

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА СТАДИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И.А. Воротынцева¹, П.А. Смирнов^{1,2}, А.Л. Данильченко¹, М.М. Якубов¹

¹ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: irina.vorot@yandex.ru

² ОАО «Орика СиАйЭс», Москва, Россия

Аннотация: За последние годы ухудшается структура минерально-сырьевой базы по многим золоторудным предприятиям и увеличивается вовлечение в отработку месторождений, которые ранее считались нерентабельными, с крайне сложными горно-геологическими условиями и низкими содержаниями полезных компонентов [1]. Зачастую отработка таких месторождений весьма затруднительна и влечет за собой значительные операционные затраты. Частичная отработка наиболее привлекательных участков на месторождениях приводит к накоплению руд среднего и низкого качества. Селективная отработка только богатых руд зачастую обусловлена технической и технологической отсталостью предприятий. Для комплексного освоения запасов необходимо получение максимально возможного объема информации еще на стадии проведения геологоразведочных работ. Чтобы снизить операционные затраты и вовлечь в отработку не только богатые руды, но и рудные зоны с более низким содержанием, оптимизировать буровые работы, сократить количество отбираемых проб и различные виды анализов, а также достоверно оконтурить рудные тела, необходимо проводить исследования пространственной изменчивости аналитическими и косвенными методами. Приведенный авторами исследования анализ вещественно-петрографических особенностей позволяет уточнить границы прожилково-жильных рудных тел на основе метода интерпретации с использованием статистики и тренд-анализа. Анализ и обработка весьма противоречивых эмпирических данных, характеризующих состояние недр, позволили проследить пространственные закономерности распределения полезного компонента.

Ключевые слова: горное дело, добыча золота, обработка данных, геологоразведочное бурение, опробование, тренд-анализ, закономерности распределения, интерпретация данных.

Для цитирования: Воротынцева И. А., Смирнов П. А., Данильченко А. Л., Якубов М. М. Интерпретация геологических данных на стадии геологоразведочных работ золоторудного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11. – С. 45–55. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_45.

Interpretation of geological data at the stage of gold ore deposit exploration

I.A. Vorotyntseva¹, P.A. Smirnov^{1,2}, A.L. Danilchenko¹, M.M. Yakubov¹

¹ National University of Science and Technology «MISS», Moscow, Russia,
e-mail: irina.vorot@yandex.ru

² Orika CIS JSC, Moscow, Russia

Abstract: Many gold mines experience worsening of composition of mineral resources and reserves recently while developing ore fields which were earlier assumed as unprofitable due to extremely complicated geological conditions and low content of useful components [1]. Mining is often very difficult and expensive therefore. The most attractive sites of such deposits are only extracted partly, which results in accumulation of mean and low quality ore reserves. Selective mining of high-grade ore exclusively is often conditioned by backwardness of available technologies and equipment. Comprehensive extraction of ore reserves requires that the maximum possible information is obtained as early as the stage of geological exploration. Aiming to reduce operating costs, to embrace both high-grade and low-grade ore sites, to optimize drilling, to scale down sampling and its analysis amount, as well as to reliably delineate ore bodies, it is necessary to study spatial variabilities using the analytical and indirect methods. The presented material and petrography analyses accomplished by the authors enable adjustment of boundaries of ore lodes and veins using the methods of interpretation, statistics and trend-analysis. Evaluation and processing of the very conflicting empirical data on the subsoil allow following up spatial distribution patterns of useful components.

Key words: mining, gold production, data processing, exploration drilling, sampling, trend-analysis, distribution patterns, data interpretation.

For citation: Vorotyntseva I.A., Smirnov P.A., Danilchenko A.L., Yakubov M.M. Interpretation of geological data at the stage of gold ore deposit exploration. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11):45-55. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_45.

Введение

Золоторудные месторождения мезотермального типа, золотокварцевой формации занимают значительную долю совокупного мирового производства рассматриваемого металла. Только в провинции Superior Канадского щита добыто более 5000 т золота, аналогичные по происхождению запасы отрабатываются в Западной Австралии, Китае, Гане, Зимбабве, Бразилии и Индии. Запасы месторождений мирового значения, как правило, варьируют в пределах от нескольких сотен тысяч тонн до нескольких миллионов тонн руды со средним содержанием 5–25 г/т благородного металла. Золото содержится в кварцевых жилах, образовавшихся в результате заполнения трещин, обычно с ленточной текстурой и структурно-контролируемым оруденением [2]. Низкосортные рудные зоны и минерализованные поля, как правило, подлежащие отработке крупными

карьерными на месторождениях этого типа, хоть и встречаются реже, но обладают большей привлекательностью для финансовых вливаний и, следовательно, чаще вовлекаются в отработку. Большинство жильных мезотермальных месторождений имеет значительную протяженность на глубину, простираются по площади более чем на 1 км, что обеспечивает стабильную добычу минерального сырья в течение многих лет.

