

С.Н. Гончаренко, Б.А. Бердалиев

# МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННОГО И ОСТАТОЧНОГО СКОПЛЕНИЯ УРАНОВЫХ РУД НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ, ОТРАБАТЫВАЕМЫХ СПОСОБОМ ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Выполнена систематизация и анализ геологической, геофизической и геотехнологической информации по различным скважинам месторождения. По итогам анализа создана единая база данных, позволяющая определить перспективные места техногенного и остаточного скопления урановых руд. Результаты работы позволяют продлить срок эксплуатации урановых месторождений, обрабатываемых способом подземного скважинного выщелачивания. Объектом исследования являются отработанные и находящиеся на стадии завершения отработки технологические блоки. Рассмотрены условия и основные факторы эксплуатации технологических блоков, такие как необоснованно длинные фильтры на ряде откачных скважин, частое расположение руд в нижней части фильтра, неравномерные схемы вскрытия, способствующие образованию застойных зон с останцами руд и формированию техногенных скоплений урана. Предложены методы обнаружения, прогноза и варианты оценки факторов техногенных руд для восполнения минерально-сырьевой базы уранового месторождения.

Ключевые слова: методы прогнозирования; техногенные образования; оценка факторов технологического блока; характеристики оруденения.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-43-48

Проблема остаточного урана технологических блоков, которые отработаны до контрактного извлечения, либо близки к этому, становится актуальной в последние годы по двум причинам: исчерпание ресурсной базы ряда объектов и невозможность ее восполнения за счет новых участков или залежей; низкие мировые цены на конечную продукцию добывающих предприятий, что заставляет производителей искать новые и нестандарт-

ные подходы к уменьшению себестоимости продукции. В этой связи, отработка техногенного и остаточного урана на уже освоенных блоках месторождения является одним из актуальных подходов к снижению уровня производственных затрат на предприятии.

Для реализации этой цели в работе были сформулированы основные методические приемы по прогнозу и оценке остаточного и техногенного оруденения

урана. В исходной постановке задача сводится к прогнозу и обоснованию технологической и экономической целесообразности выполнения комплекса горно-подготовительных и добычных работ на остаточный уран на блоках, которые либо уже показали достижение проектного извлечения, либо близки к тому.

Последовательность работ по оценке перспектив таких блоков на остаточный и техногенный уран сводится к следующей последовательности действий.

На первом этапе формируется база по рудоносности, геометрическим и морфологическим характеристикам руд, положению фильтров и литологическим разностям, на базе которой осуществляется картографирование характеристик рудоносности территории блоков.

Этап картографирования завершается созданием серии карт распределений:

- продуктивности;
- рудной мощности;
- соотношения длины фильтра и рудной мощности;
- разницы между положением верхней отметки фильтра и кровли балансовых руд;
- нижней отметки фильтра и подошвы руд;
- распространения нижнего водоупора и мощности песков между нижней отметкой фильтров и кровлей нижнего водоупора.

Результаты этапа позволяют выделить области повышенного технологического интереса — с рядовыми (продуктивность 5—10 кг/м<sup>2</sup>), богатыми (продуктивность 10—20 кг/м<sup>2</sup>) и весьма богатыми (выше 20 кг/м<sup>2</sup>) рудами. На следующем этапе определяются мощности активной фильтрации, соотношения длин фильтров с рудоносностью и активной мощностью, что ложится в основу создания гидродинамических моделей на территории обрабатываемых блоков. Модели создаются в виде распределения скоростей

фильтрации по латерали, линий тока и распределения остаточной кислоты в недрах.

Результаты моделирования позволяют напрямую увидеть застойные зоны и зоны законтурного растекания. Далее была предпринята попытка численного определения остаточных запасов урана в технологических единицах (в пределах ячейки гексагональной схемы, либо в части рядной панели). В первую очередь были подсчитаны исходные запасы каждой геотехнологической единицы на основе использования данных продуктивности каждой технологической скважины и оценен объем извлеченного урана из каждой откачной скважины, а разница принималась как количество остаточных запасов.

Для построения вышеуказанных моделей необходимо было формализовать факторы, способствующие сохранности остаточных скоплений урана.

