

УДК 622.03+622.143.1+519.2

DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-33-39

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ УРАГАННОСТИ ПРОБ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИНЯТЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНДИЦИЙ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ

© В.И. Снетков¹, А.А. Соловьев²^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Цель исследований – моделирование условий появления в выборках разного объема аномально высоких проб или так называемых «ураганных проб», существенно влияющих на оценку средних содержаний, особенно в ограниченных по количеству данных выборках. Для этого использован известный метод моделирования Монте-Карло. Прототипом моделей послужили результаты разведки и опробования золоторудного месторождения Ожерелье, которое достаточно хорошо разведано (плотность сети керновых скважин – 25×25 м, интервал опробования – 1 м), отличается высокой дисперсией содержаний, крупным золотом и отсутствием сколь-нибудь заметной приуроченности к той или иной литологической разновидности.

В результате моделирования были созданы базовые модели (генеральные совокупности) логнормального распределения с известными параметрами, из которых извлекались все варианты выборок объемом 1000, 500, 100, 30, 15, 10 и 5 проб. Исследования проводились в широком диапазоне логарифмических стандартов от 0,3 до 0,9 (коэффициенты вариации – от 70 до 850%). В результате появилась возможность изучить появление аномально высоких проб в выборках и их влияние на оценку средних значений в зависимости от уровня бортового содержания и количества неизбежно включаемых в рудный интервал низких содержаний.

Исследованиями установлено, что при невысоких коэффициентах вариации средние содержания занижаются, а с увеличением вариации, наоборот, завышаются. Выявлена динамика появления аномально высоких проб в зависимости от бортового содержания, коэффициента рудоносности и коэффициента вариации содержаний. Кроме того, на моделях проверены и оценены способы учета аномально высоких проб и предложена методика определения порога между рядовыми и «ураганными» пробами.

Ключевые слова: золото, месторождение, имитационная модель, ураганная проба, бортовое содержание.

Формат цитирования: Снетков В.И., Соловьев А.А. Исследование явления ураганности проб в зависимости от принятых параметров кондиций при подсчете запасов // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 2 (55). С. 33–39. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-33-39.

STUDY OF THE HURRICANE SAMPLE EFFECT DEPENDING ON THE ACCEPTABLE GRADE PARAMETERS UNDER RESERVE CALCULATION

V.I. Snetkov, A.A. Soloviev

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The purpose of researches is modeling of conditions for the occurrence of abnormally high samples or so-called “hurricane samples” in the cuttings of different volumes. These samples significantly affect the assessment of average contents, specifically in the samplings limited by the amount of data. For this purpose the known modeling method of Monte-Carlo has been used. The model prototype is built on the basis of the prospecting and sampling results of the Ozherelie gold field which is sufficiently explored (the core well network density is 25×25 m, an approbation interval is 1m), features high content dispersion, coarse gold and is not noticeably confined to any lithologic variety.

¹Снетков Вячеслав Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, e-mail: snetkov@istu.edu

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

²Соловьев Андрей Алексеевич, аспирант кафедры маркшейдерского дела и геодезии, e-mail: dagor-nuin-giliat@yandex.ru

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

Base models (finite populations) of logarithmically normal distribution with known parameters have been built as a result of simulation. All sampling variants with the amount of 1000, 500, 100, 30, 15, 10 and 5 samples were taken from them. Researches were conducted in the wide range of logarithmic standards from 0,3 to 0,9 (variation coefficients from 70 to 850%). As a result we obtained an opportunity to study the occurrence of abnormally high samples in samplings and their effect on the average value assessment depending on the level of the cut-off grade and the amount of the low contents unavoidably included in the ore interval.

Conducted researches allow to find that average contents are underestimated at low variation coefficients, and overestimated with the increase in variation. The occurrence dynamics of abnormally high samples depending on the cut-off grade, ore content coefficient and content variation coefficient is revealed. Besides, the accounting methods of abnormally high samples have been tested and evaluated on the models. The procedure for determining a threshold between ordinary and "hurricane" samples is proposed.

Keywords: gold, field, simulation model, hurricane sample, cut-off grade

For citation: Snetkov V.I., Soloviev A.A. Study of the hurricane sample effect depending on the acceptable grade parameters under reserve calculation // Proceedings of Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 2 (55). Pp. 33–39. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-33-39.