Одним из основных факторов, осложняющих разработку рассматриваемого типа месторождений, является их высокая изменчивость: мезотермальные жильные образования разнообразны в строении. В связи с этим бурение одиночных скважин не позволяет с необходимой достоверностью произвести оконтуривание рудных тел. Также нужно отметить, что распределение золота весьма хаотично — от очень богатых ответвлений до почти безрудных кварцевых

жил, встречающихся одновременно [3]. Для изучения месторождений рассматриваемого типа требуется бурение близко расположенных кустов скважин. Даже для отнесения ресурсов к категории Inferred требуется, как правило, разведка с использованием горных выработок. Геологоразведочные работы такого типа и масштаба сдерживают горнодобывающие компании от разведки на дальнюю перспективу. Обычно рудники реализуют краткосрочные программы разведки, которые позволяют перевести ресурсы в эксплуатационные запасы, чтобы пополнять минерально-сырьевую базу по мере ее истощения в ходе добычи для удовлетворения потребностей. В лучшем случае это обеспечивает наличие эксплуатационных запасов (готовых и подготовленных к отработке) на период до двух-трех лет для годового планирования добычи и определения бюджета капиталовложений. Для среднесрочного и долгосрочного планирования добывающие предприятия должны постоянно определять и включать в разработку новые блоки минеральных ресурсов для восполнения отработанных запасов. При этом очевидными преимуществами обладают недропользователи, которые внедряют инновационные подходы при разведке и разработке запасов участков недр, имеют квалифицированных и опытных сотрудников, используют современные геоинформационные технологии, способны обеспечивать как текущее производство, так и прирост минерально-сырьевой базы на долгосрочный период.

Для снижения операционных затрат и вовлечения в отработку не только богатых жильных рудных тел, но и рудных зон с более низким содержанием, необходимо анализировать все получаемые данные с применением различных методов интерпретации геологической информации. Внедрение новых методов необходимо еще на стадии проведения

геологоразведочных работ для оптимизации буровых работ, сокращения количества отбираемых проб и различных видов анализов, а также дальнейшего процесса заложения эксплуатационного бурения и оконтуривания рудных тел. Одной из первостепенных задач является анализ и обработка весьма противоречивых эмпирических данных, характеризующих состояние недр [4, 5].

На сегодняшний день многие предприятия уточняют границы рудных тел бурением дополнительных скважин, это позволяет получить более достоверную геологическую информацию, но влечет за собой дополнительные значительные затраты.

С развитием информационных технологий набирает обороты интерес к косвенным методам уточнения контуров рудных тел и пространственной изменчивости полезного компонента. Существующие математические методы и обработка большого объема данных при помощи многих программных продуктов упрощает работу геолога при проведении различных видов анализов.

Методы и исходные данные

Работа современных горных предприятий зачастую сопровождается обработкой больших объемов информации. Массивы геологических и технических данных часто содержат неупорядоченную и неструктурированную информацию, это обуславливает необходимость ее анализа и интерпретации для принятия квалифицированными управленческими решениями [6]. На современном этапе развития техники и технологий обработка накопленного массива горно-геологических данных невозможна без современных компьютерных программ. На сегодняшний день разработано и применяется множество программных продуктов, которые решают задачи 3D и 2D моделирования участков недр,

а также производственных процессов. Эти продукты позволяют осуществить различные расчеты, визуализировать процессы на любой стадии отработки месторождения, провести статистический анализ, произвести решение многих задач, выполняемых инженерами горных предприятий [7, с. 83].

В рамках рассматриваемой работы для обработки данных геологоразведочного бурения и прослеживания закономерностей распределения полезного компонента были использованы методы однофакторного дисперсионного анализа и тренд-анализа.

Исследование закономерностей распределения полезного компонента является одной из важнейших задач для дальнейшего проектирования бурения скважин на стадии эксплуатационной разведки, оконтуривания рудных тел, выбора систем отработки и рассмотрения возможности селективной отработки.

Тренд-анализ при решении многих геологических задач позволяет выделить различные геологические факторы локального и регионального порядка. Региональные факторы отображают геологическую картину, а локальные — более мелкие аномалии рассматриваемых массивов данных. Два этих понятия весьма субъективны и зависят от размера исследуемого участка. В тренд-анализе поверхности строятся с помощью замены одних математических данных более простыми, реже включением сглаженных данных. С помощью данного анализа проверяется гипотеза о закономерности пространственной изменчивости параметров.

