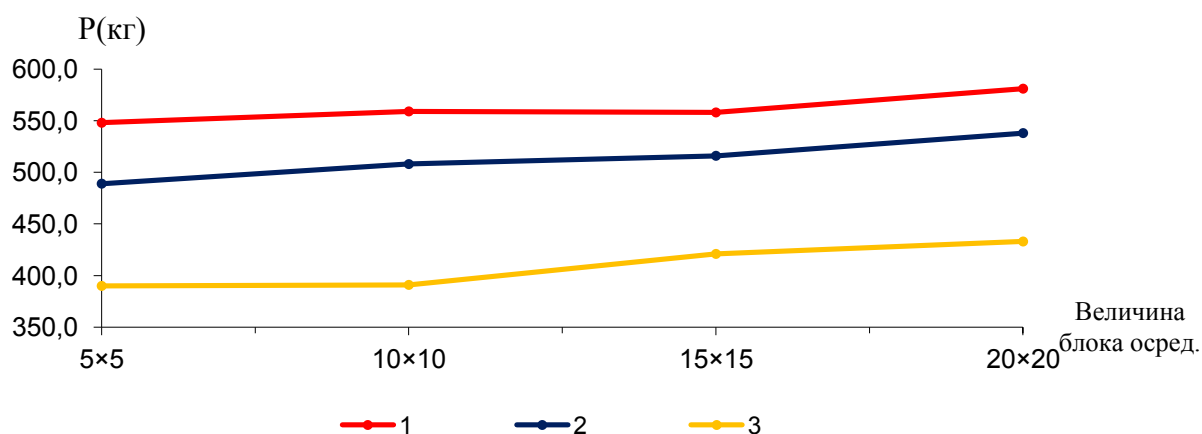


Рисунок 30. График изменения запасов металла (P) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод двойного линейного кригинга)

По Рисунку 30 видно, что запасы металла (P) увеличиваются не зависимо от степени прерывистости, как и при обычном кригинге. При этом, при низкой степени прерывистости ($C_6 = 0,1 \%$) увеличение происходит в меньших пределах, чем при высокой степени прерывистости ($C_6 = 0,2 \%$). Это говорит о том, что количество блоков, которые переводятся в балансовые больше, чем тех, что переводятся в забалансовые.

Итоги, полученные по аппарату двойного кригинга совпадают с результатами кригинга одинарного. Метод двойного кригинга также позволяет осреднить и выявить участки сплошных руд. Так при низкой степени

прерывистости (при высоком коэффициенте рудоносности и низком бортовом содержании) оруденение непрерывное. При средней степени прерывистости практически сплошное оруденение выявляется только при сглаживании блоками крупного размера. При высокой степени прерывистости (коэффициент рудоносности больше чем 0.5 и высоком бортовом содержании) оруденение прерывистое, но при осреднении крупным блоком можно выявить значительные по площади участки кондиционных руд.

Видно, что при методе двойного кригинга при увеличении блока осреднения происходит равномерное снижение среднего содержания и плавное увеличение коэффициента рудоносности. Предположительно, это связано с тем, что метод подразумевает перекрытия окон осреднения. Запасы металла, при этом, растут при увеличении блоков осреднения не зависимо от степени прерывистости.

Но при сравнении двойного кригинга с кригингом одинарным, стоит отметить, что при двойном кригинге изменение размера блока сказывается менее, так как при двойном кригинге разброс значений запасов руды не так велик, как при одинарном кригинге, соответственно и дисперсия его меньше. Видимо, при двойном кригинге и общие тенденции слабее зависят от размера блока осреднения.

Далее приведена таблица характеристик изменчивости по планам, построенным методом двойного кригинга:

Таблица 15

Значение характеристик изменчивости по сортовым планам построенным методом двойного кригинга. Штокверк Крутой, нижняя пластина

Размер блока	Коэффициент вариации, %	Закономерная составляющая (ортогональным полиномом 4 порядка), %
5×5	45,14	23,45
10×10	38,72	31,60
15×15	29,85	57,94
20×20	28,15	55,15

Так, из таблицы 15 видно, что доля закономерной координированной составляющей изменчивости не всегда растёт. Визуально видно, что метод двойного кригинга позволяет на планах более надежно выделить участки для отработки «валовым способом» при низких бортовых содержаниях и для селективной отработки укрупненными блоками на высоких бортовых содержаниях.

3.5.4. Осреднение методом индикаторного кригинга

Индикаторный кригинг – это ещё один метод с помощью которого можно описывать и анализировать оруденение с прерывистым характером. Для этого по вариантам бортового содержания олова 0,1, 0,15 и 0,2 – рассчитывались маски по принципу «1 в большее значение бортового содержания». Далее для масок, используя их, как обычный параметр, были найдены тренды, вариограммы и проведен кригинг для разных величин блока осреднения. Вероятность того, что руда оцениваемого блока имеет среднее содержание ниже бортового принята за 50%. Вообще, индикаторный кригинг – ещё один из способов выделения в объектах с прерывистым характером оруденения блоков балансовых (пригодных для отработки «валовым способом») запасов и забалансовых – где селективная отработка невозможна, а «валовым способом» отработать тоже нельзя, т.к. содержание будет ниже минимального промышленного.

Полученные графические изображения линейного кригинга точек для бортовых содержаний 0,1%, 0,15% и 0,2% изображена на Рисунке 31. Радиус привлечения проб взят 15 м, а шаг интерполяционной сети – 5м.

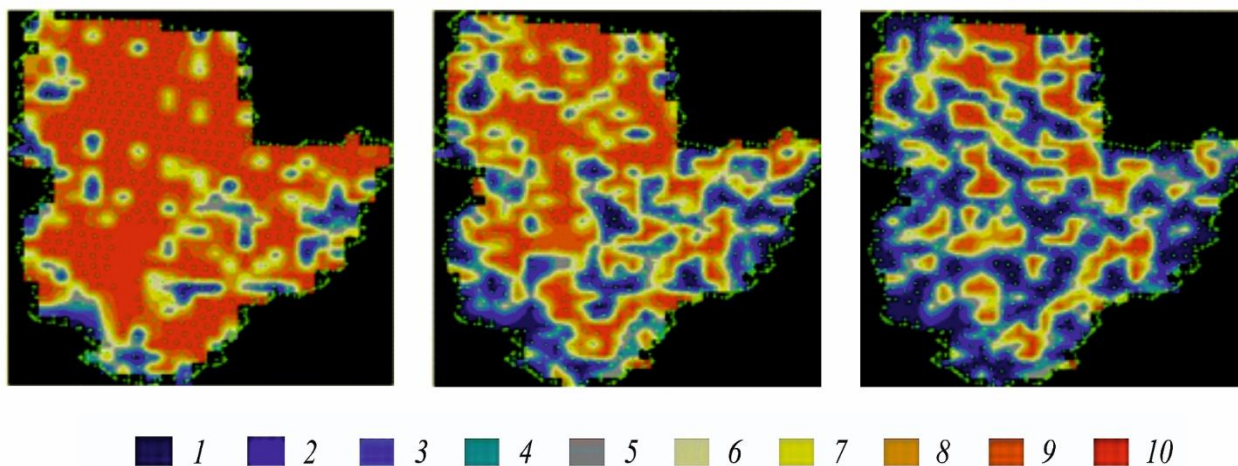


Рисунок 31 Индикаторный кригинг точек. Штокверк Крутой, нижняя пластина. Классы содержаний (%): 1 – $< 0,05$, 2 – $0,05-0,1$, 3 – $0,1-0,15$, 4 – $0,15-0,2$, 5 – $0,2-0,25$, 6 – $0,25-0,3$, 7 – $0,3-0,4$, 8 – $0,4-0,5$, 9 – $0,5-1,0$, 10 – $>1,0$.

Точечный кригинг ведет к сглаживанию данных, но на Рисунке 31 видно, что прерывистость оруденения по сравнению с точечным кригингом первого и второго порядков несколько увеличилась, особенно при высоком бортовом содержании – $0,2\%$. При нем даже с трудом получается наметить участок в более богатой северной части плана, который можно надёжно выделить для отработки «валовым способом» или же для селективной отработки укрупненными блоками.

Далее показано, как при блочном индикаторном кригинге, при задании вероятности (надежности, с которой можно утверждать, что блок балансовый), появляется возможность отсекать безрудные части, а остальное добывать «валовым способом».

