



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-5-73-85>  
УДК 004.942 + 550.8.05 + 553.048



## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПОИСКА АНИЗОТРОПНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НА ПРИМЕРЕ РУДНОГО ТЕЛА ВЕРХНЕЕ МНОГОВЕРШИННОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Р.А. СКРУЙБИТЕ\*, Ш.И. ФАХРУТДИНОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** При подсчете запасов геостатистическими методами в процессе вариографического анализа периодически могут возникать сложности с определением направления поискового эллипсоида, особенно на месторождениях с логнормальным распределением полезного компонента. Поисковый эллипсоид определяет основные направления анизотропии минерализации и является одним из ключевых элементов в процессе интерполяции содержаний в блочную модель. Корректная интерполяция содержаний обеспечивает достоверную оценку запасов.

**Цель.** Определить наличие влияния морфологии рудного тела на анизотропные направления.

**Материалы и методы.** В основу работы положены материалы отчета по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов Многовершинного золоторудного месторождения за 1975 год, а также база данных, включающая каталоги координат скважин, горных выработок, инклинометрии и результатов опробования.

Основным методом исследования был принят метод трехмерного компьютерного моделирования в горно-геологической информационной системе «Micromine».

На примере рудного тела Верхнее Многовершинного месторождения проведены статистические и геостатистические исследования, а также подсчет запасов. Произведено сравнение оцененных запасов с запасами, подсчитанными традиционным способом и утвержденными ГКЗ СССР в 1975 году.

**Результаты.** Сопоставление геологической интерпретации рудного тела, полученной в результате каркасного моделирования по данным опробования, и поискового эллипсоида, построенного по результатам вариографического анализа, показало влияние морфологии рудного тела на направления осей минимальной изменчивости оруденения. Определено, что ориентировка поискового эллипсоида соответствует элементам залегания рудного тела. Проверка проинтерполированной блочной модели показала оценку, близкую к достоверной. Сопоставление подсчитанных запасов с запасами 1975 года показало высокую сходимость в цифрах запасов.

**Ключевые слова:** геология, золоторудное месторождение, блочное моделирование, геостатистика, анизотропия, подсчет запасов

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Скруйбите Р.А., Фахрутдинов Ш.И. Геологическая основа поиска анизотропных направлений при геостатистическом моделировании на примере рудного тела верхнее многовершинного золоторудного месторождения. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2022;64(5):73—85. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-5-73-85>

Статья поступила в редакцию 01.06.2021  
Принята к публикации 12.12.2022  
Опубликована 19.12.2022

\* Автор, ответственный за переписку

## GEOLOGICAL FOUNDATIONS FOR DETERMINATION OF ANISOTROPIC DIRECTIONS IN GEOSTATISTICAL MODELING ON THE EXAMPLE OF VERKHNEE OREBODY OF THE MNOGOVERSHINNOE GOLD DEPOSIT

RASA A. SKRUYBITE\*, SHAMIL I. FAKHRUTDINOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** When calculating reserves using geostatistical methods, variographic analysis can occasionally encounter difficulties in determining the direction of the search ellipsoid, particularly in deposits with a lognormal distribution of the useful component. The search ellipsoid defines the main directions of mineralization anisotropy, thus comprising a key element in the process of interpolating grades into a block model. The correct interpolation of grades provides a reliable estimate of reserves.

**Aim.** To determine the influence of the orebody morphology on anisotropic directions.

**Materials and methods.** Data from a report on the technical and economic substantiation of the resource and estimation parameters of the Mnogovershinnoe gold deposit for 1975 were used, along with a database comprising catalogues of borehole coordinates, mining outputs, inclinometry and exploratory test data. Three-dimensional computer modeling was performed in the Micromine mining and geological information system. Using the example of the Verkhnee orebody of the Mnogovershinnoe gold deposit, statistical and geostatistical studies were carried out to calculate the reserves. The as-calculated reserves were compared with those estimated by a polygonal method and approved by the State Commission for Mineral Reserves (GKZ) USSR in 1975.

**Results.** The conducted comparison of the geological interpretation of the orebody under study, obtained by both wireframe modeling based on exploratory test data and the search ellipsoid constructed by variographic analysis, confirmed the influence of the orebody morphology on the axis directions of the minimal variability of mineralization. The orientation of the search ellipsoid was determined to be consistent with the geological interpretation of the orebody. Verification of the interpolated block model showed the estimate to be close to a reliable value. The comparison of the calculated reserves with those of 1975 showed their good convergence.

**Keywords:** geology, gold ore deposit, block modeling, geostatistics, anisotropy, estimation of reserves

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosure:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Skrubitse R.A., Fakhrutdinov Sh.I. Geological foundations for determination of anisotropic directions in geostatistical modeling on the example of Verkhnee orebody of the Mnogovershinnoe gold deposit. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(5):73—85. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-5-73-85>

*Manuscript received 01 June 2021*

*Accepted 12 December 2022*

*Published 19 December 2022*

\* Corresponding author

Многовершинное золоторудное месторождение расположено в Николаевском районе Хабаровского края РФ. Месторождение выявлено в 1959 г. В.Р. Поликановым. Разведка месторождения осуществлялась поэтапно с 1968 г. Постоянные кондиции для подсчета запасов Многовершинного месторождения были утверждены ГКЗ СССР 28.09.1973 г. (протокол № 744-к), позднее эти кондиции подтверждены ГКЗ СССР 30.12.1975 г. (протокол № 7565). Тем же протоколом утверждены запасы рудного тела Верхнее Многовершинного месторождения по результатам разведочных работ 1968—1975 гг.

Месторождение хорошо изучено и неоднократно упоминалось в литературе [1, 6, 8, 10]. Рудное тело Верхнее отрабатывается с 1986 года, к настоящему времени практически полностью отработано. В 2015 и 2018 годах были утверждены остаточные запасы на глубоких горизонтах. В основу настоящей статьи легли исследования, проведенные по результатам разведочных работ 1968—1975 годов.

Месторождение Многовершинное, включающее рудное тело Верхнее, расположено в пределах Улской вулканоплутонической структуры на стыке Амгунского и Горинского синклиналиев Сихотэ-Алинской складчатой области. Структура имеет двухъярусное строение: нижний ярус образован складчатыми осадочными породами нижнего мела, верхний представлен вулканитами палеоценового возраста преимущественно жерловой и субвулканической фаций. Оба структурных комплекса прорваны крупным (500 км) Бекчи-Ульским массивом гранитоидов, у северо-западного контакта которого расположено месторождение Многовершинное. Кроме того, вулканиты и гранитоиды прорваны большим количеством крутопадающих даек диоритовых порфиритов, андезитов, базальтов и более поздних гранит-порфиров эоцен-олигоценного возраста.