Любое из наблюдаемых значений z может быть представлено в виде суммы двух компонент, одна из которых F рассматривается как неслучайная функция от координат, а другая (φ) — случайная.

При этом полином первой степени описывает общую для всего участка тен-

денцию к возрастанию или убыванию значений признака по определенному направлению:

$$Z(x) = F(x) + (\varphi). \quad (1)$$

Полином более высоких степеней отражает закономерности более высоких порядков. Учитывается еще одна координата, формула принимает вид:

$$Z(x, y) = F(x, y) + \varphi(x, y). \quad (2)$$

Этот метод использует функции, которые описывают изменения свойства как функцию координат пространства и записываются в аналитическом виде [8, с. 157]. Основным недостатком данного метода состоит в том, что отражается закономерная составляющая, описывающая только общие закономерности, но не учитывающая локальные. Тренд-анализ работает как сглаживание большим окном — равным площади изучаемого объекта, так как при расчете формулы учитываются значения по всему объекту. В результате этого локальные закономерности трендом не описываются. Обычно достаточно вычисление поверхностей тренда не выше 3—4 порядков [9, 10].

Для обработки геологических данных и дальнейшей интерпретации и анализа была выбрана горно-геологическая информационная система (ГГИС) Micromine. Также при статистической обработке данных и незначительной части расчетов применялся MS Excel.

С помощью (ГГИС) Micromine возможно построить полиномы первого, второго и третьего порядка.

В строении рассматриваемого рудного поля принимают участие стратифицированные и магматические образования. Отмечено два морфологических типа руд, представляющих промышленный интерес, — жильные рудные тела и зоны прожилкования. Руды месторождения характеризуются как золотоквар-

цевые убого-сульфидные, слабоокисленные, легкообогатимые, их минеральный состав простой с преобладанием кварца. Породообразующие минералы – кварц, карбонаты и силикаты. Вмещающие породы представлены ранне-среднетриасовыми силлами и субвулканическими телами долеритов анюйского комплекса, раннемеловыми телами габбро и габбро-долеритов (vK1), интрузивными образованиями раннемелового пырканайского комплекса, а также позднемеловыми дайками лампрофиров, долеритами анюйского комплекса (βT1–2а) и песчаниками (T1kp1, T1kp2). Основные рудные минералы – арсенопирит, пирит, галенит, халькопирит, пирротин, ильменит, сфалерит – в сумме составляют 0,4–8,2% [11]. Основную ценность в рудах представляет золото, серебро присутствует только в виде примеси. Самородное золото распределено в жилах весьма неравномерно. В целом, жилы с промышленными запасами сосредоточены в пределах силла габбро-диабазов и исчезают при выходе жил из силла в песчано-глинистые осадочно-терригенные породы. Жиль-

ные рудные тела сложены кварцем с арсенопиритом, карбонатами, шеелитом, мусковитом, сфалеритом, галенитом, самородным золотом и другими, более редкими минералами. Рудные тела, представленные кварцевыми жилами, заполняют собой сопряженные разноориентированные системы трещин, что обусловило невыдержанность их залегания как по простиранию, так и по падению, с чередованием участков выполаживания и выкручивания [12, с. 174; 13, с. 59].

Другим морфологическим типом рудных тел, который и стал объектом исследования, являются зоны разноориентированного кварцевого прожилкования (чаще всего окварцевания, реже – карбонатизации) с многочисленными пересекающимися между собой прожилками, приуроченные к зонам влияния крупных разрывных нарушений. Зоны кварцевого прожилкования местами развиты в границах зоны крупных разломов и в зонах продольного смятия в его лежачем и висячем боках (рис. 1).

Зоны прожилкования представляют собой тот же малосульфидный золото-кварцевый тип оруденения, отличаясь

