

Оригинальная статья / Original article

УДК: 622.03+622.143.1+519.2

## О НЕОБХОДИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ РАЗВЕДКИ РУДНЫХ ЗОН ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ 3-4 ГРУПП СЛОЖНОСТИ

© А.А. Соловьев<sup>1</sup>, В.И. Снетков<sup>2</sup>, Е.С. Семёнова<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
Российская Федерация, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

**РЕЗЮМЕ.** Цель. Целью исследований является оценка точности фиксации контуров рудных зон/тел в вертикальном разрезе по данным бурения кустов и спаренных скважин, выполненного на экспериментальном участке золоторудного месторождения «Ожерелье». **Методы.** Для этого на участке детализации золоторудного месторождения «Ожерелье» было пройдено 40 кустов скважин. Из общего числа 28 кустов состояли из 2 скважин: одна скважина проходила с диаметром бурового наконечника 96 мм, вторая – с диаметром 131 мм. Остальные 12 кустов включали 5 скважин, забуренных конвертом: центральная скважина проходила с диаметром буровой коронки 131 мм, а 4 угловые скважины – с диаметром 96 мм. Расстояния между скважинами в кусте не превышали 1,5 м, длина интервала опробования по скважине составила 1 м. При этом выдерживался единый гипсометрический уровень с целью сопоставления результатов опробования скважин в кусте. **Результаты.** Расхождение отметок в определении кровли рудной зоны составляет 0,5 м, почвы – 16,5 м и начинает существенно увеличиваться с увеличением бортового содержания при оконтуривании рудных тел. Так, при борте 0,4 г/т абсолютная ошибка определения положения кровли и почвы залежи – 14,8 и 17,97 м. Увеличение бортового лимита до 0,6 г/т приводит к разделению залежи по скважине 103-А на два рудных тела, разность в отметках контуров кровли и почвы для первого составила 18,65 и 3,70 м, а второе вообще не определилось первой скважиной. Расхождение отметок при борте 0,8 г/т – 9,64 и 4,65 м, при борте 1,0 г/т – 0 и 4,65 м. **Выводы.** Для уменьшения ошибок, связанных с оконтуриванием, необходимо внести изменения в методику разведки подобных месторождений и осуществлять ее парно сближенными скважинами. Дублирование скважин поможет существенно повысить как надежность оконтуривания, так и полноту использования недр

*Ключевые слова:* золото, месторождение, скважина, проба, контур, автокорреляционная функция.

**Формат цитирования:** Соловьев А.А., Снетков В.И., Семенова Е.С. О необходимости изменения методики разведки рудных зон золоторудных месторождений 3-4 групп сложности // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 1. С. 97–106.

---

<sup>1</sup>Соловьев Андрей Алексеевич, аспирант кафедры маркшейдерского дела и геодезии, e-mail: dagor-nuin-giliat@yandex.ru

Andrei A. Soloviev, Postgraduate of the Department of Mine Surveying and Geodesy, e-mail: dagor-nuin-giliat@yandex.ru

<sup>2</sup>Снетков Вячеслав Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, e-mail: snetkov@istu.edu

Vyacheslav I. Snetkov, Doctor of technical sciences, Professor of the Department of Mine Surveying and Geodesy, e-mail: snetkov@istu.edu

<sup>3</sup>Семёнова Екатерина Сергеевна, студент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел.: (3952) 405102, e-mail: kmd@istu.edu

Ekaterina S. Semenova, Student of the Department of Mine Surveying and Geodesy, tel.: (3952) 405102, e-mail: kmd@istu.edu

## ON THE NEED TO CHANGE THE PROSPECTING METHODS OF THE ORE ZONES OF 3-4 COMPLEXITY GROUP GOLD DEPOSITS

A.A. Soloviev, V.I. Snetkov, E.S. Semenova

Irkutsk National Research Technical University,  
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russian Federation.