Главной особенностью структуры рудного поля является четкое обособление нескольких рудных зон вдоль мобильных швов северо-восточного (45—55°) простираения, круто падающих на северо-запад. В настоящее время можно выделить шесть таких зон: Главную, Промежуточную, Водораздельную, Бурливую, Медвежью и Салали. Наиболее детально изучены три первые.

Рудное тело Верхнее локализуется в рудной зоне Главной, приуроченной к крутопадающему разлому северо-восточного простираения (40—50°). Общая протяженность зоны 5,8 км. В пределах зоны широко проявились процессы

пропилитизации и кварц-серицитового изменения вулканогенных пород. Последние явились результатом околотрещинного метасоматоза и последующего жильного выполнения. В целом рудная зона весьма выдержана по простираению и падению (СЗ 70—80°). Мощность зоны 10—60 м. Выклинивания зоны метасоматически измененных пород с глубиной не установлено, однако промышленное оруденение затухает на интервале глубин +400—450 м. Строение зоны осложнено многочисленными пострудными нарушениями, дайками и интрузиями.

Верхнее рудное тело представляет собой линейно-вытянутое крутопадающее жильно-прожилковое образование большой мощности и простираения. Промышленное оруденение развивается от поверхности к глубине. Общая протяженность рудного тела по простираению (СВ 40—60°) более 550 м. Размах оруденения по вертикали составляет около 400 м. Средний угол падения — 70°. Рудное тело Верхнее является наиболее богатым рудным телом Многовершинного месторождения, по размерам соответствует среднему месторождению, по сложности геологического строения отнесено к 3-й группе.

Рудное тело сложено различным по структуре кварцем, кварц-серицитовыми породами с реликтами пропилитизированных вмещающих пород. Оруденение в основном локализовано в кварцевом теле (метасоматитах) и частично во вмещающих пропилитизированных вулканитах с прожилково-вкрапленным окварцеванием (слабо гидротермально измененные породы). Наибольшей продуктивностью рудного тела отличается его лежащий бок, сложенный кварц-адуляровыми и кварц-адуляр-гидрослюдистыми породами с метаколлоидными и брекчиевыми текстурами.

Детальным опробованием установлено, что для золота в рудном теле характерно практически непрерывное распределение. Участки с низкими содержаниями золота встречаются очень редко, и величина таких участков не превышает 5—15 м. Распределение повышенных содержаний золота носит гнездово-струйчатый характер. Присутствуют так называемые «рудные столбы».

Максимальное содержание по результатам опробования: золото — 384,6 г/т, серебро — 129,8 г/т.

В целом руды месторождения относятся к золото-адуляр-халцедон-кварцевой убогосульфидной формации, золото-галенит-сфалерит-халькопиритовому минеральному типу [11]. Основным

промышленно ценным компонентом в рудах является золото, попутным — серебро.

Изучение рудного тела Верхнее с поверхности проводилось проходкой канав с шагом 20 метров по простиранию. Длина их составляла 20—60 м, а глубина не превышала 2,5—3,0 м. На глубину изучение проводилось штольневыми горизонтами горных выработок с расстоянием 40—60 м между ними. Полнота пересечения рудных тел по мощности обеспечивалась проходкой рассечек из штреков через 20—25 м. По восстанию и падению оруденение изучалось редкими скважинами и рассечками из восстающих.

На стадии разведки сеть наблюдений составила (40—80)×(20—60) м, что позволило квалифицировать запасы Верхнего рудного тела по категориям В и С<sub>1</sub>.

Для рудного тела в ГГИС «Micromine» были проведены статистические и геостатистические исследования: статистические — с целью установления основных статистических показателей и геостатистические — для определения влияния геологических структур на направления осей минимальной изменчивости оруденения.

Последовательность проведения таких исследований рассматривалась в российской и зарубежной литературе, а также в Методических рекомендациях по подсчету запасов с использованием блочного моделирования [3, 4, 7, 12—14].

**Статистический анализ данных опробования.** На основе данных опробования

**Таблица 1.** Статистические показатели рудного тела Верхнее по всей выборке  
**Table 1.** Statistical indicators of the orebody Verkhnee for the whole sample

Характеристики	Разведочная стадия	
	Au	Ag
Рудное тело Верхнее		
Кол-во определений	9690	588
Минимум	0,02	0,03
Максимум	384,6	146,1
Среднее содержание	4,121	3,216
Медиана	1,4	1,2
Коэф. вариации	2,828	2,925
Дисперсия выборки	135 854	88,491
Стандартное отклонение	11,656	9,407
Оценка Сисшеля	5,158	2,774
Ln std. отклонение	1,731	1,242

по всему месторождению оценивались следующие статистические показатели: количество проб в выборке, минимум и максимум выборки, среднее значение содержаний по всей выборке, коэффициент вариации, медиана, дисперсия и стандартное отклонение. Статистические показатели рудного тела Верхнее по всей выборке представлены в таблице 1.

**Создание кондиционных интервалов.** Выделение рудных интервалов и оконтуривание рудных тел по мощности выполнялось на основе следующих параметров постоянных разведочных кондиций, принятых ГКЗ СССР для рудного тела Верхнее Многовершинного месторождения в соответствии с протоколом от 30.12.1975 г. № 7565 для открытого способа отработки:

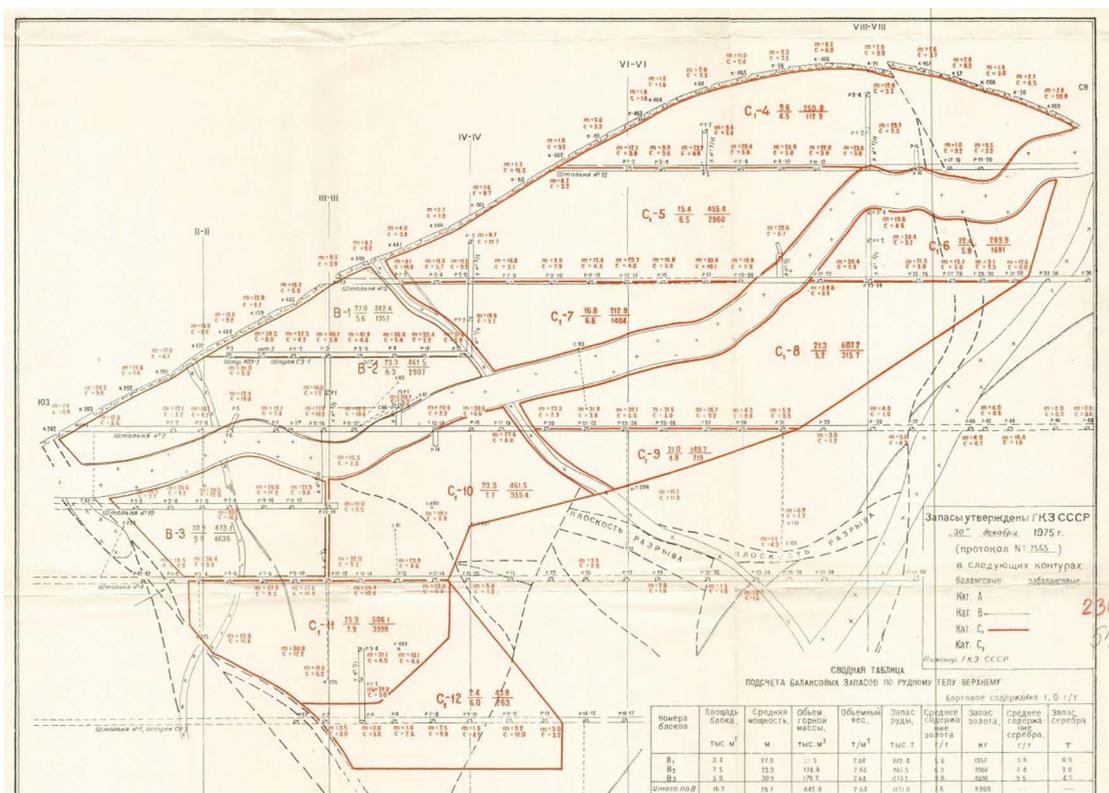
- бортовое содержание золота в пробе — 1 г/т;
- минимальная мощность рудных тел — 0,8 м, при меньшей мощности, но более высоком содержании золота руководствоваться соответствующим метрограммом;
- максимальная мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчет запасов, — 4 м.

Расчет композитов проводился по методике ГКЗ в автоматизированном режиме с использованием программы ГГИС «Micromine». Использовался алгоритм «Строгий» (содержание блока «руда + порода», «порода + руда» на краях композита не ниже бортового содержания, а также содержание блока «порода + руда + порода» не ниже бортового содержания и не превышает максимальную мощность пустого прослоя).

**Каркасное моделирование.** Каркасное моделирование производилось на основе методики традиционного подсчета запасов в так называемых «жестких» контурах [2, 5, 9]. Оконтуривание по выделенным рудным интервалам проводилось по штольневым горизонтам в связи с преобладанием бороздового опробования. В результате были получены контуры горизонтов рудного тела (стринги) по блокам, которые были соединены в каркасные модели. Каркасные модели представлены в соответствии с блокировкой рудного тела, т.е. каждому утвержденному ГКЗ блоку соответствует свой каркас (рис. 1).

**Статистический анализ выбранных данных опробования.** Для получения статистических характеристик, а также визуализации распределения содержаний золота был проведен статистический анализ как по всем данным опробования внутри каркасов рудных тел,

а



б

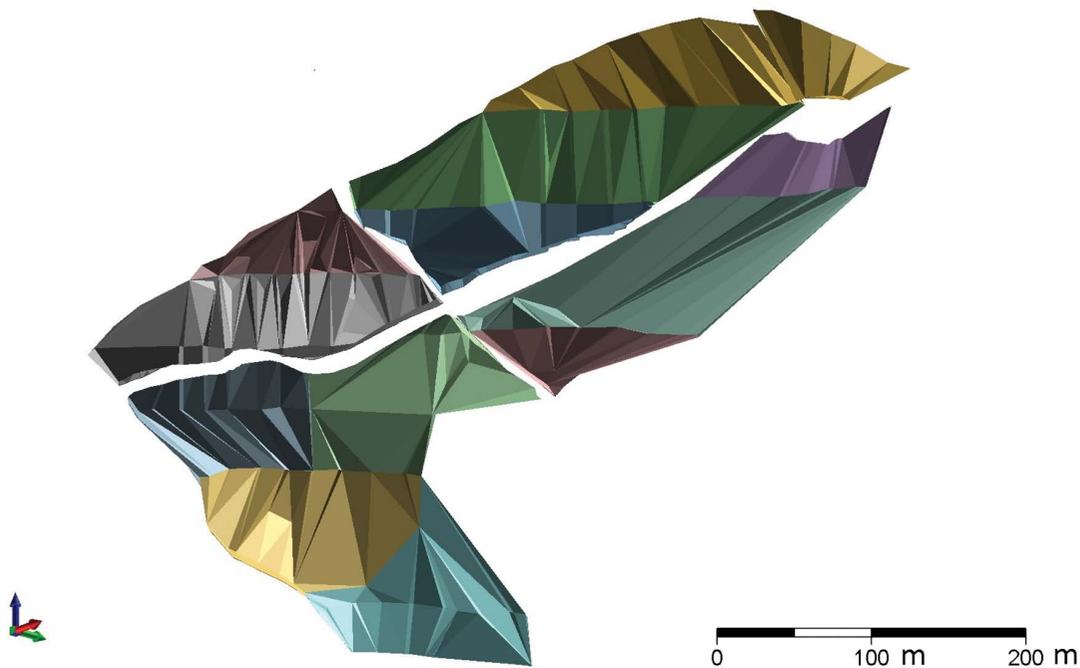
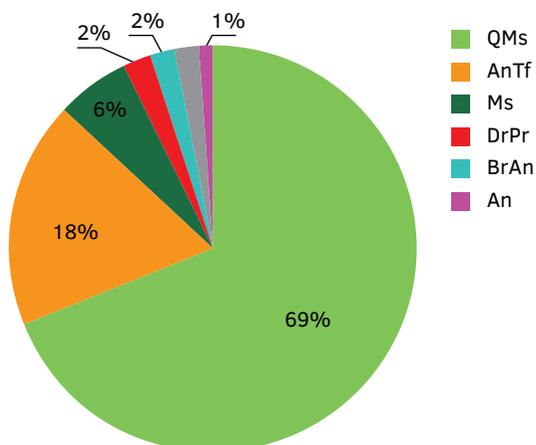


Рис. 1. Блокировка рудного тела Верхнее: а — проекция блоков на вертикальную плоскость в 1975 г.; б — каркасные модели блоков

Fig. 1. Blockage of the Verkhnee orebody: а — the projection of blocks onto a vertical plane in 1975; б — wireframe block models

# ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS



**Рис. 2.** Процентное соотношение содержаний золота в основных рудовмещающих породах: QMs — кварцевые метасоматиты, AnTf — туфы андезитов, Ms — кварц-серицитовые метасоматиты, DrPr — диоритовые порфириды, BrAn — брекчиевые андезиты, An — андезиты

**Fig. 2.** The percentage of gold grades in the main ore-bearing rocks: QMs — quartz metasomatites, AnTf — andesite tuffs, Ms — quartz-sericite metasomatites, DrPr — diorite porphyrites, BrAn — breccia andesites, An — andesites

так и по литологическим разновидностям основных вмещающих пород. Процентное соотношение содержаний золота в основных рудовмещающих породах представлено на диаграмме (рис. 2).