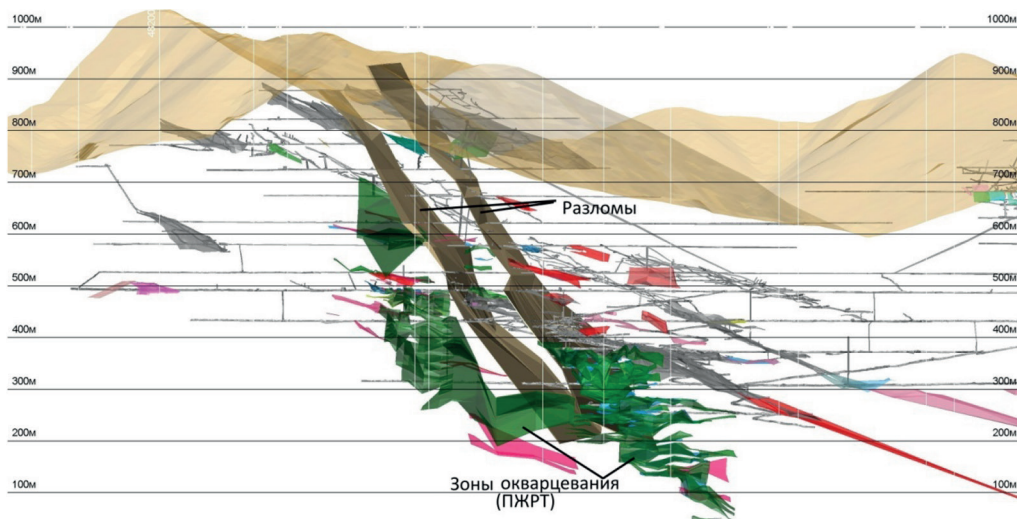


Рис. 1. Аксонометрия зоны окварцевания, приуроченной к зонам влияния крупных разрывных нарушений
Fig. 1. Perspective geometry of quartz reef adjoining influence zone of large faults

только морфологией. По сути, эти зоны появились вследствие особенностей тектонических подвижек, которые образовали зоны мелкого дробления, впоследствии залеченные кварцевым материалом. Также зоны кварцевого прожилкования приурочены к нарушениям и иногда залегают в границах зон разломов, представляют собой габбро-долериты, пронизанные многочисленными кварцевыми прожилками северо-западного простирания с довольно крутым ($35 - 45^\circ$) падением на северо-восток. Рудные тела, представленные жильно-прожилковыми типами руд преимущественно юго-западного падения в основном субполюгие и пологозалегающие ($15 - 35^\circ$). Падение варьирует от северо-восточного до юго-западного. Мощность прожилков — от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, реже 20—30 см. Также одна из гипотез заключается в том, что осадочные породы на контакте с висячим боком силла работали в качестве барьера для восходящих гидротермальных потоков. В подземных выработках можно видеть множество примеров того, что жилы рассеиваются на кварцевые прожилки на контакте с осадочными породами или полностью исчезают в них вблизи контакта. Давление усиливалось на непроницаемых для потока контактах, что привело к возникновению многообразных жильных структур.

Широкие зоны прожилкования, приуроченные к крупным разломам, обрабатываются системой подэтажных штреков с открытым выработанным пространством.

Результаты

Для исследования был выбран один из участков месторождения, в пределах которого весьма развиты зоны разноориентированного кварцевого прожилкования (зоны окварцевания), приуро-

ченные к зонам влияния крупных разрывных нарушений [14]. За последние 5 лет данные, полученные при проведении масштабных геологоразведочных работ, подтвердили значительный потенциал прироста запасов золота прожилково-жильного типа. Количество богатых жильных структур иссякает, и прожилково-жильные руды в ближайшем будущем станут основным промышленным типом на данном месторождении.

Учитывая значительные различия между параметрами залегания, локализацией и способами отработки возникла необходимость детального изучения и анализа прожилковых зон.

Для проведения статистического анализа и получения корректного результата ключевым этапом является максимальная представительность выборки. При исследовании равномерное распределение точек является идеальным, но сложно реализуемым случаем. Изучаемая зона расположена в центральной части рудного поля, протягиваясь в северо-западном направлении на расстояние около 2 км при ширине до 500 м. Вертикальный размах зоны — более 1 км. Зона приурочена к мощному силлу долеритов, слегка дугообразно изгибается к северо-востоку вслед за изменением простирания последнего. Бурение выполнялось в основном из штольневых горизонтов станками ONRAM-140. Выход керна по скважинам превышает 90%. Сеть разведочных пересечений $30 \times 50 - 30 \times 50$ м.

Для подготовки выборки рудная зона условно была разбита на отдельные домены с учетом крупных тектонических нарушений, густоты сети бурения, вещественно-петрографических и прочих особенностей, выделенных в ходе изучения прожилковых зон [15].