*Гидродинамические факторы.* Неравномерность работы фильтра по длине определяет остаточные скопления урана, которые будут концентрироваться в застойных зонах разреза. Неравномерность скоростей фильтрации в плане определяет возникновение и существование застойных зон, содержащих остаточный уран. Суммарная площадь застойных зон в пределах блока с гексагональной схемой может достигать 17% площади блока в геометрическом контуре, при условии проектных дебитов.

*Факторы рудоносности геотехнологических единиц.* Первым шагом в оценке остаточного урана является выделение богатых частей блоков, при этом условно принимаем порогом продуктивности 5 кг/м<sup>2</sup>. Как указывалось ранее, определение богатых частей ведется на основе картографирования местоположения вскрытых линейных запасов, с последующей генерализацией контуров оруденения с продуктивностью выше 5,

10 и 20 кг/м<sup>2</sup> соответственно. Оценка исходных и остаточных запасов классическим способом проводится по геотехнологическим единицам. Главным критерием выделения единицы является ее замкнутость, когда закачные скважины формируют поле давлений, замкнутое на одну или несколько откачных скважин.

Как уже отмечалось выше, идентификация остаточных запасов простым методом — нахождением разницы между исходными вскрытыми запасами урана в ячейке (рядной панели) и суммарной добычей — может быть использована только частично в силу малой точности оценки исходных запасов и недостаточности данных по добыче для каждой геотехнологической единицы. Подсчет запасов проводится по стандартной схеме, основой которой являются вскрытые линейные запасы технологических скважин, кроме того, дополнительно привлекаются данные разведочных подсчетов, при этом разведочная скважина усредняется с ближайшей технологической. В качестве площади используется геометрический контур каждой единицы, а для определения исходных запасов все единицы в составе блока складываются.

*Факторы взаиморасположения руд, фильтров и водоупоров.* Вопрос о вероятной сохранности рудных интервалов выше или ниже фильтров, которые в настоящее время могут представлять интерес как самостоятельные объекты отработки, целиком зависит от понимания того, насколько выше или ниже фильтрового уровня технологического блока может распространяться область активной фильтрации. Интерполяции послонных дебитов между скважинами показывают, что в условиях проницаемости в откачных, и в закачных скважинах область активной фильтрации может распространяться выше на 1,5–2,0 м от верха фильтра. В откачных скважинах возможно распространение активной мощности

фильтрации на 2–3 м ниже фильтра, а в закачных — не более чем на 1 м. Таким образом, область активной фильтрации может — по максимуму достигать 3–5 м плюс длина фильтра откачной, и 2–3 м для закачной скважины.

*Факторы интенсивности отработки рудных интервалов.* Оценка интенсивности отработки рудных интервалов дает возможность прогноза остаточного урана непосредственно в фильтровых интервалах, также способствует оценке вероятности растекания растворов вниз / вверх по разрезу от фильтра.

Методика численной оценки отработки конкретного интервала базируется на использовании ряда косвенных данных, позволяющих рассчитать степень интенсивности отработки. Для этих целей были использованы три разных метода:

- численная оценка интенсивности потока через рудное сечение на середине отрезка между откачной и закачной скважинами;
- полуколичественная оценка интенсивности фильтрации на основе выявленных закономерностей работы фильтра по длине;
- качественная оценка скорости фильтрации в плане, на основе построения гидродинамических моделей.

Последние строятся по стадиям, которые, в свою очередь, определяются количеством и качеством исходных данных.

Таким образом, анализ факторов, способствующих сохранности остаточных скоплений урана позволил сделать следующие выводы:

- основная часть застойных зон формируется в нижней части фильтров;
- выше фильтра застойные зоны начинают формироваться в промежутке от 1 до 2,5 м выше верхней кромки фильтра, в единичных случаях они захватывают верхнюю часть фильтра. Из общего количества технологических скважин

в разрезах в 10% случаев отмечается рудная застойная зона в верхах фильтра или выше;

- в низах фильтра и ниже застойные зоны формируются в широком интервале, начиная с трех метров нижней части (при длине фильтра 11 м и более, и наличии непроницаемого прослоя в нижней половине фильтра) и — до отметки — 3 м ниже нижней кромки фильтра. Из общего количества технологических скважин в разрезах в 30% случаев отмечается рудная застойная зона в низах фильтра или ниже;

- для дальнейшего учета остаточного урана применяются средние значения содержания урана по интервалу или его части, попавшие в застойные зоны.

