

Для цитирования: Д.Р. Подрезов. Моделирование показателей функционирования геотехнологических блоков и движения вскрытых запасов рудника подземного скважинного выщелачивания урана. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(2): 98-107. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-98-107

For citation: D.R. Podrezov. Modeling the performance indicators of geotechnological blocks and the movement of the discovered reserves of an underground borehole leaching of uranium. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (2): 98-107. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-2-98-107

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT**

УДК 005.53:622.22

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-2-98-107

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БЛОКОВ И ДВИЖЕНИЯ ВСКРЫТЫХ ЗАПАСОВ РУДНИКА ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Д.Р. Подрезов

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, Россия*

Резюме. Цель. Цель исследования - получение достоверных сведений о запасах урана на технологических блоках рудника на основе разработанных методов и моделей переинтерпретации геофизических данных с изменением и коррекцией радиологических параметров морфологических элементов рудной залежи. **Метод.** Произведено моделирование основных параметров функционирования технологического блока и рассчитаны усредненные показатели переоценки запасов на месторождении. **Результат.** Анализ динамики коэффициента обеспеченности вскрытых запасов показал, что по расчетным данным за период исследования его значения были значительно ниже критического уровня готовых запасов, необходимых предприятию для эффективной работы. Осуществлено формирование и оценка исходного множества факторных признаков, определяющих объемы вскрытых запасов месторождения: интервал эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта; группировка технологических скважин блока; площадь технологического блока. На основе сводки и группировки показателей в факторных группах реализована процедура пересчета запасов технологического блока. Результаты пересчета запасов показали, что реальные запасы урана в недрах не соответствуют фактической отработке. Кроме того, было выявлено, что систематическая недооценка вскрытых запасов связана еще и с расчетом содержания урана в рудных интервалах, т.е. с принятым в расчет значением коэффициента радиоактивного равновесия. В этой связи были выявлены значимые корреляционные зависимости коэффициента радиоактивного равновесия от средней массовой доли радия с разделением по морфологическим элементам залежи и от среднего значения мощности рудных интервалов. Произведен расчет запасов технологического блока по сформированной совокупности вариантов с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров и группировок сближенных скважин. Проведенный в рамках разработанной информационной модели анализ геологической и технологической информации, а также оценка эволюции запасов в процессе отработки блоков месторождения показали, что 76% функционирующих технологических блоков на месторождении демонстрируют переизвлечение по фактическим показателям или ожидаемое в ближайшее время по прогнозным оценкам. **Вывод.** Основная проблема переоценки запасов месторождения заключается в обработке и анализе радиологических данных и в интерпретации на их основе значений коэффициента радиоактивного равновесия, а также объемных и качественных показателей запасов урана.

Ключевые слова: вскрытые запасы; факторная система; геофизические данные; эффективность функционирования; задача выбора; подсчет запасов

MODELING THE PERFORMANCE INDICATORS OF GEOTECHNOLOGICAL BLOCKS AND THE MOVEMENT OF THE DISCOVERED RESERVES OF AN UNDERGROUND BOREHOLE LEACHING OF URANIUM

D.R. Podrezov

National University of Science and Technology MISiS,
4 Leninsky Ave., Moscow 119049, Russia

Abstract. Aim. This work conducts a comprehensive analysis of system relationships between the main technical and technological indicators of technological blocks functioning at underground uranium leaching mines. **Methods.** An information model describing the operation of technological wells was created. This model was used to determine the relationship between the main volume and quality indicators of reserves development, such as the volume of mining mass, the volume of discovered reserves, metal recovery, the average concentration of uranium, and the value of the ore interval. **Results.** For an adequate assessment of the reserve of technological blocks, the initial set of factors determining the volume of discovered reserves and production volumes at the field was formed: the interval of the effective capacity of the acidified productive horizon; the grouping of technological wells in the block; the area of the technological block. The analysis of geological and technological information carried out using the developed information model, along with an assessment of the resources during field mining, showed that 76% of operating technological blocks demonstrated over-recovery according to the actual results or the results predicted by forecasts. **Conclusion.** The results of reserve re-calculation showed that the real reserves of uranium in the subsurface did not correspond to the actual development. In addition, it was found that systematic underestimation of discovered reserves was also associated with the calculation of uranium content in ore intervals, i.e., taking into account the value of the radioactive equilibrium coefficient.

Keywords: factor grouping; system communication; performance efficiency; task selection; reserves calculation.

Введение. Задачи непрерывного поиска производственных резервов, факторов повышения эффективности, оптимизации расходов на добычу и расширение минерально-сырьевой базы горнодобывающего предприятия становятся, как никогда, актуальными в сложившихся на сегодняшний день негативных тенденциях на мировом рынке уранового сырья [1,4,5,20].

Однако в сложившихся условиях рудник подземного скважинного выщелачивания столкнулся с несколько нестандартной проблемой, заключающейся в наличии на большинстве технологических блоков переизвлечения вскрытых запасов, зафиксированного как в настоящее время, так и ожидаемого по прогнозным экспертным расчетам [8].

