

В.В. Коростовенко, Н.В. Морозова, Е.Л. Егорова, В.Н. Морозов

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОЙ ГЛУБИНЫ ВСКРЫШИ ТОРФОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Выполненные исследования влияния вероятностного характера геологической информации на обоснование экономически целесообразной глубины вскрыши торфов позволили выявить существенные расхождения в определении верхней границы пласта песков. Предложенная методика оконтуривания промышленных части россыпи в вертикальной плоскости была апробирована на предприятиях золотодобычи Красноярского края, что позволило вовлечь в разработку до 40% дополнительных запасов (от объема торфов) не ухудшая ТЭП предприятия.

Ключевые слова: россыпные месторождения, торфа, оконтуривание россыпи в вертикальной плоскости, риск неподтверждения геологической информации.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-58-63

Обоснование глубины вскрыши торфов связано с определенной долей риска недостижения планируемых показателей вследствие вероятностного характера исходной информации. Поэтому очень важно дать правильную оценку геологическим характеристикам россыпи.

Важнейшими характеристиками россыпи, изменяющимися в пространстве, являются мощность рыхлых отложений, содержание и запасы полезного компонента. Выделение оптимальной глубины вскрыши торфов определяет область промышленных содержаний полезного компонента, образующую в пространстве сложную замкнутую поверхность (поверхность нулевого контура), которая определяет мощность продуктивного пласта, содержание и запасы полезного компонента. Запасы полезного компонента,

содержащиеся в некотором объеме россыпи, в общем виде можно определить, как произведение среднего содержания компонента на этот объем. Исследуемый объем, разбитый на «*n*» равных объемов представляет собой элементарные объемы при заданной системе опробования.

Результат перемножения установленного содержания полезного компонента на элементарный объем будет представлять собой оценку запасов полезного компонента в элементарном объеме. При многократном повторении опробования того же элементарного объема получается набор различающихся оценок запасов, каждая из которых является приближенной характеристикой неизвестных истинных запасов. Точно предсказать значение содержания полезного компонента и рассчитать значение за-

пасов при единичном опробовании в замкнутом объеме невозможно. Поэтому оценку запасов полезного компонента в этом объеме можно рассматривать как некоторую неотрицательную случайную величину « ε_t ».

Математическим ожиданием случайной величины ε_t являются запасы Q_t в этом элементарном объеме, т.е. $\mu(\varepsilon_t) = Q(t)$. В качестве модели россыпи рассматривается фиксированное множество геологических точек T трехмерного пространства $t = (t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$. Точке t , являющейся моделью элементарного объема песков соответствует $Q(t)$, которое выражает истинные запасы этого объема. Любой участок россыпи рассматривается как множество Θ точек t , которое содержится в T , т.е. $\Theta \in T$. Полный класс множеств Θ , порожденный пространством T , обозначим через L . Совокупность непересекающихся m участков блока $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$ И.П. Коган называет разделением порядка m множества $\Theta = \bigcup_{i=1}^m \Theta_i$ и подмножества Θ_1 [1].

Тогда блок или участок россыпи будет представлять собой одно из множеств Θ , содержащихся в массиве L , а более мелкими участками блока являются подмножества $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_1, \dots, \Theta_m$.

Каждой точке $t \in T$ соответствует случайная величина η_t .

Тогда

$$\varepsilon_t = \eta_{1t} \cdot \eta_{2t} \cdot S, \quad (1)$$

где S — площадь сечения элементарного объема россыпи при заданной системе опробования; η_{1t}, η_{2t} — случайные величины, являющиеся математическим аналогом концентрации полезного компонента и мощности отложений в точке t .

Случайная величина ε_t является математическим аналогом запаса полезного компонента в точке t . Обозначим функцию распределения случайной величины ε_t как $F(x)$, а функцию плотности вероятностей $f(x)$ и математического ожидания —

как $\mu(\varepsilon_t)$. Математическое ожидание $\mu(\varepsilon_t)$ как аналог истинных запасов в точке t можно выразить следующей формулой

$$\mu(\varepsilon_t) = \int_0^{\infty} x dF(x) = \int_0^{\infty} x f(x) dx, \quad (2)$$

Если исследуемый блок или участок россыпи, где необходимо определить необходимо, определить оптимальную глубину вскрыши торфов рассматривать как множество Θ точек t , то функция распределения $F_t(x)$ случайной величины ε_t при условии $t \in \Theta$ становится функцией условных распределений $F_{t \in \Theta}(x)$:

$$\begin{aligned} F_{t \in \Theta}(x) &= P(\varepsilon_t \leq x / t \in \Theta) = \\ &= P(\eta_{1t} \cdot \eta_{2t} \cdot S \leq x / t \in \Theta), \end{aligned} \quad (3)$$

Любому дискретному множеству $\Theta \in L$ можно поставить в соответствие величину

$$Q_{\Theta} = \sum_{t \in T} \mu(\varepsilon_t), \quad (4)$$

Величина Q_{Θ} является суммой математических ожиданий $\mu(\varepsilon)$ случайной величины ε_t и рассматривается как математический аналог истинных запасов, содержащихся в исследуемом блоке при условии $t \in \Theta$.