В процессе обработки данных геологической разведки ряда месторождений, в основной своей массе относящихся к редкометалльным, нередко случаи выявления проб, существенно выделяющихся на общем фоне по величине содержания полезного компонента. Подобные пробы принято называть аномально высокими или ураганскими. Основным негативным следствием наличия ураганных проб (УП) в массиве разведочных данных является завышение, подчас весьма существенное, среднего содержания и, как следствие, запасов полезного компонента. Также нельзя не упомянуть камуфлирующее действие аномально высоких проб на определяемые закономерности распределения полезного компонента, способное в итоге привести к существенным ошибкам в прогнозировании развития оруденения [1].

Об актуальности данной проблемы говорит количество предложенных за прошедшее столетие способов ее решения: по данным А.М. Прерис (1974) их насчитывалось 42 [2]. Сейчас можно прибавить к ним способы, применяемые в современных геоинформационных системах, например способ дезинтеграции и корректировку по среднему Сихеля [3].

Несмотря на вполне приемлемую работоспособность разных способов в различных условиях, ни один из них на данный момент не может претендовать ни на абсолютную теоретическую

обоснованность, ни на универсальность.

Появление УП принято связывать в первую очередь с асимметричностью и неоднородностью распределения полезного компонента в недрах. Немаловажное значение имеет также и размер проб. Например, керновая проба на месторождении с гнездовым оруденением может дать существенное завышение содержания, поскольку диаметр керна сопоставим с размером зерна полезного компонента или гнезда [1].

При этом выявление зависимостей аномальности проб от каких-либо дополнительных параметров может как изменить взгляд на проблему в целом, так и дать значимый положительный эффект с точки зрения практики подсчета запасов. В данном случае оценке влияния на ураганность проб подверглись такие параметры, как бортовое содержание полезного компонента и коэффициент рудности.

В случае отсутствия четких геологических границ промышленного оруденения выделение рудных тел происходит исходя из бортового содержания и сопутствующих кондиционных параметров, определяемых планируемой технологией разработки. Как правило просчитывается несколько вариантов кондиций, из которых выбирается наиболее экономически выгодный. При этом нередко с повышением бортового содержания контуры рудных тел усложняются до уровня, когда рудные тела распадаются

на мелкие фрагменты. В таких случаях идут на компромисс: контуры упрощаются за счет включения в них более бедных проб. При этом среднее содержание по рудному телу понижается, оставаясь в то же время в пределах рентабельности.

Для исследования явления аномально высоких проб была создана имитационная модель данных геологической разведки в объеме 4 и 8 тысяч проб. Модель создана по методу Монте Карло в виде массива случайных данных с заданными статистическими параметрами. Прототипом модели послужило золоторудное месторождение Ожерелье с лог-нормальным распределением содержания золота, расположенное в Бодайбинском районе Иркутской области.

Моделирование производилось при различных комбинациях следующих параметров:

а) логарифмического стандарта (0,3; 0,5; 0,735; 0,9), определяющего меру разброса моделируемых данных;

б) бортового содержания (20–80% от среднего содержания по исходным данным);

в) процента рудоносности (включение в условный контур от 20 до 80% проб ниже бортового содержания).

Также массив первичных генерируемых данных (в данном случае – генеральная совокупность) был разделен на выборки по 1000, 500, 100, 50, 20, 10 и 5 проб, соответствующих различным объемам геологоразведочной информации.

На базе созданной математической модели были исследованы зависимости завышения/занижения среднего содержания в выборке (выраженного в виде коэффициента K – отношения выборочного среднего к генеральному) от статистических параметров выборочного распределения.

В результате моделирования была установлена значимая корреляционная связь коэффициента K (вертикальная ось) с коэффициентом вариации содержаний по выборке.

На рис. 1 представлены три диаграммы рассеивания K - V , иллюстрирующие обнаруженную зависимость. На графиках приведены линии регрессии, их уравнения и качество аппроксимации и коэффициент корреляции.