Первым этапом было проанализировано все облако точек от 0 м до гор. +520 м, где наиболее развиты прожилковые зо-

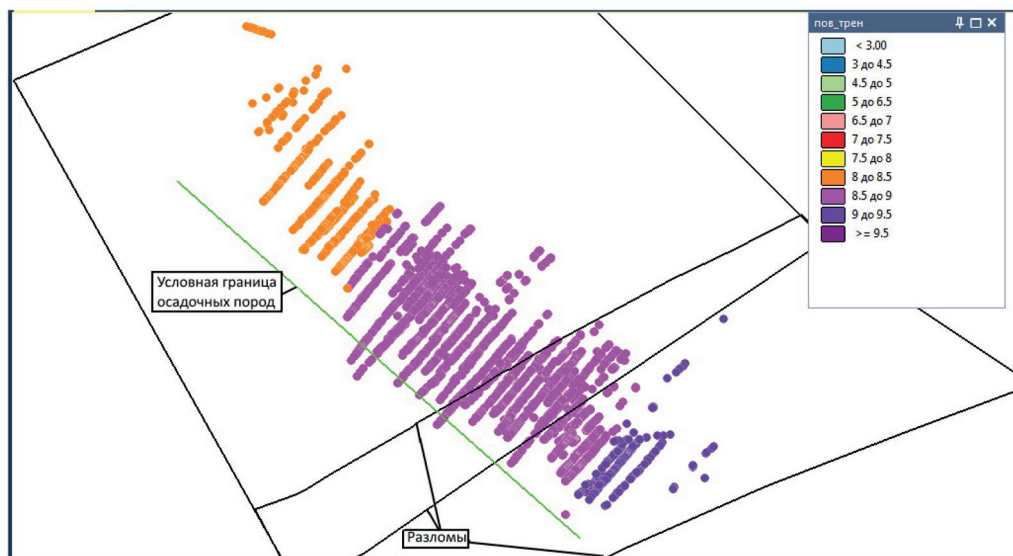


Рис. 2. Поверхностный тренд, полиномы первой (линейный) степени
 Fig. 2. Surface trend, linear polynomials

ны. При построении полиномы первой степени для всего участка выявлена тенденция к возрастанию значений с С-З на Ю-В, более высокие содержания встречаются в зоне, приуроченной к всяче-

му крылу крупного разлома (рис. 2), где вмещающими являются породы верхней части габбро-долеритовых силлов [16].

Исследование отдельных доменов, горизонт от 0 м до +190 м, от +190 м до

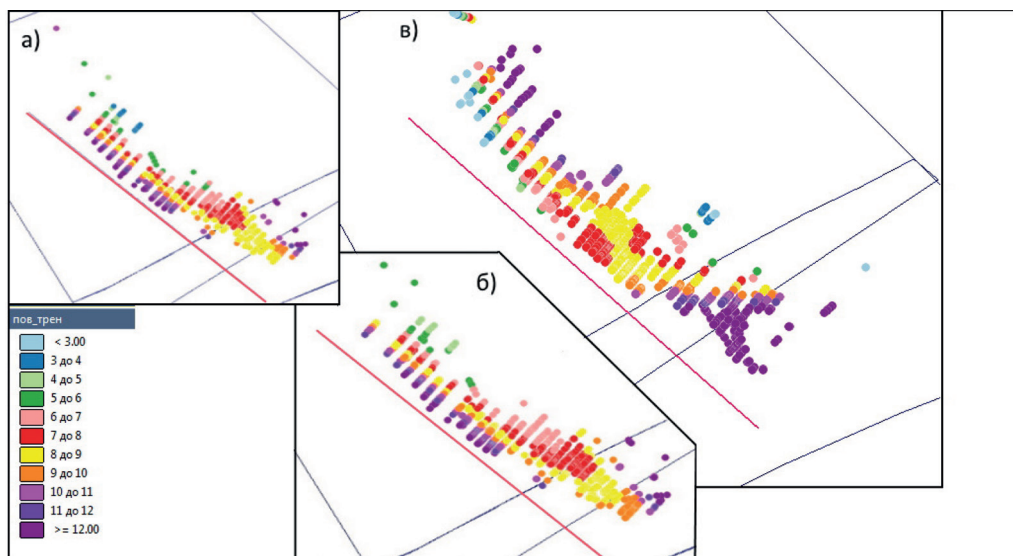


Рис. 3. Поверхность тренда: участок от +190 м до +310 м кубический тренд (а); участок от +190 м до +310 м квадратичный тренд (б); участок от +310 м до +520 м кубический тренд (в)

Fig. 3. Surface trend: span from +190 m to +310 m, cubic trend (a); span from +190 m to +310 m, quadratic trend (b); span from +310 m to +520 m, cubic trend (v)

+310 м и от +310 м до +520 м, а также анализ в данных рамках линейных, квадратичных и кубических полиномов показали наличие тенденции возрастания значений с приближением к границе осадочных пород и приуроченностью к крупным разломам (рис. 3).