Как видно из диаграммы, около 70% золота находится в кварцевых метасоматитах. Среднее содержание золота в них составило 8,57 г/т (количество определений 3354), в серицит-кварцевых метасоматитах — 3,59 г/т (количество определений 266), в туфах андезитов — 3,99 г/т (количество определений 881).

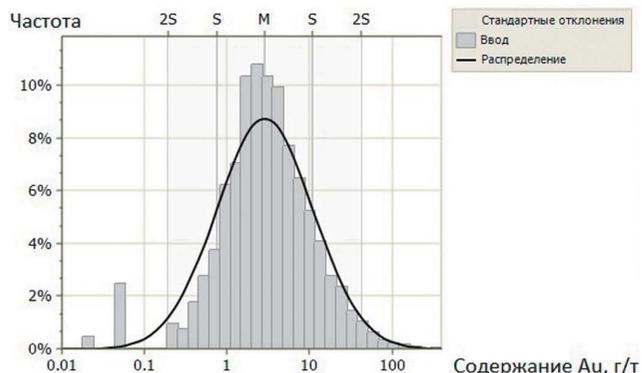
Был рассмотрен вопрос необходимости разделения рудного тела на домены. Учитывая то что метасоматиты относятся к одному этапу рудообразования, а туфы андезитов как слабо гидротермально измененные породы рудоносны только на контактах с метаморфическими породами или присутствуют в метасоматитах в виде прожилков, разделение их на домены не проводилось.

В пределах рудного тела присутствуют так называемые «рудные столбы» — участки руд с повышенными содержаниями полезного компонента. В настоящей работе подсчет запасов производился по кондиционным параметрам 1975 года, в которых не выделялись параметры кондиций для богатых участков.

По всей выборке содержаний в пределах каркасов рудного тела была построена гистограмма (рис. 3), которая показала логнормальное распределение золота, относительно невысокий коэффициент вариации — 2,185 и наличие одной популяции со средним содержанием 6,7 г/т, что позволяет использовать для подсчета запасов простые методы интерполяции, предварительно ограничив ураганные содержания.

В качестве попутного компонента в 1975 году утверждались запасы серебра. В связи с отсутствием в имеющейся базе данных опробования значительной части определений серебра (статистический анализ показал, что имеются данные только по 0,3% значений из выборки содержаний внутри каркасов рудного тела) геостатистические исследования и подсчет запасов серебра не производились во избежание некорректной оценки.

**Ограничение ураганных содержаний.** В настоящем подсчете ураганные содержания были ограничены аналогично традиционному подсчету 1975 г. методом П.Л. Каллистова. С учетом



**Рис. 3.** Гистограмма содержаний золота в пределах каркасов рудного тела  
**Fig. 3.** Histogram of gold grades within orebody frameworks

Минимальная величина	0.020	Дисперсия	214.876	Геометрич. std. откл.	3.831
Максимальная величина	384.600	Стандартное отклонение	14.659	Оценка Сившеля	7.056
2-е наибольшее	301.000	Коеф. вариации	2.185	V Сившеля	1.804
3-е наибольшее	217.300	Медиана	2.900	Гамма Сившеля	2.464
4-е наибольшее	210.300	Lp среднее	1.052	Хи-квадрат	2221.897
Кольво	4902	Lp std. отклон.	1.343	Степени свободы	26
Среднее	6.707	Геометрическое среднее	2.864		

ограничения выдающихся содержаний запасы снизились на 2,3%.

**Создание композитных интервалов равной длины.** Для определения длины композита был произведен статистический анализ данных опробования внутри каркасов, который показал, что больше 60% проб имеют длину 1 м. В связи с этим для рудного тела Верхнее Многовершинного месторождения была выбрана длина композитного интервала 1 м.

**Геостатистический анализ.** Целью геостатистического анализа является создание серии направленных полувариограмм. Полувариограммы (часто используется сокращение — вариограммы) представляют собой график средних значений из разниц (корреляции) пар проб, расположенных на различных расстояниях друг от друга. Вариограммы позволяют визуализировать пространственную корреляцию в пределах изучаемой области, а также оценить присутствие направленной анизотропии минерализации и ее непрерывность по главным направлениям.

Для построения вариограмм использовались композитированные данные опробования внутри каркасных моделей рудных тел после процедуры ограничения выдающихся содержаний.

Для определения оптимального шага полувариограмм был создан набор всенаправленных полувариограмм с различным шагом. Оптимальным был выбран шаг  $10^\circ$ . Для определения направления минимальной изменчивости содержаний был отстроен веер горизонтальных полувариограмм, состоящий из 18 моделей полувариограмм (с азимутом от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  и с шагом приращения  $10^\circ$ ). Дополнительно в интервале от  $40^\circ$  до  $50^\circ$  был построен вспомогательный веер с шагом в  $1^\circ$  для более точного определения направления главной оси, азимут которой по результатам исследования составил  $48^\circ$ .

Вертикальный веер полувариограмм по направлению первой оси с градацией по углу погружения от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$  и уточнением в интервале от  $-10^\circ$  до  $10^\circ$  через  $1^\circ$  не показал погружения главной оси. Погружение главной оси —  $0^\circ$ .

Азимут второй оси был рассчитан автоматически —  $138^\circ$  как перпендикуляр к главному направлению. Угол погружения второй оси был определен по такому же принципу, что и первой, — построением серии полувариограмм в вертикальном веере от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$  и уточнением через  $1^\circ$  в интервале от  $-50^\circ$  до  $-70^\circ$ . Угол погружения второй оси составил  $-60^\circ$ .