**ABSTRACT.** The **purpose** of the study is to estimate the determination accuracy of ore zone/body contours in the vertical section according to the data of well clusters and paired wells drilling performed in the experimental section of the "Ozherelie" gold ore deposit. **Methods.** To implement the set purpose 40 well clusters were drilled at the site of the detailed description of the "Ozherelie" gold ore deposit. 28 clusters out of the total number of drilled ones consisted of 2 wells: one well was drilled by a drill string with the bit diameter of 96 mm, the second – by a drill string with the bit diameter of 131 mm. All the rest 12 clusters included 5 wells were drilled in an envelope: the central well was drilled by a drill string with a bit diameter of 131 mm, while 4 angular wells were drilled by a drill string with a diameter of 96 mm. The distances between the wells in a cluster did not exceed 1.5 m, the length of the sampling interval in a well was 1m. The uniform hypsometric level was maintained in order to compare the sampling results of wells in a cluster. **Results.** The difference in altitudes in the determination of the ore zone roof is 0.5 m, in the determination of the bedding rock is 16.5 m and grows significantly with the increase of the cut-off grade under the delineation of ore bodies. Thus, when the cut-off is 0.4 g/t the absolute error in the determination of the deposit roof and bedding rock position is 14.8 m and 17.97 m. The increase in the cut-off limit to 0.6 g/t leads to the separation of the deposit along the well 103-A into two ore bodies. The difference in the altitudes of the roof and bedding rock contours is 18.65 m and 3.70 m for the first ore body, while the second ore body has not been identified by the first well. The difference in altitudes at the side of 0.8 g/t is 9.64 m and 4.65 m, at the side height of 1.0 g/t it constituted 0 m and 4.65 m. **Conclusions.** To reduce the errors associated with the deposit delineation, it is necessary to introduce some changes in the prospecting methodology of such deposits and implement it by paired wells. Duplication of wells will significantly improve both the delineation reliability and the recovery ratio.

*Keywords: gold, deposit, well, sample, contour, autocorrelation function*

**For citation:** Soloviev A.A., Snetkov V.I., Semenova E.S. On the need to change the prospecting methods of the ore zones of 3-4 complexity group gold deposits. Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits. 2017, vol. 40, no. 1, pp. 97–106. (In Russian).

### Введение

Месторождения рудного золота отличаются высокой степенью сложности геологического строения, что превращает их разведку в весьма сложный и затратный процесс. При этом далеко не всегда удается произвести подсчет находящихся в недрах запасов с приемлемой точностью. Одним из весомых факторов являются погрешности определения положения кровли и почвы рудоносных зон, связанные с особенностями распределения полезного компонента в них. Крайне неоднородное распределение золота во вмещающих породах и высокая дисперсия содержаний в пробах приводят к значительным погрешностям в определении положения кровли и почвы залежи по единичным интервальным пробам в отдельной скважине. Результатом такого

оконтурирования является крайне невыдержанная форма кровли и почвы, возникающая вследствие оконтурирования по пробам, содержащим высокую долю случайной изменчивости, связанной с особенностями природного распределения золота, его гранулометрией, объемом и геометрией пробы и др. Положение усугубляется еще и введением разного уровня бортового содержания, что приводит к расчленению рудной зоны на отдельные фрагменты. В результате возникает необходимость в разработке такого подхода при разведке золоторудных месторождений, который бы позволил повысить надежность определения контуров и, соответственно, точность и надежность подсчета запасов.

Цель исследований – изучение влияния контрастности содержаний золота,

определенных по данным кернового разведочного бурения, на точность оконтуривания в вертикальном разрезе рудных зон/пластов.

#### Методы исследований

Использованы экспериментальные и статистические подходы. Для этого на участке детализации золоторудного месторождения «Ожерелье» было пройдено 40 кустов скважин. Из общего числа 28 кустов состояли из 2 скважин: одна скважина проходила с диаметром бурового наконечника 96 мм, вторая – с диаметром 131 мм. Остальные 12 кустов включали 5 скважин, забуренных конвертом: центральная скважина проходила с диаметром буровой коронки 131 мм, а 4 угловые скважины – с диаметром 96 мм. Расстояния между скважинами в кусте не превышали 1,5 м, длина интервала опробования по скважине составила 1 м. При этом выдерживался единый гипсометрический уровень с целью сопоставления результатов опробования скважин в кусте.

В 23 кустах скважины наклонные с одинаковыми зенитными углами и азимутами, остальные – вертикальные. Общим недостатком этих работ является то обстоятельство, что кусты скважин детализации не пересекли полностью всю минерализованную толщу, а создали полное пересечение лишь верхней рудоносной зоны из трех.