Величина

$$Q = \sum_{t \in T} \mu(\varepsilon_t), \quad (5)$$

рассматривается как математическая модель истинных запасов, содержащихся в россыпи. Так как $\mu(\varepsilon_t) = \int_0^{\infty} x f_t(x) dx$, то запасы, содержащиеся в блоке можно выразить следующим образом

$$Q_{\Theta} = \sum_{t \in \Theta} \int_0^{\infty} x f_t(x) dx; \quad (6)$$

$$Q_{\Theta} = \sum_{t \in T} \int_0^{\infty} x f_t(x) dx, \quad (7)$$

Если множество Θ совпадает с пространством T , то суммирование истинных запасов полезного компонента, со-

держатся в элементарных объемах, т.е. суммирование $\mu(\varepsilon_t) = \int_0^t x f_t(x) dx$ по всем $t \in T$, определит величину истинных запасов в рассматриваемой россыпи.

Установление величины запасов связано с определенной погрешностью, так как изучение содержаний и мощностей на практике осуществляется выборочно по ограниченному числу наблюдений и при различной густоте разведочной сети.

При классических методах подсчета запасы полезного компонента по разведочным объектам приводятся в виде одного числа. Точечные оценки даются геологами без упоминания об их дисперсии, точности и погрешности подсчитанных запасов. Геологи не могут сказать, как точно рассматриваемые запасы характеризуют значение истинных реальных запасов, каковы между ними расхождения, представляя полученные разведочные данные как математическое ожидание запасов.

Существующие методы подсчета запасов будут подчиняться нормальному или асимптотически нормальному закону распределения, а, следовательно, и погрешность при подсчете запасов также имеет нормальное или асимптотически нормальное распределение.

Погрешность геологических исходных данных, используемых при проектировании разработки россыпных месторождений, зависит от сложности россыпи, рельефа местности, детальности развед-

ки и погрешностей моделирования геологических условий.

Выбор решения при проектировании разработки месторождений в связи с вероятностным характером геологических запасов всегда связан с определенным риском (2).

Средневзвешенная возможная ошибка (погрешность) подсчета запасов определится по формуле

$$\varepsilon = \varepsilon_a \cdot k_a + \varepsilon_b \cdot k_b + \varepsilon_{c1} \cdot k_{c1} + \varepsilon_{c2} \cdot k_{c2}, \quad (8)$$

где $\varepsilon_a, \varepsilon_b, \varepsilon_{c1}, \varepsilon_{c2}$ — допустимые погрешности подсчета запасов. По данным В.М. Крейтера: $\varepsilon_a = \pm 17,5\%$; $\varepsilon_b = \pm 25\%$; $\varepsilon_{c1} = \pm 45\%$; $\varepsilon_{c2} = \pm 75\%$. k_a, k_b, k_{c1}, k_{c2} — доля каждой категории в общих запасах полезного ископаемого, извлекаемых на определенном этапе горных работ, ед.

При выделении промышленного контура россыпи в вертикальной плоскости можно использовать данные возможной погрешности ε по категориям A, B, C_1, C_2 при доверительной вероятности $P(\varepsilon)$, рассчитанные Г.П. Константиновым (таблица). E — срединное отклонение, $E = 0,674 \cdot \delta$.

При нормальном законе распределения запасов пределы интервала составят

$$\begin{aligned} [Q_{\min} = M[Q] \cdot (1 - \varepsilon)] \div \\ \div [Q_{\max} = M[Q] \cdot (1 + \varepsilon)] \end{aligned} \quad (9)$$

Проектирование разработки месторождения, особенно на начальной стадии связано с использованием и перера-

Возможная погрешность запасов

Категории запасов	Допустимая погрешность $\varepsilon, \%$	Возможная погрешность δ (%) при доверительной вероятности $P(\varepsilon)$ и характеристике рассеивания			
		0,5/ $\pm E$	0,68/ $\pm E$	0,96/ $\pm E$	1/ $\pm 3E$
A	$\pm 17,5$	3,93	5,83	11,67	17,5
B	± 25	5,61	8,33	16,67	25
C_1	± 45	10,11	15	30	45
C_2	± 75	16,85	25	50	75

боткой неполной, зачастую содержащей случайные искажения и разнородной по достоверности горногеологической и технико-экономической информации. Принимаемые на основе полученных в этих условиях параметров, решения несут в себе значительный элемент риска, связанный с возможным отклонением фактических значений искомым параметров от расчетных. Поэтому принятие решения при проектировании разработки россыпных месторождений всегда сопряжено с риском и главная задача проектировщика состоит в его уменьшении.