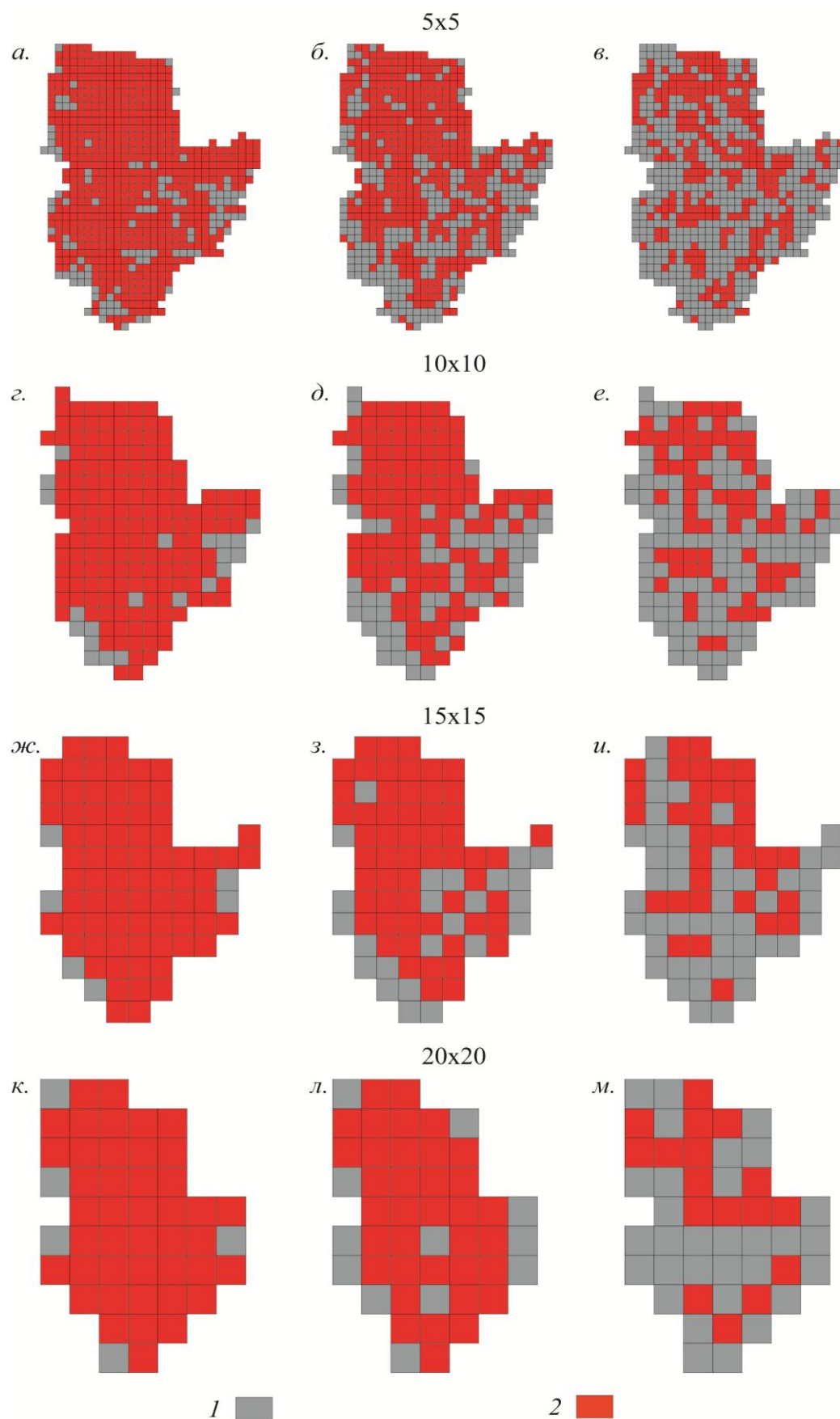


Рисунок 32. Планы участков кондиционных руд на штокверке Крутой, построенные методом индикаторного кригинга. Бортовые содержания олова: для *а, г, ж, к* - 0.10 %; *б, д, з, л* - 0.15%; *в, е, и, м* - 0.20%. 1 – безрудные участки, 2 – кондиционные руды.

Из планов распределения кондиционных руд, построенных методом индикаторного кригинга видно, что при низкой степени прерывистости и высоком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,1 \%$) при расчете в блоках малого размера участки некондиционных руд выявляются в незначительном количестве в центральных частях, при увеличении окна осреднения некондиционные участки выделяются в краевых частях. Т.е. при низкой степени прерывистости при крупных размерах окна осреднения, центральную часть штокверка можно отрабатывать валовым способом, а некондиционные краевые блоки везти в отвал.

При средней степени прерывистости ($C_6 = 0,15 \%$) при небольшом размере блоков оруденение остается прерывистым. Даже при больших размерах блоков осреднения некондиционные участки, которые следует везти в отвал, в достаточном количестве выделяются в краевых частях, и появляются участки некондиционных руд в центре объекта.

При высокой степени прерывистости и низком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,2 \%$) при любом окне осреднения оруденение остается прерывистым. Участки кондиционных руд, пригодные для отработки укрупненными блоками, значительных размеров появляются только при увеличении блоков осреднения.

При индикаторном кригинге также прослеживается тенденция к уменьшению степени прерывистости оруденения при одинаковом значении бортового содержания и увеличении размера блока.

Таблица 16

Изменение коэффициента рудоносности (K_p) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_6 . (надёжность 50%). Штокверк Крутой, нижняя пластина. (Индикаторный кригинг)

Размер блока	Коэффициент рудоносности	Бортовое содержание, %		
		0,10	0,15	0,20
5×5	K_p	0,84	0,62	0,40
10×10	K_p	0,89	0,67	0,38
15×15	K_p	0,93	0,70	0,42
20×20	K_p	0,90	0,75	0,35

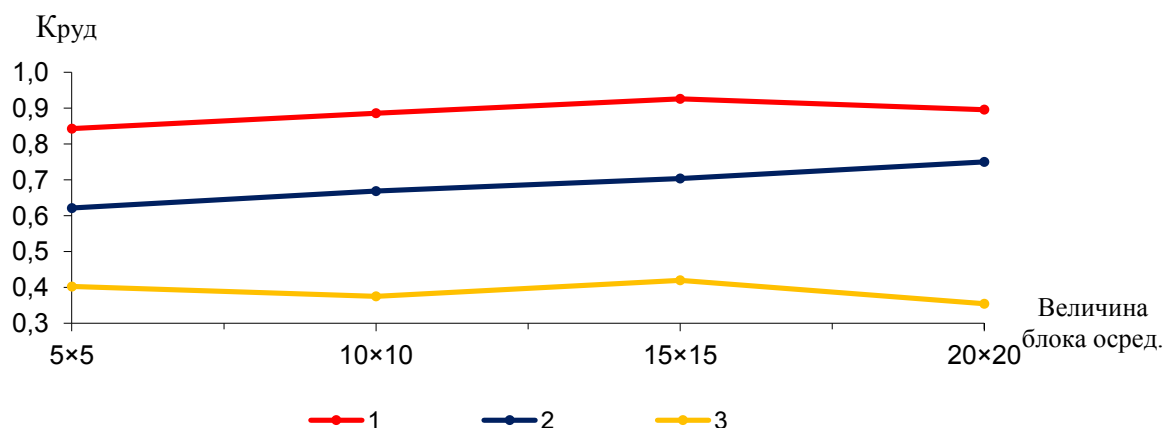


Рисунок 33. График изменения коэффициента рудоносности (K_p) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, в зависимости от размера блока осреднения. (Метод индикаторного кригинга).

По Рисунку 33 видно, что коэффициент рудоносности (K_p) при увеличении блока осреднения растёт далеко не всегда. В ряде случаев, особенно при высокой степени прерывистости, он наоборот уменьшается. Это свидетельствует о том, что при методе индикаторного кригинга балансовые участки чаще переходят в забалансовые, чем при остальных методах осреднения. То есть метод индикаторного кригинга дает большую прерывистость, чем остальные методы, так как он не учитывает асимметрию распределения содержаний олова. Поэтому задачу выделения кондиционных участков при прерывистом характере оруденения, он решает хуже других методов. К тому же данный метод не позволяет оценить средние содержания (C_{cp}) и подсчитать запасы металла (P). Также, индикаторный кригинг является дескретной моделью, поэтому тренд-анализ в данном случае неприемлем [86].

Результаты всех приведенных выше примеров, можно заключить в таблицу:

Доля тренда в дисперсии содержаний после осреднения по блокам
различными методами

	Параметры блока осреднения, м	Вид метода		
		Метод скользящего окна	Кригинг	Двойной кригинг
Доля тренда %	5×5	7,04	16,84	23,45
	10×10	16,61	24,47	31,6
	15×15	38,19	40,15	57,94
	20×20	55,7	55,7	55,15

Из таблицы видно, что все методы приводят к увеличению доли закономерной составляющей изменчивости, а значения тренда по всем рассмотренным методам по блокам 20×20 м практически совпадают. То есть, если элементы селекции больших объемов, метод осреднения значения не имеет. По блокам, размеры которых не так велики, видна тенденция – чем меньше объем, тем больше разница между методами. Самые лучшие результаты показывает метод двойного кригинга, за ним следует метод кригинга, и далее метод скользящего окна. Метод скользящего окна при параметрах блока сглаживания 5×5 м совпадает с сортовым планом, построенным традиционным методом и осреднения данных не происходит, так как сеть буровзрывных скважин, по которым проводилось опробование, также равна 5×5 м, другие же методы сглаживают и в блоке, такого размера.

Визуально, все планы также похожи, за исключением планов индикаторного кригинга, где степень прерывистости остается достаточно высокой.

Следовательно, когда элементы селекции велики, то для осреднения данных подходит любой метод, при уменьшении размеров элементов селекции целесообразно использовать метод двойного кригинга.

Можно сделать вывод, что не так важно, каким методом сглаживания пользоваться, чтобы наметить участки для отработки на «массу» или селективной отработки укрупненными блоками, не привязанными к единичным пробам, так как все методы осреднения дают достаточно высокие значения тренда и удовлетворительные картинки сортовых планов. То есть данные методы помогают выделить закономерную составляющую и сгладить случайную. Намного большее значение для решения этой задачи имеет выбор параметров блока осреднения.

Так как результаты осреднения зависят от величины блока сглаживания, метода осреднения и степени прерывистости, то интерес представляют размеры участков кондиционных и некондиционных руд и характер их размещения.

Так как все методы работают в одинаковом направлении [43], далее все исследования выполнялись на примере метода кригинга. Сначала происходит осреднение данных по элементарным блокам, потом вводится кондиция бортового содержания C_6 на блок, при этом происходит изменение подсчётных параметров – среднего содержания, запасов кондиционных руд и металла. За счет осреднения данных часть кондиционных пересечений по кондиционным пробам попадают в блоки некондиционные в среднем, в следствии чего, теряется часть запасов руды и металла. Встречается и обратная ситуация, когда при осреднении прерывистого оруденения часть некондиционных пересечений будет попадать в кондиционный блок, следовательно, будут увеличиваться запасы руды и металла, но уменьшаться среднее содержание. Результат будет зависеть от частоты перехода кондиционных пересечений в некондиционные блоки и наоборот. А это в свою очередь зависит от степени прерывистости и соотношения количества кондиционных и некондиционных пересечений. Когда количество кондиционных линейных пересечений больше, то увеличиваются запасы руды и запасы металла и уменьшается среднее содержание. Когда прерывистость высока и некондиционных пересечений больше, чем кондиционных, то запасы руды и металла могут уменьшаться. Это предположение было проверено на штокверке Крутой его южной части.

Южный блок

Для моделирования более высокой степени прерывистости был рассмотрен отдельно более бедный южный блок при бортовых содержаниях 0,1%, 0,15%, 0,2% и 0,25%.

По данному блоку были подсчитаны запасы методом кригинга. При применении аппарата блочного кригинга содержания усреднялись также по блокам размером 5×5 м., 10×10 м., 15×15 м., 20×20 м. Радиус привлечения проб взят 15 м.