Было выявлено, что отдельное сгущение точек не сильно искажает поверхность тренда. Разбивка и анализ более укрупненно отдельных участков в лежащем и висячем крыле разломов, а также в межразломном пространстве не увенчались успехом, определенные закономерности распределения полезного компонента на столь локальных участках выделить затруднительно [17, 18].

На следующем этапе исследования необходимо было обнаружить, существует ли закономерность распределения полезного компонента с глубиной. Была

выдвинута гипотеза, что распределение сугубо хаотично и закономерности с глубиной не прослеживаются, для проверки которой использовался статистический анализ в MS Excel и метод однофакторного дисперсионного анализа. Для анализа была выбрана зона в висячем крыле разлома, так как данный участок наиболее изучен, и обработка прожилково-жильных руд будет проводиться в первую очередь на данном участке.

На участке было выделено 13 рудных тел преимущественно юго-западного падения, в основном субполюгие и пологозалегающие. База данных опробования была отфильтрована согласно каждому рассматриваемому рудному телу, и подготовлены соответствующие выборки для статистического анализа.

С помощью функций MS Excel проводились расчеты однофакторного дис-

Итоги					
Группы	Кол-во измерений (опробование)	Сумма	Среднее, г/т	Дисперсия	Глубина расположения рудных тел ($Z_{взв}$), м
Рудное тело 1	30	168,49	5,62	26,28	300,2
Рудное тело 2	112	571,48	5,10	23,93	298,1
Рудное тело 3	75	372,77	4,97	28,99	283,9
Рудное тело 4	75	411,85	5,49	26,73	275,0
Рудное тело 5	126	550,61	4,37	13,27	274,6
Рудное тело 6	221	1272,617	5,76	25,94	267,0
Рудное тело 7	257	1384,79	5,39	33,03	242,2
Рудное тело 8	6	20,73	3,46	16,59	245,0
Рудное тело 9	75	378,2	5,04	121,16	219,5
Рудное тело 10	59	359,39	6,09	21,98	197,1
Рудное тело 11	116	830,65	7,16	25,98	177,1
Рудное тело 12	43	289,84	6,74	32,93	157,8
Рудное тело 13	42	183,94	4,38	27,70	136,7

Дисперсионный анализ						
Источник вариации	SS (сумма квадратов)	Df (число степеней свободы)	MS	F (величина выборочного)	P-значение	F критическое
Между группами	718,24	12,00	59,85	1,87	0,03	1,76
Внутри групп	39 194,27	1224,00	32,02			
Итого	39 912,51	1236,00				
F-критерий	0,54					

персионного анализа, он изучает влияния одного фактора на анализируемый признак, в нашем случае — зависимость распределения полезного компонента с глубиной.

В MS Excel рассчитываются средние, дисперсия, критерий Фишера и другие показатели.

Влияние исследуемого фактора определяется по величине значимости критерия Фишера, которая находится в итоговой таблице на пересечении строки между группами и столбца Р-значение [19].

В нашем случае вычисленное значение (0,54) меньше допустимого (1,76), что подтверждает нуль-гипотезу: фактора глубинности не влияет на содержание золота в выборках.

Коэффициенты вариации в рудных телах варьируют в пределах 179,8—496,0%, что соответствует крайне неравномерному распределению золота [20].

Заключение

С помощью проведенных исследований было выявлено, что зависимость распределения золота с глубиной сугубо случайная, но присутствует некая закономерность распределения полезного компонента по X,Y-осям. Прослеживается тенденция возрастания содержаний с приближением к границе осадочных пород и крупным тектоническим нарушениям. На основе статистических методов обработки первичной информации, получаемой при проходке геологоразведочных скважин, с высокой достоверностью из общего множества можно выделить более перспективные участки. Полученные результаты исследования нуждаются в заверке другими методами, но уже на данном этапе могут быть применены при дальнейшем заложении геологоразведочных и эксплуатационных скважин, оконтуривании рудных тел прожилково-жильного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году. — М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019. — 424 с.
2. Семинский К. Ж. Спецкартирование разломных зон земной коры. Статья 1: теоретические основы и принципы // Геодинамика и тектонофизика. — 2014. — № 5 (2). — С. 445—467. DOI: 10.5800/GT-2014-5-2-0136.
3. Хазиев Р. Р., Андреева Е. Е., Арефьев Ю. М., Баранова А. Г., Валева С. Е., Анисимова Л. З., Горынцева К. Ю. Литолого-минералогические особенности и условия формирования юрских отложений Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. — 2017. — Т. 19. — № 4. — Ч. 2. — С. 364—367. DOI: 10.18599/grs.19.4.9.
4. Kahya Asuman, Kanaat Öznur Geological mineralogical and fluid inclusion characteristics of auriferous quartz veins at Güneyköy (Uşak, Eşme), Western Turkey // Neues Jahrbuch für Mineralogie — Abhandlungen. 2018, vol. 195, no. 1, pp. 11—25. DOI: 10.1127/njma/2017/0057.
5. Mraz E., Moeck I., Bissmann S., Hild S. Multiphase fossil normal faults as geothermal exploration targets in the Western Bavarian Molasse Basin: Case study Mauerstetten // Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. 2018, vol. 69, no. 3, pp. 389—411.
6. Cheskidov V., Kassymkanova K. K., Lipina A., Bornman M. Modern methods of monitoring and predicting the state of slope structures // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, no. 74, article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501001.
7. Дэвис Дж. С. Статистический анализ данных в геологии. Книга 2. — М.: Недра, 1990. — С. 267.
8. Никифоров И. А. Статистический анализ геологических данных: Учебное пособие. — Оренбург: ОГУ, 2010. — 170 с.