Анализ такого состояния свидетельствует о наличии системной тенденции недооценки вскрытых запасов, приводящей к появлению аномально низких коэффициентов обеспеченности и завышению коэффициентов по вскрытию, что в свою очередь, влияет непосредственно на показатели проектного извлечения и уровень производственной себестоимости [7]. Проведенные исследования были направлены на выяснение закономерностей и основных причин несоответствия расчетных объемов вскрытых запасов фактической добыче, а также определение потенциальных возможностей укрепления минерально-сырьевой базы и повышение эффективности функционирования рудника подземного скважинного выщелачивания.

Таким образом, идентификация объемов вскрытых запасов на основе ретроспективного анализа геофизической информации на технологических блоках рудника подземного скважинного выщелачивания урана является актуальной научной и практической задачей [9].

Постановка задачи. Целью работы является повышение эффективности и интенсификация отработки технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания на основе моделирования показателей движения вскрытых и готовых запасов на месторождении.

Методы исследования. Анализ геологической и технологической информации вскрытых на сегодняшний день запасов свидетельствует о том, что 43,8% технологических блоков, находящихся на начальной стадии отработки с объемами ниже среднего значения по месторождению демонстрируют извлечение более 90% (рис. 1) [3].

Для определения основных причин и факторов возникновения системной недооценки запасов рассмотрим основные показатели эволюции запасов технологических блоков (под эволюцией запасов будем понимать процесс структурного изменения (извлечения) запасов от одного состояния к другому). Подсчет эволюции запасов был произведен на основе утвержденного временного технологического регламента на единичный рабочий технологический процесс добычи урана в продуктивных растворах рудника подземного скважинного выщелачивания урана.

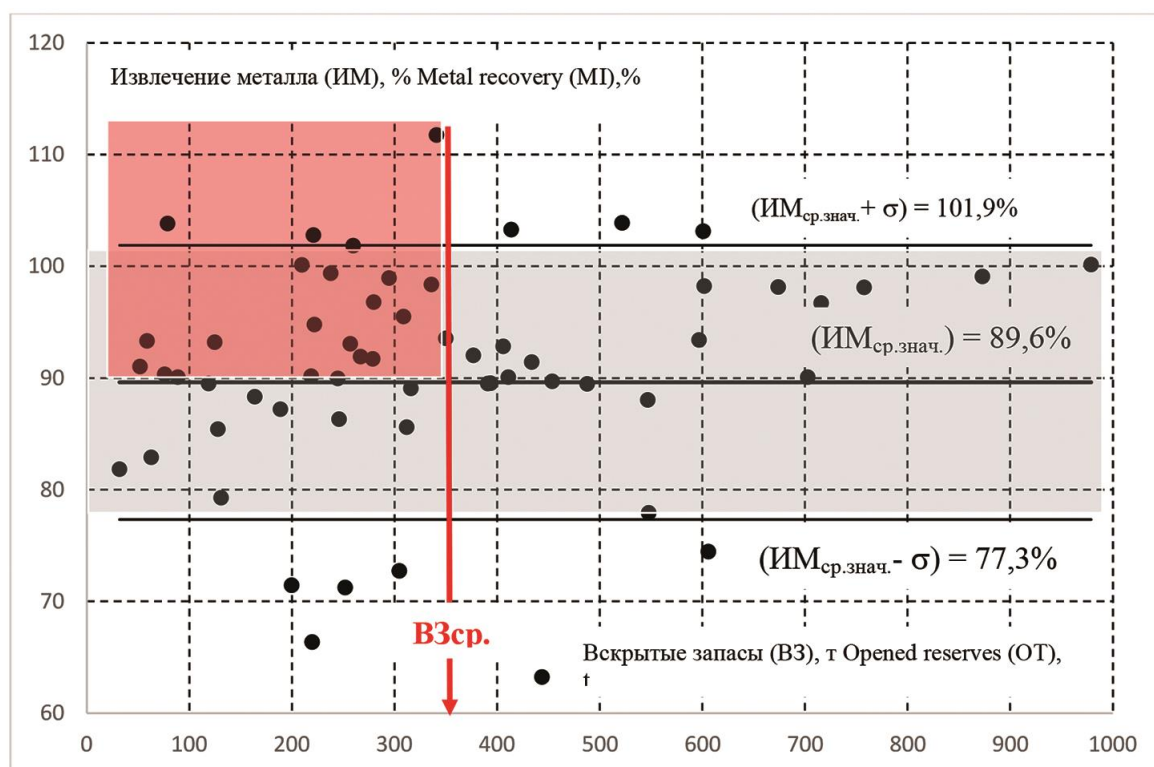


Рис. 1. Извлечение металла (ИМ),% из вскрытых запасов (ВЗ),т месторождения (среднее значение извлечения металла $(ИМ_{ср.знач.}=89,6\%)$ для технологических блоков, стандартное отклонение для извлечения металла составляет $(\sigma=12,3\%)$)

Fig. 1. Metal recovery (MI),% of exposed reserves (VZ), t of the deposit (average metal recovery $(MI \text{ mean} = 89.6\%)$ for technological blocks, standard deviation for metal recovery is $(\sigma=12.3\%)$)

Для оценки средних значений выборок показателей эволюции расчетных запасов по годам эксплуатации технологического блока использовался статистический t-критерий Стьюдента, уровень значимости принимался равным 0,05.