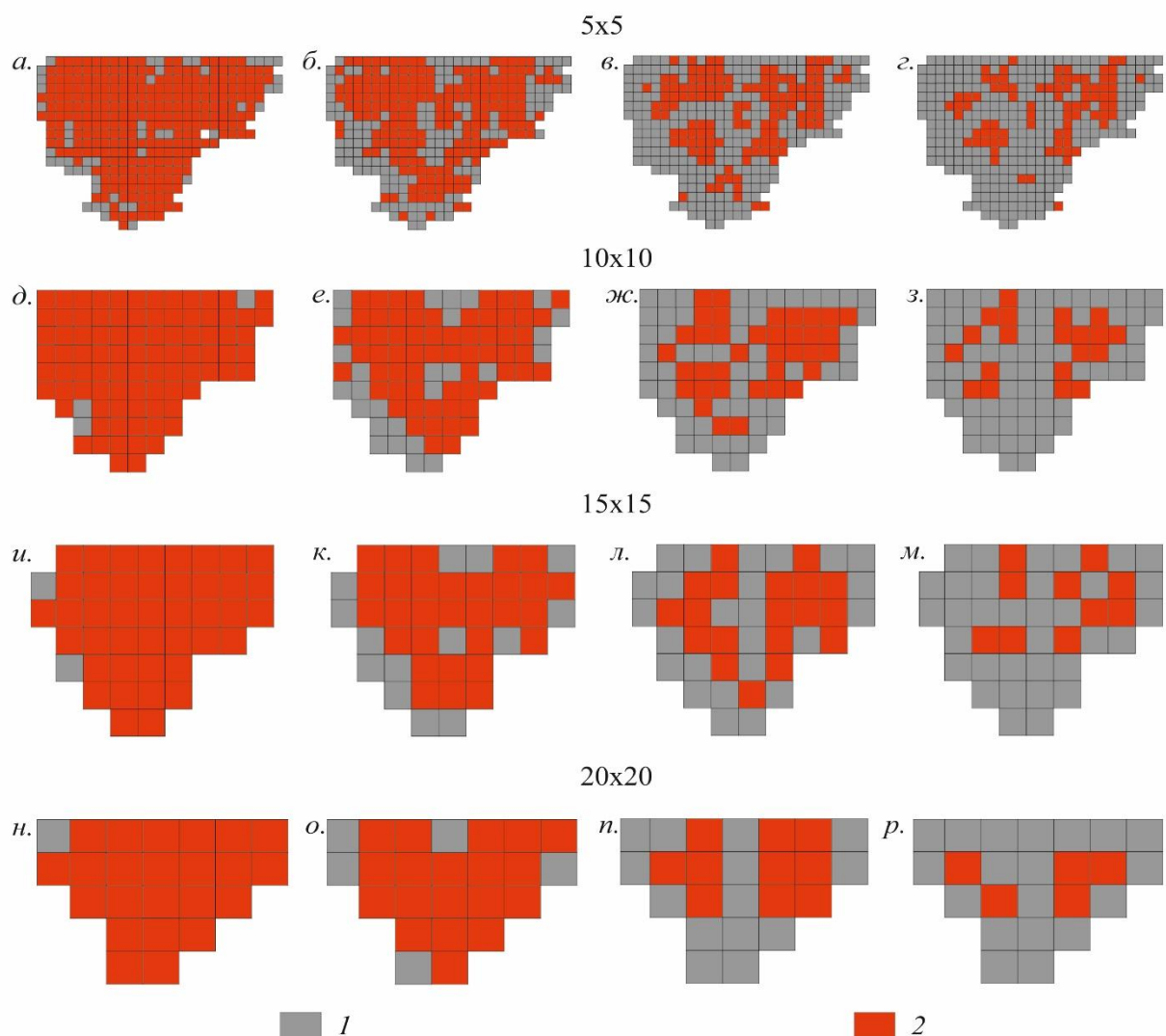


Рисунок 34. Планы участков кондиционных руд на штоковке Крутой (южный блок), построенные методом линейного кригинга. Бортовые содержания олова: для: а, д, и, н - 0,10 %; б, е, к, о - 0,15%; в, ж, л, п - 0,20%, г, з, м, р - 0,25%. 1 – безрудные участки, 2 – кондиционные руды.

Для планов распределения кондиционных руд по южному блоку штокверка Крутой, построенных методом кригинга, выводы можно сделать те же, что и по штокверку целиком. При низкой степени прерывистости и высоком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,1 \%$) за счёт сглаживания участки некондиционных руд появляются в незначительном количестве в краевых частях при увеличении окна осреднения, а оруденение носит сплошной характер.

При средней степени прерывистости ($C_6 = 0,15 \%$) при небольшом окне сглаживания оруденение остается прерывистое. При больших размерах блоков осреднения некондиционные участки также выделяются в краевых частях.

Соответственно, как и по штокверку в целом, при низкой и средней степени прерывистости при крупных размерах окна осреднения, центральную часть штокверка можно отрабатывать «валовым способом», а некондиционные краевые блоки везти в отвал.

При высокой степени прерывистости и низком коэффициенте рудоносности ($C_6 = 0,2 \%$) при небольшом окне осреднения оруденение также остается прерывистое. Участки кондиционных руд, пригодные для отработки укрупненными блоками, появляются при увеличении параметров блоков осреднения.

Для южного блока была смоделирована ещё более высокая степень прерывистости при $C_6 = 0,25 \%$. В данном случае оруденение остается прерывистое при любых параметрах блоков осреднения.

Рассмотрим таблицы и графики, приведённые ниже.

Таблица 18

Изменение коэффициента рудоносности (K_p) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_6 . Штокверк Крутой, нижняя пластина, южный блок

Размер блока	Коэффициент рудоносности (K_p)	Бортовое содержание, %			
		0,10	0,15	0,20	0,25
5×5	K_p	0,85	0,61	0,38	0,24
10×10	K_p	0,97	0,70	0,41	0,22

Размер блока	Коэффициент рудоносности (K_p)	Бортовое содержание, %			
		0,10	0,15	0,20	0,25
15×15	K_p	0,95	0,68	0,43	0,23
20×20	K_p	0,96	0,79	0,42	0,21

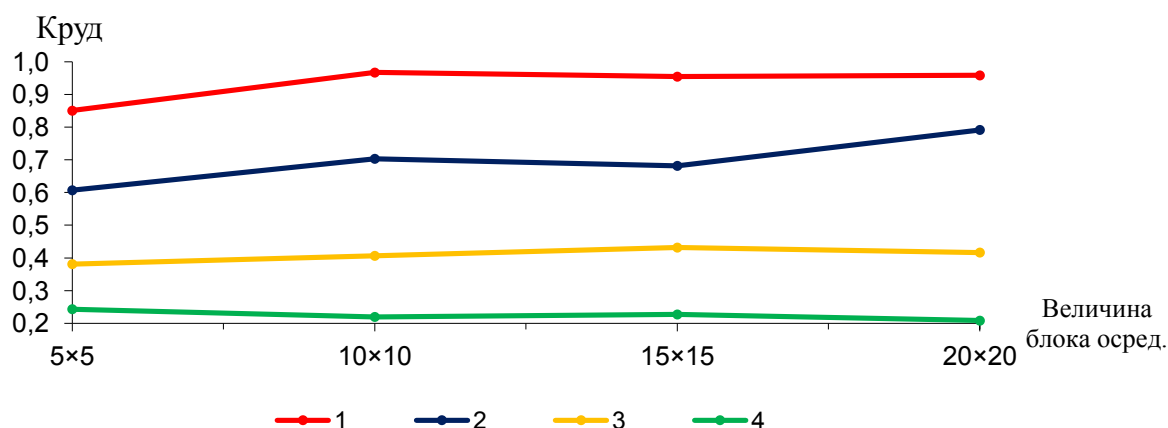


Рисунок 35. График изменения коэффициента рудоносности (K_p) для бортовых содержаний: 1 – 0,10%, 2 – 0,15%, 3 – 0,20%, 4 – 0,25% в зависимости от размера блока осреднения. Метод линейного кригинга. Южный блок.

По Рисунку 35 видно, что коэффициент рудоносности (K_p) при увеличении блока растёт далеко не всегда. При высокой степени прерывистости коэффициент рудоносности (K_p) уменьшается. Это свидетельствует о том, что балансовые участки чаще переходят в забалансовые, чем наоборот. При низкой степени прерывистости разброс в значениях K_p также незначительный, поэтому его можно и не учитывать, тем более, что при $C_6 = 0,1$ % оруденение непрерывно. Так небольшой рост коэффициента рудоносности (K_p) при низких и средних степенях прерывистости свидетельствует о том, что забалансовые участки немного чаще переходят в балансовые, а его уменьшение при высоких степенях прерывистости – о том, что, в этом случае, чаще переходят забалансовые участки в балансовые [68].

Средние содержания (C_{cp}) снижаются достаточно равномерно, как и по штокверку целиком (нижней пластине). Средние содержания (C_{cp}) уменьшаются

при одинаковом значении бортового содержания, но при увеличении размера окна сглаживания, при всех вариантах бортовых содержаний.

Таблица 19

Изменение среднего содержания ($C_{\text{ср}}$) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания $C_{\text{б}}$. Штокверк Крутой, нижняя пластина, южный блок

Размер блока	Среднее содержание ($C_{\text{ср}}$), %	Бортовое содержание, %			
		0,10	0,15	0,20	0,25
5×5	$C_{\text{ср}}$	0,222	0,262	0,313	0,362
10×10	$C_{\text{ср}}$	0,204	0,235	0,282	0,334
15×15	$C_{\text{ср}}$	0,204	0,237	0,274	0,323
20×20	$C_{\text{ср}}$	0,202	0,221	0,264	0,305

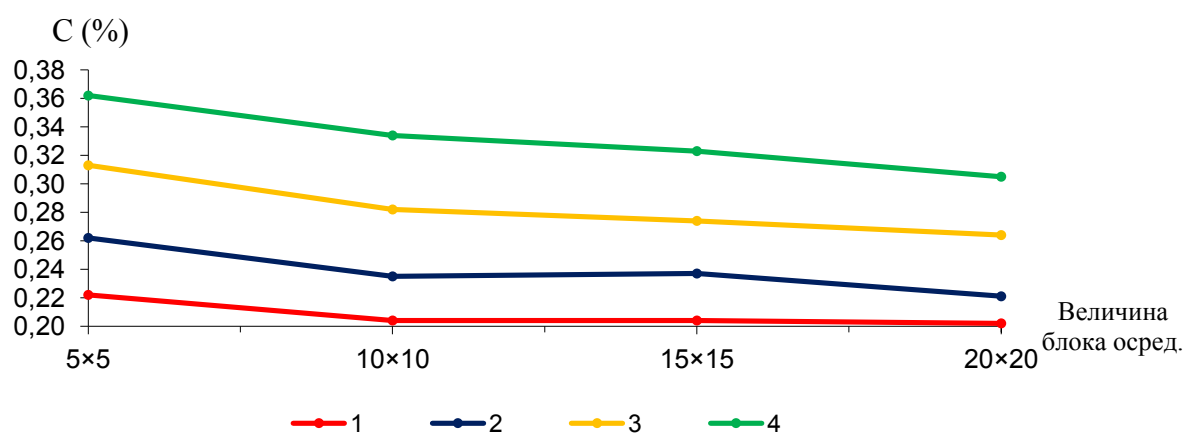


Рисунок 36. График изменения среднего содержания ($C_{\text{ср}}$) для бортовых содержаний: 1 – 0,10%, 2 – 0,15%, 3 – 0,20%, 4 – 0,25% в зависимости от размера блока осреднения. Метод линейного кригинга. Южный блок.