Азимут и погружение третьей оси были рассчитаны автоматически исходя из того, что все оси перпендикулярны главному направлению. Азимут третьей оси был определен как  $138^\circ$ , погружение —  $30^\circ$ .

Характеристики полувариограмм представлены в таблице 2.

Были смоделированы все три оси пространственной анизотропии для логнормального распределения. Зоны влияния были определены как 150 м для первой оси, 100 м для второй оси и 30 м для третьей оси. Для проверки был отстроен набор полувариограмм, в котором использовалось однородное/ранговое преобразование с более сглаженными значениями. Результат оказался аналогичен.

Параметры полувариограмм легли в основу определения направления осей поискового эллипсоида, который использовался для последующей интерполяции содержаний в блочную модель. При визуализации рудного тела и поискового эллипсоида в пространстве видно, что ориентировка поискового эллипсоида соответствует геологической интерпретации рудного тела (рис. 4).

Для качества определения вариограмм применялась перекрестная проверка, которая осуществлялась путем временного удаления значения из исходных данных и использования модели вариограммы для оценки отсутствующего значения из окружающих данных. По результатам перекрестной проверки отстроена диаграмма рассеяния, которая показала, что дисперсия значений не очень велика — коэффициент корреляции между парами значений составил 0,78, что свидетельствует о хорошей сходимости данных (рис. 6в).

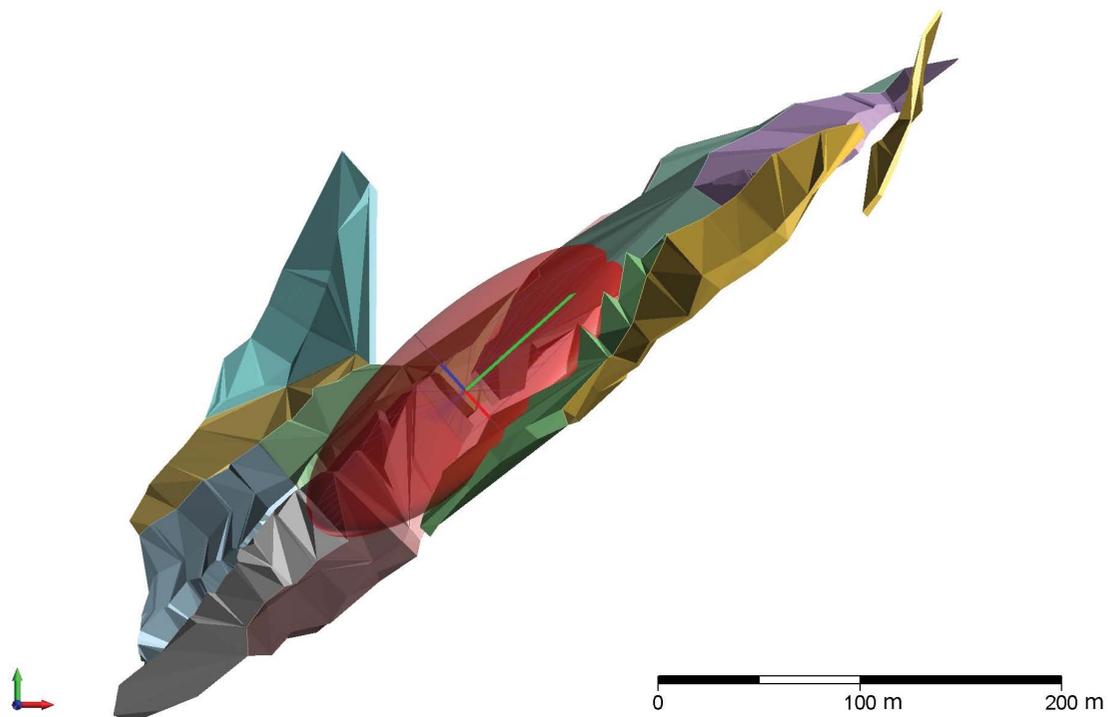
**Таблица 2.** Характеристики полувариограмм  
**Table 2.** Characteristics of semi-variograms

Ось	Азимут	Наклон
Первая	$48^\circ$	$0^\circ$
Вторая	$138^\circ$	$-60^\circ$
Третья	$138^\circ$	$30^\circ$

**Таблица 3.** Параметры пустой блочной модели  
**Table 3.** Parameters of the empty block model

Направление	Мин. центр	Макс. центр
EAST	32 260	32 693
NORTH	81 068	81 435
RL	520	905

а



б

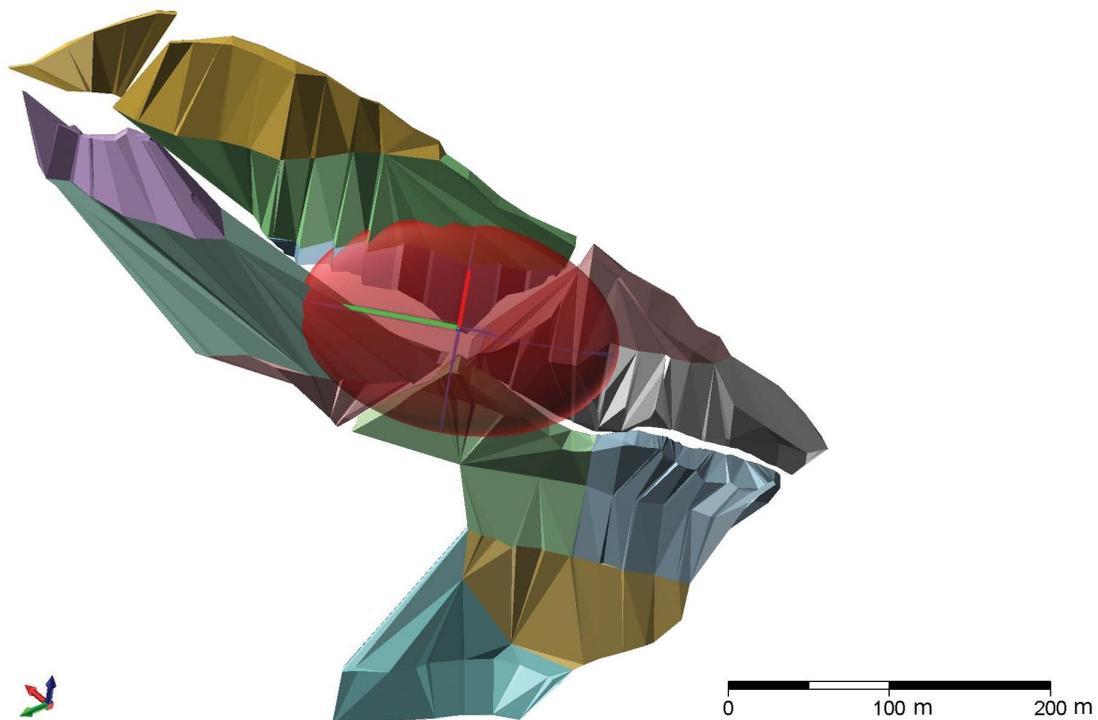


Рис. 4. Визуализация поискового эллипсоида и геологической интерпретации рудного тела: а — вид сверху; б — вид сбоку