Обсуждение результатов. На основе проведенных исследований были выявлены значимые статистические различия между подсчетами запасов в интервалах времени окончания периода разведочных работ на участке и принятием комплекса поправок в каротажи. При этом различия между подсчетами в интервалах времени $(t_1 - t_2)$ остаются невыясненными, учитывая одинаковое количество скважин и идентичные площади блока. Из формуляров подсчета запасов видно, что данные изменения берут начало в подсчете содержания металла в рудных интервалах по скважинам технологического блока (табл. 1) [12,13].

Таблица 1. Расчет мощности рудного интервала (РИ) и содержания металла в рудных интервалах технологического блока по годам эксплуатации месторождения (t_1 - t_2)
Table 1. Calculation of the thickness of the ore interval (RI) and the metal content in the ore intervals of the technological block by years of operation of the deposit (t_1 - t_2)

№ скважины технологического блока wells technological block	Рудный интервал по скважине, м Ore interval along the well, m		Мощность рудного интервала, м Ore interval thickness, m	Среднее содержание урана в руде (сU, %) Average uranium content in ore (CU,%)		Продуктивность в метропроценте mc, м% Productivity in metro percentage mc, m%	
	от	до		t_1	t_2	t_1	t_2
1	624,45	633,95	6,20	0,056	0,137	0,3472	0,8494
2	624,45	633,95	9,50	0,0410	0,094	0,3895	0,893
3	618,25	629,75	11,5	0,049	0,136	0,5635	1,564
4	617,55	623,55	6,0	0,052	0,137	0,3120	0,822
5	632,25	637,35	5,10	0,068	0,166	0,3468	0,8466

Анализ данных табл. 1 показал, что итоговое превышение продуктивности в метропроценте составило от 2,3 до 2,7 раз в каждом рудном интервале за промежуток времени t_1 - t_2 . Для выяснения причин такого рода значимых динамических изменений проведены дальнейшие исследования по выявлению значимых факторов подсчета вскрытых запасов на месторождении. Использование данного подхода позволит рассмотреть различные варианты подсчета запасов, а также сформировать и оценить гипотезу о наличии основных (базовых) причин и факторов их недооценки.

Под факторной системой геофизических данных будем понимать совокупность факторных (множество геофизических и технологических данных) и результативных (объем запасов технологического блока) признаков, связанных между собой причинно-следственной связью вида ($Q_3 = \xi(F1, F2, F3)$) [14,15].

Подсчет запасов урана (Q_3 , т) проведен по традиционно используемой для этих целей формуле $Q_3 = S \cdot K_p \cdot \rho$, где S - площадь блока в плане в тыс. м² (факторный признак F3); K_p - площадной коэффициент рудоносности (поправочный коэффициент к запасам руды в недрах, учитывающий наличие в пределах оконтуриваемых объемов месторождения участков пустых пород либо некондиционных руд, при этом, K_p численно равен отношению суммы площадей непосредственно рудных участков к собственно общей площади рудной толщи) (факторный признак F2); ρ - средняя продуктивность по блоку в т/м² (факторный признак F1). При этом ρ определяется следующим образом $\rho = m \cdot c \cdot d$, где m - средняя рудная мощность по блоку, м; c - среднее содержание урана по блоку в %; d - объемный вес руды в т/м³.

Учет данных трех факторов позволил реализовать процедуру пересчета запасов технологического блока на базе оценки эффективной мощности закисляемого продуктивного горизонта, площади по проекциям фильтров и среднего содержания урана в технологическом блоке.

Очевидно, что при учете всех указанных выше факторных признаков и ограничений, запасы блоков увеличиваются, считая от последнего по времени учета t_2 , на 9,3%. Представленный выше подсчет запасов по предлагаемой факторной модели показал, что реальные запасы урана в недрах не соответствуют фактической отработке. При этом систематическая недооценка вскрытых запасов связана еще и с расчетом содержания урана в рудных интервалах, т.е., с принятым в расчет значением коэффициента радиоактивного равновесия (K_{pp}).

В этой связи на следующем этапе исследования был проведен корреляционный анализ зависимости коэффициента радиоактивного равновесия (K_{pp}) [19] от содержания радия (табл. 2) и от мощности рудного интервала по различным морфологическим элементам залежи. Данный подход необходимо реализовать для теоретико-методологического и практического обоснования систематической недооценки вскрытых запасов месторождения урана.