Из графика на Рисунке 36 видно, что при увеличении блока осреднения оценки среднего содержания $C_{\text{ср}}$ всегда смещаются в сторону снижения.

Изменение запасов металла (Р) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания Сб. Штокверк Крутой, нижняя пластина, южный блок

Размер блока	Запасы металла (Р), кг	Бортовое содержание, %			
		0,10	0,15	0,20	0,25
5×5	Р	217,80	183,02	137,50	101,60
10×10	Р	243,00	204,10	140,90	90,26
15×15	Р	261,00	216,60	158,20	98,30
20×20	Р	252,10	226,90	142,90	82,70

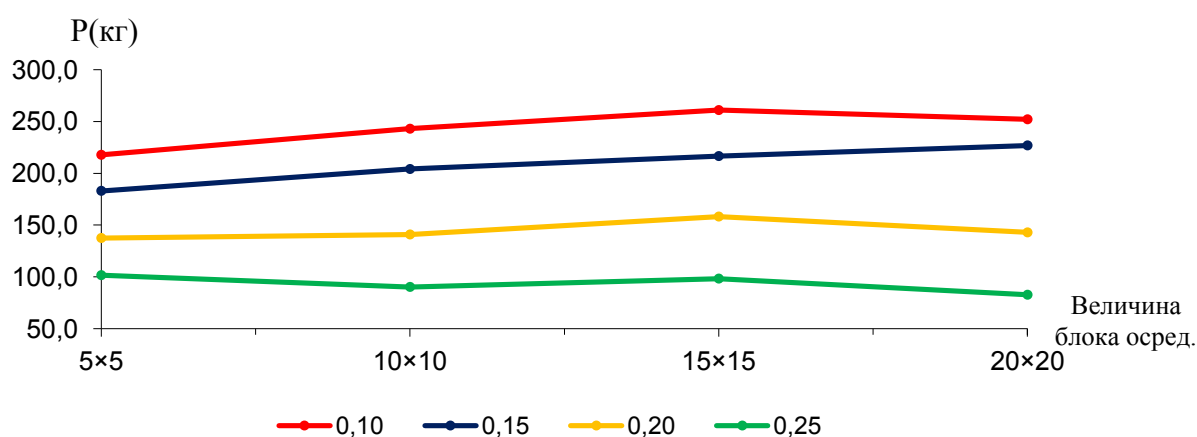


Рисунок 37. График изменения запасов металла (Р) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, 4 – 0,25% в зависимости от размера блока осреднения. Метод линейного кригинга. Южный блок.

По Рисунку 37 прослеживается рост запасов металла (Р) при низких и средних степенях прерывистости. При высоких степенях прерывистости ($C_b = 0,20\%$ и $0,25\%$) в некоторых случаях запасы начинают теряться. Это говорит о том, что количество блоков, которые переводятся в забалансовые больше, чем тех, что переходят в балансовые. Это происходит потому что при увеличении параметров блока запасы руды, а соответственно и металла, растут за счет включения мелких некондиционных участков в рудный контур, при значительном увеличении блока — запасы руды уменьшаются, т.к. в блок попадает большое количество некондиционных пересечений и запасы переходят в забалансовые.

Как уже было показано, метод кригинга позволяет осреднить и выявить участки сплошных руд. Так при низкой степени прерывистости (при высоком коэффициенте рудоносности и низком бортовом содержании) оруденение практически непрерывное. При средней степени прерывистости практически сплошное оруденение выявляется только при сглаживании блоками крупного размера. При высокой степени прерывистости (при низком коэффициенте рудоносности и высоком бортовом содержании) оруденение прерывистое, иногда даже при осреднении крупным блоком тяжело выявить значительные по площади участки кондиционных руд.

Из данного примера видно, что при методе кригинга при увеличении блока осреднения происходит равномерное снижение среднего содержания. А вот увеличение коэффициента рудоносности и запасов металла происходит только при низких и средних степенях прерывистости, при высоких – коэффициент рудоносности меняется незначительно, а запасы металла уменьшаются.

Пример с южным блоком штокверка Крутого, позволяет смоделировать ситуацию, когда за счет осреднения данных часть кондиционных пересечений попадает в некондиционные блоки, в следствии чего, теряется часть запасов руды и металла. Такая картина характерна, когда степень прерывистости высока и количество некондиционных пересечений больше, чем кондиционных.

Для южного блока также были посчитаны запасы металла традиционным статистическим методом [33] без осреднения для разных вариантов бортового содержания.

Таблица 21

Значения подсчётных параметров при подсчёте запасов традиционным методом

Подсчетные параметры	Бортовое содержание, %			
	0,10	0,15	0,20	0,25
Коэффициент рудоносности	0,73	0,50	0,35	0,24
Среднее содержания, %	0,250	0,310	0,373	0,438

Запасы руды, т	84013,88	57543,75	40280,63	27621,00
Запасы металла, кг	210,03	178,39	150,25	120,98

Из Таблицы 21 видно, что традиционный метод завышает относительно метода кригинга средние содержания и запасы металла при низком коэффициенте рудоносности. Здесь нужно отметить, что важную роль играет характер распределения содержаний [81]. Так, когда руды контрастные и распределение содержаний асимметрично [34], при подсчете запасов методом кригинга при низком коэффициенте рудоносности из-за высоких содержаний и объем руды будет уменьшаться незначительно, следовательно, и запасы руды не очень будут убывать. На объектах с симметричным распределением содержаний, может получиться, что запасы руды, подсчитанные традиционным методом, будут выше запасов руды, подсчитанных методом кригинга, так как объемы руды в данном случае «уходят» сильнее. Утверждение о том, что именно запасы металла, подсчитанные традиционным методом, являются завышенными, основывается на том, что кригинг ближе к извлекаемым запасам [60], так как подсчет с применением коэффициента рудоносности подразумевает, что все запасы, попавшие в рудный контур, будут извлечены, что невозможно.

Запасы металла, посчитанные методом кригинга при различных вариантах окна осреднения при уменьшении коэффициента рудоносности (увеличении бортового содержания) начинают резче убывать в сравнении с запасами металла подсчитанными традиционным методом.

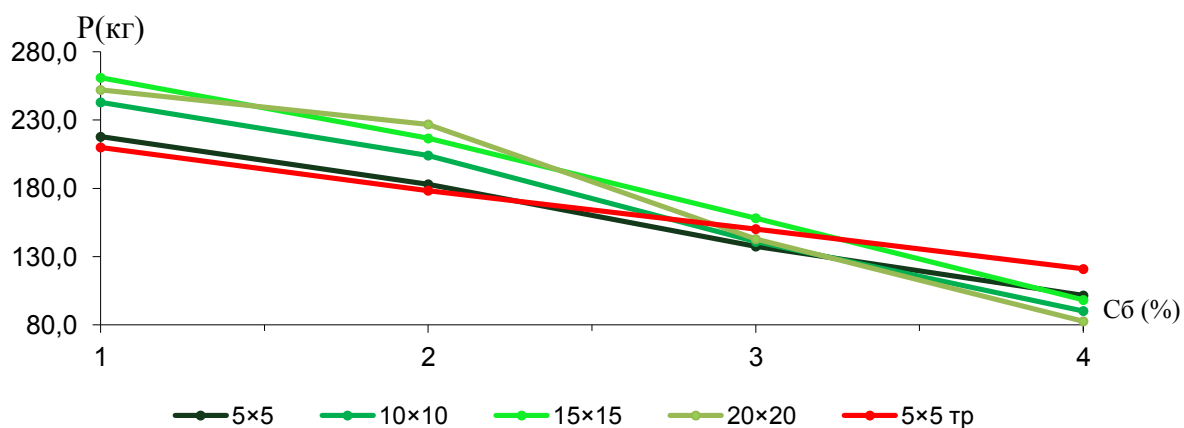


Рисунок 38. График изменения запасов металла (P) в зависимости от бортового содержания (Сб). Штокверк Крутой, нижняя пластина, южный блок.

Так, на Рисунке 38 видно, что при уменьшении значения коэффициента рудоносности до 0,4 - 0,5, в зависимости от величины блока осреднения, запасы металла по традиционному методу уже будут завышены. Поэтому, возможно, предложения о целесообразности введения минимального коэффициента рудоносности в качестве показателя балансовости запасов, которые выдвигались, например, Прокофьевым А.П. [55], Гудалиным Г.Г. [11], Филиным А.М. [71], Киселёвым В.М [32] и др. справедливы.

Опыт отработки штокверковых месторождений показывает, что фактические содержания полезных компонентов в добытой руде, как правило, оказываются значительно ниже подсчитанных в недрах, но это расхождение обычно трактуется как техническое разубоживание при добыче [12].

Так, на месторождениях с крайне прерывистым характером оруденения отмечались и случаи неподтверждения запасов металлов. По месторождениям Хайдаркан и Никитовское, где коэффициент рудоносности по отдельным подсчётным блокам был меньше 0,10, запасы ртути подтвердились соответственно лишь на 79,0 и 66,5% [35]. Значительное неподтверждение запасов было установлено также на Джижикрутском сурьмяном и Шерловогорском оловорудном месторождениях.

Анализ причин неподтверждения запасов на месторождении Хайдаркан показал, что даже весьма густая сеть опробования эксплуатационной разведки не

позволяет оконтурить тела сплошных кондиционных руд и «под рудными телами в процессе добычи фактически понимались объёмы рудонасыщенной породы, подлежащие выемке, которые оконтуривались со значительными отступлениями от утверждённых кондиций» [35, с.265].

Можно сделать вывод, что при выделении кондиционных участков путём осреднения, необходимо учитывать степень прерывистости оруденения, показателем которого является коэффициент рудоносности (K_p) [5]. При высоком K_p , т.е. низкой степени прерывистости увеличение блока осреднения приводит к снижению среднего содержания и увеличению запасов руды, за счет включения некондиционных пересечений. При низком K_p и высокой степени прерывистости увеличение блока также приводит к снижению среднего содержания, а запасы руды могут уменьшаться, поэтому сильно увеличивать блоки осреднения нельзя, иначе с запасами руды будут теряться и запасы металла.

Из данной главы можно сформулировать два тезисных положения:

Тезис 2.

На штокверковых месторождениях с крайне прерывистым характером оруденения с помощью процедур блочного моделирования данных эксплуатационного опробования можно выделить обогащённые участки, которые могут быть рентабельно отработаны валовым способом.

Лучшие результаты получены при использовании процедуры двойного кригинга.

Тезис 3.

Оценки запасов для отработки укрупненными блоками, выделенными методами блочного моделирования отличаются от оценок, полученных при традиционном подсчёте запасов по разведочным пересечениям с введением коэффициента рудоносности (K_p).