Для заверки данных бурения в створе трех кустов скважин (кусты 123, 127 и 137) были пройдены глубокие шурфы сечением 4 м<sup>2</sup>.

Проходка осуществлялась в следующей последовательности: в месте заложения шурфа проходила бульдозерная траншея по делювиально-элювиальным рыхлым породам, а затем углублялась в коренные породы буровзрывным способом на глубину около 5–6 м. Из полотна такой траншеи велась проходка шурфа с послонной выемкой породы (руды). Глубина каждого из пройденных шурфов

составила 20 м.

Особое внимание было уделено методике опробования этих шурфов. Оно производилось по мере углубки шурфов с применением различных способов пробоотбора.

Способом вычерпывания отбирались частные валовые пробы весом 10–11 кг каждая, причем с каждого метра углубки шурфа отбиралось 10 таких частных валовых проб;

Параллельно с отбором частных валовых проб с каждого метра углубки производился отбор 5 горстьевых проб весом около 10 кг каждая;

С целью обоснования достоверности бороздового опробования вся вскрытая толща опробовалась бороздовым секционным способом с длиной секции 1 м;

В процессе проходки шурфов с каждого метра углубки отбирался шлам скважин шарошечного бурения, предназначенных для БВР. Эти скважины проходились конвертом из 5 точек – 4 по углам шурфа и 1 в центре;

После получения анализов вышеперечисленных проб были намечены интервалы отбора валовой пробы, предназначенной для полужаводских испытаний и отправленной с этой целью в Иргиредмет. Вес пробы составил 3150 кг. Результаты испытания этой пробы легли в основу составления технологического регламента обогащения руд месторождения Ожерелье;

С целью выявления истинного содержания золота в исходных пробах руды по балансу металла, рассчитанному по продуктам гравитационного обогащения, на полужаводской установке ОАО «Иргиредмет» производительностью 50 кг/ч были отобраны и отправлены на испытания 6 проб с различными содержаниями золота. Пробы отбирались горстьевым способом с таким расчетом, чтобы получить разные содержания золота в них. Вес проб и результаты

сопоставления содержаний золота по данным ОАО «Высочайший» и Иргиредмета представлены в табл. 1.

Оставшаяся масса руды в количестве 692 тонн была направлена на промышленные испытания на ЗИФ 4, расположенные на Ыканском золоторудном месторождении, где на этих рудах в течение трех смен производились опытно-опробовательские работы по гравитационной схеме обогащения руд с получением золотой головки и промпродукта.

Таким образом, в процессе проведения опытно-методических работ был получен уникальный массив информации, дающий возможность аналитическими методами оценить как достоверность данных разведки и опробования [1], так и некоторые особенности, связанные с оконтуриванием рудных тел/зон в вертикальном разрезе.

#### **Геологическое строение месторождения**

Краткое описание геологического строения месторождения приводится по

А.И. Иванову [2–3] – первооткрывателю месторождения «Ожерелье». Район месторождения сложен метаморфизованными терригенными отложениями бодайбинской серии рифей-вендского возраста, представленными аунакитской, вачской, анангской и догалдынской свитами<sup>4</sup>.

Стратиграфическое расчленение пород, слагающих месторождение «Ожерелье», неоднозначно, что связано с отсутствием в разрезе маркирующих горизонтов известняков и сложной изоклиальной складчатостью более высокого порядка.

В тектоническом отношении месторождение приурочено к северо-восточному крылу Маракано-Тунгусской синклинали II порядка.

Породы в районе месторождения «Ожерелье» метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой фации, что проявляется в повсеместном формировании биотита, граната, амфибола (роговой обманки).