Таблица 2. Зависимости K_{pp} от средней массовой доли радия для месторождения урана с разделением по морфологическим элементам залежи
Table 2. Dependences of K_{pp} on the average mass fraction of radium for a uranium deposit with division by morphological elements of the deposit

Средние значения содержания Ra,% Average values of Ra content,%	Средние значения K_{pp} , отн. Ед. Average K_{pp} values, rel. units	Среднеквадратическая погрешность sK_{pp} Root mean square error sK_{pp}	Количество определений, n Number of definitions, n	Аппроксимация уравнением Approximation equation
Мешковая часть залежи. Средневзвешенное (по количеству проб) The bag part of the deposit. Weighted average (by number of samples) K_{pp} =0,565				
0,011	0,437	0,035	17	$K_{pp} = 0,11\ln(Ra) + 0,93, R^2 = 0,95$
0,021	0,482	0,032	35	
0,039	0,590	0,024	46	
0,053	0,611	0,041	17	
0,085	0,699	0,022	25	
0,158	0,699	0,030	18	
Крыльевая часть залежи. Средневзвешенное (по количеству проб) Wing part of the deposit. Weighted average (by number of samples) K_{pp} =0,757				
0,012	0,558	0,039	24	$K_{pp} = 0,099\ln(Ra) + 1,04, R^2 = 0,86$
0,023	0,676	0,027	63	
0,041	0,713	0,020	80	
0,060	0,789	0,032	60	
0,084	0,859	0,036	45	
0,132	0,864	0,037	54	
0,326	0,867	0,064	15	
Глина, алевроит (непроницаемые породы) Clay, silt (impermeable rocks)				
0,020	0,998	0,072	29	$K_{pp} = -0,256 Ra + 0,99, R^2 = 0,94$
0,041	0,962	0,083	21	
0,073	0,981	0,053	54	
0,173	0,946	0,045	72	
0,484	0,868	0,065	21	

Исходя из вышесказанного, подсчитаем запасы технологического блока по сформированной совокупности вариантов расчетов:

Вариант 1. – подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности и группировок сближенных скважин (факторная модель $Q_3 = \xi(F1, F2)$);

Вариант 2. – подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров и группировок сближенных скважин (факторная модель $Q_3 = \xi(F1, F2, F3)$).

Вариант 3. – пересчет рудных интервалов в соответствии с ограничением мощности крыльев и корректировками границ, а также подсчет запасов технологического блока, с учетом интервалов в эффективной мощности, площади по проекциям фильтров и группировкой сближенных скважин (факторная модель $Q_3 = \xi(F1, F2, F3) +$ пересчет рудных интервалов).

В этой связи, в общем виде задачу выбора варианта учета различных факторных признаков для оценки запасов на месторождении можно сформулировать следующим образом [6,18]. Имеется множество допустимых вариантов расчета запасов технологического блока по руднику подземного скважинного выщелачивания $\Omega_d = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$.

Каждый из вариантов имеет соответствующие числовые показатели $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$. В данном случае, показатели E_i характеризуют признаки вариантов прогнозной оценки, существенные для подсчета запасов. Каждый конкретный вариант ω_i характеризуется в этом случае и конкретными числовыми значениями показателей $E_1^i, \dots, E_m^i$.

Можно считать, что введенная система показателей отображает варианты ω_i в некоторую точку m -мерного критериального пространства исходов (последствий) с координатами, равными соответствующим значениям показателей E_m^i . Задача принятия решения при этом может рассматриваться как задача выбора такого варианта $\omega_i \in \Omega$, который дает оптимальный результат $E_1^i, \dots, E_m^i$.

В этих условиях нужна некоторая функция, которая бы сводила систему показателей $E_1, \dots, E_m$ в некоторый скалярный показатель предпочтительности. Это равносильно введению скалярной функции V , определенной в критериальном пространстве и обладающей следующими свойствами: если $V(E_1^i, \dots, E_m^i) > V(E_1^j, \dots, E_m^j)$, то $\omega_i \succ \omega_j$; если $V(E_1^i, \dots, E_m^i) = V(E_1^j, \dots, E_m^j)$, то $\omega_i \sim \omega_j$. В соответствии с приведенными свойствами выбор предпочтительного варианта ω^* из множества Ω_d отвечает максимизация функции V . В данном случае функция $V(E_1, \dots, E_m)$ носит название функции ценности. Процедура, использующая линейную комбинацию критериев, предполагает формирование функции ценности вида $V = \sum_{i=1}^n \lambda_i E_i$, где

$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, $\lambda_i \geq 0$ и $i = 1, \dots, n$, с последующим решением однокритериальной оптимизационной задачи вида $\omega^* = \arg \max \{V[E_i(\omega)]\}$, при $i = 1, \dots, n$. Если полученное решение по какому-либо критерию $E_i(\omega)$ представляется недостаточно подходящим, то можно, увеличив соответствующее значение λ_i (при сохранении условия $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$), повторить задачу поиска. Кроме того, одной из разновидностей решения задачи выбора может выступать расчет соответствующих метрик. Так в метрике R^2 определяется расстояние от центра (идеальной точки, имеющей наилучшие значения по множеству оценочных критериев) до всех остальных векторов. Для вектора x_j расстояние определяется по формуле: $R_x^{(j)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i^{(j)} - x_c)^2}$.