9. Бабина Т. О. Анализ объективных факторов, влияющих на эффективность процедуры кригинга // Известия вузов. Геология и разведка. — 2003. — № 4. — С. 45–49.

10. Ворошилов В. Г. Математическое моделирование в геологии: Учебное пособие. — Томск: Изд. ТПУ, 2001. — 124 с.

11. Кондратьев М. Н., Савва Н. Е., Гамянин Г. Н., Колова Е. Е., Семышев Ф. И., Малиновский М. А., Кондратьева Е. А. Новые данные по структуре, минералогии, геохимии золоторудного месторождения Каральвеем (Чукотка) // Отечественная геология. — 2017. — № 3. — С. 26–44.

12. Гусева Н. С. Секреты золотодобычи. — М.: Изд-во «Горная книга», 2020. — 208 с.

13. Макарчева А. А. Особенности методики оценки запасов месторождений штокверкового типа: Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. — М.: РГГУ, 2016. — 126 с.

14. Стримжа Т. П. Прогнозирование и поиск полезных ископаемых: учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта. — Красноярск: СФУ, 2014. — 39 с.

15. Рупышев М. С. Некоторые проблемы подсчета запасов полезных ископаемых с применением коэффициента рудоносности // Золотодобыча. — 2016. — № 209. — С. 17–22.

16. Emery X. Geostatistics in the presence of geological boundaries: Application to mineral resources modeling // Ore Geology Reviews. 2019, vol. 114. DOI:10.1016/j.oregeorev.2019.103124.

17. Saboor A. T., Bhanwar S. C. Ore body modelling and geostatistical analyses / Emerging Trends in Geophysical Research for Make in India, ETGRMI 2018, IIT (ISM).

18. Мосейкин В. В., Гальперин А. М., Ческидов В. В., Пуневский С. А. Совершенствование удаленного автоматизированного контроля откосных сооружений на горных предприятиях // Горный журнал. — 2017. — № 12. — С. 82–86.

19. Юденков В. А. Дисперсионный анализ. — Минск: Бизнесофсет, 2013. — 76 с.

20. Толчкова Е. Н. Обзор показателей изменчивости контуров рудных тел // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — СВ 40. — С. 9. [IVIAS](#)

REFERENCES

1. Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu [State report on the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2018], Moscow, 2019, 424 p. [In Russ].

2. Seminsky K. Zh. Special mapping of fault zones of the Earth's crust. Article 1: Theoretical foundations and principles. *Geodynamics and Tectonophysics*. 2014, no. 5 (2), pp. 445–467. [In Russ]. DOI: 10.5800/GT-2014-5-2-0136.

3. Khaziev R. R., Andreeva E. E., Arefyev Yu. M., Baranova A. G., Valeeva S. E., Anisimova L. Z., Goryntseva K. Yu. Litho-mineralogical features and conditions of formation of Jurassic deposits of the West Siberian oil and gas basin. *Georesursy*. 2017, vol. 19, no. 4, part 2, pp. 364–367. [In Russ]. DOI: 10.18599/grs.19.4.9.

4. Kahya Asuman, Kanaat Öznur Geological mineralogical and fluid inclusion characteristics of auriferous quartz veins at Güneyköy (Uşak, Eşme), Western Turkey. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*. 2018, vol. 195, no. 1, pp. 11–25. DOI: 10.1127/njma/2017/0057.

5. Mraz E., Moeck I., Bissmann S., Hild S. Multiphase fossil normal faults as geothermal exploration targets in the Western Bavarian Molasse Basin: Case study Mauerstetten. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*. 2018, vol. 69, no. 3, pp. 389–411.