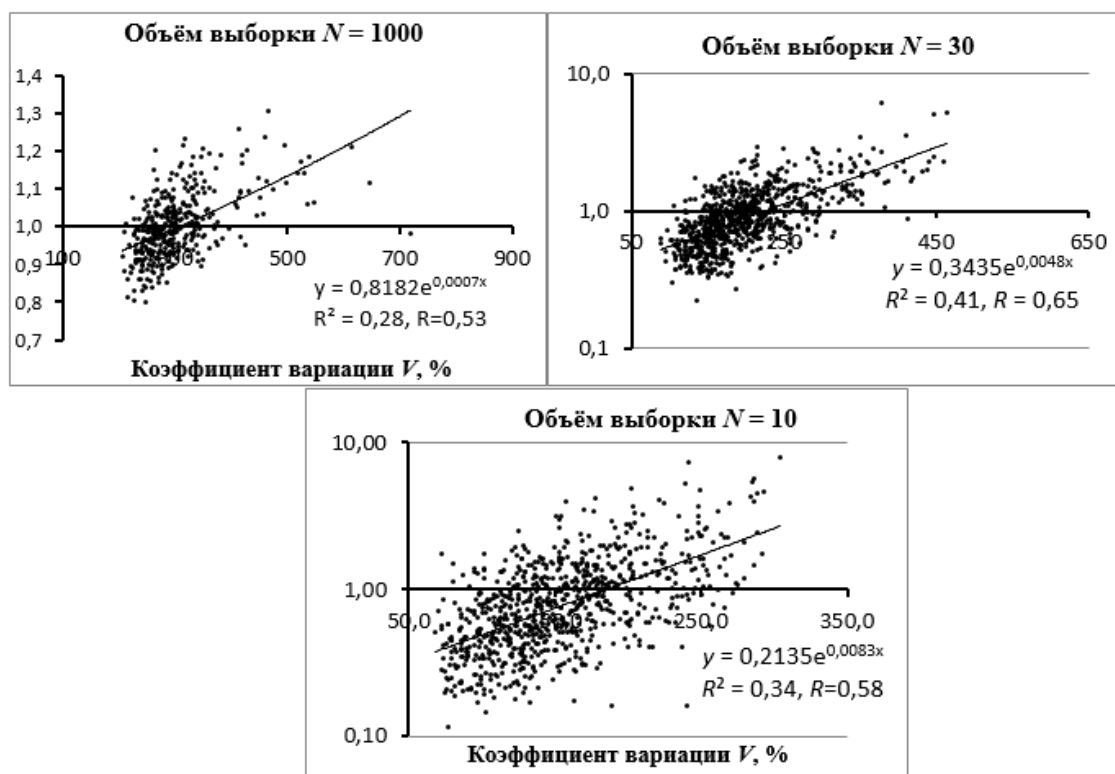


Рис. 1. Зависимость коэффициента K от вариации содержаний V ; $\sigma_n = 0,735$

Стоит обратить внимание на один принципиальный момент: на диаграммах видно, что облако точек пересекает линию $K = 1$. Таким образом, средние содержания могут не только завышаться при высоких коэффициентах вариации, но и занижаться при низких, что отмечает в своей книге М. Давид [4, с. 71]. И это приводит к тому, что часть рудных блоков по содержанию полезного компонента может неверно классифицироваться: непромышленные блоки классифицируются как промышленные и наоборот. Подобная ситуация не раз наблюдалась при отработке отечественных штокверковых месторождений, например Инкурского вольфрам-молибденового месторождения.

Таким образом, напрашивается принципиально новый подход к учету УП, а именно необходимо корректировать не единичные пробы, а выборочные средние, причем до определенного коэффициента вариации средние следует увеличивать (учет влияния аномально низких содержаний), после – уменьшать (учет влияния аномально высоких содержаний). В данном случае для выборок по 30 и 10 проб точка перехода от занижения среднего к его завышению соответствует коэффициенту вариации порядка 180%. В связи с этим мнения о том, что к ураганным можно относить не только высокие, но и низкие по содержанию

пробы, можно считать обоснованным.

С увеличением бортового содержания доля занижения среднего уменьшается (рис. 2).

Практическое применение данной зависимости может выражаться в оперативной корректировке среднего содержания по разведочному пересечению на основании вычисленного коэффициента вариации и надежного уравнения зависимости, определенного для условий конкретного месторождения или его участка. Однако данный вопрос требует более глубокого изучения.