**Таблица 1**

**Содержание золота в пробах руды месторождения «Ожерелье»**

**Table 1**

**Gold content in Ozherelie deposit ore samples**

Наименование пробы / Sample name	Масса пробы, кг / Sample weight, kg	Содержание, г/т Content, g/t			
		По данным заказчика / According to the customer's data	По данным Иргиредмета / According to Irgiredmet data		
			Пробирный анализ / Assay test	Пробирный анализ с метотсевом / Screen fire assay	Рассчитанное по балансу металла / Calculated by metal balance
3-1	158,50	0,45	0,45	0,5	0,52
3-2	166,98	0,58	0,43	0,64	0,56
3-3	132,27	0,81	0,57	0,54	0,79
3-4	105,3	1,17	0,25	0,71	1,13
3-5	94,5	1,73	1,80	1,63	1,65
3-6	104,6	9,54	10,3	9,71	9,48

<sup>4</sup>Иванов А.И. Золотоносность Байкало-Патомской металлогенической провинции: дис. ... д-ра геолог.-минералог. наук. М., 2010. 348 с. /

Ivanov A.I. Gold mineralization of the Baikal-Patom metallogenic province: Doctoral dissertation in Geological and Mineralogical sciences. Moscow, 2010. 348 p.

На месторождении установлены синметаморфические и послеметаморфические кварцевые жилы.

Синметаморфические жилы согласны метаморфической сланцеватости, имеют линзовидную форму, в участках тектонических деформаций смяты в сложные складки. Сложены гранулированным кварцем, в зальбандах отмечаются полевой шпат, кианит и биотит, во вмещающей породе присутствуют метаморфические минералы: биотит, гранат и амфибол. Рудная минерализация представлена редкими кристаллами ильменита и вишневого рутила. При рассланцевании и деформации таких жил в стадию диафтореза высокотемпературные минералы замещаются хлоритом и мусковитом, появляется низкотемпературная сульфидная минерализация.

Постметаморфические кварцевые жилы характеризуются развитием серицита и хлорита в экзоконтакте и разделяются на два основных морфологических типа. Первый тип – жилы, согласные и субсогласные сланцеватости, формируются в надвиговых зонах и часто содержат железо-магнезиальный карбонат, а также пирит. Подобные жилы являются золотоносными и в основном формируют минерализованные зоны. Второй тип – секущие по отношению к складчатой структуре жилы, имеющие обычно субвертикальное залегание и плитообразную морфологию, иногда с апофизами по сланцеватости. Могут иметь разнообразную рудную минерализацию.

Три минерализованные зоны уверенно фиксируются по результатам анализов, выделяются по бортовому содержанию золота 0,2 г/т и прослеживаются по большинству буровых линий.

Месторождение разведано сетью вертикальных скважин. Размеры сети – 25×25 м. На месторождении выделен участок детализации, на котором были дополнительно пробурены «кусты» скважин. Конструкция «куста» показана на

рис. 1: центральная скважина диаметром 131 мм и 4 скважины диаметром 96 мм. Кроме этого, были пройдены разведочные шурфы (углами которых и являлись скважины меньшего диаметра), по которым были взяты бороздовые, горстьевые и валовые пробы.

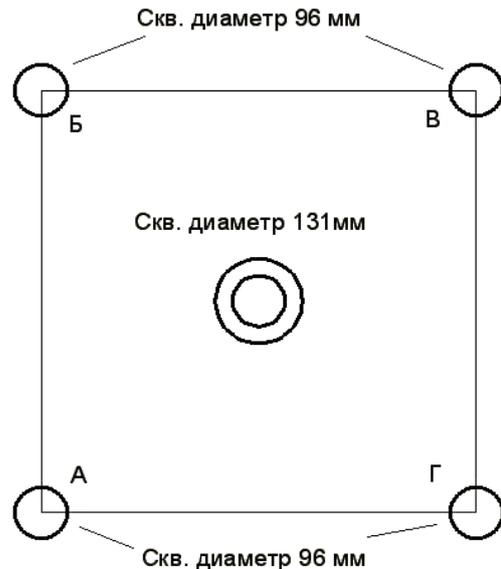


Рис. 1. Схема расположения скважин в «кусте»  
Fig. 1. Scheme of well cluster location

### Результаты исследований и их обсуждение

Оконтуривание производилось для бортовых содержаний 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 и 1,0 г/т из расчета: мощность пустого прося – 5 м, высота уступа – 5 м при среднем содержании на этот интервал не ниже бортового и, соответственно, минимальный линейный запас 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 и 5,0 метрограмм на тонну. Анализ результатов оконтуривания при различных бортовых содержаниях показал весьма существенную разницу в определении границ рудных зон как по отдельным скважинам, так и в пределах одного «куста». В табл. 2 показаны результаты опробования по скважинам 103 и 103-А, расстояние между устьями которых всего 1 м.