Аналогичный подход позволяет использовать различные варианты определения расстояния, в том числе «манхеттенское» расстояние или «расстояние городских кварталов» (city-block): $R_x^{(j)} = |x_i^{(j)} - x_c|$.

Проведенные расчеты показали, что лучшие значения по оценке запасов, исходя из функции ценности и R^2 -метрики, дает третий вариант, при этом общие изменения параметров незначительны при тех же параметрах, что и в технологическом регламенте. Это еще раз свидетельствует о том, что основная проблема подсчета запасов технологического блока заключается именно в оценке K_{pp} .

В этой связи, учитывая определенность и достоверность интерпретации K_{pp} (в рамках существующей выборки о разведке месторождения), необходимо расширять исследование путем включения данных КНД-М, выполненных при эксплуатационном, разведочном и технологическом бурении.

Таким образом, результаты переинтерпретации морфологии в пользу роста мешковых интервалов (в целом, имело место от 10 до 40% прироста интервалов, проинтерпретированных как мешки, в зависимости от блока), не дает значимых результатов в плане прироста запасов (до 10%).

Следовательно, проблемой переоценки объемов запасов месторождения является обработка и анализ радиологических данных и интерпретация на их основе значений K_{pp} , а также объемных и качественных показателей запасов урана.

На заключительном этапе исследование реализованы процедуры моделирования движения вскрытых и готовых запасов на месторождении. Полученные результаты легли в основу расчета показателей вариации коэффициента обеспеченности запасами на месторождении [10,11].

Исходной точкой для расчета и моделирования послужило состояние (по данным предприятия) вскрытых и готовых запасов на 01.01.2007 г. Данный момент времени был принят первым временным интервалом для модели переоценки запасов. Дальнейший прирост по данным переоценки рассчитан по графику приростов предприятия и согласно значениям переоцененных запасов технологических блоков по разработанной модели. Погашение запасов принималось без учета показателей переизвлечения технологических блоков.

Анализ динамики коэффициента обеспеченности вскрытых запасов показал, что по расчетным данным предприятия за весь рассматриваемый период исследования его значения были значительно ниже критического уровня готовых запасов, необходимых предприятию для эффективной работы (рис.2).

Результаты моделирования позволяют получить диаметрально противоположную картину. Движение вскрытых и готовых запасов, с учетом результатов переоценки, осуществляется с коэффициентами обеспеченности 2,72 по вскрытым и 2,09 по готовым, вместо 1,27 и 0,79 соответственно (по предприятию).

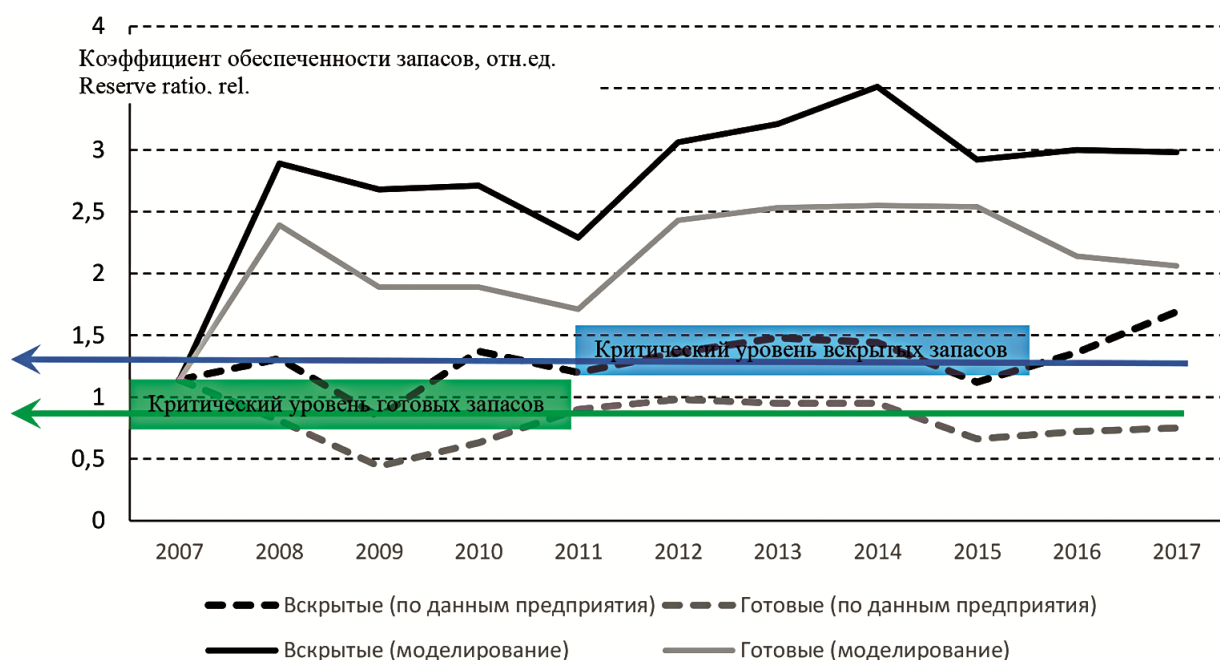


Рис. 2. Динамика соотношения коэффициентов обеспеченности вскрытых и готовых запасов по данным предприятия и по результатам моделирования