Fig. 4. Visualisation of the search ellipsoid and geological interpretation of the orebody: а — plan view; б — side view

**Блочное моделирование.** Перед построением блочной модели были определены экстенды — минимальные и максимальные координаты границ рудного тела. В этих границах была создана пустая блочная модель, параметры которой представлены в таблице 3. Размер материнских блоков модели был выбран 5×5×20 м (XYZ) как ¼ от средней ячейки сети разведки.

В процессе создания пустые блочные модели кодировались каркасными моделями. Для всех каркасов (блоков) рудного тела создана одна общая блочная модель. При присвоении (кодировании) каркасных моделей в блочную модель использовался параметр «субблоки». Параметр субблоков задавался как 10×10×10.

**Интерполяция содержаний.** Интерполяция содержаний полезных компонентов в пустую блочную модель производилась методом анизотропных обратных расстояний — AIDW (anisotropic inverse distance weighting) со степенью 3. Содержания золота интерполировались в блочную модель по всем пробам в каркасных моделях рудных тел и оценивались по композитированным пробам.

При интерполяции использовался процесс декластеризации путем разбиения эллипсоида поиска на четыре сектора. Наложение ограничения для каждого сектора было следующим: максимальное количество точек в секторе — 15, минимальное — 5 точек. Ориентация осей — геостатистическая. Были использованы 3 значения радиуса поиска — 40, 80 и 160, пока 100% блоков блочной модели не были проинтерполи-

рованы. Радиус поиска выбирался на основании сети наблюдений (40—80)×(20—60) м. Азимут и погружения осей анизотропии принимались по результатам построения полувариограмм. Блочная модель после интерполяции содержаний представлена на рисунке 5.

**Проверка блочной модели** после интерполяции включала в себя визуальную проверку и график квантилей (рис. 6).

Для визуальной проверки блочная модель визуализировалась вместе с данными опробования и производилось их сравнение.

График квантилей позволил сравнить корреляцию между исходными данными и полученными в результате интерполяции в блочную модель. Из графика можно увидеть, что при интерполяции в блочную модель произошло незначительное завышение в низких классах содержаний и занижение в высоких. Учитывая коэффициент корреляции 0,986, можно сделать вывод о сходимости исходных и полученных значений. В целом присутствует завышение низких содержаний и занижение высоких, что, в общем, дает оценку близкую к достоверной.

Для проверки корректности выбора направлений осей поискового эллипсоида и соотношения их длин был проведен подсчет запасов рудного тела.

**Отчет по запасам.** Оценка запасов была произведена для каждого каркаса (блока). Сравнение запасов, подсчитанных с помощью блочного геостатистического моделирования,

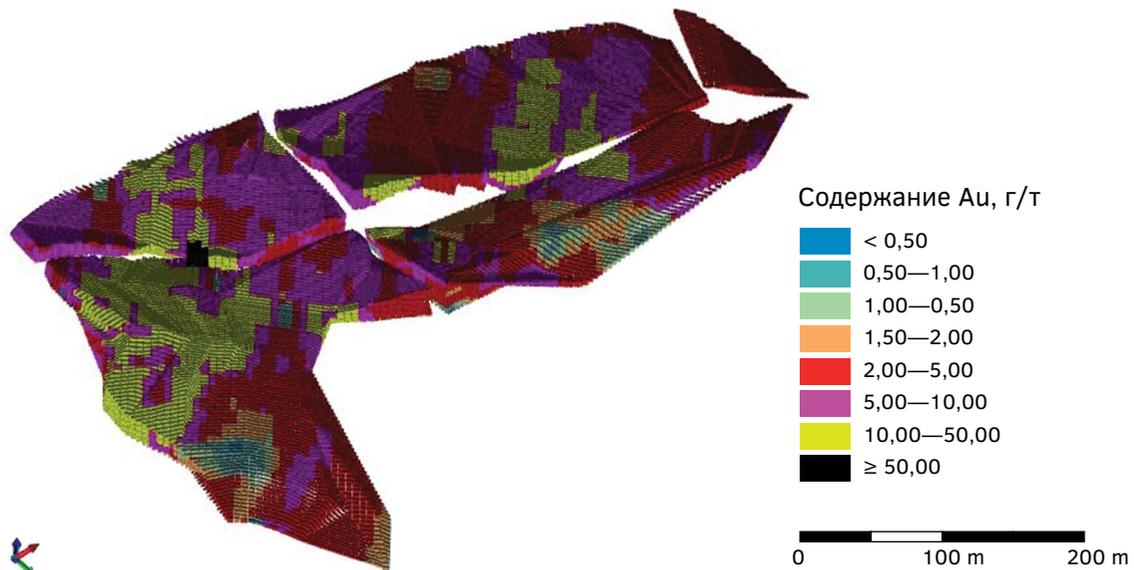
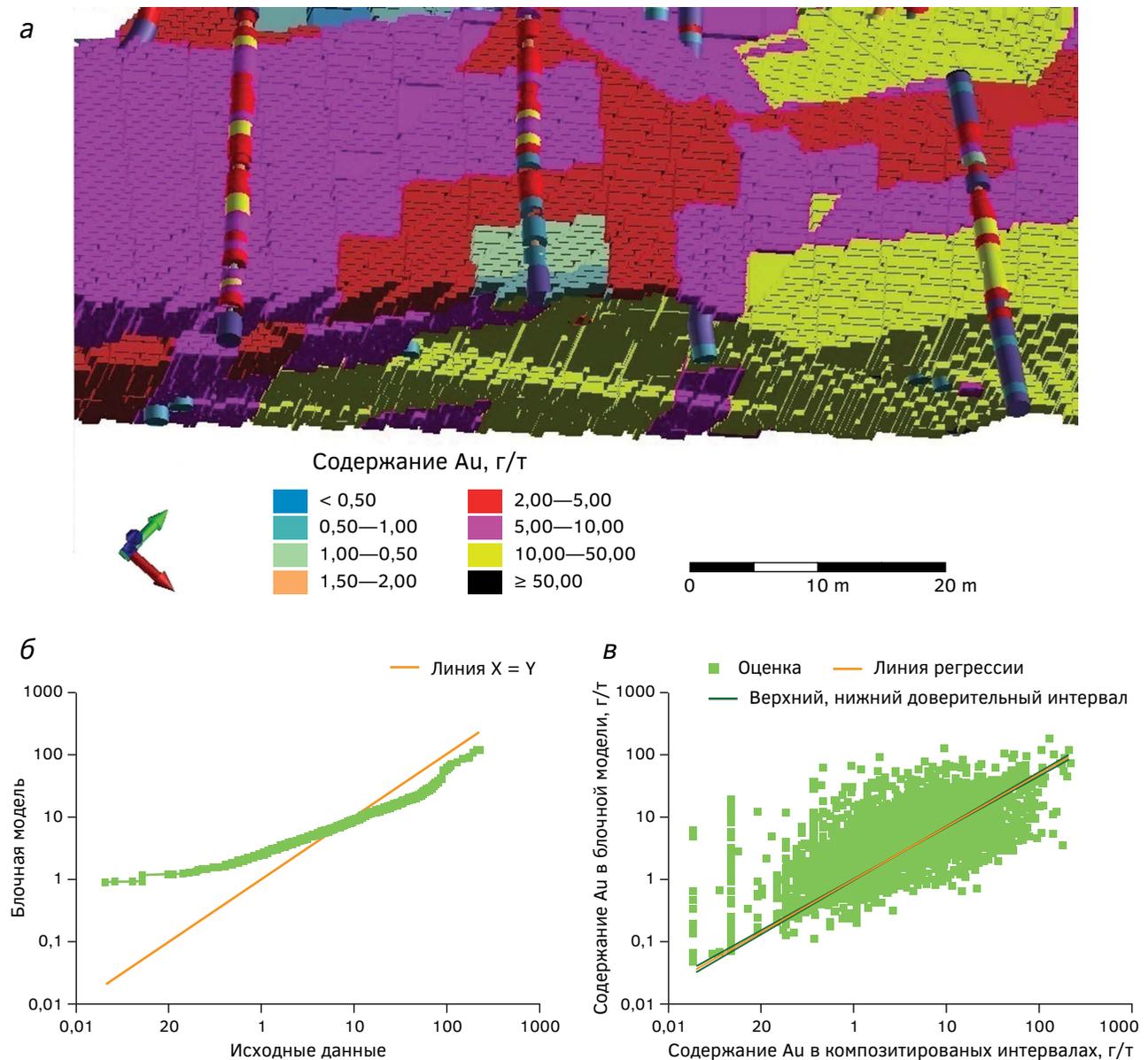