Таблица 2

Контуры рудных зон/залежей по скважинам 103 и 103-А

Table 2

Ore zone/deposit contours by the drillholes 103 and 103-A

Скважина 103 / Drillhole 103					Скважина 103-А / Drillhole 103-А						
Высотная отметка / Altitude	Бортовое содержание, г/т / Cut-off grade, g/t					Высотная отметка / Altitude	Бортовое содержание, г/т / Cut-off grade, g/t				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
775,45	0,094										
774,50	0,500										
773,55	0,186					774,98	0,909				
772,60	0,101					773,09	0,589				
771,65	0,286					771,67	0,656				
770,70	0,386					770,73	1,476				
769,74	0,226					769,77	0,547				
768,79	0,263					768,82	0,20				
767,83	0,100					767,87	0,290				
766,87	0,132					766,92	0,637				
765,91	0,305					765,97	0,463				
764,95	0,112					765,02	1,047				
763,99	0,095					764,06	0,524				
763,04	0,147					763,11	0,568				
762,08	0,044					762,16	0,171				
761,12	0,391					761,20	2,039				
760,16	0,441					760,25	0,462				
759,20	0,140					759,29	0,497				
758,24	0,235					758,34	0,401				
757,28	0,156					757,39	0,216				
756,33	2,634					756,43	17,484				
755,37	2,634					755,48	20,303				
754,41	3,116					754,52	11,301				
753,45	3,423					753,57	7,985				
752,49	1,593					752,61	3,454				
751,53	5,780					751,66	1,203				
750,58	0,742					750,70	2,072				
749,62	0,340					749,75	1,167				
748,66	0,276					748,79	0,631				
747,71	0,172					747,84	0,635				
746,75	0,183					746,88	1,138				
745,79	0,170					745,93	0,452				
744,83	0,080					744,97	0,570				
743,88	0,076					744,02	0,566				
742,92	0,117					743,06	0,393				
741,96	0,297					742,11	0,549				
741,00	0,210					741,15	1,127				
740,04	0,090					740,19	1,049				
738,08	0,110					739,24	0,377				
738,13	0,031					738,27	0,542				
737,17	0,093					737,33	0,362				
736,21	0,174					736,38	0,290				
735,25	0,056					735,42	0,793				
734,29	0,112					734,47	2,970				