Fig. 2. Dynamics of the ratio of the supply ratios of open and finished reserves according to the data of the enterprise and according to the results of modeling

Вывод. Экономическое обоснование эффективности проведенного исследования определяется следующими предпосылками [16]:

- уменьшением затрат на сооружение скважин, в случае обоснования вывода о возможности использовать более редкую сеть вскрытия без существенных потерь темпов извлечения металла;

- возможностью оценить перспективность вовлечения в добычу остаточных рудных интервалов и / или скоплений захороненных растворов, что улучшает состояние ресурсной базы предприятия.
- ожидаемым улучшением состояния МСБ предприятия с соответствующим ростом капитализации компании.

Для достижения данного экономического эффекта на предприятии предлагается разработать программу интенсификации [2,17], состоящую из следующих мероприятий:

- выбор группы блоков с извлечением более 90% для интенсификации добычи урана;
- проведение полной ревизии скважин и блоков в целом на фактическое состояние (аварийность, наличие насосов, причины остановки скважины, наличие коммуникаций, электроснабжения и т.д.);
- разработка по результатам проведенного анализа программы оптимизации работы каждого блока по мере включения их в план интенсификации с учетом возможного изменения направления потоков рабочих растворов и дебитов технологических скважин;
- при проектировании обвязки блоков с рудными телами, не вовлеченных в отработку, учесть возможность повторного использования существующей инфраструктуры;
- вывод из эксплуатации отработанных блоков по мере достижения минимально-промышленных содержаний.

Планируемые мероприятия позволят переоценить ресурсный потенциал технологического блока с одновременным обоснованным прогнозом остаточных запасов урана в эксплуатируемых и вскрываемых блоках, снизить затраты на стадии ГПР, при своевременном выводе из эксплуатации блоков, снизить потребность в электроэнергии, оптимизировать количество серной кислоты и в целом повысить качество прогнозирования и планирования производственных показателей с целью безусловного выполнения программы добычи урана.

Библиографический список:

1. Басов В.С. Выбор оптимальной схемы вскрытия месторождения геотехнологическими скважинами // Горный журнал. 2006. № 1. С. 51-53.
2. Верхотуров А. Г. Интенсификация добычи урана при использовании комплекса обработки прифилтровых зон геотехнологических скважин / А.Г. Верхотуров, А.А. Сабигатулин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 7. С. 13–20.
3. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Габараев О. З. Геофизическое обеспечение технологий выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 7. С. 112–121.
4. Голик В.И. Инновационные технологии добычи урана // Горный журнал. 2009. №2. с. 12-15
5. Голик В.И., Култышев В.И. История и перспективы выщелачивания урана// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. №7. С. 138– 143.
6. Дементьев А.А. Компьютерная модель расчета технико-экономических показателей (на примере месторождений урана для разработки подземным выщелачиванием) // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ. 1999. №2. С. 169-175.
7. Джакупов Д.А. Повышение эффективности добычи урана методом подземного скважинного выщелачивания/ Международная научно-техническая конференция «Инновационное развитие горнодобывающей отрасли». Кривой Рог, 2016. С. 130-133
8. Живов В. Л., Бойцов А. В., Шумилин М. В. Уран: геология, добыча, экономика. – М.: Атомредметзолото, 2012. – 301 с.
9. Каримов И. А., Хакимов К. Ж. Разработка сложноструктурного уранового оруденения подземного выщелачивания // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 9. С. 67–69.
10. Кочегаров Ю.В. Автоматизация задач проектирования, учета, анализа и планирования на объектах подземного выщелачивания урана /Ю.В. Кочегаров, В.Е. Рыков, Б.Б. Шишкин // Горный журнал. 2003. № 8. С. 84-85.
11. Марченко И.В. Моделирование последовательности и времени отработки блоков гидрогенного месторождения методом подземного выщелачивания / И.В. Марченко, В.Д. Постников // Цветная металлургия. 1988. № 2. С. 45-47.
12. Оракбаев Е. Ж. Исследование и разработка эффективных систем управления процессом подземного выщелачивания: дис. докт. наук. Алматы: КНИТУ им. К.И. Сатпаева 2017.