Рис. 5. Блочная модель рудного тела после интерполяции содержаний с градацией содержаний золота

Fig. 5. Block model of the orebody after grade interpolation with gold grading



**Рис. 6.** Результаты проверки блочной модели: а — визуальная проверка; б — график квантилей; в — диаграмма рассеяния по результатам перекрестной проверки  
**Fig. 6.** Results of block model validation: а — visual validation; б — quantile-quantile plot; в — cross validation scatter plot

с запасами, подсчитанными традиционным способом и утвержденными ГКЗ СССР в 1975 году по результатам разведочных работ, представлено в таблице 4.

Как видно из таблицы 4, блочная модель значительно занизила запасы руды и зависила средние содержания. Также наблюдаются различия в запасах по блокам, что является стандартным следствием фундаментальных различий в методах подсчета. В целом по рудному телу между

запасами наблюдается высокая сходимость — разница между запасами составила 892,4 кг, в процентном соотношении — 3,2%.

Для сравнения в границах блочной модели была проведена интерполяция при помощи сферического поиска данных с применением тех же параметров, что и для эллипсоидного. При интерполяции с использованием сферы запасы золота снизились на 6,4% (1725,2 кг), содержания снизились на 6,8% по сравнению с эллипсоидным

**Таблица 4.** Сравнение запасов, подсчитанных с помощью блочного геостатистического моделирования, с запасами, подсчитанными традиционным способом в 1975 году по результатам разведочных работ**Table 4.** Comparison of reserves calculated by block geostatistical modelling with those calculated by conventional exploration in 1975

Блок	Запасы, подсчитанные традиционным способом по результатам разведочных работ 1968—1975 гг.			Запасы, подсчитанные с помощью блочного моделирования по результатам разведочных работ 1968—1975 гг.			Сопоставление результатов традиционного подсчета запасов и блочного моделирования		
	Запасы руды, тыс. т	Среднее содержание золота, г/т	Запасы золота, кг	Запасы руды, тыс. т	Среднее содержание золота, г/т	Запасы золота, кг	Запасы руды, %	Среднее содержание золота, %	Запасы золота, %
B1	242,4	5,6	1357	203,9	6,5	1328	-15,9%	16,1	-2,1
B2	461,5	6,3	2907	439,4	8,8	3874	-4,8	39,7	33,3
B3	473,1	9,8	4636	485	10,4	5058	2,5	6,1	9,1
C1—4	250,8	4,5	1129	284,4	5,4	1522	13,4	20,0	34,8
C1—5	455,4	6,5	2960	472,1	6,3	2991	3,7	-3,1	1,0
C1—6	289,9	5,8	1681	155,1	5,3	816	-46,5%	-8,6	-51,5%
C1—7	212,8	6,6	1404	194,2	6,4	1247	-8,7	-3,0	-11,2%
C1—8	607,2	5,2	3157	604,2	4	2416	-0,5	-23,1	-23,5%
C1—9	149,7	4,8	719	144,4	6,1	886	-3,5	27,1	23,2
C1—10	461,5	7,7	3554	453,8	7,5	3400	-1,7	-2,6	-4,3
C1—11	506,1	7,9	3998	424,1	7,5	3176	-16,2	-5,1	-20,6
C1—12	43,8	6	263	51	3,1	157	16,4	-48,3	-40,3
<b>ВСЕГО</b>	<b>4154,2</b>	<b>6,7</b>	<b>27765</b>	<b>3911,5</b>	<b>6,9</b>	<b>26873</b>	<b>-5,8</b>	<b>3,0</b>	<b>-3,2</b>

поиском. Разница с утвержденными запасами составила 9,4% по металлу (2618 кг), 4% по содержанию в сторону занижения. Наиболее точная сходимость запасов Верхнего рудного тела с утвержденными достигнута при интерполяции с помощью эллипсоида.