6. Cheskidov V., Kassymkanova K. K., Lipina A., Bornman M. Modern methods of monitoring and predicting the state of slope structures. *E3S Web of Conferences*. 2019, vol. 105, no. 74, article 01001. DOI: 10.1051/e3sconf/201910501001.

7. Davis J. C. *Statisticheskiy analiz dannykh v geologii*. Kniga 2 [Statistics and data analysis in geology, book 2], Moscow, Nedra, 1990, pp. 267.

8. Nikiforov I. A. *Statisticheskiy analiz geologicheskikh dannykh*: Uchebnoe posobie [Statistical analysis of geological data. Educational aid], Orenburg, OGU, 2010, 170 p.

9. Babina T. O. Analysis of objective factors affecting the effectiveness of the kriging procedure. *Izvestia vuzov. Geology and Exploration*. 2003, no. 4, pp. 45–49. [In Russ].
10. Voroshilov V. G. *Matematicheskoe modelirovanie v geologii*: Uchebnoe posobie [Mathematical modeling in geology. Educational aid], Tomsk, Izd. TPU, 2001, 124 p.
11. Kondratiev M. N., Savva N. E., Gamyarin G. N., Kolova E. E., Semyshev F. I., Malinovsky M. A., Kondratieva E. A. New data on the structure, mineralogy, and geochemistry of the Karalveem gold deposit (Chukotka). *Otechestvennaya geologiya*. 2017, no. 3, pp. 26–44. [In Russ].
12. Guseva N. S. *Sekrety zolotodobychi* [Secrets of gold mining], Moscow, Izd-vo «Gornaya kniga», 2020, 208 p.
13. Makarcheva A. A. *Osobennosti metodiki otsenki zapasov mestorozhdeniy shtokverkovogo tipa* [Features of the methodology for assessing the reserves of stockwork-type deposits], Candidate's thesis, Moscow, RGGU, 2016, 126 p.
14. Strimzha T. P. *Prognozirovanie i poisk poleznykh iskopaemykh: uchebno-metodicheskoe posobie dlya vypolneniya kursovogo proekta* [Forecasting and search for minerals: an educational and methodological guide for the implementation of a course project], Krasnoyarsk, SFU, 2014, 39 p.
15. Rupyshev M. S. Some problems of calculating mineral reserves with the use of the ore-bearing coefficient. *Zolotodobycha*. 2016, no. 209, pp. 17–22. [In Russ].
16. Emery X. Geostatistics in the presence of geological boundaries: Application to mineral resources modeling. *Ore Geology Reviews*. 2019, vol. 114. DOI:10.1016/j.oregeorev.2019.103124.
17. Saboor A. T., Bhanwar S. C. Ore body modelling and geostatistical analyses. *Emerging Trends in Geophysical Research for Make in India*, ETGRMI 2018, IIT (ISM).
18. Moseikin V. V., Galperin A. M., Cheskidov V. V., Punevsky S. A. Improvement of remote automated control of slope structures at mining enterprises. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 12, pp. 82–86. [In Russ].
19. Yudenkov V. A. *Dispersionnyy analiz* [Dispersion analysis], Minsk, Biznesofset, 2013, 76 p.
20. Tolchkova E. N. Review of indicators of variability of contours of ore bodies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020. Special edition 40, pp. 9. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Воротынцева Ирина Алексеевна¹ – аспирант, e-mail: irina.vorot@yandex.ru,
Смирнов Павел Александрович¹ – аспирант,
инженер по технической поддержке, ОАО «Орика СиАйЭс»,
Данильченко Антон Леонидович¹ – аспирант,
Якубов Марат Маратович¹ – аспирант,
¹ НИТУ «МИСиС».

Для контактов: Воротынцева И.А., e-mail: irina.vorot@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

I.A. Vorotyntseva¹, Graduate Student, e-mail: irina.vorot@yandex.ru,
P.A. Smirnov¹, Graduate Student,
Technical Support Engineer, Orika CIS JSC, 125315, Moscow, Russia,
A.L. Danilchenko¹, Graduate Student,
M.M. Yakubov¹, Graduate Student,

¹ National University of Science and Technology «MISIS»,
119049, Moscow, Russia.

Corresponding author: I.A. Vorotyntseva, e-mail: e-mail: irina.vorot@yandex.ru.

Получена редакцией 08.05.2021; получена после рецензии 21.06.2021; принята к печати 10.10.2021.
Received by the editors 08.05.2021; received after the review 21.06.2021; accepted for printing 10.10.2021.