13. Поезжаев И.П., Полиновский К.Д., Горбатенко О.А. и др. «Геотехнология урана: учебное пособие» / Под общей редакцией Ю.В. Демехова, Б.М. Ибраева. Алматы. 2017. 327 с.
14. Рогов А.Е. К определению оптимального уровня извлечения урана при подземном скважинном выщелачивании // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГТУ. 2003. № 9. С. 119-121.
15. Рогов Е.И. Оптимизация подготовленных и готовых к выемке запасов на рудниках подземного скважинного выщелачивания урана /А.Е. Рогов, В.Г. Языков, В.Л. Забазнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. МГТУ. 2002. №4. С. 149-150.
16. Сатыбалдиев Б.С., Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М. Оценка эффективности использования фильтрационного выщелачивания для извлечения урана из урановой руды // Вестник КазНУ имени Аль-Фараби. 2015. № 3. С. 23-27.
17. Шаталов В.В. Подземное выщелачивание урана и пути его совершенствования / В.В. Шаталов, М.И. Фазлуллин // Цветные металлы. 2003. № 4. С. 35-39.
18. Шеметов П. А., Глотов Г. Н. Теоретические основы автоматизированных систем геотехнологии подземного выщелачивания урана // Горный журнал. 2011. № 11. С. 35–40.
19. Шурыгин С. В. Влияние коэффициента радиоактивного равновесия на сортируемость руд радиометрическими методами /С.В. Шурыгин, В.А. Овсейчук // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: №4, 2016г. с.376-381.
20. Экономико-аналитические модели динамики развития ядерной энергетики /под ред. В. В. Харитонов. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. 76 с.

References:

1. Basov B.C. Vybora optimal'noy skhemy vskrytiya mestorozhdeniya geotekhnologicheskimi skvazhinami // Gornyy zhurnal. 2006. - № 1. - S. 51-53. [Basov B.C. Field opening optimal scheme selection by geotechnological wells//Mining log. 2006. No. 1. pp. 51-53. (In Russ)]
2. Verkhoturov A. G. Intensifikatsiya dobychi urana pri ispol'zovanii kompleksa obrabotki pri-fil'trovyykh zon geotekhnologicheskikh skvazhin / A.G. Verkhoturov, A.A. Sabigatulin // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – 2019. – № 7. – S. 13–20. [Verkhoturov A. G. Intensification of uranium production using the geotechnological wells filter zones treatment complex/A.G. Verkhoturov, A.A. Sabigatulin//Mining information and analytical bulletin. - 2019. No. 7. pp. 13-20. (In Russ)]
3. Golik V. I., Zaalishvili V. B., Gabarayev O. Z. Geofizicheskoye obespecheniye tekhnologiy vyshchelachivaniya urana // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2014. № 7. С. 112–121. [Golik V.I., Zaalishvili V. B., Gabarayev O. Z. Geophysical support uranium leaching technologies//Mining information and analytical bulletin. 2014. No. 7. pp. 112–121. (In Russ)]
4. Golik V.I. Innovatsionnyye tekhnologii dobychi urana // Gornyy zhurnal. 2009. №2. s. 12-15 [Golik V.I. Innovative uranium mining technologies//Mining magazine. 2009. No.2. pp. 12-15. (In Russ)]
5. Golik V.I., Kultyshev V.I. Istoriya i perspektivy vyshchelachivaniya urana// Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2011.№7. S. 138– 143. [Golik V.I., Kultyshev V.I. History and uranium leaching prospects//Mining information and analytical bulletin. 2011. No.7. pp. 138- 143. (In Russ)]
6. Dement'yev A.A. Komp'yuternaya model' rascheta tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley (na primere mestorozhdeniy urana dlya razrabotki podzemnym vyshchelachivaniyem) // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. MGGU. -1999.-№2.-S. 169-175. [Dement'yev A.A. Computer model for calculating technical and economic indicators (using the uranium deposits example for development by underground leaching)//Mining information and analytical bulletin. MGGU. 1999. No.2. pp. 169-175. (In Russ)]
7. Dzhakupov D.A. Povysheniye effektivnosti dobychi urana metodom podzemnogo skvazhinogo vyshchelachivaniya/ Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Innovatsionnoye razvitiye gornodobyvayushchey otrasli»-Krivoy Rog, 2016. S. 130-133 [D.A. Dzhakupov Improving Efficiency Uranium Production by Underground Well Leaching/International Scientific and Technical Conference "The Mining Industry Innovative Development" -Krivoy Rog, 2016. Pp. 130-133(In Russ)]
8. Zhivov V. L., Boytsov A. V., Shumilin M. V. Uran: geologiya, dobytcha, ekonomika. – М.: Atomredmet-zoloto, 2012. – 301 s. [Zhivov V.L., Boytsov A.V., Shumilin M.V. Uran: geology, mining, economics. - М.: Atomredmet-zoloto, 2012. 301 p. (In Russ)]
9. Karimov I. A., Khakimov K. Zh. Razrabotka slozhnostrukturnogo uranovogo orudneniya podzemnogo vyshchelachivaniya // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2015. № 9. С. 67–69. [Karimov I. A., Khakimov K. Zh. Complex structural uranium tools development for underground leaching//Mining information and analytical bulletin. 2015. No.9. pp. 67–69. (In Russ)]
10. Kochegarov YU.V. Avtomatizatsiya zadach proyektirovaniya, ucheta, analiza i planirovaniya na ob'yektakh podzemnogo vyshchelachivaniya urana /YU.V. Kochegarov, V.Ye. Rykov, B.B. Shishkin // Gornyy zhurnal. 2003. - № 8. - S. 84-85. [Kochegarov Yu.V. Automation design, accounting, analysis and planning tasks at underground uranium leaching facilities/Yu.V. Kochegarov, V.E. Rykov, B.B. Shishkin//Mining magazine. 2003. No. 8. pp. 84-85. (In Russ)]