При высоком коэффициенте рудоносности ($K_p > 0,5$) традиционный метод занижает извлекаемые запасы руды, а иногда и полезного компонента и завышает среднее содержание (C_{cp}) полезного компонента в руде. При

низком коэффициенте рудоносности ($K_p < 0,5$) традиционный способ может завышать извлекаемые запасы руды и полезного компонента.

Глава 4. Оценка возможности селективной отработки по линейным пересечениям.

В предыдущих главах описана методика выделения участков для отработки «валовым способом» или селективно укрупнёнными блоками на штокверковых месторождениях на которых имеются участки детализации. Но на практике, не всегда есть возможность создавать такие участки. Например, на месторождениях, где оруденение не выходит на поверхность участки детализации создать нельзя. В этом случае можно использовать линейные пересечения, созданные на стадии разведки. И по данным пересечениям изучать характер изменчивости содержаний полезных компонентов с помощью трендов и вариограмм.

Например, по скважинам в разведочных профилях проводится сплошное опробование, следовательно, по результатам этого опробования можно строить графики изменчивости содержаний, вариограммы, а также оценивать тренды в отдельности по каждой скважине и по всем скважинам вместе.

В случае со штокверком Крутой вместо скважин использовались канавы, которые и создают линейные пересечения. Так оценка характеристик изменчивости проводилась по результатам бороздовых проб, отобранных по канавам – K226, K255, K256, K257, K258. Подсчёт осуществлялся в пределах участка детализации на штокверке Крутом. Канавы пройдены через 40 метров. Бороздовые пробы отбирались длиной один метр.

Таблица 22

Значение величины эффекта самородков по результатам бороздовых проб.
Штокверк Крутой, канавы

Номер канавы				
226	255	256	257	258
0,91	>1	>1	>1	>1

Таким образом, по результатам бороздового опробования без сглаживания можно утверждать, что оруденение на штокверке Крутом носит прерывистый характер. Это подтверждают и графики содержаний отдельно по каждой канаве (Рисунок 15). Поэтому для геометризации кондиционных руд по результатам бороздового опробования следует применять методы осреднения данных.

Как было показано ранее, в случае с канавами возможно осреднение данных по интервалам опробования по длине линейного пересечения. Для оценки закономерной составляющей изменчивости содержаний олова по каждой канаве по результатам опробования и осредненным пробам по интервалам 5 м., 10 м., 15 м. и 20 м. были смоделированы и оценены тренды, которые были описаны ортогональным полиномом 2-го порядка. В графу «Среднее значение тренда по канавам, %» внесено среднее арифметическое значений трендов по всем канавам по указанным интервалам осреднения.

Таблица 23

Значение величины тренда (%) по бороздовым пробам при различной длине их осреднения. Штокверк Крутой, канавы

Длина пробы, м	Номер канавы					Среднее значение тренда по канавам, %
	226	255	256	257	258	
1,00	1,40	12,39	7,30	1,03	19,79	8,38
5,00	34,23	41,15	36,63	36,56	31,43	36,00
10,00	35,37	54,92	54,66	58,85	61,37	53,03
15,00	65,28	97,47	77,43	99,79	99,90	87,97
20,00	81,73	99,68	93,10	-	-	91,50

Из Таблицы 23 видно, что к планам по результатам опробования без сглаживания доверия нет, это подтверждают и значения величин эффектов самородков по канавам. С увеличением интервала осреднения, доля закономерной составляющей изменчивости растёт, при этом растёт и доверие к планам распределения кондиционных руд по канавам, которое при размере блока 20×20 является достаточно высоким.

При сглаживании данных на штокверке Крутой по результатам опробования канав были применены следующие методы – кригинг и метод скользящего окна. Все осреднения проводились в блоках определенных размеров, исходя из реальных возможностей отработки штокверковых месторождений при бортовых содержаниях 0,1%, 0,15%, 0,2%, 0,25% и 0,35%. Самый малый размер блока был взят 5×5 м. Укрупненные блоки были взяты кратными исходной сети - 10×10 м., 15×15 м. и 20×20 м. [61]. При сглаживании методом скользящего окна был приведен подсчёт для исходных результатов бороздового опробования, то есть с размером блока 1×1 м.

4. ОСРЕДНЕНИЕ (СГЛАЖИВАНИЕ) РЕЗУЛЬТАТОВ БОРОЗДОВОГО ОПРОБОВАНИЯ

4.1. Метод скользящего окна

Сглаживание методом скользящего окна проводилось без перекрытия.

По вариантам осреднения подсчитывались: коэффициенты рудоносности (K_p), средние содержания полезного компонента (C_{cp}), запасы руды ($Q_{руд}$) и запасы металла (P). Изменение запасов руды соответствует изменению коэффициенту рудоносности. Поэтому данные по запасам руды не приводятся.

Рассмотрим таблицы и графики зависимости коэффициента рудоносности (K_p) от размеров окна осреднения и бортового содержания C_b .

Таблица 24

Изменение коэффициента рудоносности (K_p) в зависимости от бортового содержания C_b и размера окна сглаживания. Штокверк Крутой, канавы

Размер блока	Коэффициент рудоносности (K_p)	Бортовое содержание, %				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,35
1×1	K_p	0,66	0,55	0,44	0,36	0,27
5×5	K_p	0,91	0,79	0,66	0,53	0,31
10×10	K_p	0,91	0,86	0,73	0,50	0,32
15×15	K_p	0,92	0,87	0,71	0,55	0,34
20×20	K_p	0,90	0,83	0,70	0,57	0,30

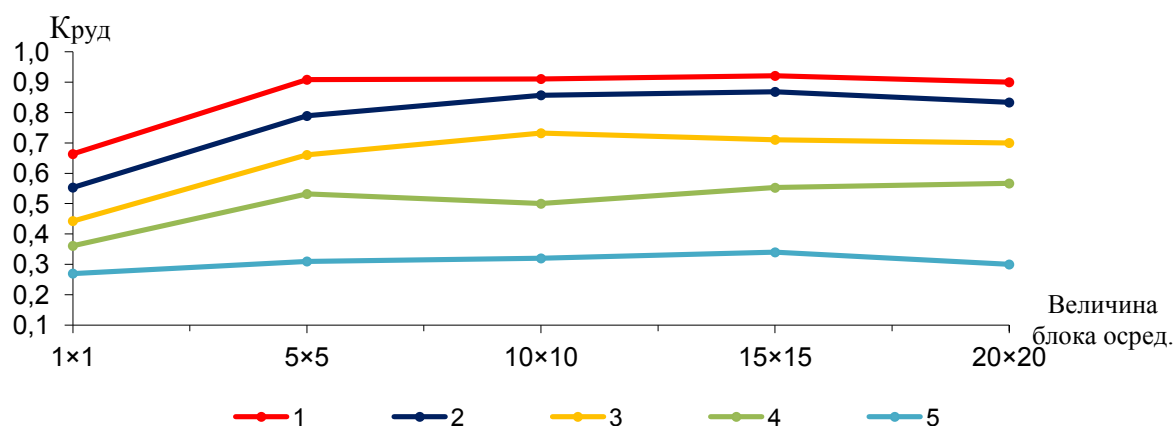


Рисунок 39. График изменения коэффициента рудоносности (K_p) для бортовых содержаний: 1 – 0,10%, 2 – 0,15%, 3 – 0,20%, 4 – 0,25%, 4 – 0,35% в зависимости от размера блока осреднения. Метод скользящего окна, канавы.

По Рисунку 39 видно, что при бортовых содержаниях от 0,1% до 0,25% включительно, коэффициент рудоносности (K_p) в большинстве случаев заметно растёт, это происходит из-за перехода некондиционных блоков в кондиционные за счёт осреднения. При бортовом содержании 0,35% намечается тенденция к снижению коэффициента рудоносности (K_p) при увеличении размера блока осреднения. Эта ситуация свидетельствует о том, что в данном случае балансовые блоки чаще начинают переходить в забалансовые.

При сглаживании методом скользящего окна при увеличении блока осреднения происходит равномерное снижение среднего содержания практически во всех случаях. Единственное отклонение от тенденции наблюдается при бортовом содержании 0,35% и размерах блока 20×20м. Это связано с тем, что при столь крупных блоках в исследуемой выборке мало данных, и она статистически неустойчива.

Таблица 25

Изменение среднего содержания (C_{cp}) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_6 . Штокверк Крутой, канавы. (Метод скользящего окна)

Размер блока	Среднее содержание (C_{cp}), %	Бортовое содержание, %				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,35

Размер блока	Среднее содержание (C_{cp}), %	Бортовое содержание, %				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,35
1×1	C_{cp}	0,443	0,509	0,593	0,68	0,815
5×5	C_{cp}	0,33	0,362	0,399	0,441	0,545
10×10	C_{cp}	0,322	0,334	0,361	0,427	0,495
15×15	C_{cp}	0,319	0,331	0,362	0,399	0,458
20×20	C_{cp}	0,31	0,325	0,351	0,384	0,471

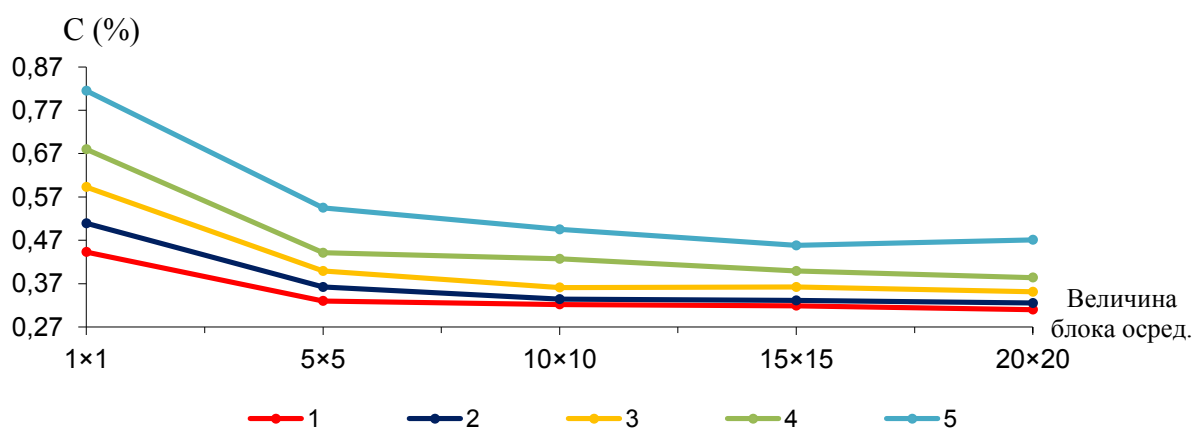


Рисунок 40. График изменения среднего содержания (C_{cp}) для бортовых содержаний: 1 – 0,10%, 2 – 0,15%, 3 – 0,20%, 4 – 0,25%, 4 – 0,35% в зависимости от размера блока осреднения. Метод скользящего окна, канавы.