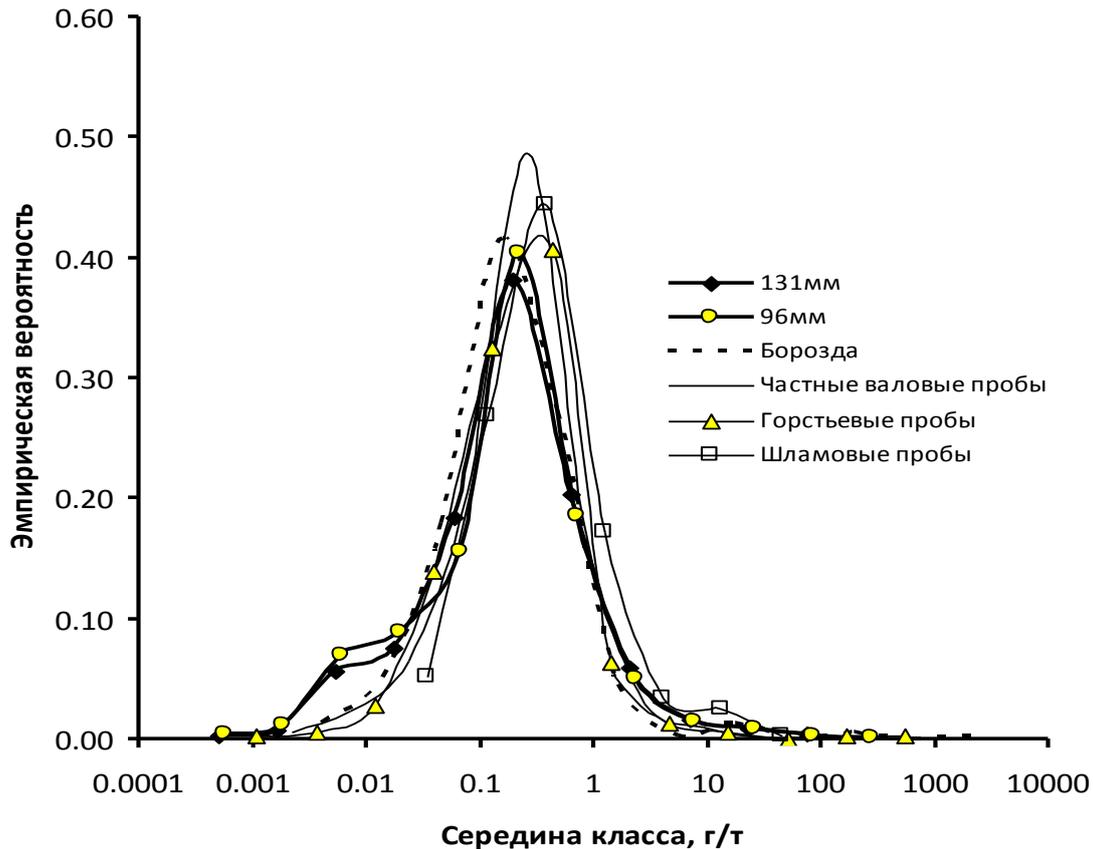


Рис. 2. Распределение содержаний золота по видам опробования  
 Fig. 2. Gold content distribution by sampling types

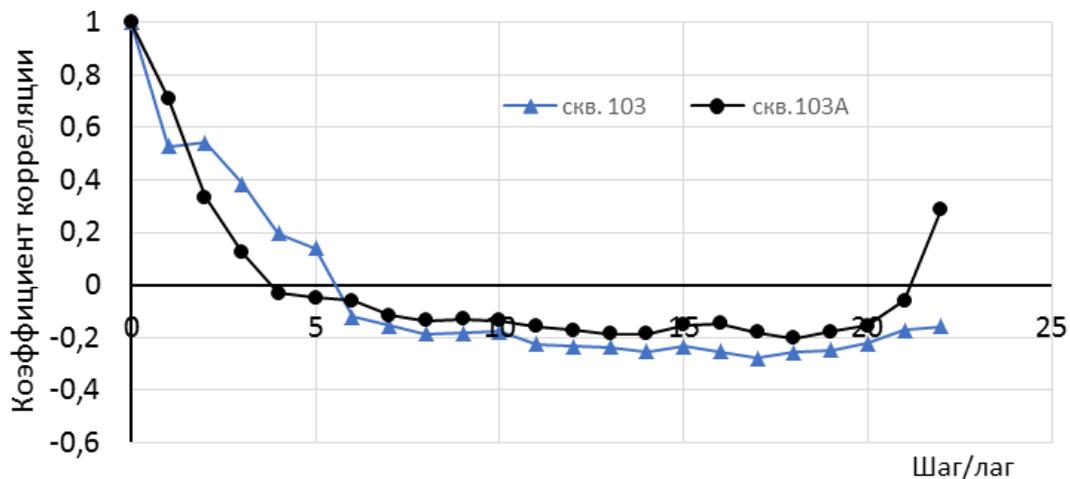


Рис. 3. Автокорреляционные функции по стволам скважин  
 Fig. 3. Autocorrelation functions along the wellbores

Дисперсия случайной изменчивости, вычисленная по вторым разностям [5] составила: по скважине 103 – 0,80, по скважине 103-А – 3,05. Это означает что в первом случае доля случайной изменчивости в общей равна 48%, а во втором

– 17%, то есть закономерное изменение по скважине 103-А выражено сильнее. Эта особенность хорошо отражена на графиках автокорреляционных функций (см. рис. 3) [6].

### Выводы

На золоторудных месторождениях, характеризующихся гнездовым распределением полезного компонента, отсутствием четкого литологического контроля, когда зоны оруденения выделяются по данным опробования, существует высокий риск потери части запасов, связанный с высокой погрешностью установления контуров (кровли и почвы) рудных зон или тел.