11. Marchenko I.V. Modelirovaniye posledovatel'nosti i vremeni otrabotki blokov gidrogeennogo me-storozhdeniya metodom podzemnogo vyshchelachivaniya / I.V. Marchenko, V.D. Postnikov // Tsvetnaya metallurgiya. 1988. - № 2. - S. 45-47. [Marchenko I.V. The sequence modeling and hydrogenic deposit blocks development time by underground leaching/I.V. Marchenko, V.D. Postnikov//Non-ferrous metallurgy. 1988. No. 2. pp. 45-47. (In Russ)]
12. Orakbaev E. Zh. Research and development effective systems for controlling the underground leaching process of: dis. PhD. sciences. - Almaty: KNITU named after K.I. Satpaeva 2017.
13. Podzhadaev I.P., Polinovsky K.D., Gorbatenko O.A. and others. " Uranium Geotechnology: a textbook "/Edited by Yu.V. Demekhov, B.M. Ibraeva. Almaty. 2017. 327 p.
14. Rogov A.Ye. K opredeleniyu optimal'nogo urovnya izvlecheniya urana pri podzemnom skvazhinom vyshchelachivanii // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. MGGU. - 2003. - № 9. - S. 119-121. [Rogov A.E. To determine the uranium recovery optimal level in underground well leaching//Mining information and analytical bulletin. MGSU. 2003. No. 9. pp. 119-121. (In Russ)]
15. Rogov Ye.I. Optimizatsiya podgotovlennykh i gotovykh k vyyemke zapasov na rudnikakh podzemnogo skvazhinogo vyshchelachivaniya urana /A.Ye. Rogov, V.G. YAzikov, V.L. Zabaznov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. MGGU. -2002.-№4.-S. 149-150. [Rogov E.I. Optimization prepared and ready for excavation reserves at underground well uranium leaching mines/A.E. Rogov, V.G. Yazikov, V.L. Zabaznov//Mining Information and Analytical Bulletin. MGGU.-2002. No.4. pp. 149-150. (In Russ)]
16. Satybaldiyev B.S., Uralbekov B.M., Burkitbayev M.M. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya fil'-tratsionnogo vyshchelachivaniya dlya izvlecheniya urana iz uranovoy rudy // Vestnik KazNU imeni Al'-Farabi. — 2015. — № 3. — S. 23—27. [Satybaldiev B.S., Uralbekov B.M., Burkitbaev M.M. Evaluation the using filtration leaching efficiency to extract uranium from uranium ore//Bulletin of the Al-Farabi KazNU. 2015. No. 3. pp. 23 - 27. (In Russ)]
17. Shatalov V.V. Podzemnoye vyshchelachivaniye urana i puti yego sovershenstvovaniya / V.V. Shatalov, M.I. Fazlullin // Tsvetnyye metally. 2003. - № 4. -S. 35-39. [Shatalov V.V. Underground uranium leaching and ways to improve it/V.V. Shatalov, M.I. Fazlullin//Non-ferrous metals. 2003. No. 4. pp. 35-39. (In Russ)]
18. Shemetov P. A., Glotov G. N. Teoreticheskiye osnovy avtomatizirovannykh sistem geotekhnologii podzemnogo vyshchelachivaniya urana // Gornyy zhurnal. 2011. № 11. S. 35—40. [Shemetov P. A., Glotov G. N. Theoretical foundations underground uranium leaching geotechnology automated systems//Mining journal. 2011. No. 11. pp 35-40. (In Russ)]
19. Shurygin S. V. Vliyaniye koeffitsiyenta radioaktivnogo ravnovesiya na sortiruyemost' rud radiomet-richeskimi metodami /S.V. Shurygin, V.A. Ovseychuk // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. M.: №4, 2016g. — s.376-381. [Shurygin S.V. Influence radioactive equilibrium coefficient on ore sortability by radiometric methods/S.V. Shurygin, V.A. Ovseychuk//Mining Information and Analytical Bulletin. M.: No. 4, 2016. pp.376-381. (In Russ)]
20. Ekonomiko-analiticheskiye modeli dinamiki razvitiya yadernoy energetiki /pod red. V. V. Kharito-nova — M.: NIYAU MIFI, 2012. 76 s. [Economic and analytical the nuclear energy development dynamics models/edited by V.V. Kharitonov - M.: NIAU MEPhI, 2012. 76 p. (In Russ)]

Сведения об авторе:

Подрезов Денис Рустамович, соискатель; e-mail: gs16@mail.ru

Information about the author:

Denis R. Podrezov, applicant; e-mail: gs16@mail.ru

Конфликт интересов.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 04.05.2020.

Принята в печать 14.06.2020.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 04.05.2020.

Accepted for publication 14.06.2020.