Целесообразно здесь привести также таблицу и график изменения запасов металла (P) от бортового содержания C_b .

Таблица 26

Изменение запасов металла (P) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания (C_b). Штокверк Крутой, канавы. (Метод скользящего окна)

Размер блока	Запас металла (P), кг	Бортовое содержание				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,35
1×1	P	725,16	694,73	648,06	605,99	542,89
5×5	P	739,46	704,65	650,23	578,94	416,82
10×10	P	723,48	706,30	652,07	526,73	390,79

15×15	P	724,88	709,17	634,57	544,00	384,18
20×20	P	688,33	668,18	606,17	536,85	348,60

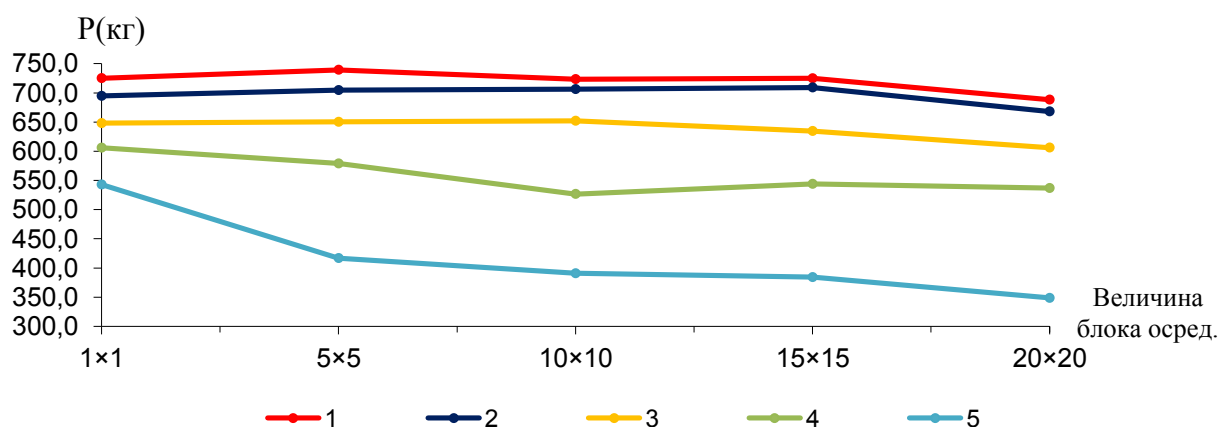


Рисунок 41. График изменения запасов металла (P) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, 4 – 0,25% в зависимости от размера блока осреднения для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, 4 – 0,25%, 4 – 0,35% в зависимости от размера блока осреднения. Метод скользящего окна, канавы.

По Рисунку 41 видно, что при низкой степени прерывистости запасы металла (P) изменяются в небольших пределах. При высокой степени прерывистости запасы начинают заметно теряться. Часть балансовых запасов переходят в забалансовые.

При сглаживании данных по линейным пересечениям скользящим окном при увеличении блока осреднения происходит снижение среднего содержания. А вот увеличение коэффициента рудоносности и запасов металла происходит только при низких и средних степенях прерывистости, при высоких – у коэффициента рудоносности намечается тенденция к уменьшению, а запасы металла заметно убывают.

4.2. Метод линейного кригинга

При работе с аппаратом кригинга применялась процедура линейного кригинга блоков.

Как и при работе с данными по буровзрывным скважинам радиус привлечения проб был взят 15 м, а шаг интерполяционной сети – 5м.

По вариантам осреднения подсчитывались: коэффициенты рудоносности (K_p), средние содержания полезного компонента (C_{cp}) и запасы металла (P).

Рассмотрим таблицы и графики, приведённые ниже.

Таблица 27

Изменение коэффициента рудоносности (K_p) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_b . Штокверк Крутой, канавы.
(Линейный кригинг)

Размер блока	Коэффициент рудоносности (K_p)	Бортовое содержание, %				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,35
5×5	K_p	0,96	0,88	0,71	0,59	0,31
10×10	K_p	0,96	0,86	0,74	0,58	0,30
15×15	K_p	1,00	0,88	0,81	0,68	0,29
20×20	K_p	0,94	0,87	0,68	0,52	0,32

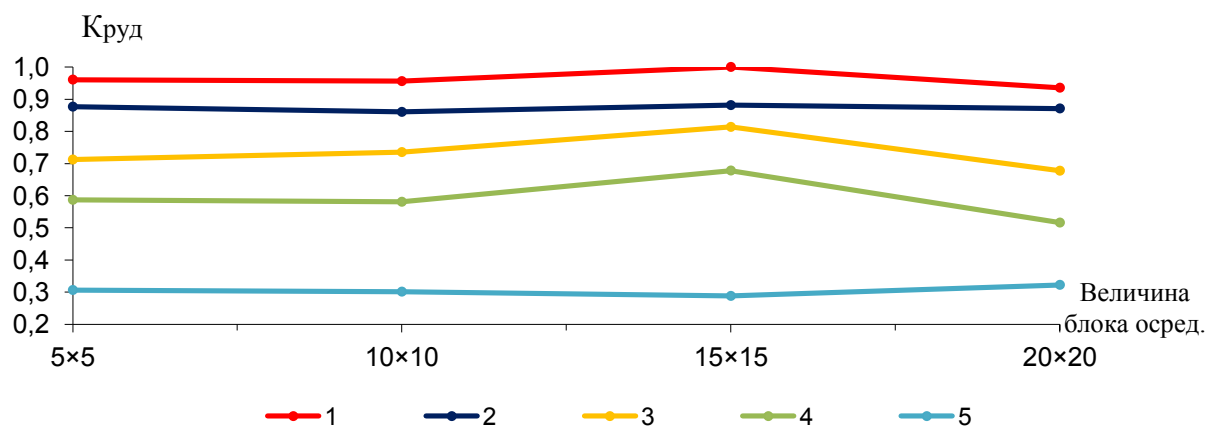


Рисунок 42. График изменения коэффициента рудоносности (K_p) для бортовых содержаний: 1 – 0,10%, 2 – 0,15%, 3 – 0,20%, 4 – 0,25%, 4 – 0,35% в зависимости от размера блока осреднения. Метод линейного кригинга, канавы.

По Рисунку 42 видно, что коэффициент рудоносности (K_p) при низких и средних степенях прерывистости при увеличении блока осреднения до размера 15×15 метров постоянно растёт. При размере блока 20×20 метров коэффициент

рудноносности ведет себя по-разному. Это происходит из-за низких содержаний и малой выборки при столь крупных блоках.

Рост коэффициента рудоносности (K_p) свидетельствует о том, что забалансовые участки чаще переходят в балансовые. При высокой степени прерывистости при бортовом содержании 0,35% коэффициент рудоносности (K_p) незначительно, но уменьшается, опять же за исключением значения при размере блока 20×20 метров. Это свидетельствует о том, что балансовые участки чаще переходят в забалансовые, чем наоборот.

Средние содержания (C_{cp}) не всегда уменьшаются при одинаковом значении бортового содержания и при увеличении размера окна сглаживания. Помимо малой выборки, это может быть связано с тем, что при методе кригинга при увеличении окна осреднения средние содержания уменьшаются, но потом на эти сглаженные данные вводится бортовое содержание. Получается, что с одной стороны средние содержания уменьшаются, а с другой, при вводе бортового содержания исключаются бедные блоки.

Таблица 28

Изменение среднего содержания (C_{cp}) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания C_b . Штокверк Крутой, канавы. (Линейный кригинг)

Размер блока	Среднее содержание (C_{cp}), %	Бортовое содержание, %				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,35
5×5	C_{cp}	0,326	0,346	0,385	0,42	0,532
10×10	C_{cp}	0,321	0,342	0,371	0,41	0,512
15×15	C_{cp}	0,323	0,348	0,364	0,393	0,532
20×20	C_{cp}	0,305	0,319	0,356	0,397	0,457

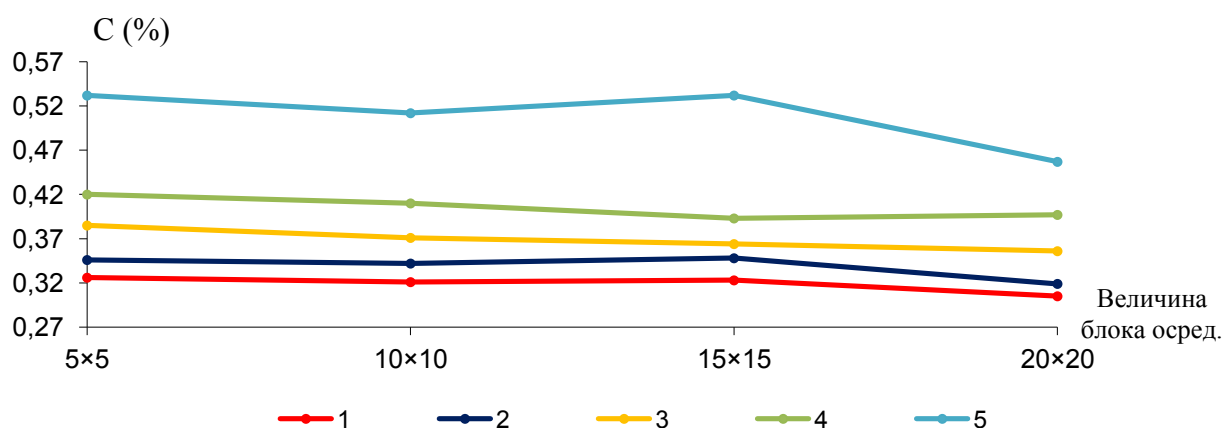


Рисунок 43. График изменения среднего содержания ($C_{ср}$) для бортовых содержаний: 1 – 0,10%, 2 – 0,15%, 3 – 0,20%, 4 – 0,25%, 4 – 0,35% в зависимости от размера блока осреднения. Метод линейного кригинга, канавы.

Так из графика на Рисунке 43 видно, что при увеличении блока осреднения оценки среднего содержания $C_{ср}$ не всегда смещаются в сторону снижения.

Таблица 29

Изменение запасов металла (P) в зависимости от размеров окна осреднения и бортового содержания $C_{б}$. Штокверк Крутой, канавы. (Линейный кригинг).