Протестируем традиционный подход к определению и учету УП. Известно, что решение проблемы ураганых проб подразделяется на две составляющие: их обнаружение (иными словами, выделение этих проб из общей массы по некоторым критериям) и их учет (компенсацию негативного влияния аномально высоких проб на разведочные данные).

Наиболее распространенным вариантом решения первой задачи является вычисление так называемого порога ураганых проб – величины содержания, выше которого проба считается ураганной. Математически этот подход вполне подходит для условий моделирования, поэтому именно пороговая система и была принята для дальнейших экспериментов.

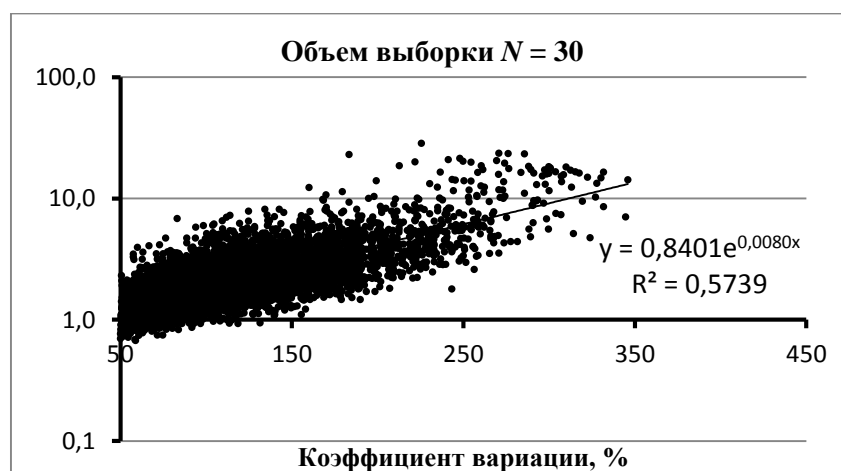


Рис. 2. Зависимость коэффициента K от вариации содержаний V при бортовом содержании 40% от среднего; $\sigma_m = 0,735$ $V = 407\%$

Итак, имеется генеральная совокупность данных, из нее выделены пробы, превышающие по значению бортовое содержание. Таким образом, получаем условное оконтуривание без учета пространственного размещения проб.

В данных условиях можно определить порог ураганных проб по любому из набора соответствующих опубликованных способов (заметим, что все способы дадут разное значение порога). Однако сопоставление существующих способов определения порога не является целью данной работы, хотя это небезынтересно и полезно. В данном случае решалась тривиальная задача – найти пробы, которые можно отнести к ураганным и под влиянием которых среднее содержание в условном выделенном контуре начинает превышать среднее по генеральной совокупности. С технической стороны эта задача решена путем автоматизированного подбора такого значения порога, при котором среднее содержание в условном контуре после корректировки ураганных проб становится равно генеральному среднему.

Несколько слов об учете УП. Способов учета аномально высоких проб также существует несколько. Из них можно выделить основные:

- 1) понижение значения пробы до величины порога;
- 2) усечение до уровня среднего содержания по исходным данным;
- 3) то же, но по данным, из которых исключены ураганные пробы;
- 4) исключение ураганных проб из дальнейших расчетов.

В данном исследовании были параллельно реализованы все указанные способы. Сравнение результатов показало абсолютную идентичность порогов при использовании способов 3 и 4, что согласуется с проводимыми ранее исследованиями [2]. Во всех смоделированных вариантах эта пара способов дала наибольшее значение порога, что позволяет определить их как наиболее эффективные по принципу наименьшей искусственной корректировки данных при

равном результате.

Стоит отметить, что, исходя из принципов трехмерных интерполяционных расчетов, реализуемых в современных геоинформационных системах, способ замены ураганной пробы на среднее по рядовым пробам выглядит приоритетнее удаления ее из выборки. Пространственная точка с грамотно скорректированным значением содержания послужит для уточнения модели месторождения куда лучше отсутствия таковой.

Теперь, кратко рассмотрев основные моменты моделирования, обратимся к его результатам. Полученный массив информации весьма велик, и наглядно представить его удобнее всего в виде ключевых графиков.

После диагностики ураганных проб появляется возможность рассчитать их количество в каждой выборке. Соотнеся эту величину с общим числом проб, получаем вероятность появления в выборке заданного объема определенного количества аномально высоких проб в рамках заранее определенных условий.