При определении достижения планируемой экономической эффективности с учетом вероятностного характера геологической информации в качестве меры риска целесообразно принимать разность между единицей и вероятностью появления данного события (достижения экономических показателей, подтверждения запасов и т.д.)

$$R = 1 - P(\varepsilon) \quad (10)$$

Оптимальной зоной риска считается предел 0,2–0,4. Используя эту формулу можно минимизировать уровень риска неподтверждения запасов на основе количественной экономической оценки. Для этого воспользуемся методикой, предложенной Д.И. Шитовым с использованием одного из разделов математической теории игр — принятия решения при риске. Сущность методики заключается в следующем.

Запасы подчиняются нормальному закону распределения, описываемому формулой

$$f(Q) = 1 / (\delta(Q) \cdot \sqrt{2\pi}) \cdot e^{-\frac{(Q_i - M[Q])^2}{2\delta^2(Q)}}, \quad (11)$$

где Q_i — запасы полезного компонента; $M[Q]$ — математическое ожидание величины запасов полезного компонента; $\delta(Q)$ — среднее квадратическое отклонение величины запасов. Среднее квад-

ратическое отклонение согласно правилу, трех сигм составит

$$\delta(Q) = [M(Q)] \cdot \varepsilon_{p(\varepsilon)} / 3, \quad (12)$$

где ε_p — средневзвешенная ошибка подсчета запасов.

Зная плотность распределения вероятностей, устанавливается динамика риска неподтверждения запасов при различных вариантах вскрыши торфов.

В контуре россыпи может находиться множество значений возможных запасов металла $Q_1 \dots Q_n$ вероятности появления, которых в интервале от Q_{\min} до Q_{\max} , согласно нормальному закону распределения равны $P_1 \dots P_n$ (где $\sum_{i=1}^n P_i = 1, P_i \geq 0$).

В соответствии с множеством значений запасов существует и множество возможных границ вскрыши торфов $H_1 \dots H_m$ (где $\sum_{j=1}^m H_j \leq H_T, H_T$ — мощность торфов).

Для количественной экономической оценки будем использовать «полезность». Под значением «полезность» в данном случае следует понимать показатель экономической эффективности с учетом вероятности его достижения. В качестве критерия принимаем максимум прибыли с единицы погашенных запасов «П».

Показатель «полезности» P для разных границ вскрыши торфов определяется как среднее ожидаемой «полезности» по каждому варианту.

$$P_i = P_{i1} \cdot P_1(\Pi) + P_{i2} \cdot P_2(\Pi) + \dots + P_{ij} \cdot P_j(\Pi) + \dots + P_{in} \cdot P_n \rightarrow \max, \quad (13)$$

где $P_i(\Pi)$ — вероятности достижения экономических показателей в соответствующих интервалах.

Для расчета показателя полезности составляется матрица вероятностей распределения запасов и достижения экономической эффективности по интервалам распределения для исследуемых границ вскрыши торфов. По этим данным имеется множество значений границ вскры-

ши торфов, среди которых необходимо выбрать экономически целесообразную при наличии «полезностей» P , являющейся оптимальной по условию

$$\ddot{i}_{in} = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^n \ddot{i}_{ij} P_{ij}(\ddot{i}) \right] \rightarrow \max, \quad (14)$$

Выполненные исследования влияния вероятностного характера геологической информации на обоснование

экономически целесообразной глубины вскрыши торфов позволили выявить существенные расхождения в определении верхней границы пласта песков. Предложенная методика оконтуривания промышленных части россыпи в вертикальной плоскости была апробирована на предприятиях золотодобычи края, что позволило вовлечь в разработку до 40% дополнительных запасов (от объема торфов) не ухудшая ТЭП предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коган И.П. Интервальные оценки запасов полезных ископаемых. — М.: Недра, 1972. — 141 с.
2. Арсентьев А.И. Принятие решений о параметрах карьера. — Л.: ЛГИ, 1966. — С. 160–165. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Коростовенко Вячеслав Васильевич¹ — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: korostovenko@mail.ru,

Морозова Надежда Валентиновна¹ — ведущий инженер,

Егорова Елена Леонидовна¹ — кандидат технических наук, доцент, e-mail: Elena6119@yandex.ru,

Морозов Валентин Николаевич¹ — кандидат технических наук, доцент, e-mail: GGDS21209909@yandex.ru,

¹ Сибирский федеральный университет.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 7, pp. 58–63.
UDC 622.271.1

V.V. Korostovenko, N.V. Morozova, E.L. Egorova, V.N. Morozov

SUBSTANTIATION OF ECONOMIC STRIPPING THICKNESS IN PEAT PLACER MINING

The researches of influence of the probabilistic character of geological information on a justification of the economically feasible depth of overburden of peat revealed significant differences in the definition of the upper boundary of the reservoir Sands. The technique of contouring the industrial part of the scattering in the vertical plane was piloted on the gold mining enterprises of Krasnoyarsk region, which allowed to involve in the development of up to 40% of additional reserves (by volume of peat) without compromising the Technical and Economic Indicators of an enterprise.