Непосредственный прогноз и оценка выполняются путем картирования площадей, расклассифицированных по приуроченности к фильтровым интервалам с остаточной продуктивностью выше  $1 \text{ кг/м}^2$  и к границам существующих блоков. Кроме того, выделяются площади с остаточным ураном, приуроченные к застойным зонам между скважинами. Результатом картирования является схема прогноза и оценки остаточных скоплений урана.

Подсчет ресурсов выполняется стандартным методом блоков, с введением поправок на степень проработанности фильтровых интервалов растворами в процессе отработки.

Таким образом, в ходе проведенных исследований для прогнозирования и оценки остаточных и новообразованных скоплений урана определены и проанализированы основные группы факторов, влияющих на их перспективность:

- гидродинамические;
- факторы исходного распределения урана в разрезе, наличия остаточных запасов в ячейках;
- факторы взаимоположения руд, фильтров и нижнего водоупора;
- факторы интенсивности отработки рудных интервалов.

Наиболее важными характеристиками, от которых зависит перспективность остаточных образований, предполагаются среднемесячные дебиты — приемистости технологических скважин, литологические особенности прифильтровых зон, что определяет интенсивность потоков в каждом литотипе и соотношение вертикальных и горизонтальных составляющих коэффициента фильтрации, исходное распределение продуктивности и рудной мощности в сравнении с положением фильтров, наличие нижнего водоупора и расстояние от нижних кромок фильтров до кровли нижнего водоупора.

Результатом прогнозирования будет определение вероятного местоположения застойных зон в разрезе и в плане, что достигается как расчетными методами, так и с помощью создания плановых моделей гидродинамики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаренко А. Н. Разработка методики интеграции информационных технологий в бизнес-процессы горнопромышленного предприятия // Научный вестник МГГУ. — 2011. — № 11. — С. 17–24.
2. Гончаренко А. Н., Ярошук И. В. Оценка влияния интеграции информационных технологий на эффективность функционирования бизнес-процессов горнопромышленного предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — СВ 2. — С. 137–146.
3. Федунец Н. И., Гончаренко С. Н. Оценка возможности управления производственными параметрами основных технологических циклов горнодобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 9. — С. 230–239.

4. Гончаренко С. Н. Оценка влияния эффективности использования технологического оборудования на результаты производственно-хозяйственной деятельности горнодобывающего предприятия // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — № 10. — С. 194–202.

5. Федунец Н. И., Гончаренко С. Н. Проблемы повышения производственного потенциала горнорудных предприятий по добыче медно-никелевых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 9. — С. 189–196.

6. Федунец Н. И., Гончаренко А. Н. Инновационный подход к определению структуры программных решений для бизнес-процессов промышленного предприятия // Программные продукты и системы. — 2012. — № 1. — С. 18.

7. Петраков А. А., Лачихина А. Б. Программный комплекс оперативного управления производством // Вопросы радиоэлектроники. — 2016. — № 10. — С. 98–102.

8. *U308 Production Review* // *Ux Weekly*. — 2010. — Vol. 22, Issue 10, March 10.

9. *Australia's Uranium and Nuclear Power Prospects* (January 2016).

10. *Canada's Uranium Production & Nuclear Power*. (February 2015).

11. *Domestic Uranium Production Report – Quarterly*. (February 2016).

12. *Global Metals and Mining, Uranium: ripe for enrichment* // Merrill Lynch. 7 may 2012. **ГИАБ**

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Гончаренко Сергей Николаевич<sup>1</sup> — профессор,

e-mail: gs16@mail.ru,

Бердалиев Бауыржан Алмаханович<sup>1</sup> — соискатель кафедры,

e-mail: b.berdaliev65@mail.ru,

<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС».

---

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 5, pp. 43–48.

**S.N. Goncharenko, B.A. Berdaliev**

## METHODS TO PREDICT AND ESTIMATE RESIDUAL AND TECHNOLOGICAL CONCENTRATIONS OF URANIUM ORE IN IN-SITU LEACHING MINING

The geological, geophysical and geotechnical data of boreholes studies are systematized and analyzed. As a result, a single data base is created and allows detecting promising areas of residual and technological concentrations of uranium ore. The research findings allow extending service life of uranium deposits under development by in-situ leaching. The objects of the research are the production blocks that are mined-out or at the final stage of leaching. Some operating conditions of production blocks are discussed, such as unreasonably long filters installed in pump-out holes, frequent occurrence of ore at the filter bottom, irregular accessing patterns resulting in origination of dead spaces where residual and technological uranium concentrates. The methods to find, predict and estimate aspects of such concentration with a view to enhancing source of raw materials at uranium ore deposit are proposed.