Размер блока	Запас металла (P), кг	Бортовое содержание, %				
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,35
5x5	P	772,71	748,32	676,43	608,16	402,34
10x10	P	757,01	725,88	673,02	587,57	380,81
15x15	P	796,88	756,70	730,60	657,34	378,18
20x20	P	703,93	685,46	594,98	505,52	363,70

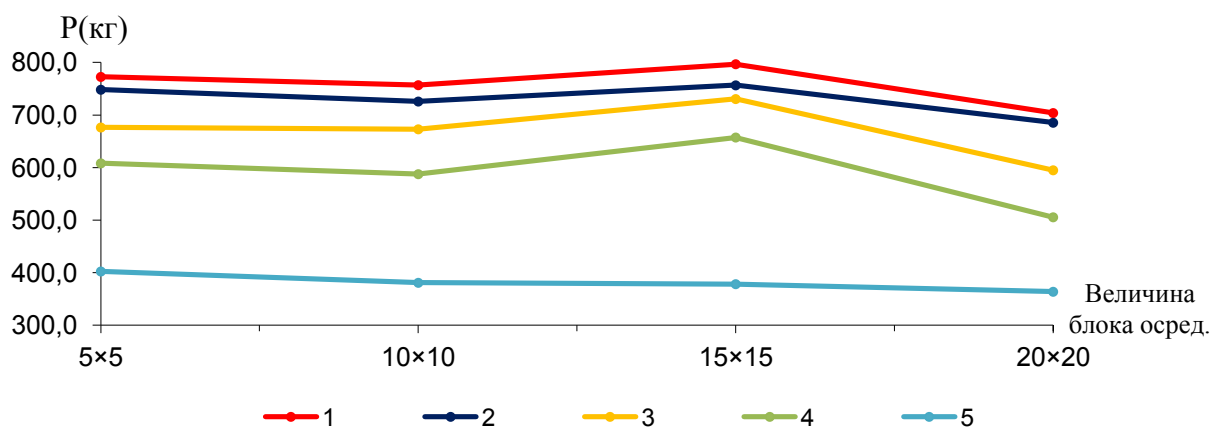


Рисунок 44. График изменения запасов металла (P) для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, 4 – 0,25% в зависимости от размера блока осреднения для бортовых содержаний: 1 – 0.10%, 2 – 0.15%, 3 – 0.20%, 4 – 0,25%, 4 – 0,35% в зависимости от размера блока осреднения. Метод линейного кригинга, канавы.

На Рисунке 44 прослеживается уменьшение запасов металла (P) при размере блока 10×10 метров при низкой и средней степенях прерывистости. Это связано с тем, что при увеличении блока сглаживания, в блоки попадают некондиционные пересечения, отчего их средние содержания, в большинстве случаев, падают. При бортовых содержаниях 0,1%, 0,15%, 0,2% и 0,25% данные блоки остаются кондиционными, а коэффициент рудоносности меняется незначительно. Поэтому при низкой и средней степени прерывистости при размере блока 10×10 метров запасы металла падают. Далее тенденция на увеличение запасов восстанавливается. Результаты осреднения данных при размере блока 20×20 метров не следует брать во внимание, так как данных недостаточно для статистически устойчивой выборки.

При высокой степени прерывистости ($C_6 = 0,35 \%$) прослеживается тенденция на уменьшение запасов металла. Это говорит о том, что количество блоков, которые переводятся в забалансовые больше, чем тех, что переводятся в балансовые.

В данном случае, при методе кригинга при увеличении блока осреднения, в большинстве случаев, среднее содержание снижается. Тенденция на увеличение запасов металла видна только при низких и средних степенях прерывистости и то

не очень явно, при высоких – у коэффициента рудоносности намечается тенденция к уменьшению, запасы металла убывают.

Графики изменения коэффициента рудоносности, среднего содержания и запасов металла, построенные по линейным пересечениям, выявляют основные тенденции, установленные по данным опробования скважин на участках детализации.

Это позволяет сделать вывод, что для решения вопроса о возможности селективной отработки штокверковых месторождениях с крайне прерывистым характером оруденения не обязательно создавать участки детализации, имитирующие сеть эксплуатационной разведки. Возможно использовать линейные пересечения, в достаточном объеме созданные на стадии разведки.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ШТОКВЕРКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Проведенные исследования позволяют сформулировать некоторые рекомендации по методике оценки месторождений с прерывистым характером оруденения.

Стоит рассматривать два варианта - когда есть возможность создать участки детализации, где сеть наблюдения будет совпадать с сетью эксплуатационной разведки, и когда таких участков создать нельзя, например, на месторождениях, где оруденение не выходит на поверхность или создание участков детализации экономически не выгодно.

При создании участка детализации необходимо обосновать его представительность для всего месторождения, рассчитать характеристики изменчивости оруденения и оценить возможность и целесообразность селективной отработки. Если оруденение прерывистое, надо предусмотреть, что при низком коэффициенте рудоносности невозможно геометризовать кондиционные участки по единичным скважинам эксплуатационной разведки, в это случае стоит рекомендовать методы сглаживания. При высоком коэффициенте рудоносности следует вести обработку «валовым способом».

Если участки детализации, имитирующие сеть эксплуатационной разведки создать нельзя, можно использовать линейные пересечения большой длины. Для этого надо на стадии разведки создавать сгущенные профили с разнонаправленными скважинами, и изучать по ним характер изменчивости содержаний полезных компонентов с помощью трендов и вариограмм.

Так по результатам сквозного опробования линейных пересечений, следует строить графики изменчивости содержаний, вариограммы, а также оценивать тренды в отдельности по каждому пересечению и по всем скважинам вместе. Это позволит сделать вывод о характере изменчивости и прерывистости руд. Если степень прерывистости руд низкая, то их можно легко геометризовать по результатам опробования. Если степень прерывистости высокая, то стоит

осреднять данные по интервалам проб, соизмеримым с элементами селекции, то есть уже на стадии разведки прибегнуть к методам блочного моделирования и работать по аналогии с объектами на которых участки детализации имеются, как показано в главе 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной работе были проведены исследования, которые помогли сделать следующие выводы:

1. Был проведен анализ классификаций штокверковых месторождений, который показал, что большинство существующих классификаций непригодны для вопросов разведки и отработки. Основная особенность геологического строения штокверковых месторождений, влияющая на выбор системы разведки, заключается в ориентировке рудных прожилков.

2. При описании изменчивости в пределах горизонтов отработки штокверковых месторождений рассматривались ее закономерная и случайная составляющие. Первая из них описывается поверхностью тренда – полинома 4 порядка, значимость которого оценивалась по критерию Фишера. Далее с использованием вариограмм оценивалась изменчивость признака; в рамках этой процедуры определялись характеристики вариограмм, в том числе – эффект самородков, описывающий случайную составляющую изменчивости признака. В результате проведения исследований можно сделать вывод о том, что полученные данные - результаты тренд-анализа и вид аппроксимирующей функции вариограммы позволяют оценить возможность селективной отработки штокверковых месторождений, т.е. позволяют решать задачу о возможности геометризации выемочных единиц в процессе эксплуатации и оценки содержаний в них полезного ископаемого.

3. Были проведены исследования по изучению влияния геометрии проб на характеристики изменчивости содержаний полезного компонента на штокверковых месторождениях с крайне прерывистым характером оруденения. Для этого были использованы результаты по бороздовым пробам верхней пластины штокверка Крутой. Было доказано, что при расчёте характеристик изменчивости содержаний полезных компонентов с целью решения вопроса о возможности селективной отработки штокверковых месторождений с крайне

прерывистым характером оруденения необходимо учитывать длину, объём и главное, ориентировку проб.

4. В работе доказано, что существуют методы осреднения, с помощью которых на штокверковых месторождениях, даже с крайне прерывистым характером оруденения, можно выделить рудонасыщенные участки. Были рассмотрены следующие методы по разным размерам блоков осреднения – кригинг, двойной кригинг, индикаторный кригинг и метод скользящего окна. Было выявлено, что для элементов селекции больших объемов метод осреднения значения не имеет. На блоках, размеры которых не так велики, лучшие результаты показывает метод двойного кригинга.

5. По южному блоку штокверка Крутой был произведён сравнительный анализ геостатистического метода (кригинга) подсчёта запасов и традиционного с применением коэффициента рудоносности. Было показано, что результаты подсчёта методом кригинга не будут совпадать с результатами традиционного подсчёта запасов по линейным пробам. Так, при низкой степени прерывистости запасы руды и металла имеют тенденцию к увеличению, при высокой степени прерывистости запасы руды и металла могут уменьшаться.

6. В работе были сформулированы рекомендации по методике разведки и оценки штокверковых месторождений с крайне прерывистым характером оруденения на которых можно создать участки детализации и на которых таких участков создать нельзя. При возможности создания участков детализации анализировать характер оруденения с использованием характеристик изменчивости, которые позволяют оценить возможность геометризации скоплений сплошных кондиционных руд и возможность селективной отработки по данным эксплуатационной разведки, целесообразно по этим участкам. Когда участков детализации создать нельзя, стоит использовать линейные пересечения большой длины, созданные на стадии разведки в достаточном количестве.

Проведенные исследования и сделанные на их основе выводы получили свое отражение в защищаемых положениях представленной диссертационной работы.

Дальнейшую работу в данном направлении автор видит в изучении других морфологических типов тел полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Армстронг М. Основы линейной геостатистики. М.: Недра, 1998. 149 с.
2. Бабина Т. О. Анализ объективных факторов, влияющих на эффективность процедуры кригинга. // Известия ВУЗов. Геология и разведка. № 4. 2003. С. 45-49.
3. Бабина Т.О. Условия применения геостатистических методов при оценке запасов месторождений полезных ископаемых: автореф.... дис. канд. геол.-минер. наук. М.: МГГРУ, 2003. 25с.
4. Бабина Т.О. Условия применения геостатистических методов при оценке запасов месторождений полезных ископаемых: дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: МГГРУ, 2003. 108 с.
5. Викентьев В.А., Шумилин М.В. Оценка точности коэффициента рудоносности при подсчете запасов. // Известия вузов. Серия геология и разведка. №3. 1971. С. 83-91
6. Вольфсон Ф.И., Яковлев П.Д. Структура рудных полей и месторождений. М.: Недра, 1975. 271 с.
7. Геологическая энциклопедия под редакцией Козловского Е.А., Ледовских А.А. М.: ВСЕГЕИ, 2012. 1885 с.
8. Геологический словарь под ред. Криштофович А.Н., Спизарский Т.Н. М.: Госгеолтехиздат, 1955. 404 с.
9. Геометризация месторождений полезных ископаемых / под редакцией Букринского В.А. М.: Недра, 1977. 376 с.
10. Горная энциклопедия под редакцией Козловского Е.А. М.: Советская энциклопедия, 1982. 2900 с.
11. Гудалин Г.Г. Предпроектная экономическая оценка рудных месторождений. М.: Недра, 1967. 303 с.