Для уменьшения ошибок, связанных с оконтуриванием, необходимо внести изменения в методику разведки [7]

подобных месторождений и осуществлять ее парно сближенными скважинами. Положение контура можно выбирать либо как среднее положение между полученными двумя контурами по паре скважин, либо как максимальные значения мощности, полученные по этим скважинам. Вопрос, какой из двух вариантов более приемлемый, требует дополнительного изучения. Однако совершенно ясно, что дублирование скважин поможет резко повысить как надежность оконтуривания, так и полноту использования недр.

### Библиографический список

1. Снетков В.И., Соловьев А.А. Оценка представительности данных разведки на месторождении «Ожерелье» методом сопоставления законов распределения золота // Вестник ИрГТУ. 2013. № 10 (81). С. 116–124.

2. Иванов А.И. Месторождение «Ожерелье» – новый тип коренных месторождений золота в Бодайбинском рудном районе // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2008. № 6 (32). С. 14–26.

3. Иванов А.И., Агеев Ю.Л. Геохимические методы поисков золоторудных месторождений на закрытых территориях в условиях вечной мерзлоты //

### References

1. Snetkov V.I., Solovyov A.A. *Ocenka predstavitel'nosti dannyh pazvedki na mestorojdenii "Oжерel'e" metodom sopostavleniya zakonov raspredeleniya zolota* [Assessment of Prospecting Data Representativeness on "Ozherelye" Deposit by Comparison Method of Gold Distribution Laws]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2013, no. 10 (81), pp. 116–124. (In Russian).

2. Ivanov A.I. *Mestorojdenie "Oжерel'e" – novyi tip korenykh mestorojdeniy zolota v Bodaibinskom rudnom raione* [The Ozherelie deposit as a new type of primary gold deposit in the Bodaibo gold-mining region]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2008, no. 6, pp. 14–26. (In Russian).

3. Ivanov A.I., Ageev Yu.L. *Geo-himicheskie metody poiskov zolotorudnykh mestorojdeniy na zakrytyh territoriyah v uslovyah vechnoi merzloty* [Geochemical

Разведка и охрана недр. 2008. № 4-5.  
С. 103–108.

4. Каждан А.Б., Гуськов О.И., Шиманский А.А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. М.: Недра, 1979. 168 с.

5. Попов Е.И. К оценке точности изображения залежи полезного ископаемого по данным разведки. Записки ЛГИ. Т. XXXVI. Вып. 2. Л.: Изд-во ЛГИ, 1959. С. 178–189.

6. Дэвис Дж. Статистический анализ данных в геологии / пер. с англ. В.А. Голубевой; под ред. Д.А. Родионова. М.: Недра, 1990. Т. 1–2. 318 с.

7. Прокофьев А.П. Основы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1973. 320 с.

methods of search for gold ore deposits in the overburden areas in the conditions of permafrost]. *Razvedka i ohrana nedr* [Subsoil exploration and protection], 2008, no. 4-5, pp. 103–108. (In Russian).

4. Kazhdan A.B., Guskov O.I., Shimansky A.A. *Matematicheskoe modelirovanie v geologii i razvedke poleznyh iskopaemyh* [Mathematical modeling in geology and prospecting of minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 168 p.

5. Popov E.I. *K ocenke tochnosti izobrajeniya zaleji poleznogo iskopaemogo po danniyam razvedki* [To the accuracy estimation of the mineral deposit image according to the prospecting data]. *Zapiski Leningradskogo gosudarstvennogo instituta* [Notes of Leningrad State Institute], vol. XXXVI, i. 2. Leningrad, Leningradskii gosudarstvennyi institut Publ., 1959, pp. 178–189. (In Russian).

6. Russ. ed.: Davies J. *Statisticheskij analiz dannyh v geologii* [Statistical analysis of data in geology]. Moscow, Nedra Publ., 1990. Vol. 1–2. 318 p.

7. Prokofiev A.P. *Osnovy poiskov i razvedky mestorojdeniy tverdyh poleznyh iskopaemyh* [Bases of solid mineral deposits prospecting and exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 320 p.

*Статья поступила 06.03.2017 г.  
The article was received 06.03.2017.*