Результаты исследований показали, что при геостатистических исследованиях важно учиты-

вать структурно-геологический фактор рудо-контроля. Опора на геологическую основу может быть ориентиром для корректного выбора направления поискового эллипсоида для рудных тел месторождений линейно-вытянутого морфологического типа, аналогичным рудному телу Верхнее, а также для отдельных доменов подобной морфологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Солодов Н.А. Месторождения благородных, радиоактивных и редких металлов. М.: НИИ-ПРИРОДА, 1999. 220 с.
2. Каждан А.Б. Разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1977. 327 с.
3. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб.: Недра, 2002. 424 с.
4. Капутин Ю.Е. Повышение эффективности управления минеральными ресурсами горной компании (геологические аспекты). СПб.: Недра, 2013. 246 с.
5. Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М.: Недра, 1974. 304 с.
6. Константинов М.М., Варгунина Н.П., Косовец Т.Н., Стружков С.Ф., Сынгаевский Е.Д., Шишакова Л.Н. Золото-серебряные месторождения. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов. М.: ЦНИГРИ, 2000. 239 с.
7. Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа. М.: ГКЗ МПР РФ, 2015. 86 с.
8. Рудные месторождения СССР (под ред. акад. Смирнова В.И.). Т. 3. М.: Недра, 1978. 496 с.
9. Скруйбите Р.А., Акифьева А.Д., Гиль В.А. Опыт государственной экспертизы подсчета запасов твердых полезных ископаемых и ТЭО кондиций,

## ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

выполненных с использованием геостатистических методов // Разведка и охрана недр. 2016. № 8. С. 56—58.

10. Старостин В.И., Игнатов П.А. Геология полезных ископаемых. М.: Академический Проспект, 2006. 512 с.
11. Хохлов Э.П., Усанов Г.Е., Зарембский Е.П., Агеев А.Т. Геологическое строение и промышленная оценка Многовершинного золоторудного месторождения

(Отчет о результатах работ Многовершинной партии за 1968—75 гг. по сост. на 01.10.1975 г.). Многовершинный, 1975. 242 с.

12. Coombes J. The art and science of resource estimation. Perth: Coombes Capability, 2008. 231 p.
13. Isaaks E., Srivastava M. An Introduction to Applied Geostatistics, N.Y.: Oxford University Press, 1989. 592 p.
14. Rossi M., Deutsch C. Mineral Resource Estimation. Dordrecht: Springer, 2014. 346 p.

### REFERENCES

1. Boytsov V.E., Pilipenko G.N., Solodov N.A. Deposits of noble, radioactive and rare metals. Moscow: NIA-PRIRODA Publ., 1999. 220 p. (In Russian).
2. Kazhdan A.B. Exploration of mineral deposits. Moscow: Nedra Publ., 1977. 327 p. (In Russian).
3. Kaputin Yu.E. Mining Computer Technologies and Geostatistics. St. Petersburg: Nedra Publ., 2002. 424 p. (In Russian).
4. Kaputin Yu.E. Improving the efficiency of management of mineral resources of a mining company (geological aspects). St. Petersburg: Nedra Publ., 2013. 246 p. (In Russian).
5. Kogan I.D. Calculation of reserves and geological and industrial evaluation of ore deposits. Moscow: Nedra Publ., 1974. 304 p. (In Russian).
6. Konstantinov M.M., Vargunina N.P., Kosovets T.N., Struzhkov S.F., Syngaevskiy E.D., Shishakova L.N. Gold and silver deposits. Series: Models of deposits of noble and non-ferrous metals. Moscow: TsNIGRI Publ., 2000. 239 p. (In Russian).
7. Recommendations for the composition and rules for the design of materials submitted for state expertise on the feasibility study of conditions and the calculation of solid mineral reserves using block modeling at deposits of various morphological types. Moscow: GKZ MPR RF Publ., 2015. 86 p. (In Russian).
8. Ore Deposits of the USSR (edited by Academician Smirnov V.I.). Moscow: Nedra Publ., 1978. Vol. 3. 496 p. (In Russian).
9. Skrybite R.A., Akifeva A.D., Gil V.A. Experience of state expertise in calculating reserves of solid minerals and feasibility studies of conditions performed using geostatistical methods // Exploration and protection of mineral resources. 2016. No. 8. P. 56—58 (In Russian).
10. Starostin V.I., Ignatov P.A. Mineral geology. Moscow: Akademicheskij Prospekt Publ., 2006. 512 p. (In Russian).
11. Khokhlov E.P., Usanov G.E., Zarembskiy E.P., Ageev A.T. Geological structure and industrial assessment of the Mnogovershinnoye gold deposit. Report on the results of the work of the Mnogovershinnoye party for 1968—75 as of 01.10.1975. Mnogovershinnyy, 1975. 242 p. (In Russian).
12. Coombes J. The art and science of resource estimation. Perth: Coombes Capability, 2008. 231 p.
13. Isaaks E., Srivastava M. An Introduction to Applied Geostatistics, N.Y.: Oxford University Press, 1989. 592 p.
14. Rossi M., Deutsch C. Mineral Resource Estimation. Dordrecht: Springer, 2014. 346 p.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Скрийбите Р.А. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Фахрутдинов Ш.И. — провел анализ геологической части статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Rasa A. Skrybite — developed the concept of the article, prepared the text of the article, gave final approval to the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work

Shamil I. Fakhrutdinov — reviewed the geological part of the article, gave final approval to the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Скруйбите Раса Антанасовна\*** — соискатель на кафедре геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
тел.: +7 (926) 585-18-51  
e-mail: [forrasa@yandex.ru](mailto:forrasa@yandex.ru)  
SPIN: 2539-1711  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3928-0911>

**Фахрутдинов Шамиль Измайлович** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры информатики и ГИС факультета геологии и геофизики нефти и газа ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
тел.: +7 (916) 134-98-44  
e-mail: [shif.46@mail.ru](mailto:shif.46@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5414-8025>

**Rasa A. Skruybite\*** — Applicant for the degree of Cand. of Sci (Geol.-Min.) at the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
tel.: +7 (926) 585-18-51  
e-mail: [forrasa@yandex.ru](mailto:forrasa@yandex.ru)  
SPIN: 2539-1711  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3928-0911>

**Shamil I. Fakhrutdinov** — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor of the Department of Informatics and GIS, Faculty of Geology and Geophysics of Oil and Gas Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
tel.: +7 (916) 134-98-44  
e-mail: [shif.46@mail.ru](mailto:shif.46@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5414-8025>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author