Key words: prediction methods, technological concentration, estimation of production block factors, mineralization characteristic.

---

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-43-48

### AUTHORS

Goncharenko S.N.<sup>1</sup>, Professor, e-mail: gs16@mail.ru,

Berdaliyev B.A.<sup>1</sup>, Applicant, e-mail: b.berdaliev65@mail.ru,

<sup>1</sup> National University of Science and Technology «MISIS»,

119049, Moscow, Russia.

## REFERENCES

1. Goncharenko A. N. *Nauchnyy vestnik MGGU*. 2011, no 11, pp. 17–24.
2. Goncharenko A. N., Yaroshchuk I. V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, pp. 2, pp. 137–146.
3. Fedunets N. I., Goncharenko S. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007, no 9, pp. 230–239.
4. Goncharenko S. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007, no 10, pp. 194–202.
5. Fedunets N. I., Goncharenko S. N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2006, no 9, pp. 189–196.
6. Fedunets N. I., Goncharenko A. N. *Programmnye produkty i sistemy*. 2012, no 1, pp. 18.
7. Petrakov A. A., Lachikhina A. B. *Voprosy radioelektroniki*. 2016, no 10, pp. 98–102.
8. U308 Production Review. *Ux Weekly*. 2010. Vol. 22, Issue 10, March 10.
9. *Australia's Uranium and Nuclear Power Prospects* (January 2016).
10. *Canada's Uranium Production & Nuclear Power* (February 2015).
11. *Domestic Uranium Production Report Quarterly* (February 2016).
12. *Global Metals and Mining, Uranium: ripe for enrichment*. Merrill Lynch. 7 may 2012.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(2017, № 6, СВ 11, 8 с.)

Ляхомский Александр Валентинович<sup>1</sup> — доктор технических наук, профессор,

зав. кафедрой, e-mail: mggu.eegr@mail.ru,

Кутепов Антон Григорьевич<sup>1</sup> — старший преподаватель,

<sup>1</sup> МГИ НИТУ «МИСиС».

Состояние электротравматизма дает общее представление о безопасности применения электроэнергии на горных предприятиях. Рассмотрен и проанализирован травматизм со смертельным исходом, в том числе электротравматизм, на предприятиях горной промышленности. Анализ выполнен за период с 2004 по 2016 годы и охватывает статистические данные по производственному травматизму на предприятиях угольной, горнорудной и нерудной отраслей. Приведена динамика летального электротравматизма в основных технологических комплексах горно-обогатительных предприятий. Дан анализ электротравматизма в разрезе контакта с электроустановкой. Выполнено исследование условий электробезопасности в подземных электрических сетях предприятий угольной и горнорудной отраслей. При анализе условий электробезопасности рассмотрены однофазное прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящимся под напряжением и прикосновение к металлическим нетокоевущим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции.

### ELECTRICAL SAFETY IN THE MINING INDUSTRY

*Lyahomskiy A.V.*<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair,

*Kutepov A.G.*<sup>1</sup>, Senior Lecturer,

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

Mining industry is characterized by high energy and labor intensity of technological processes and occupies a special place among other industries. Special conditions of production influence the occupational injuries, including electrical injuries. The condition of electro-gives a General overview of the safe use of electricity in mining. Reviewed and analyzed the number of fatal injuries, including electrical injuries in the mining industry. The analysis was performed for the period from 2004 to 2016 and covers statistical data on occupational injuries in the coal, mining and non-ore industries. The dynamics of lethal electrical injuries in the major technological complexes mining and processing enterprises. The analysis of electrical injuries in terms of contact with the electrical system. The study of electrical safety conditions in underground electrical networks of coal and mining industries. When analyzing the conditions of electrical safety, a single-phase touch to the current carrying parts of the electrical installation under voltage and a touch to the non-conductive metal parts of the electrical installation, which were energized as a result of damage to the insulation, are considered.