Key words: alluvial deposits, peat, delineation of scattering in the vertical plane, the risk to confirm the geological information.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-58-63

AUTHORS

Korostovenko V.V.¹, Doctor of Technical Sciences,
Professor, Head of Chair, e-mail: korostovenko@mail.ru,
Morozova N.V.¹, Leading Engineer,
Egorova E.L.¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: Elena6119@yandex.ru,
Morozov V.N.¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: GGDS21209909@yandex.ru,
¹ Siberian Federal University, 660025, Krasnoyarsk, Russia.

REFERENCES

1. Kogan I. P. *Interval'nye otsenki zapasov poleznykh iskopaemykh* (Interval estimation of mineral reserves), Moscow, Nedra, 1972, 141 p.
2. Arsent'ev A. I. *Prinyatie resheniy o parametrah kar'era* (Decisions about career options), Leningrad, LGI, 1966, pp. 160–165.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКИСЛЕНИЯ ГРАНУЛ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОДАХ (2017, № 5, СВ 8, 12 с.)

*Тимофеев Александр Сергеевич*¹ – аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: timofeev_ac@mail.ru,
Ананьев Павел Петрович – кандидат технических наук, директор, Некоммерческое партнерство
«Научно-образовательный центр «Инновационные горные технологии», e-mail: cigt@mail.ru,
*Двоиченкова Галина Петровна*¹ – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
профессор, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, e-mail: dvoign@mail.ru,
¹ Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

Одним из основных методов обогащения алмазосодержащего сырья является процесс тяжелосредной сепарации (ТСС), эффективность которого зависит от стабильности реологических свойств суспензии утяжелителя и физико-химических параметров используемых технических водных систем. На алмазоизвлекающих фабриках в качестве утяжелителя используется гранулированный ферросилиций, характеризующийся высокой устойчивостью к истиранию, коррозии и низкими потерями в процессе его регенерации. В связи с расширением объема внедрений процесса ТСС возникает необходимость решения задачи по выбору экспрессного метода оценки качества используемых гранул ферросилиция, актуальность которой обусловлена увеличением нестабильности исходных технологических свойств ферросилиция, поставляемого различными производителями.

Ключевые слова: ферросилиций, суспензия, тяжелосредная сепарация, окисление, математическая модель, магнитные свойства, гранулометрический состав.

MATHEMATICAL MODEL OF OXIDATION OF GRANULES OF FERROSILICIUM IN THE MINERALIZED WATERS

*Timofeev A.S.*¹, Graduate Student, Junior Researcher, e-mail: timofeev_ac@mail.ru,
Anan'ev P.P., Candidate of Technical Sciences, Director, e-mail: cigt@mail.ru,
Scientific-educational center «Innovative mining technologies», Russia,
*Dvoichenkova G.P.*¹, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Professor, e-mail: dvoign@mail.ru,
North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, 678015, Yakutsk, Russia,
¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences,
111020, Moscow, Russia.

On Almatytelekom factories as a weighting agent used granulated ferrosilicium, which is characterized by high resistance to abrasion, corrosion and low losses in the process of regeneration. In connection with the expansion of the scope of implementations of the process of TSS on Almatytelekom factories there is the need to address the challenges in selecting a rapid method of assessing the quality of the used pellets of ferrosilicon, the relevance of which is due to the increase of instability of the source of technological properties of ferrosilicon supplied by different manufacturers. This paper presents a mathematical model of the oxidation of ferrosilicon in contact with water systems, which allows using certain experimental magnetic susceptibility and grain-size characteristics of ferrosilicon, to assess the rate of its oxidation in the studied aquatic environment. Using the developed model, the values of the oxidation rate of DMS brand ferrosilicon Powder in the mineral waters Almatytelekom concentrators used to develop recommendations on its use in the studied water systems. A mathematical model of oxidation of granules of ferrosilicium allows as a rapid method to evaluate the efficiency of the ferrosilicon of different manufacturers for use in specific mineralized water systems.

Key words: ferrosilicon, suspension, tegeleriana separation, oxidation, mathematical model, magnetic properties, particle size distribution.