12. Гуськов О.И., Макарьева А.А. Оценка возможности селективной отработки штокерковых месторождений с крайне высокой степенью прерывистости // Недропользование XXI век. 2016.
13. Гуськов О.И., Шумилин М.В. О применении статистических методов для анализа плотности разведочной сети. // Известия вузов. Серия Геология и разведка. №6. 1968. С. 69-77
14. Гушин В.А. Подготовка материалов к пересчёту запасов по штокерку Большой Шерловогорского месторождения. Иркутск, 1983. 146 с.
15. Гюрих Т. Минеральное царство. СПб.: Брокгауз-Ефрон, 1904. 722с.
16. Давид М. Геоэкономические методы при оценке запасов руд. Л.: Недра, 1980. 360 с.
17. Дамдинова Л.Б., Особенности строения и минерального состава молибденит-кварцевых прожилков в гранитах Первомайского массива (Джидинское рудное поле) Граниты и эволюция Земли: геодинамическая позиция, петрогенезис и рудоносность гранитоидных батолитов. М-лы I международной конференции. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. с.107-110.
18. Девис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии. / под редакцией Родионов Д.А. М.: Недра, 1990. 319 с.
19. Дружинин А.В. История развития структуры на примере одного жильного редкометального месторождения. // Геология и горное дело. 1958, № 28. М.: Металлургиздат. С. 38 – 48.
20. Игнатович В.И. Внутреннее строение Первомайского молибденового штокерка. // Проблемы образования рудных столбов. Новосибирск; 1972. С. 394 – 401.
21. Иерархия геологических тел / под редакцией Косыгина Ю.А. Хабаровск: Книжное издательство, 1978. 679 с.
22. Каждан А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых. М., Недра, 1974. 272 с.
23. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых М.: Недра, 1984. 285 с.

24. Каждан А.Б. Разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1977. 327
25. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии: Учебник для ВУЗов. М.: Недра, 1990. 251 с.
26. Каждан А.Б., Гуськов О.И., Шиманский А.А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых: Учебное пособие. М.: Недра, 1979. 168 с.
27. Каллистов П.Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании. // Современная геология. Сб. 53. 1956. С. 118-151
28. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб: Недра, 2002. 424 с.
29. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ. СПб.: Недра, 2004. 420 с.
30. Капутин Ю.Е., Ежов А.И., Хенли С. Геостатистика в горно-геологической практике. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1995. 191 с.
31. Карлье Э. Методика количественной оценки месторождений урана. М.: Атомиздат, 1966. 352 с.
32. Киселев В.М. Промышленная оценка и обоснование минимального допустимого коэффициента рудоносности // Разведка и охрана недр. № 12. 1974. С. 10-13.
33. Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М.: Недра, 1974. 304 с.
34. Колмогоров А.Н. О логарифмически- нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении. // Доклад АН СССР. Т. 31. 1941. С. 99-101
35. Комплексная геолого-экономическая оценка рудных месторождений (основы методики)/ А.М. Быбочкин, Л.З. Быховский, Ю.Ю. Воробьев и др. – М.: Недра, 1990. 326 с.
36. Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Гос. научно-техн. изд-во по геологии и охране недр, 1961. 390 с.

37. Крейтер В.М. Структуры рудных полей. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 270 с.
38. Криге Д.Г. Роль математической статистики в методах уточненной оценки промышленного оруденения на рудниках Южной Африки // Вопросы математической геологии. – Л.: Наука, 1968. – с.252-271.
39. Кумбс Д. Искусство и наука оценки запасов (перевод с английского О. Казаков). Перт: COOMBES CAPABILITY, 2008. 231 с.
40. Лабушев М.М. Математические методы и модели при решении геологических задач на ЭВМ. Красноярск, 2007. 149с.
41. Макарчева А.А. Влияние геометрии проб на количественные характеристики изменчивости содержаний полезных компонентов // «Разведка и охрана недр». 2016.
42. Макарчева А.А., Гуськов О.И. Оценка количественных показателей изменчивости параметров штокверковых месторождений // Известия вузов, Геология и разведка. №3.2016.
43. Макарчева А.А. Оценка возможности селективной отработки штокверковых месторождений. XII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, Российский государственный геологоразведочный университет, 08-10 апреля, 2015 г.: в 2 т.: доклады. - Т.1. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2015. – 421-422 с.
44. Мальцев В. А. Программный комплекс геостатистического моделирования и оценивания GST 3.02 – учебник и руководство пользователя. М.; 1993. 153 с.
45. Мальцев В.А. Оценка анизотропии различными интерполяторами при блочном моделировании месторождений // Недропользование XXI век. № 3. 2010. С. 54-61.
46. Марголин А.М. Геостатистика Ж. Матерона и проблемы статистического анализа результатов геологической разведки // Послесловие к книге Ж. Матерона Основы прикладной геостатистики. М.: Недра, 1968. С. 358-407

47. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. - 408 с.
48. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Олово, медь, вольфрам, молибден, ртуть, сурьма, радиоактивные металлы, литий и цезий, ниобиевые, танталовые руды и редкоземельные элементы. М.: НП НАЭН, 2007
49. Милютин А.Г. Геология и разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1989. 296 с.
50. Невский В.А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. М.: Недра, 1979. 224 с.
51. О свойствах ошибок геометризации запасов / Викентьев В.А., Воронцов В.А., Кушнарёв П.И. и др.//Известия ВУЗов. Геология и разведка. № 2. 1979. С. 122-128.
52. Основные вопросы и методы изучения структур рудных полей и месторождений / Вольфсон Ф.И, Лукин Л.И., Кушнарёв И.П. и др., под редакцией Шаталова Е.Г. М: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1960. 624 с.
53. Павловский А.Б., Печенки И.Г., Луговская И.Г. Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых. Олово: Учебное пособие. М.: ВИМС, 2015. 52 с.
54. Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии: Учебник. СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2006. 223 с.
55. Прокофьев А.П. Использование коэффициента рудоносности // Известия ВУЗов. Геология и разведка. № 12. 1971. С. 59-65.
56. Прокофьев А.П. Основы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1973. 320 с.
57. Разведка штокверковых месторождений цветных и редких металлов / Галкин Б.И., Бирюков В.И., Крейтер В.М. и др. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 234 с.

58. Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. М.: Наука, 1968. 108 с.
59. Рац М.В. Структурные модели в инженерной геологии. М.: Недра, 1973. 215 с.
60. Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчёту запасов твёрдых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа. М.; 2014. 87 с.
61. Родченко Ю.М. Анализ плотности разведочной сети // Советская геология. № 7. 1964. С. 52-63
62. Сазонова А.А. Проблемы оценки штокверковых месторождений олова. XI Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, Российский государственный геологоразведочный университет, 09-12 апреля, 2013 г.: Доклады: в 3 т. Т.1 / МГРИ-РГГРУ. – М.: Ваш полиграфический партнер, 2013. 361 с.
63. Свирский М.А., Чумаченко Н.М., Афонин Б.А. Рудничная геология. М.: Недра, 1987. 237с.
64. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. М.: Наука, 1965. 244 с.
65. Смирнов В.И., Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1982. 668 с.
66. Соболевский П.К. Современная горная геометрия // в кн.: Геометризация месторождений минерального сырья как основа рационального освоения недр. М.:Изд-во Московского Горного института, 1969. С. 18-63.
67. Старостин В.И., Игнатов П.А. Геология полезных ископаемых: Учебник для высшей школы. М.: Академический Проект, 2006. 512 с.
68. Стефанович В.В. Применения коэффициента рудоносности. М.: Недра, 1972. 80 с.

69. Структуры рудных полей и месторождений вольфрама, молибдена и олова / Макеев Б. В., Павловский А. Б., Покалов В. Т. и др. М.: Недра, 1983. 234 с
70. Утин П.П. Отчёт о геологоразведочных работах на штокверках Пыркаайского оловоносного узла с подсчётом запасов по состоянию на 1 июля 1980 г. Магадан, 1980. 364 с.
71. Филин А.М. Аналитический способ определения коэффициента рудоносности при установлении кондиции // Разведка и охрана недр. № 7. 1973. С. 20-23.
72. Филько А.С. Из опыта разведки месторождений полезных ископаемых. М.: Геокарт: ГЕОС, 2005, 496 с.
73. Фролов А.А., Штокверковые рудные месторождения. М.: Недра, 1978. 263 с.
74. Чернов Г.А. Отдельности и секреции в базальтах Северного Тимана // Изв. АН СССР, сер. Геол. 1960, № 9. с. 88 – 102.
75. Четвериков Л.И. Оценка анизотропии геологических объектов. Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2000, № 9. С. 26-31.
76. Четвериков Л.И. Теоретические основы разведки недр. М.: Недра, 1984. 156 с.
77. Шумилин М.В., Викентьев В.А. Подсчет запасов урановых месторождений. М.: Недра, 1982. 206 с.
78. Щеглов В.И. Практические методы кригинга. М.: ВИЭМС, 1989. 51 с.
79. Щерба Г.Н. Формирование редкометальных месторождений Центрального Казахстана. Алма-Ата: АН КАЗССР, 1960. 379 с.
80. Яковлев П.Д. Промышленные типы рудных месторождений: Учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1986. 358 с.
81. Akin H., Siemes H. Praktische Geostatistik Eine Einführung für den Bergbau und die Geowissenschaften / mit einem Anhang Schaebe H. - Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris: Tokuo; Springer, 1988. p. 304.
82. Bardossy A. Notes on the robustness of the kriging system // Mathematical Geology, Vol. 20, No 3, pp. 189-203, 1988

83. Cressie N., Hawkins D. Robust estimation of the variogram // Mathematical Geology, Vol. 12, No 2, pp. 115-125, 1980
84. Geostatistische und statistische Methoden und Auswerte-verfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug Hinterding A., Müller A., Gerlach N., Gabel F. // Abschlussbericht Teil 1: Grundlagen, 2003. p. 53
85. Journel A.G. Anisotropic hole-effect modeling // Mathematical Geology, Vol. 14, No 3, pp. 217-239, 1982
86. Journel A.G. The deterministic side of geostatistics // Mathematical Geology, Vol. 17, No 1, pp. 1-115, 1985
87. Krige D.G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand // Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, Vol. 52, No. 6, pp. 119–139, 1951.
88. Schönhardt M. Geostatistische Bearbeitung unsicherer Baugrunddaten zur Berücksichtigung in Sicherheitsnachweisen des Erd- und Grundbaus. Doktor-Dissertation. 2005. www.baufachinformation.de/dissertation/Geostatistische-Bearbeitung-unsicherer-Baugrunddaten-zur-Ber%C3%BCcksichtigung-in-Sicherheitsnachweisen-des-Erd-und-Grundbaus/2005119006698.