На рис. 3 представлена пара графиков по данным с логарифмическим стандартом 0,735 (что соответствует данным месторождения Ожерелье). Коэффициент вариации при этом достигает 400%, что характеризует распределение полезного компонента как крайне асимметричное. На оси абсцисс отмечены количества ураганных проб в отдельно взятой выборке. Совместно показаны линии для выборок объемом 50, 20, 10 и 5 проб. В данных условиях моделирования левому графику соответствует бортовое содержание золота порядка 0,15, правому – 0,5 г/т.

В приведенных графиках отчетливо прослеживается динамика повышения количества ураганных проб с увеличением бортового содержания. Примечательна также тенденция графика распределения для выборок в 50 проб принимать вид, близкий к нормальному распределению с ростом бортового содержания.

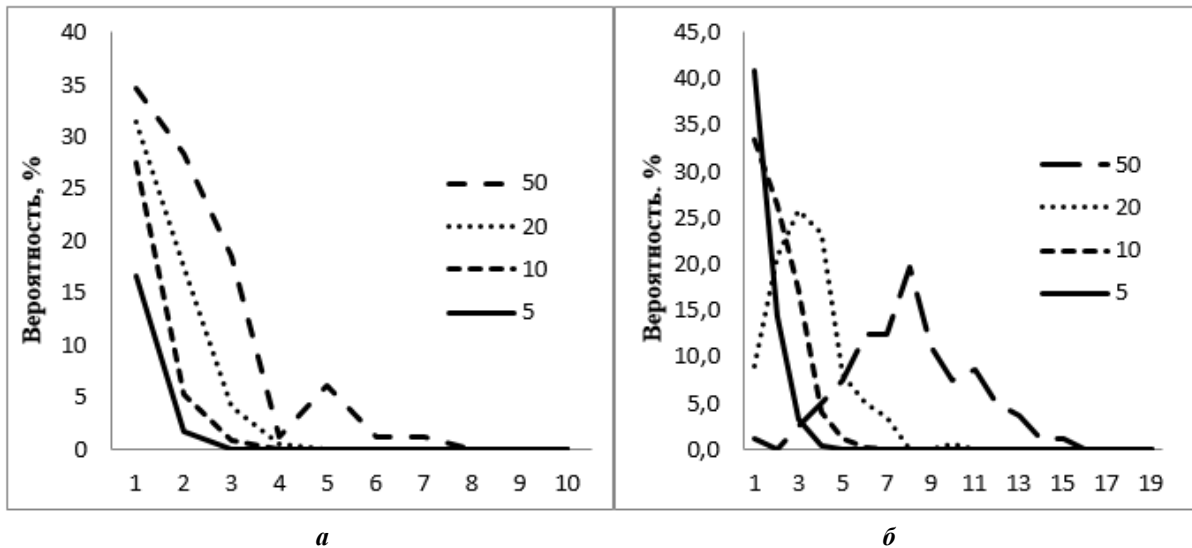


Рис. 3. Графики вероятностей появления ураганных проб при бортовых содержаниях 20% от среднего (а) и 80% (б)

Отмеченные закономерности полностью подтвердились для других логарифмических стандартов логнормальных распределений.

Прямо противоположенная картина наблюдается при введении в условный рудный контур проб с низкими содержаниями, то есть моделируется реальный принцип оконтуривания, когда невозможно отстроить рудное тело, не включая в него заведомо некондиционные пробы. Фактически это означает моделирование коэффициента рудоносности. Пробы вводятся в виде некоторого

процента от общего числа проб, исключенных из расчетов при строгом ограничении по бортовому содержанию.

Моделирование показало, что даже добавление 20% некондиционных проб приводит к весьма существенному уменьшению количества anomalously high samples (рис. 4).

Если же увеличить долю привнесения некондиционных проб до 80%, то вероятность обнаружения даже одной ураганной пробы в выборке объемом 50 единиц становится невелика.

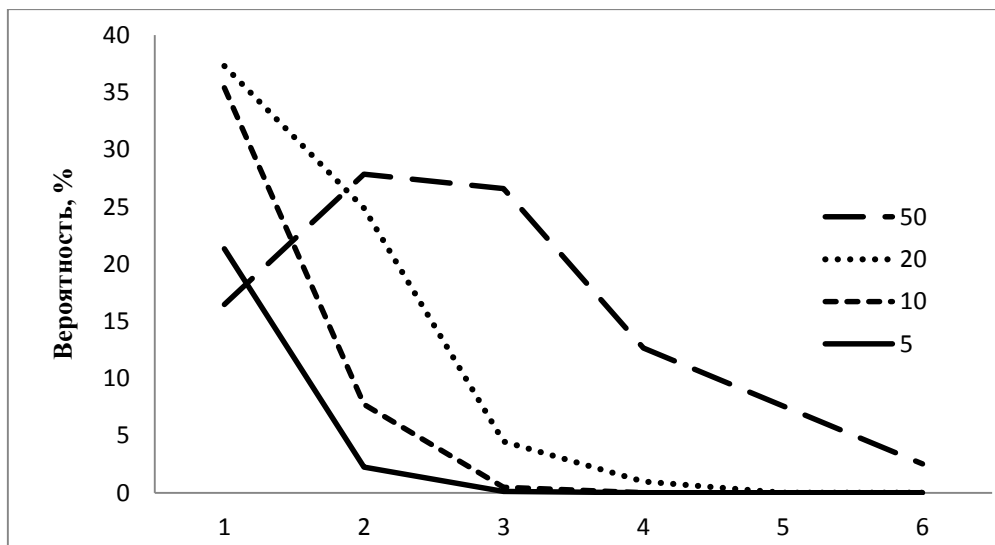


Рис. 4. Графики вероятностей появления ураганных проб (бортовое содержание составляет 80% от среднего; в условный контур введено 20% некондиционных проб; $\sigma_m = 0,735$)

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Существует влияние баланса бортового содержания и коэффициента рудоносности на проявление эффекта ураганных проб. Этот баланс может меняться, например при корректировке контуров рудных тел в процессе эксплуатационной разведки. Следовательно, явление «ураганности» обладает куда большей динамичностью, чем считалось ранее, и учет подобной динамики должен положительно сказаться на точности подсчета запасов.

2. Существует связь между уровнем завышения/занижения среднего содержания в выборке в зависимости от коэффициента вариации. Нужен принципиально новый подход к определению и учету аномальных проб; необходимо корректировать не единичные пробы, а выборочные средние, причем до определенного коэффициента вариации средние следует увеличивать (учет влияния аномально низких содержаний), выше него – уменьшать (учет влияния аномально высоких содержаний).

Библиографический список

1. Снетков В.И., Соловьев А.А. Оценка представительности данных разведки на месторождении «Ожерелье» с позиций теории случайных функций // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2013. № 2 (43). С. 37–43.

2. Прерис А.М. Определение и учет ураганных проб. М.: Недра, 1974. 104 с.

3. Кумбс Д. Искусство и наука оценки запасов / пер. с англ. Перт, 2008. 231 с.

4. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд / пер. с англ. Л.: Недра, 1980. 360 с.

References

1. Snetkov V.I., Solov'ev A.A. Ocenka predstavitel'nosti dannyh razvedki na mestorozhdenii "Ozherel'e" s pozicij teorii sluchajnyh funkcij [Assessing representativeness of prospecting data at "Ozherelye" deposit based on the theory of stochastic functions]. *Izvestija Sibirskogo otdelenija Sekcii nauk o Zemle Rossijskoj akademii estestvennyh nauk. Geologija, poiski i razvedka rudnyh mestorozhdenij = Proceedings of Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology,*

Prospecting and Exploration of Ore Deposits, 2013, no. 2 (43), pp. 37–43.

2. Preris A.M. *Opredelenie i uchet uragannyh prob* [Identification and registration of hurricane samples]. Moscow, Nedra Publ., 1974. 104 p.

3. Coombes J. *Iskusstvo i nauka ocenki zasopov* [Art and Science of Reserves Estimation]. Pert, 2008. 231 p.

4. David M. *Geostatisticheskie metody pri ocenke zasopov rud* [Geostatistical Ore Reserves Estimation]. Leningrad, Nedra Publ., 1980. 360 p.

Статья поступила 14.05.2016 г.

Article received 14.05.2016.